

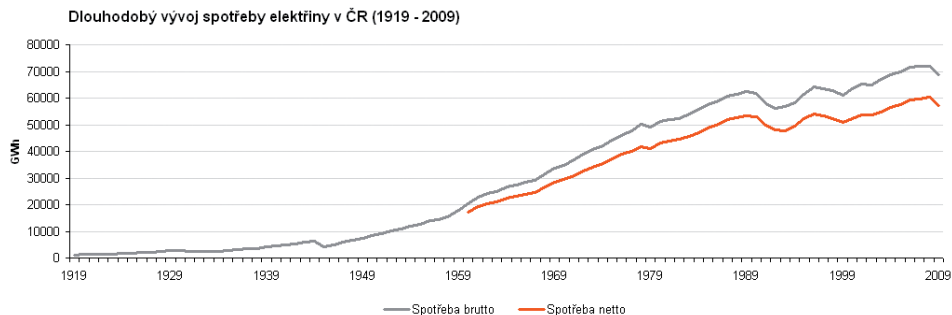
Jisticí přístroje I





## 1. Předmluva

Elektrická energie se stala v průběhu 2. poloviny 20. století nezastupitelným druhem energie pro lidstvo, i když závislost na ni si mnohdy ani plně neuvědomujeme. Stačí ale poměrně krátkodobý výpadek elektrické energie, abychom si její „vládu nad námi“ uvědomili. Význam elektrické energie také dokresluje nárůst její spotřeby v ČR:



Obr. 1-1: Spotřeba elektřiny v ČR

S tím, jak se zvýšila důležitost elektrické energie, stouply také požadavky na její výrobu a přenos – rozvod elektrické energie. Velký důraz je kladen na bezpečnost provozu a v naprosté většině případů také na spolehlivost dodávky elektrické energie. Důležitou úlohu přitom sehrávají jisticí přístroje nízkého napětí a právě jim jsou věnovány příručky elektrotechnika: **Jisticí přístroje I** a **Jisticí přístroje II**.

Příručka **Jisticí přístroje I**, kterou nyní držíte v rukou, je věnována jednotlivým druhům jisticích přístrojů, jejich základním částem, principům působení, důležitým vlastnostem a jedné z hlavních požadovaných funkcí od jisticích přístrojů, a to ochraně elektrických zařízení proti nadproudům, jinak řečeno – jištění elektrických zařízení, a to konkrétně vedení.

Příručka **Jisticí přístroje II** se zabývá jištěním ostatních elektrických zařízení, dále ochranou před úrazem elektrickým proudem při poruše automatickým odpojením od zdroje jisticími přístroji, spínáním a odpojováním pomocí jisticích přístrojů a koordinací těchto přístrojů. Jsou také uvedeny parametry a další údaje důležité pro volbu jisticích přístrojů. Každá z příruček je doplněna dalšími, s problematikou jisticích přístrojů souvisejícími tématy a informacemi.

Ing. Ivo Faltus

Při navrhování nebo kontrole elektrických rozvodů se stále ve větším měřítku používají výpočtové programy, které výrazně usnadňují práci předně projektantům a revizním technikům. Společnost OEZ s.r.o. poskytuje zdarma, už více než deset let, vlastní výpočtový program Sichr, vhodný pro návrh případně kontrolu elektrických rozvodů nn. Program je neustále inovován. Vzhledem k snadné a intuitivní práci s ním a neustálému rozšiřování jeho možností doznal velkého rozšíření. Protože program z velké míry řeší problematiku uvedenou v této příručce, je na něho v příslušných částech odkazováno. Program lze zdarma stáhnout z [www stránek OEZ: http://www.oez.cz/sluzby/vypoctovy-program-sichr](http://www.oez.cz/sluzby/vypoctovy-program-sichr).



<b>1. Předmluva</b> .....	<b>1</b>
1.1. Obsah .....	3
<b>2. Druhy jisticích přístrojů, jejich vlastností</b> .....	<b>5</b>
2.1. Pojistky .....	5
2.1.1. Základní části tavných pojistek .....	6
2.1.2. Princip funkce tavné pojistky .....	6
2.1.3. Rozdělení pojistek .....	7
2.1.3.1. Rozdělení podle jmenovitého napětí .....	7
2.1.3.2. Rozdělení podle typové velikosti .....	7
2.1.3.3. Rozdělení podle konstrukčního řešení .....	8
2.1.3.4. Rozdělení podle rozsahu vypínání a kategorie použití .....	9
2.1.4. Charakteristiky pojistkových vložek .....	12
2.1.4.1. Ampérsekundová charakteristika .....	12
2.1.4.2. Omezovací charakteristika .....	15
2.1.4.3. Charakteristika I <sup>2</sup> t .....	17
2.1.5. Pojistkové přístroje .....	19
2.1.6. Normy ČSN týkající se pojistkových vložek a pojistkových přístrojů .....	22
2.2. Jističe .....	22
2.2.1. Rozdělení jističů .....	23
2.2.1.1. Rozdělení podle účelu použití .....	23
2.2.1.2. Rozdělení podle druhu nadproudové spouště .....	25
2.2.2. Základní části jističů .....	25
2.2.3. Princip funkce jističe .....	27
2.2.4. Vypínací charakteristiky .....	29
2.2.4.1. Vypínací charakteristiky jističů pro domovní a podobné instalace .....	30
2.2.4.2. Vypínací charakteristiky jističů pro všeobecné použití .....	33
2.2.4.3. Vypínací charakteristiky spouštěčů motoru a nadproudových relé .....	38
2.2.5. Provedení a příslušenství .....	41
2.2.6. Normy ČSN týkající se jističů a nadproudových relé .....	42
<b>3. Úvod do problematiky jištění elektrických zařízení</b> .....	<b>43</b>
3.1. Princip oteplování elektrických zařízení .....	44
3.2. Ideální průběh vypínací charakteristiky jisticího přístroje .....	47
<b>4. Jištění vedení</b> .....	<b>49</b>
4.1. Dimenzování průřezu vedení .....	49
4.1.1. Výpočtový proud vedení .....	50
4.1.2. Dovolené proudové zatížení vedení .....	52
4.2. Jištění vedení proti proudovým přetížením .....	54
4.3. Jištění vedení proti zkratovým proudům .....	59
4.4. Jištění vedení tvořeného paralelními kabely .....	61
4.4.1. Jištění paralelních kabelů společným jisticím přístrojem .....	64
4.4.2. Jištění jednotlivých paralelních kabelů samostatnými jisticími přístroji na jejich začátku .....	66

4.4.3.	Jištění jednotlivých paralelních kabelů samostatnými jisticími přístroji na jejich konci a předřazeným společným jisticím přístrojem .....	67
4.4.4.	Jištění jednotlivých paralelních kabelů samostatnými jisticími přístroji na jejich začátku a také na konci .....	68
4.5.	Další opatření k zajištění ochrany vedení proti nadproudům .....	69
4.5.1.	Povaha jisticích přístrojů .....	70
4.5.2.	Opatření k zajištění ochrany proti přetížením .....	70
4.5.2.1.	Umístění jisticích přístrojů proti přetížením .....	70
4.5.2.2.	Vynechání jisticích přístrojů proti přetížením .....	71
4.5.2.3.	Doporučení vynechání jisticích přístrojů proti přetížením z bezpečnostních důvodů .....	71
4.5.3.	Opatření k zajištění ochrany proti zkratovým proudům .....	71
4.5.3.1.	Umístění jisticích přístrojů proti zkratovým proudům .....	71
4.5.3.2.	Vynechání jisticích přístrojů proti zkratovým proudům .....	72
4.5.4.	Ochrana fázových (krajních) vodičů a nulového (středního) vodiče .....	72
4.5.4.1.	Ochrana fázových vodičů .....	72
4.5.4.2.	Ochrana nulového vodiče v sítích TT nebo TN .....	73
4.5.4.3.	Ochrana nulového vodiče v sítích IT .....	73
4.5.4.4.	Vypínání a zapínání nulového vodiče .....	73
4.6.	Základní normy ČSN týkající problematiky jištění a dimenzování .....	73
<b>5.</b>	<b>Doplňující část .....</b>	<b>74</b>
5.1.	Zkratové proudy v rozvodech nn .....	74
5.1.1.	Vznik zkratu – příčiny a jejich význam .....	74
5.1.2.	Následky zkratových proudů .....	74
5.1.3.	Druhy zkratu .....	75
5.1.4.	Průběh zkratového proudu .....	77
5.1.4.1.	Průběh a parametry zkratového proudu elektricky vzdáleného zkratu .....	78
5.1.4.2.	Průběh a parametry zkratového proudu elektricky blízkého zkratu .....	79
5.1.5.	Velikost zkratového proudu .....	79
5.1.5.1.	Zkratové proudy transformátorů .....	79
5.1.5.2.	Výpočet zkratových proudů .....	81
5.1.5.2.1.	Počáteční souměrný rázový zkratový proud .....	81
5.1.5.2.2.	Nárazový zkratový proud .....	85
5.1.6.	Volba jisticích přístrojů z hlediska předpokládaných zkratových proudů .....	85
5.2.	Ekonomická optimalizace průřezu silových kabelů nn .....	88
5.2.1.	Pořizovací náklady .....	89
5.2.2.	Provozní náklady .....	89
5.2.3.	Celkové náklady na vedení .....	90
5.2.4.	Optimální (hospodárny) průřez vodiče(ů) jedné fáze vedení .....	91

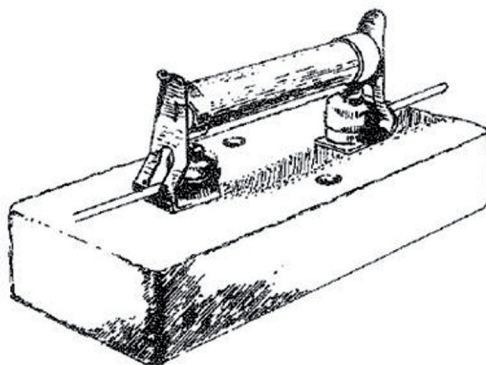
## 2. Druhy jisticích přístrojů, jejich vlastnosti

Jisticí přístroje lze rozdělit podle způsobu vypínání nadproudu do dvou základních skupin:

- **pojistky** – vypnutí nadproudu je docíleno přetavením tavného vodiče, který tvoří nejslabší část chráněného obvodu; pojistky nelze použít opakovaně
- **jističe** – vypnutí nadproudu je docíleno samočinným rozpojením silových kontaktů, které je iniciováno nadproudovou spouští; jističe lze použít opakovaně

### 2.1. Pojistky

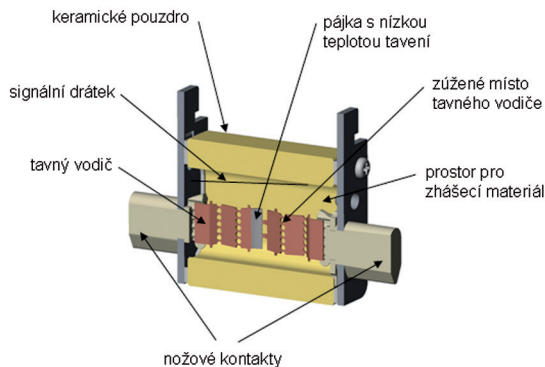
Pojistky jsou nejstarším druhem jisticích přístrojů. Jejich vznik si vynutil rozvoj elektrotechniky ve druhé polovině 19. století, kdy se projevila reálná potřeba chránit (jistit) elektrická zařízení, případně i jejich okolí, proti účinkům nadproudů. Roku 1885 si nechal patentovat Thomas Alva Edison tepelnou pojistku. Pojistku, která už je velmi podobná dnešní, si nechal patentovat roku 1890 W. M. Mordey.



Obr. 2-1: Pojistka patentovaná W. M. Mordeyem

V současné době existuje velké množství druhů pojistek. Tato příručka je dále zaměřena na pojistky nízkého napětí používané v energetice, průmyslu a infrastruktuře a určené pro kvalifikovanou obsluhu. Pojistky určené pro nekvalifikovanou obsluhu, používané převážně v domovních a podobných instalacích, musí splňovat přísnější požadavky z hlediska bezpečnosti jejich obsluhy a musí být konstrukčně řešeny tak, aby nebyly záměnné pojistkové vložky různých jmenovitých proudů. Jedná se předně o různé druhy závitových pojistek.

### 2.1.1. Základní části tavné pojistkové vložky



Obr. 2-2: Nožová pojistková vložka

### 2.1.2. Princip funkce tavné pojistkové vložky

Její princip funkce spočívá v tom, že tavný vodič, případně jeho zúžená místa, tvoří nejslabší část chráněného elektrického obvodu a tedy se nejvíce zahřívá. Pokud čas průchodu nadproudu určité velikosti překročí danou dobu, dojde k roztavení části tavného vodiče a vzniku elektrického oblouku. Ten je následně zhasen zhašecím materiálem (křemičitý písek) a elektrický obvod, kterým tekla nadprůd, rozpojen.

Tavný vodič má několik charakteristických částí. Jedná o zúžená místa, ve kterých dojde k jeho přetavení při velkých nadproudech (zkratech). Účelem zúžení (zmenšení průřezu tavného vodiče) je zajistit dostatečně nízkou hodnotu Jouleova integrálu  $I^2t$  propuštěného pojistkovou vložkou a omezit tak tepelné namáhání jištěného zařízení. Dále také omezit vrcholovou hodnotu zkratového proudu a snížit tak jeho dynamické účinky. Počet zúžených míst tavného vodiče je zhruba přímo úměrný velikosti jmenovitého napětí pojistkové vložky. Další částí tavného vodiče je místo, na kterém je nanášena pájka s nízkou teplotou tavení. Při průchodu malých nadproudů tavným vodičem dochází k natavení této pájky a její difuzi do základního materiálu tavného vodiče (měď, stříbro). Vzniká tak v tomto místě slitina materiálu tavného vodiče a pájky. Tato slitina má nižší teplotu tavení a větší měrný elektrický odpor než materiál tavného vodiče. V důsledku většího měrného odporu tak dochází k intenzivnějšímu ohřevu této části tavného vodiče. Pokud určitý nadprůd prochází tavným vodičem pojistkové vložky dostatečně dlouhou dobu (viz tavná charakteristika pojistkové vložky), proces postupuje, až dojde v konečné fázi k roztavení tavného vodiče a k jeho následnému přerušení a tím rozpojení elektrického obvodu. Určitou nevýhodou je, že při periodickém zatěžování pojistkové vložky nadproudem, v důsledku tohoto postupného procesu, se v průběhu času částečně snižuje její jmenovitý proud.

Paralelně k tavnému vodiči je připojen signalizační drátek napínaný plochou listovou pružinkou umístěnou vně pojistkové vložky (na obrázku není nakreslena). V případě přetavení tavného vodiče dojde také k přetavení signalizačního drátku, změně polohy ploché pružinky a tím optické signalizaci změny stavu pojistkové vložky, tj. že tavný vodič je přerušen a obvod rozpojen. Je možná také dálková signalizace stavu pomocí mikrosvínače nasunutého na čelo pojistkové vložky nebo umístěného v pojistkovém odpojovači, jehož změna kontaktů je odvozena od změny polohy pružinky.

### 2.1.3. Rozdělení pojistkových vložek

Pojistkové vložky používané v silnoproudé elektrotechnice a určené pro kvalifikovanou obsluhu můžeme rozdělit např.:

#### 2.1.3.1. Rozdělení podle jmenovitého napětí:

- a) pojistkové vložky s  $U_n = 500$  V (typové označení PNA)  
 b) pojistkové vložky s  $U_n = 690$  V (typové označení PHNA)



Obr. 2-3: Pojistkové vložky různého jmenovitého napětí

Uvedené typové označení se netýká válcových pojistkových vložek a pojistkových vložek pro jištění polovodičů.

Pojistkové vložky se jmenovitým napětím větším než je jmenovité pracovní napětí elektrického rozvodu, ve kterém jsou umístěny, lze samozřejmě použít. Protože se ale ztráty pojistkových vložek s jejich jmenovitým napětím zvyšují (v důsledku větší délky a většího počtu zúžených míst tavného vodiče), je vhodné používat pojistkové vložky stejného jmenovitého napětí jako je jmenovité pracovní napětí jištěného rozvodu.

#### 2.1.3.2. Rozdělení podle typové velikosti:

Pro každou typovou velikost pojistkových vložek jsou stanoveny základní rozměry. Každá jednotlivá typová velikost pokrývá daný rozsah jmenovitých proudů, ve kterém stanovené rozměry pojistkových vložek zůstávají nezměněny.

Označení jednotlivých typových velikostí: 000, 00, 0, 1, 2, 3, 4, 4a

Uvedené typové označení se netýká válcových pojistkových vložek.



Obr. 2-4: Pojistkové vložky různých typových velikostí

### 2.1.3.3. Rozdělení podle konstrukčního řešení:

a) nožové pojistkové vložky, viz obr. 2-5



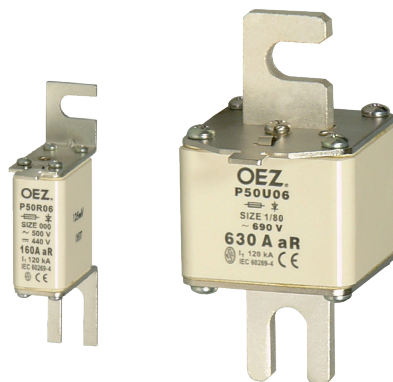
Obr. 2-5

b) válcové pojistkové vložky, viz obr. 2-6



Obr. 2-6

c) pojistkové vložky se šroubovými spoji, viz obr. 2-7



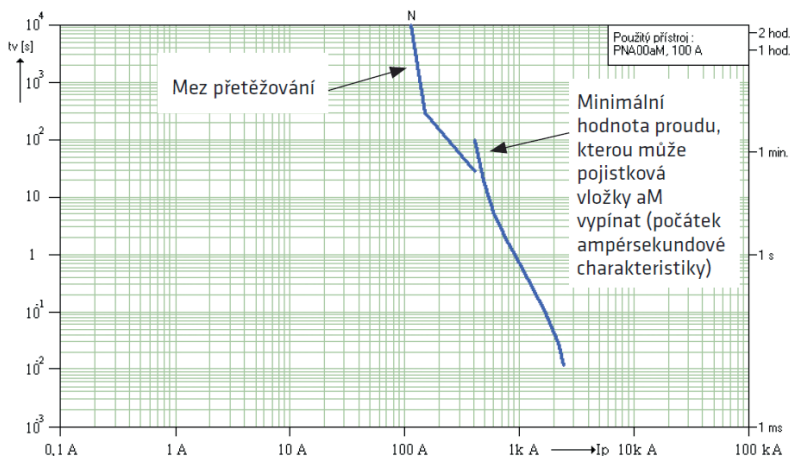
Obr. 2-7

#### 2.1.3.4. Rozdělení podle rozsahu vypínání a kategorie použití:

Na pouzdrech pojistkových vložek se nachází, mimo jiné uvedené údaje (jmenovitý proud, jmenovité napětí, typové označení, výrobce, druh proudu, jmenovitá vypínací schopnost atd), skupina dvou až tří písmen.

První z těchto písmen udává vždy rozsah vypínání dané pojistkové vložky. Z tohoto hlediska existují jednak pojistkové vložky s plným rozsahem vypínací schopnosti, které jsou schopny přerušit všechny nadproudy od hodnot, které vyvolávají již tavení tavného vodiče, až po hodnoty rovnající se jmenovité vypínací schopnosti. U takovýchto pojistkových vložek je první písmenem písmeno g.

Dále existují z tohoto hlediska pojistkové vložky s částečným rozsahem vypínací schopnosti. Tyto pojistkové vložky jsou schopny přerušit všechny nadproudy mezi minimální hodnotou proudu uvedenou na ampérsekundové charakteristice (v katalogích OEZ proud odpovídající místu, kde ampérsekundová charakteristika dané pojistkové vložky, znázorněná plnou čarou, začíná – velikost tohoto proudu bývá cca 4÷5 x jmenovitý proud pojistkové vložky) a hodnotou rovnající se jmenovité vypínací schopnosti. U takovýchto pojistkových vložek je první písmenem písmeno a. Tyto pojistkové vložky nemohou tedy zajistit ochranu elektrického zařízení v oblasti menších nadproudů. Ochrana proti těmto menším nadproudům musí být zajištěna jiným způsobem (jisticím přístrojem, elektronickou ochranou), který musí současně zajistit ochranu samotné pojistkové vložce. V této souvislosti se u pojistkových vložek s částečným rozsahem vypínací schopnosti udává tzv. mez přetěžování, viz obr. 2-8, která nesmí být překročena, jinak může dojít k její destrukci. Tavné vodiče pojistkových vložek tohoto druhu mají pouze zúžená místa, nemají část s nanesenou nízkotavitelnou pájkou.



Obr. 2-8: Tavná ampérsekundová charakteristika a mez přetěžování pojistkové vložky s částečným rozsahem vypínací schopnosti

Druhé, v některých případech druhé spolu s třetím písmenem, udává kategorii užití této pojistkové vložky. Ta charakterizuje skupinu praktických aplikací, jejich specifické požadavky, pro kterou je pojistková vložka schopna plnit svoji funkci.

Z hlediska rozsahu vypínání a kategorie užití se můžeme setkat s pojistkovými vložkami:

- a) **gG** – pojistkové vložky s plným rozsahem vypínací schopnosti pro všeobecné použití (jištění vedení, spínacích přístrojů, proudových chráničů apd.), viz obr. 2-9



Obr. 2-9



- b) **aM** - pojistkové vložky s částečným rozsahem vypínací schopnosti určené předně pro jištění motorových vývodů proti zkratu; tyto pojistkové vložky mají zelený potisk, viz obr. 2-10



Obr. 2-10

- c) **gPV** - pojistkové vložky s plným rozsahem vypínací schopnosti určené pro jištění fotovoltaických systémů, viz obr. 2-11



Obr. 2-11

- d) **gR** - pojistkové vložky s plným rozsahem vypínací schopnosti určené pro jištění polovodičů; vyznačují se nízkou hodnotou Jouleova integrálu  $I^2t$ , viz obr. 2-12



Obr. 2-12

- e) **aR** - pojistkové vložky s částečným rozsahem vypínací schopnosti určené pro jištění polovodičů; vyznačují se nízkou hodnotou Jouleova integrálu  $I^2t$ , viz obr. 2-13



Obr. 2-13

- f) **gS** - pojistkové vložky s plným rozsahem vypínací schopnosti určené pro jištění polovodičů a kabelů; vyznačují se nízkou hodnotou Jouleova integrálu  $I^2t$ ; umožňují lepší využití kabelů než pojistkové vložky gR, viz obr. 2-14



Obr. 2-14

Z hlediska rozsahu vypínání a kategorie užití existují i další druhy pojistkových vložek. V praxi se ale používají velmi málo.

V hovorové řeči se můžeme běžně setkat s pojmem pro výše uvedené skupiny písmen „charakteristika“ pojistkové vložky. Tedy např.: pojistková vložka s charakteristikou gG nebo aM atd. nebo zkráceně pojistková vložka gG, aM atd.

## 2.1.4. Charakteristiky pojistkových vložek

Charakteristiky jisticích přístrojů, tj. pojistkových vložek i jisticů, je zvykem udávat v logaritmických souřadnicích. Přitom osa X udává předpokládaný proud a osa Y podle druhu charakteristiky udává vypínací čas jisticího přístroje nebo jím omezený proud, případně propuštěný Jouleův integrál  $I^2t$ .

### 2.1.4.1. Ampérsekundová charakteristika

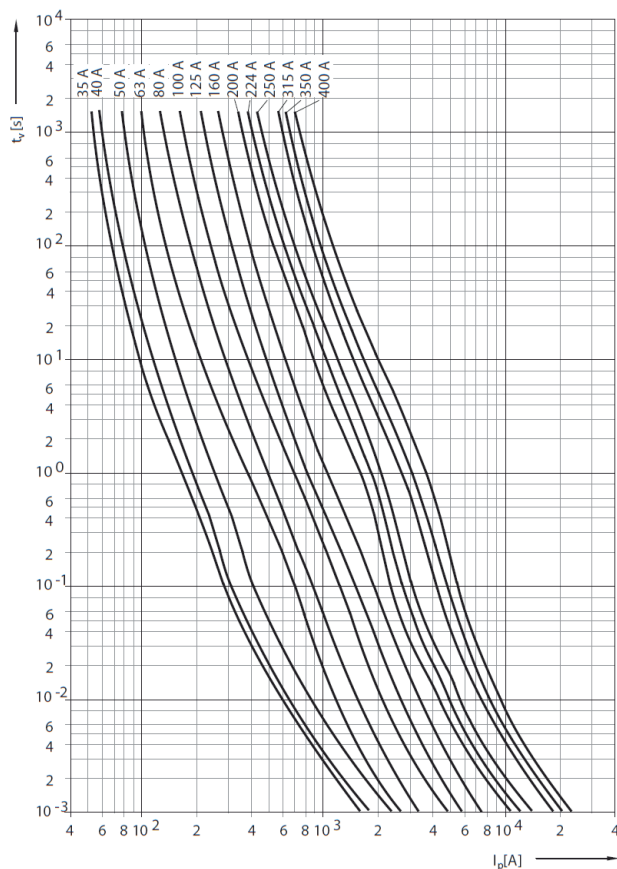
Tato charakteristika je vyjádřena křivkou, která udává dobu, např. tavnou dobu nebo celkovou vypínací dobu, v závislosti na předpokládaném proudu  $I_p$  při stanovených podmínkách. Celková vypínací doba pojistkové vložky je dána součtem tavné doby a doby hoření oblouku. Předpokládaný proud  $I_p$  je takový proud, který by procházel obvodem, kdyby v něm zařazená pojistka byla nahrazena spojem o zanedbatelné impedanci. V případě střídavého proudu je předpokládaný proud vyjádřen efektivní hodnotou střídavé souměrné složky.

V technické dokumentaci pojistkových vložek se obvykle udávají tavné ampérsekundové charakteristiky. Důvodem je jejich nezávislost na napětí i pro velmi krátké vypínací časy (při větším napětí hoří oblouk déle než při malém napětí) a tím i jejich jednoduché vyjádření.

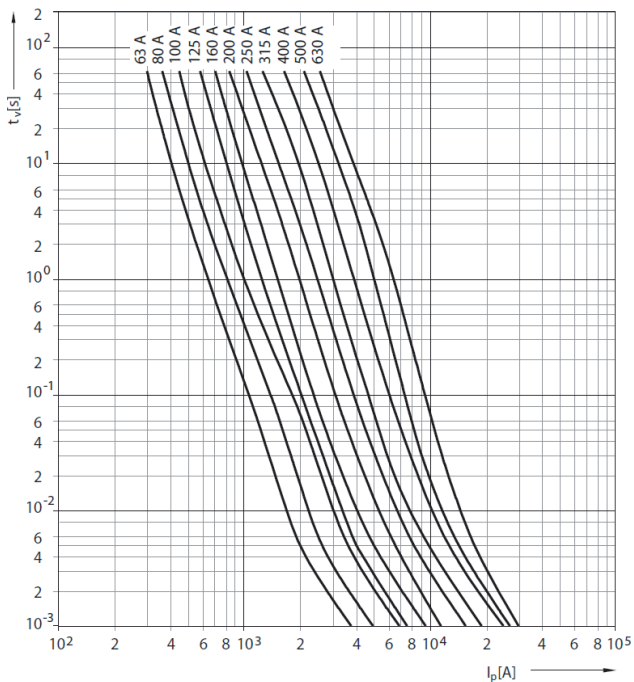
Pro tavné doby delší než cca 100 ms a jím odpovídající předpokládané proudy je rozdíl mezi celkovou dobou vypnutí a tavnou dobou zanedbatelný.

Vzhledem k tomu, že v naprosté většině případů nás zajímají vypínací časy delší než 100 ms a jím odpovídající proudy, nedělá se v hovorové řeči rozdíl mezi tavnou a vypínací ampérsekundovou charakteristikou a hovoří se o „vypínací charakteristice“ pojistkové vložky. V oblasti velkých nadproudů, kterým odpovídají velmi krátké časy, se potom pracuje s charakteristikou  $I^2t = f(I_p)$ , viz např. část: 4.3. Jištění vedení proti zkratovým proudům.

Příklad tavných ampérsekundových charakteristik:



Obr. 2-15: Pojistkové vložky PNA2 gG



Obr. 2-16: Pojistkové vložky PNA aM

Průběhy ampérsekundových charakteristik jsou ohraničeny mezemi stanovenými příslušnými předměťovými normami ČSN. Jedny z důležitých mezí pro praktické aplikace jsou meze ohraničující první bod ampérsekundové charakteristiky. Tyto meze jsou stanoveny jako násobky jmenovitých proudů  $I_n$  pojistkových vložek. Jmenovitý proud pojistkové vložky je hodnota proudu, kterou je pojistková vložka schopna vydržet trvale za určených podmínek, bez porušení.

Jmenovitý proud $I_n$ pojistkové vložky [A]	Smluvená doba [h]	Smluvený krajní proud <sup>1)</sup> $I_{nf}$	Smluvený tavný proud <sup>2)</sup> $I_f$
$I_n \leq 4$	1	$1,5 I_n$	$2,1 I_n$
$4 < I_n < 16$	1	$1,5 I_n$	$1,9 I_n$
$16 \leq I_n \leq 63$	1		
$63 < I_n \leq 160$	2		
$160 < I_n \leq 400$	3	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$
$400 < I_n$	4		

Tab. 2-1: Meze pojistkových vložek gG (všeobecné jištění)

Jmenovitý proud $I_n$ pojistkové vložky [A]	Smluvená doba [h]	Smluvený krajní proud <sup>1)</sup> $I_{nf}$	Smluvený tavný proud <sup>2)</sup> $I_f$
$16 \leq I_n \leq 63$	1		
$63 < I_n \leq 160$	2		
$160 < I_n \leq 400$	3	$1,1 I_n$	$1,6 I_n$
$400 < I_n$	4		

Tab. 2-2: Meze pojistkových vložek gR (jištění polovodičů)

Jmenovitý proud $I_n$ pojistkové vložky [A]	Smluvená doba [h]	Smluvený krajní proud <sup>1)</sup> $I_{nf}$	Smluvený tavný proud <sup>2)</sup> $I_f$
$16 \leq I_n \leq 63$	1		
$63 < I_n \leq 160$	2		
$160 < I_n \leq 400$	3	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$
$400 < I_n$	4		

Tab. 2-3: Meze pojistkových vložek gS (jištění polovodičů a kabelů)

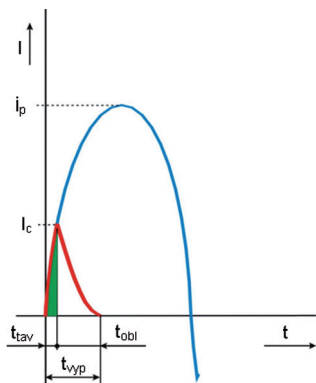
Poznámky:

<sup>1)</sup> při této velikosti proudu nesmí pojistková vložka vypnout do smluvené doby

<sup>2)</sup> při této velikosti proudu musí pojistková vložka vypnout do smluvené doby

#### 2.1.4.2. Omezovací charakteristika

Pokud je předpokládán proud natolik velký, že tavná doba pojistkové vložky je kratší než doba, za kterou by tento proud dosáhl své vrcholové hodnoty, dojde k jeho omezení.



Kde:

$i_p$  .....vrcholová hodnota předpokládaného proudu

$I_c$  .....vrcholová hodnota omezeného proudu

$t_{tav}$  .....tavná doba

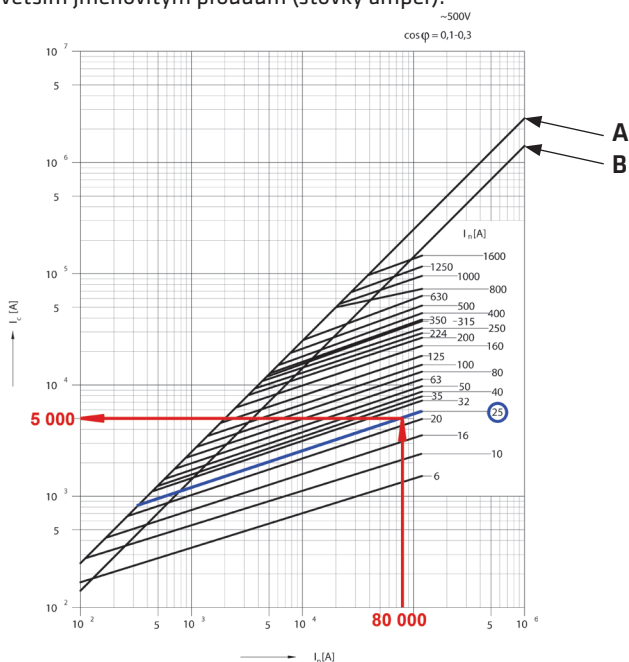
$t_{obl}$  .....doba hoření oblouku

$t_{vyp}$  .....celková vypínací doba

Obr. 2-17: Omezení proudu pojistkovou vložkou

Omezovací charakteristika vyjadřuje velikost omezeného proudu  $I_c$  v závislosti na efektivní hodnotě předpokládaného proudu  $I_p$ , tedy  $I_c = f(I_p)$ . Přitom velikost omezeného proudu zjištěná z omezovací charakteristiky odpovídá vrcholové hodnotě proudu, který projde pojistkovou vložkou při nejnepříznivějších podmínkách v obvodu při vzniku zkratu. Velikost omezeného proudu se s napětím prakticky nemění. Omezení zkratového proudu je významné z hlediska omezení elektrodynamických sil, ale i Jouleova integrálu  $I^2t$ .

Pojistkové vložky gG a aM začínají omezovat proud od 10 ÷ 50 násobku svého jmenovitého proudu. Nižší hodnoty odpovídají pojistkovým vložkám menších jmenovitých proudů (desítky ampér), vyšší hodnoty větším jmenovitým proudům (stovky ampér).



Obr. 2-18: Omezovací charakteristiky pojistkových vložek PNA000 ÷ 4a gG

Příklad omezení proudu pojistkovou vložkou, viz obr. 2-18:

Pojistková vložka PNA gG s jmenovitým proudem  $I_n = 25 \text{ A}$ , bez ohledu na typovou velikost omezí efektivní hodnotu předpokládaného proudu  $I_p = 80\,000 \text{ A}$  (tedy zkratového proudu  $I_k'' = 80 \text{ kA}$ , neboť  $I_p = I_k''$ ) na vrcholovou hodnotu omezeného proudu  $I_c = 5\,000 \text{ A}$ .

Přímky A a B jsou informativní, nijak nesouvisí s parametry pojistkových vložek. Přímka A udává, od jaké velikosti předpokládaného proudu  $I_p$  začíná pojistková vložka omezovat maximálně nesymetrický zkratový proud – s největší stejnosměrnou složkou (v případě pojistkové vložky  $I_n = 25 \text{ A}$  je to proud  $I_p = 300 \text{ A}$ ).

Přímka B udává, od jaké velikosti předpokládaného proudu  $I_p$  začíná pojistková vložka omezovat čistě symetrický zkratový proud (v případě pojistkové vložky  $I_n = 25 \text{ A}$  je to proud  $I_p = 800 \text{ A}$ ).

### 2.1.4.3. Charakteristika $I^2t$

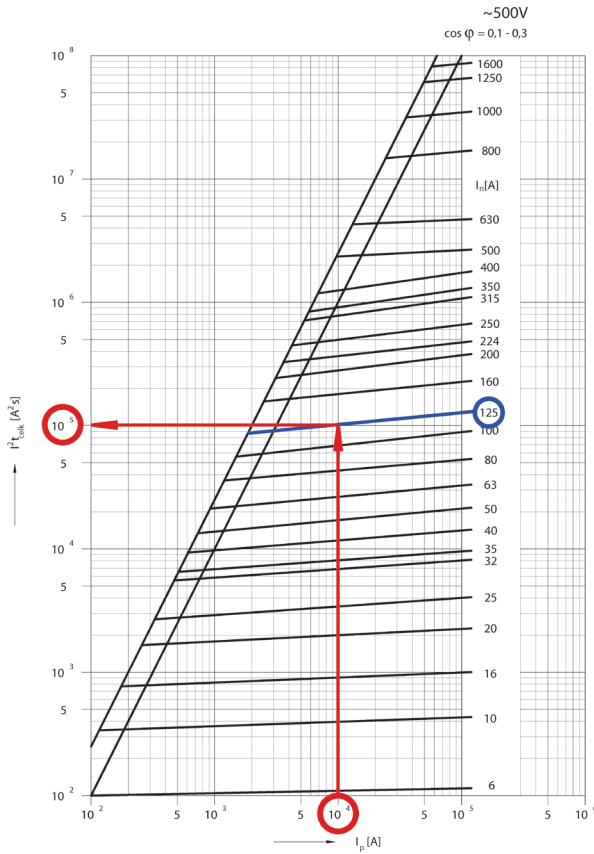
Udává závislost tzv. Jouleova integrálu na efektivní hodnotě předpokládaného proudu, tedy  $I^2t = f(I_p)$ , a to obvykle v rozsahu tohoto proudu, v kterém daná pojistková vložka omezuje.

Jouleův integrál je dán vztahem:

$$I^2t = \int_{t_0}^{t_1} i^2 dt \quad (2-1)$$

Interval  $t_0$  až  $t_1$  je dán celkovou vypínací dobou, tedy součtem tavné doby a doby hoření oblouku. Protože tedy zahrnuje i dobu hoření oblouku a tato doba je delší pro větší napětí a naopak, je velikost Jouleova integrálu  $I^2t$  určité pojistkové vložky závislá na napětí.

Jouleův integrál charakterizuje elektrickou energii propuštěnou jisticím přístrojem, v tomto případě pojistkovou vložkou. Protože, jak známo, elektrickou energii lze vyjádřit vztahem  $W = R I^2t$ , lze také říci, že hodnota Jouleova integrálu v  $\text{A}^2\text{s}$  je číselně rovna elektrické energii v joulech uvolněné v odporu  $1 \Omega$ .



Obr. 2-19: Charakteristiky  $I^2t$  pojistkových vložek PNA000 ÷ 4a gG

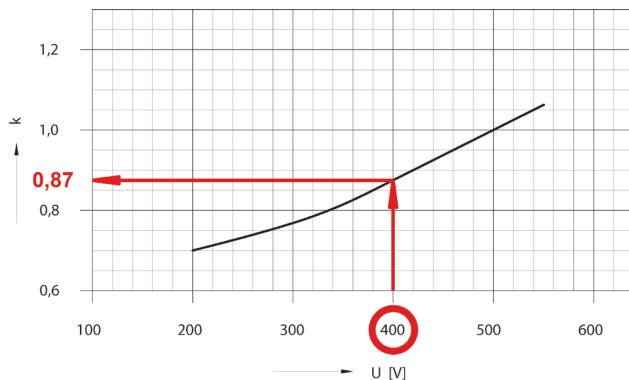
Příklad  $I^2t$  propuštěného pojistkovou vložkou, viz obr. 2-19:

Pojistková vložka PNA gG se jmenovitým proudem  $I_n = 125$  A a jmenovitým napětím  $U_n = 500$  V bez ohledu na typovou velikost propustí při předpokládaném proudu  $I_p = 10\,000$  A a při napětí  $U = 500$  V Jouleův integrál  $I^2t = 100\,000$  A<sup>2</sup>s.

Pokud bychom zjišťovali  $I^2t$  při jiném provozním napětí, musíme vzhledem k závislosti  $I^2t$  na napětí provést přepoččet pomocí korekčního koeficientu „k“:

$$(I^2t)_{f(u)} = k \times (I^2t)_{U_n} \tag{2-2}$$





Obr. 2-20: Příklad závislosti korekčního koeficientu  $k$  na provozním napětí pro pojistkové vložky PNA gG velikosti 000 ÷ 4a

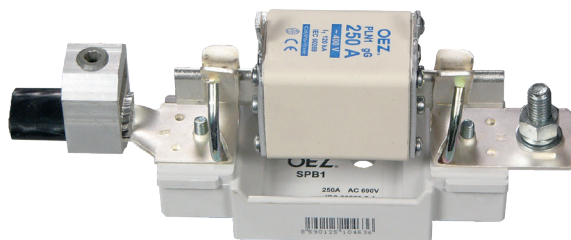
Pro výše uvedený příklad, ale při provozním napětí  $U = 400$  V, bude Jouleův integrál:

$$I^2 t = 0,87 \times 100\,000 = 87\,000 \left[ A^2 s \right]$$

Z hlediska koordinace jisticích přístrojů, jejich selektivního působení, je také důležitý tzv. tavný Jouleův integrál  $I^2 t$  odpovídající ne celkové vypínací době pojistkové vložky jako výše, ale pouze době tavení tavného vodiče. Obvykle se ale v technické dokumentaci pojistkových vložek neudává.

### 2.1.5. Pojistkové přístroje

Dříve se v naprosté většině případů používaly pojistkové vložky spolu s pojistkovými spodky.

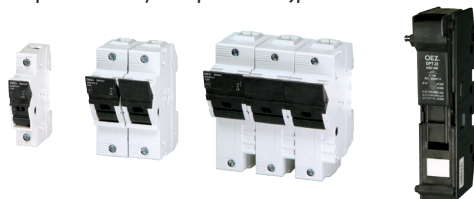


Obr. 2-21: Pojistková vložka s pojistkovým spodkem

Takové řešení je sice levné, má ale podstatné nevýhody. Manipulace s pojistkovou vložkou (vyjmutí nebo zasunutí do pojistkového spodku) se musí provádět jen pomocí speciálního pojistkového držadla, a to bez zatížení. I tak, pokud se provádí pod napětím, je z hlediska bezpečnosti riskantní.

V poslední době se proto stále více používá jako nosičů pojistkových vložek pojistkových odpínačů a odpojovačů. Jejich výhodou je podstatně větší bezpečnost při manipulaci pod napětím. U pojistkových odpínačů navíc možnost zapínání a vypínání i při zatížení. Podmínky spínání (jaký násobek jmenovitého proudu při jakém násobku jmenovitého provozního napětí) udává tzv. kategorie užití.

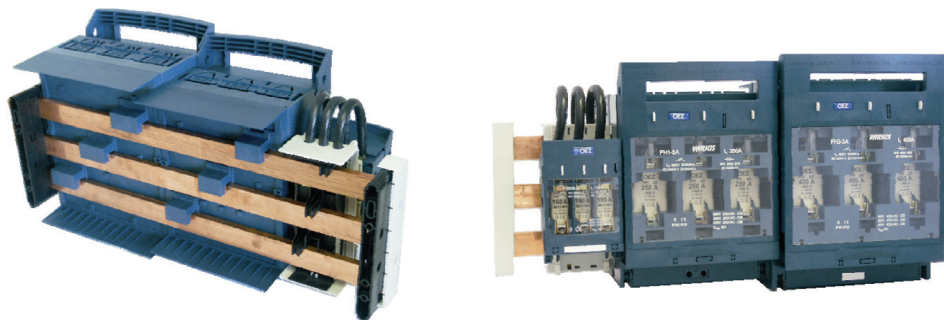
K pojistkovým odpínačům se dodává celá řada příslušenství, jako např. adaptér na přípojnice, dálková a místní signalizace pojistek, dálková signalizace polohy víka, kryty přípojovacích prostorů, přípojovací sady, uzamykací vložky atd. Pojistkové odpínače pro válcové pojistkové vložky a řadové pojistkové odpínače pro nožové pojistkové vložky se vyrábí s různým počtem pólů. Lištové pojistkové odpínače se vyrábí pouze trojpólové.



Obr. 2-22: Pojistkové odpínače OPVP a odpojovač OPT pro válcové pojistkové vložky



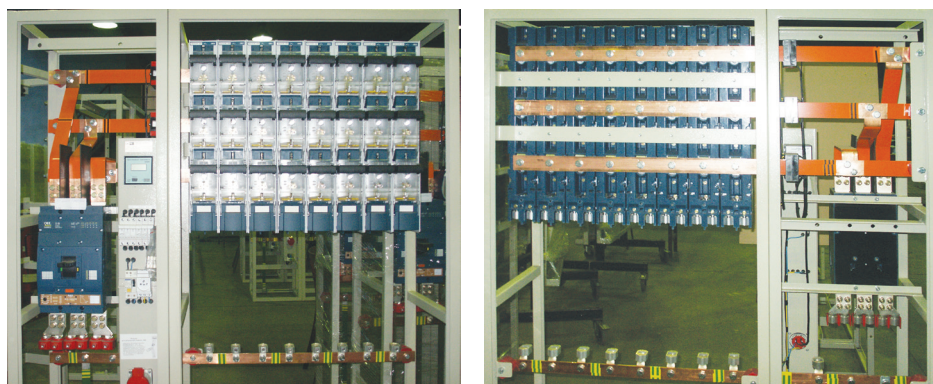
Obr. 2-23: Řadové pojistkové odpínače FH pro nožové pojistkové vložky



Obr. 2-24: Upevnění a připojení řadových pojistkových odpínačů pomocí adaptérů přímo na přípojnice v rozváděči



Obr. 2-25: Lištové pojistkové odpínače FSD a SL



Obr. 2-26: Lištové pojistkové odpínače připojené přímo na přípojnice (přívodní pole - hlavní jistič, vývodní pole - lištové pojistkové odpínače)

V některých méně náročných případech se používají jako nosiče pojistkových vložek pojistkové lišty. Manipulace s pojistkovými vložkami se provádí podobně jako u pojistkových spodků pomocí pojistkového držadla. Proto musí být prováděna také bez zatížení. Pojistkové lišty tedy mohou být použity jen jako odpojovače (kategorie užití AC – 20).



Obr. 2-27: Pojistkové lišty FSR

Celý sortiment pojistkových vložek, pojistkových přístrojů a jejich příslušenství včetně jejich technických parametrů, je uveden v katalogu Pojistkové systémy Varius.

Všechny pojistkové vložky, mimo pojistkové vložky pro jistění polovodičů, jsou obsaženy také ve výpočtovém programu Sichr a lze s nimi pracovat.

### 2.1.6. Normy ČSN týkající pojistkových vložek a pojistkových přístrojů:

ČSN EN 60269 -1	Pojistky nízkého napětí – Část 1: Všeobecné požadavky
ČSN 35 4701-2	Pojistky nízkého napětí – Část 2: Doplnující požadavky pro pojistky určené pro kvalifikovanou obsluhu (pojistky převážně pro průmyslové použití) – Příklady normalizovaných pojistkových systémů A až I
ČSN EN 60269 - 4	Pojistky nízkého napětí – Část 4: Doplnující požadavky pro tavné vložky pro ochranu polovodičových prvků
ČSN EN 60947-1	Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí - Část 1: Všeobecná ustanovení
ČSN EN 60947-3	Spínací a řídicí přístroje nn - Část 3: Spínače, odpojovače, odpínače a pojistkové kombinace

## 2.2. Jističe

Jističe jsou elektrické přístroje, které při dané velikosti nadproudu a době jeho trvání, odpovídající jejich vypínací charakteristice, rozpojí samočinně svými silovými kontakty elektrický obvod a tím zajistí, při jejich správné volbě, ochranu elektrických zařízení před tepelnými případně i dynamickými účinky těchto nadproudů nebo také ochranu osob a zvířat před úrazem elektrickým proudem. Lze je použít opakovaně.

Vznik jisticích si vynutil bouřlivý rozvoj využívání elektrické energie na počátku 20. století. Pojistky svými vlastnostmi ne zcela ve všech případech použití plně vyhovovaly. Vzhledem k principu svého působení (rozpojení obvodu přetavením tavného vodiče) nejsou schopny za vyhovujících podmínek vypínat malé nadproudy, tj. proudy vyšší jen cca o 10 až 30 %, viz tabulky smluvených krajních a tavných proudů pojistkových vložek. Jejich teplota při jmenovitém proudu by byla neúnosně vysoká. V mnoha případech tak vedlo použití pojistek k nutnosti předimenzovat jistěné zařízení. Další nevýhodou pojistek je jejich jednorázové použití.

## 2.2.1. Rozdělení jisticů

### 2.2.1.1. Rozdělení podle účelu použití:

#### a) pro domovní a podobné instalace

Z hlediska zajištění ochrany elektrických zařízení proti nadproudům můžeme do této skupiny jisticích přístrojů zařadit také proudové chrániče s nadproudovou ochranou (ochranou proti přetížení i zkratu), v hovorové řeči nazývané „jističochrániče“.

Jističe i proudové chrániče s nadproudovou ochranou pro domovní a podobné instalace jsou konstruovány s ohledem na předpokládanou laickou obsluhu.



Obr. 2-28: Jističe LTE, LTN, LVN a proudové chrániče s nadproudovou ochranou OLE, OLI produktové řady Minia; rozsah jmenovitých proudů  $I_n = 0,2 \div 125 \text{ A}$

#### b) pro všeobecné použití (jištění transformátorů, vedení, rozváděčů, spínacích přístrojů, motorů atd.)

##### b1) kompaktní jističe – jsou zabudovány v plastovém pouzdru



Obr. 2-29: Produktová řada Modeion, jističe typové velikosti BC160, BD250, BH630, BL1000 a BL1600; rozsah jmenovitých proudů  $I_n = 12 \div 1600 \text{ A}$

b2) vzduchové jističe – jsou zabudovány v oceloplastovém rámu



Obr. 2-30: Produktová řada Arion, jističe Arion WL typové velikosti I, II a III; rozsah jmenovitých proudů  $I_n = 250 \div 6\,300\text{ A}$

c) pro jištění motorů – spouštěče motoru

Vypínací charakteristika je přizpůsobena vlastnostem asynchronních motorů. Mají velkou mechanickou a elektrickou životnost – umožňují tak mimo jištění bez použití dalších přístrojů zapínání a vypínání asynchronních motorů.



Obr. 2-31: Spouštěče motoru SM produktové řady Conteo, typové velikosti SM12, SM25, SM50, SM100 a ekonomické provedení SM1E; rozsah jmenovitých proudů  $I_n = 0,16 \div 100\text{ A}$

Vzhledem ke stejnému účelu použití a tedy i stejným požadavkům na vlastnosti nadproudové ochrany v oblasti přetížení lze v této souvislosti uvést také nadproudová relé pro ochranu motorů proti přetížení, používaná spolu se stykači.



Obr. 2-32: Nadproudová relé SR produktové řady Conteo, typové velikosti SR12, SR25, SR50 a SR100; rozsah jmenovitých proudů  $I_n = 0,16 \div 100\text{ A}$



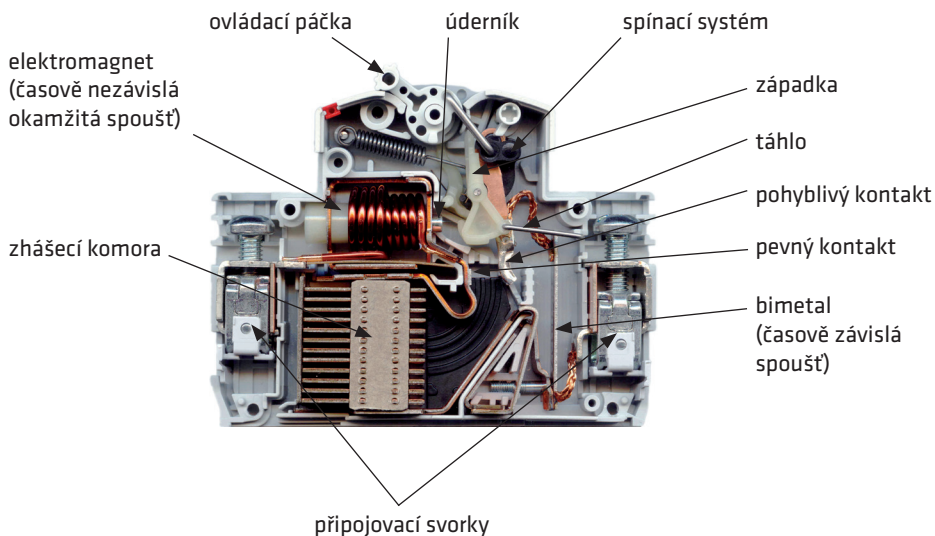
### 2.2.1.2. Rozdělení podle druhu nadproudové spouště

- jističe s termomagnetickou spouští
- jističe s elektronickou spouští
- jističe s kataraktovou spouští (v současné době se až na výjimky nepoužívá)

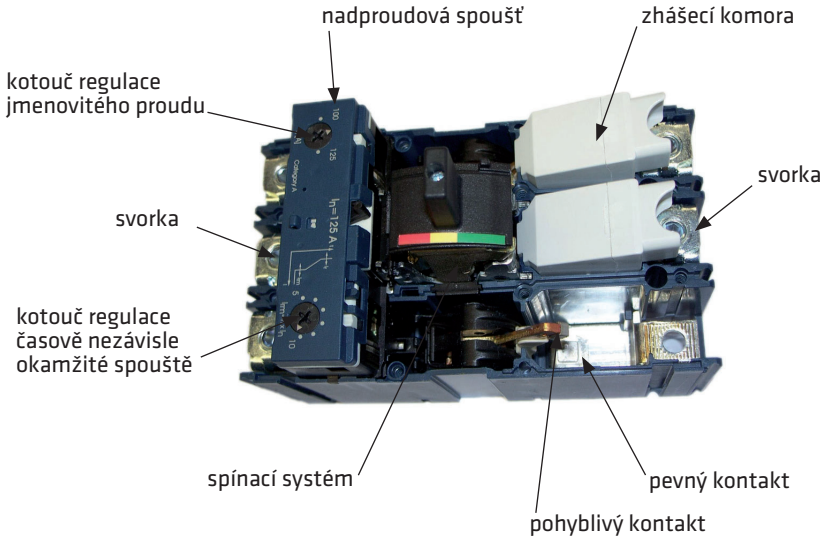
### 2.2.2. Základní části jističů

Jističe se skládají z následujících základních částí, které jsou u jednotlivých druhů jističů řešeny různě:

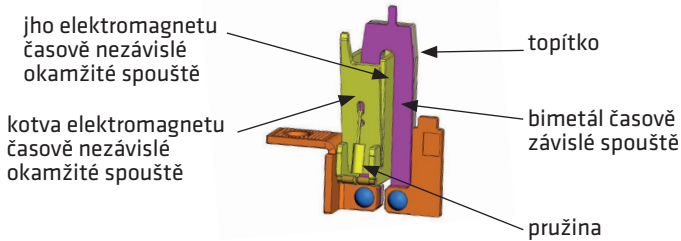
- *přípojovací prvky (svorky, pasy)*  
Zajišťují připojení jističe k vnějšímu obvodu.
- *kontaktní a zhášecí systém*  
Zajišťuje ve vazbě na spínací systém spínání a rozpínání obvodu od nejmenších proudů až po proudy odpovídající jmenovité zkratové zapínací nebo mezní vypínací schopnosti. Používané kontaktní materiály musí být odolné proti sváru a účinkům oblouku. Kontaktní dvojice musí mít malý a dlouhodobě stálý přechodový odpor.
- *spínací systém*  
Zajišťuje ovládání kontaktního systému, jeho zapnutou nebo vypnutou polohu ve vazbě na nadproudovou spoušť, pomocné spouště (napětová nebo podpětová spoušť) nebo ovládací páku jističe.
- *nadproudová spoušť*  
Monitoruje proud v jištěném obvodu, dává popud spínacímu systému k samočinnému rozpojení kontaktů.



Obr. 2-33: Jistič s termomagnetickou nadproudovou spouští pro domovní a podobné instalace

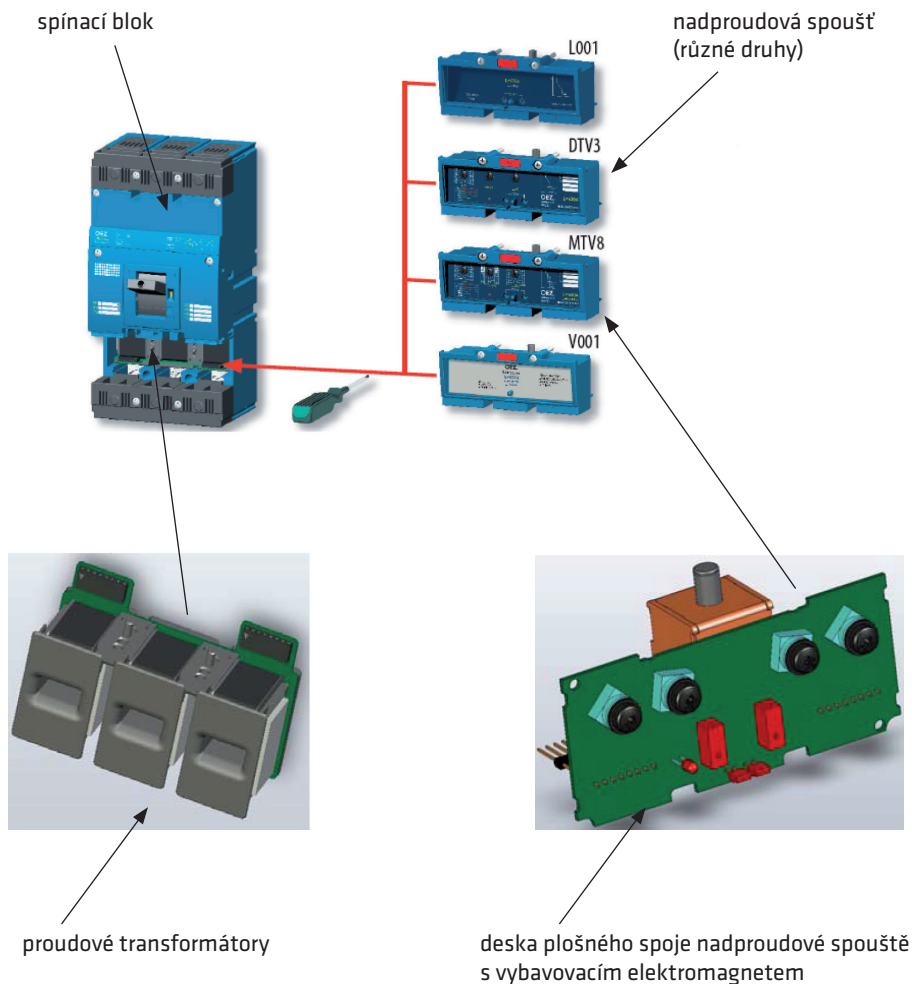


Obr. 2-34: Jistič s termomagnetickou nadproudovou spouští pro všeobecné použití, kompaktní jistič BC160NT305-125-D



Obr. 2-35: Jeden pól termomagnetické nadproudové spouště jističe BC160NT305-125-D





Obr. 2-36: Jističe s elektronickými nadproudovými spouštěmi pro všeobecné použití, kompaktní jističe BD250, BH630, BL1000 a BL1600

### 2.2.3. Princip funkce jističe

Princip funkce jističů se částečně liší podle druhu jejich nadproudové spouště, tj. podle toho, jaká je podstata monitorování proudu procházejícího jističem a tedy i jističem. Termomagnetické nadproudové spouště se skládají ze dvou základních částí. Jednak bimetalu (dvojkov, který při změně teploty mění tvar), který je vyhříván buď jím přímo procházejícím proudem nebo nepřímo topným páskem (topítkem), kterým je bimetal ovinut nebo je k němu přiložen. Bimetal, případně bimetal s topítkem, tvoří základ časově závislé spouště (jinak také nazývané tepelná spoušť nebo spoušť na přetížení). Pokud určitý nadproud prochází dostatečně dlouhou dobu, tuto závislost vyjadřuje časově závislá část vypínací charakteristiky

daného jističe, bimetal se ohřeje a v důsledku toho prohne tak, že prostřednictvím mechanické vazby (lišty, táhla, páky atd.) dojde k uvolnění západky spínacího mechanismu. S využitím energie akumulované v pružinách spínacího systému dojde následně k samočinnému rozpojení silových kontaktů jističe. Druhou základní částí termomagnetických spouští je elektromagnet tvořící podstatu časově nezávislé okamžité spouště (jinak také nazývané okamžitá spoušť nebo zkratová spoušť). Konstrukčně bývá řešen různě. U jisticích pro domovní instalace, tj. LTN, LTE a LVN tvoří vinutí elektromagnetu cívka. Její počet závitů je závislý na jmenovitém proudu a typu (B, C nebo D) jističe. S větším jmenovitým proudem počet závitů klesá. Je také menší u typu jističe C nebo D. Jádro tvoří železný feromagnetický váleček s úderníkem. Pokud proud dosáhne hodnoty odpovídající typu jističe a vyšší, je jádro vtaženo do dutiny cívky elektromagnetu proti síle vratné pružiny. Úderník uvolní západku a následně dojde k rozpojení kontaktů stejně jako při působení bimetalu. Některé jističe, jako např. pro domovní instalace, mají spouště časově závislou a časově nezávislou okamžitou konstrukčně odděleny, umístěny v různých částech jističe. U kompaktních jisticích a spouštěčů motorů tvoří obě tyto základní části nadproudové spouště obvykle jeden celek, viz spoušť jističe BC160. Elektromagnet okamžité spouště tohoto jističe tvoří jho a kotva oddalovaná od jha pružinou. Vinutí elektromagnetu je tvořeno v tomto případě jedním průvlekiem magnetickým obvodem. Průvlek je realizován samotným bimetalem s paralelně připojeným topítkem. Spouště na přetížení a okamžité spouště jednotlivých pólů jsou mechanicky propojeny společnými lištami. Změnou volné dráhy mezi bimetalem a lištou lze regulovat jmenovitý (redukovaný) proud jističe (viz kotouč regulace jmenovitého proudu). Změnou síly pružiny, jejím natažením, lze regulovat působení okamžité spouště (viz kotouč regulace okamžité spouště). Elektronické nadproudové spouště pracují na zcela odlišném principu. Skládají se také z jiných základních částí. Součástí spínacího bloku jističe s elektronickou spouští jsou proudové transformátory v každém pólu jističe, které slouží ke snímání proudu procházejícího jištěným zařízením a současně k napájení vlastní elektronické nadproudové spouště. Jejich primární vinutí je tvořeno jedním průvlekiem. Sekundární vinutí cívkou s mnoha závity. Vlastní elektronická spoušť tvoří samostatný výměnný blok. Jejím základem je deska s plošnými spoji, mikroprocesorem a dalšími elektronickými součástkami, regulačními kotouči spojenými s přepínači, konektory zajišťujícími propojení s proudovými transformátory. Výstupním členem elektronické nadproudové spouště je speciální vybavovací elektromagnet.

Princip činnosti digitální elektronické nadproudové spouště spočívá v tom, že proud snímáný proudovými transformátory spoušť každých 250  $\mu$ s vzorkuje (měří okamžitou hodnotu) a vypočítává skutečnou efektivní hodnotu proudu i při jeho nesinusovém průběhu. Efektivní hodnotu proudu pomocí software vyhodnocuje. To umožňuje použít jisticích s digitální elektronickou spouští i v rozvodech s nesinusovým průběhem proudu (zařízení s přesycenými magnetickými obvody, řízené usměrňovače, frekvenční měniče aj.) a zajistit dokonalé jištění zařízení. První generace elektronických spouští pracujících na analogovém principu reagovaly na maximální (vrcholovou) hodnotu proudu a byly cejchovány na efektivní hodnotu při sinusovém průběhu. Při nesinusovém průběhu pracovaly s menší nebo větší nepřesností, podle odchylky skutečného průběhu proudu od sinusovky. Analogové spouště se již delší dobu nevyrábí. Pomocí regulačních prvků (přepínačů) a software lze dosáhnout požadovaného průběhu vypínací charakteristiky elektronické nadproudové spouště. Díky možné velké variabilitě nastavení vypínací charakteristiky umožňují elektronické spouště podstatně dokonalejší její přizpůsobení požadavkům jištěného zařízení. Umožňují také podstatně dokonaleji řešit selektivitu jisticích přístrojů.

Digitální elektronické spouště umožňují provádět celou řadu dalších činností, mimo vlastní nadproudové jištění. Lze pomocí nich monitorovat zemní proud, provádět měření ostatních

elektrických veličin, nejen proudu. Jsou možné různé způsoby vzájemné komunikace a komunikace s řídicí jednotkou.

Digitální elektronické nadproudové spouště se v současné době používají u jisticích typových velikostí cca 160 A a výše. Přitom tato spodní hranice se rozvojem mikroelektroniky neustále snižuje.

Jističe s elektronickými spouštěmi uvedeného druhu, vzhledem k snímání proudu proudovými transformátory, lze použít jen ve střídavých elektrických rozvodech. Nelze je tedy použít ve stejnosměrných rozvodech. (Existují ale také speciální jističe pro stejnosměrný proud s elektronickými spouštěmi. Snímání proudu je u těchto jisticích realizováno pomocí Hallový sondy. Používají se ojediněle.)

Jističe s termomagnetickými spouštěmi lze použít jak ve střídavých, tak stejnosměrných rozvodech při respektování rozdílnosti některých jejich parametrů.

Dnešní generace jisticích pro domovní rozvody a kompaktních jisticích, mimo největší typové velikosti (BL1000 a BL1600), jsou schopny významně, v podstatě stejně jako pojistkové vložky, omezovat zkratový proud. Je to umožněno konstrukčním řešením proudovodné dráhy ve tvaru smyčky v oblasti kontaktů. Elektrodynamická síla od této smyčky velice rychle, dříve než zkratový proud dosáhne svého maxima, oddálí pohyblivý kontakt. Vzniklý oblouk mezi rozevřenými kontakty je elektrodynamickou silou smyčky vypuzen do zhášecí komory, která je tvořena roštem feromagnetických železných plechů, které působí prostřednictvím magnetického pole také přitažlivou silou na vzniklý oblouk. Tím se oblouk prodlouží, ve zhášecí komoře se oblouk rozdělí mezi jednotlivými plechy na dílčí oblouky, vzroste jeho napětí a následně dochází k jeho ochlazení a deionizaci. Díky tomuto mechanismu je možné dosáhnout významného omezení zkratového proudu, jeho tepelných a dynamických účinků.

#### 2.2.4. Vypínací charakteristiky

Omezovací charakteristiky a charakteristiky udávající závislost tzv. Jouleova integrálu na efektivní hodnotě předpokládaného proudu, tedy  $I^2t = f(I_p)$ , mají stejný význam a vyjadřují se stejným způsobem u jisticích jako u pojistkových vložek, proto se dále zaměříme jen na vypínací charakteristiky jisticích.

Vypínací charakteristika jističe, někdy také nazývána charakteristika čas/proud, vyjadřuje závislost celkového vypínacího času jističe v závislosti na proudu, který jističem prochází. Proud se udává obvykle v násobcích jmenovitého proudu jističe. Vypínací čas odpovídá nezatěžovanému jističi před průchodem daného proudu, tzn. „studenému“ stavu jističe. S velikostí a dobou trvání předchozího zatížení se následná vypínací doba jističe pro stejnou velikost proudu zkracuje. Hovoříme v této souvislosti o tzv. „tepelné paměti“ nadproudové spouště. Z praktického hlediska je tato vlastnost vhodná. Jištěné zařízení má také „tepelnou paměť“ (jeho dovolené přetížení je odvislé od velikosti a doby předchozího zatížení). U elektronických nadproudových spouští je tepelná paměť realizována softwarově. Některé elektronické spouště umožňují její vypnutí. V některých výjimečných případech je to vhodné. Vždy je ale třeba nejdříve provést odpovědné posouzení vzhledem k dimenzování jištěného zařízení.

Průběhy vypínacích charakteristik jisticích jsou ohraničeny mezemi stanovenými příslušnými předmětovými normami ČSN. Jedny z nejdůležitějších mezí pro praktické aplikace jsou, tak jako u pojistkových vložek, meze ohraničující první bod vypínací charakteristiky. Udávají se v násobcích jmenovitého proudu jističe.

Jmenovitý proud jističe je hodnota proudu přiřazená jističi, kterou může vést nepřetržitě.

Meze ohraničující první bod vypínací charakteristiky tvoří:

Smluvený nevypínací proud  $I_{nt}$ , tj. proud, při kterém nesmí jistič vypnout do smluvené doby.

Smluvený vypínací proud  $I_t$ , tj. proud, při kterém musí jistič vypnout do smluvené doby.

Podle účelu použití jisticů jsou případně určeny další meze vypínací charakteristiky.

### 2.2.4.1. Vypínací charakteristiky jisticů pro domovní a podobné instalace

Meze vypínacích charakteristik těchto jisticů jsou dány jejich předmětovou normou ČSN EN 60898-1. V oblasti působení časově závislé (tepelné) spouště jsou stanoveny následující meze pro všechny typy těchto jisticů:

Smluvený nevypínací proud $I_{nt}$ pro $t \geq 1$ h	$I_{nt} = 1,13 I_n$
Smluvený vypínací proud $I_t$ pro $t \leq 1$ h	$I_t = 1,45 I_n$
Proud $I_3$ pro $1 s < t < 60 s$ pro $I_n \leq 32 A$ pro $1 s < t < 120 s$ pro $I_n > 32 A$	$I_3 = 2,55 I_n$

t – vypínací doba jističe

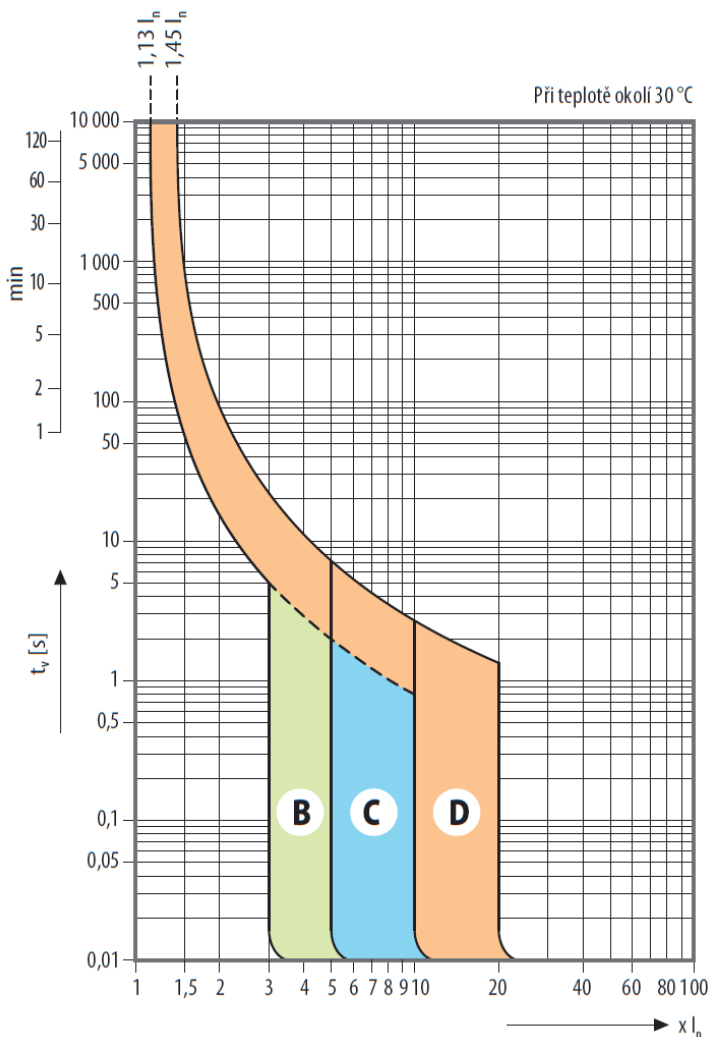
Tab. 2-5: Meze vypínacích charakteristik jisticů podle ČSN EN 60898-1

Z hlediska rozsahu okamžitého (zkratového) vypínání rozlišuje norma jističe třech typů: B, C a D. V hovorové řeči se běžně místo pojmu jistič typu např. C uvádí jistič s charakteristikou C nebo jistič charakteristiky C.

Jistič typu	Rozsah vypínání podle ČSN EN 60898-1
B	nad $3 I_n$ do $5 I_n$ včetně
C	nad $5 I_n$ do $10 I_n$ včetně
D	nad $10 I_n$ do $20 I_n$ včetně

Tab. 2-6: Rozsahy okamžitého vypínání jisticů jednotlivých typů podle normy ČSN EN 60898 -1

Stejně jsou stanoveny meze vypínacích charakteristik nadproudových spouští proudových chráničů s nadproudovou ochranou OLE a OLI podle jejich předmětové normy ČSN EN 61009-1.



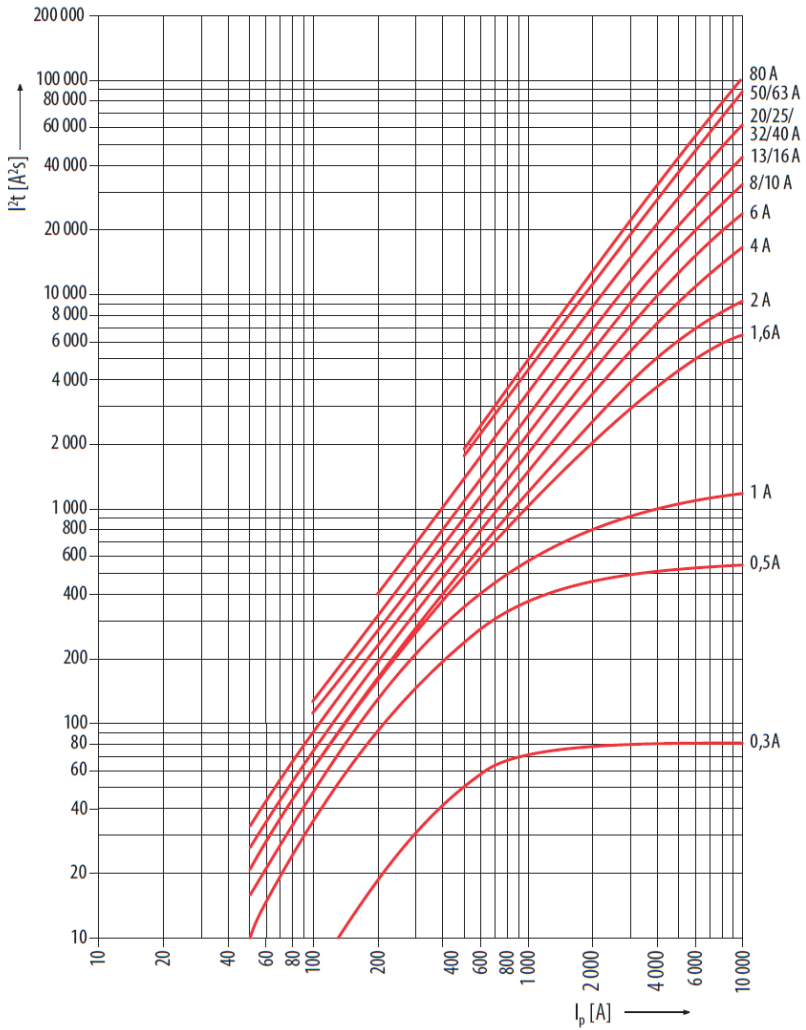
Obr. 2-38 a: Vypínací charakteristiky jističů LTN

**Jističe typu B** jsou vhodné pro jištění vedení napájecí elektrická zařízení, která nezpůsobují velké proudové rázy (jednotlivé nebo malé skupiny žárovek nebo výbojek, zásuvkové obvody apod.).

**Jističe typu C** jsou vhodné pro jištění vedení napájecí elektrická zařízení, která způsobují proudové rázy (větší žárovkové nebo výbojkové skupiny, spínané zdroje, více pólové motory apod.).

**Jističe typu D** jsou vhodné pro jištění vedení napájecí elektrická zařízení, která způsobují velké proudové rázy (transformátory, 2-pólové motory apod.).

LTN charakteristika C



Obr. 2-38 b:  $I^2t$  charakteristiky jističů LTN

### 2.2.4.2. Vypínací charakteristiky jističů pro všeobecné použití

Tyto jističe a rovněž také spouštěče motoru a nadproudová relé používaná ve spojitosti se stykači k jištění motorů mají obvykle možnost proudového nastavení časově závislé nadproudové spouště (spouště na přetížení) v určitém rozsahu proudu. V takovém případě je jmenovitý proud  $I_n$  jističe (nadproudové spouště) roven hodnotě největšího proudového nastavení. Každá jiná menší hodnota konkrétního proudového nastavení jističe se potom nazývá redukovaný jmenovitý proud (krátce redukovaný proud) a označuje se  $I_R$ . Redukovaný proud je dán tedy vztahem:

$$I_R = k \times I_n \quad k \leq 1 \tag{2-3}$$

Redukovaný proud se udává buď jako násobek jmenovitého proudu nadproudové spouště jističe nebo přímo jako hodnota proudu v ampérech.

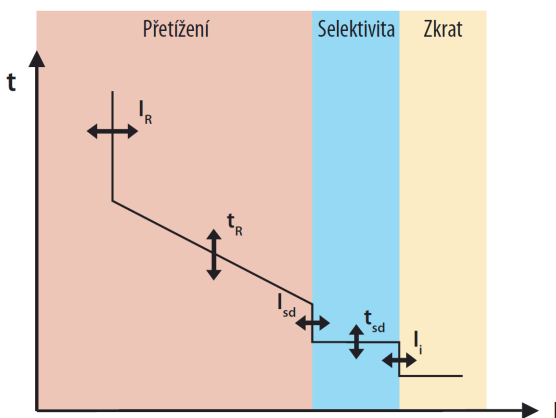
Meze vypínacích charakteristik jističů pro všeobecné použití jsou dány jejich předmětovou normou ČSN EN 60947-2 a jsou stanoveny jen pro její první bod.

Jmenovitý proud $I_n$ jističe [A]	Smluvená doba [h]	Smluvený nevypínací proud $I_{nt}$	Smluvený vypínací proud $I_t$
$I_n \leq 63$	1	1,05násobek proudového nastavení	1,3násobek proudového nastavení
$63 < I_n$	2		

Tab. 2-7: Meze vypínacích charakteristik podle ČSN EN 60947-2

Další průběh vypínací charakteristiky je ponechán na dohodě výrobce a uživatele (přizpůsobení průběhu vypínací charakteristiky jištěnému zařízení). Přitom jsou stanoveny tolerance jednotlivých částí vypínací charakteristiky.

Vypínací charakteristiky těchto jističů mohou mít obecně až 3 pásma:



Obr. 2-39: Obecný průběh vypínacích charakteristik jističů podle ČSN EN 60947-2

### PŘETÍŽENÍ - L

Pásmo malých, ale déle trvajících nadproudů, zahrnuje funkci časově závislé (tepelné) spouště – jištění proti přetížení.

Průběh vypínací charakteristiky v této oblasti se nastavuje parametrem  $I_R$  případně také  $t_R$  (vypínací čas při stanoveném násobku  $I_R$ ). Vhodné nastavení těchto parametrů umožňuje optimálně přizpůsobit vypínací charakteristiku jističe jištěnému zařízení (např. přetěžovací charakteristice vedení, viz kapitola 4.1. a 4.2.).

### SELEKTIVITA - S

Pásmo středních nadproudů (např. vzdálené zkratky na vedení), zahrnuje funkci časově nezávislé zpožděné (selektivní) spouště.

Vhodně nastavené časové zpoždění, tj. parametr  $t_{sd}$  této spouště vzhledem k sousednímu jisticímu přístroji, umožňuje dosáhnout selektivity jištění v této oblasti nadproudů. Přitom lze dosáhnout ochrany odpojením od zdroje při poměrně vysokých hodnotách impedance smyčky (při nastavení proudu, při kterém začíná tato spoušť působit, tj. parametru  $I_{sd}$ , na nižší hodnotu).

V některých případech pro zajištění selektivity (např. s přiřazenou pojistkou) nebo pro dosažení většího využití jištěného zařízení je vhodné použít místo pravouhlého průběhu charakteristiky (přepínač v poloze **I<sup>2</sup>t OFF**) charakteristiky s částečným průběhem podle **I<sup>2</sup>t = konst.** (přepínač v poloze **I<sup>2</sup>t ON**).

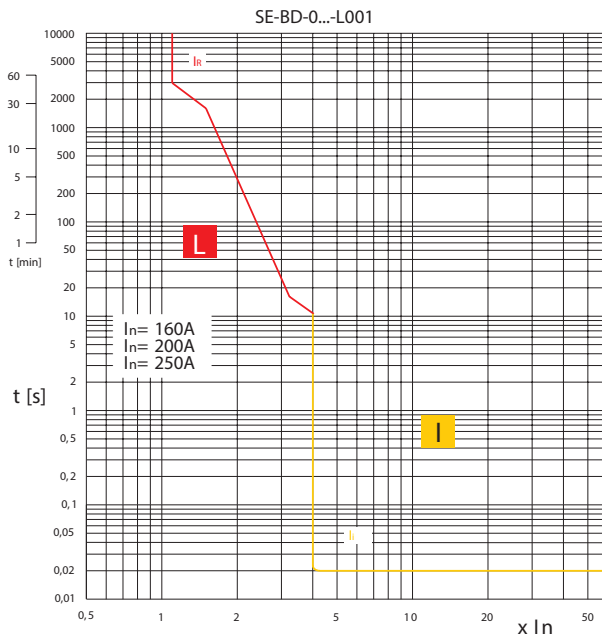
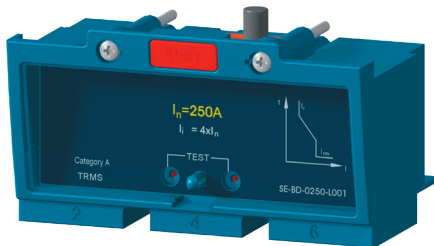
### ZKRAT - I

Pásmo velkých nadproudů, zahrnuje funkci časově nezávislé okamžité (zkratové) spouště – jištění proti mezním zkratovým proudům bez zpoždění.

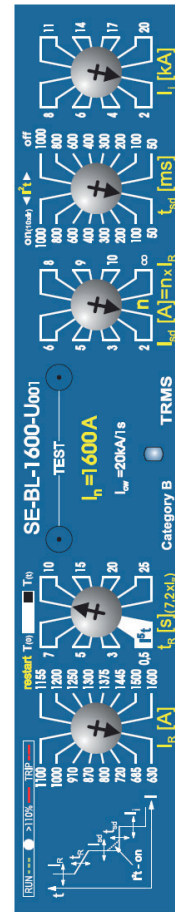
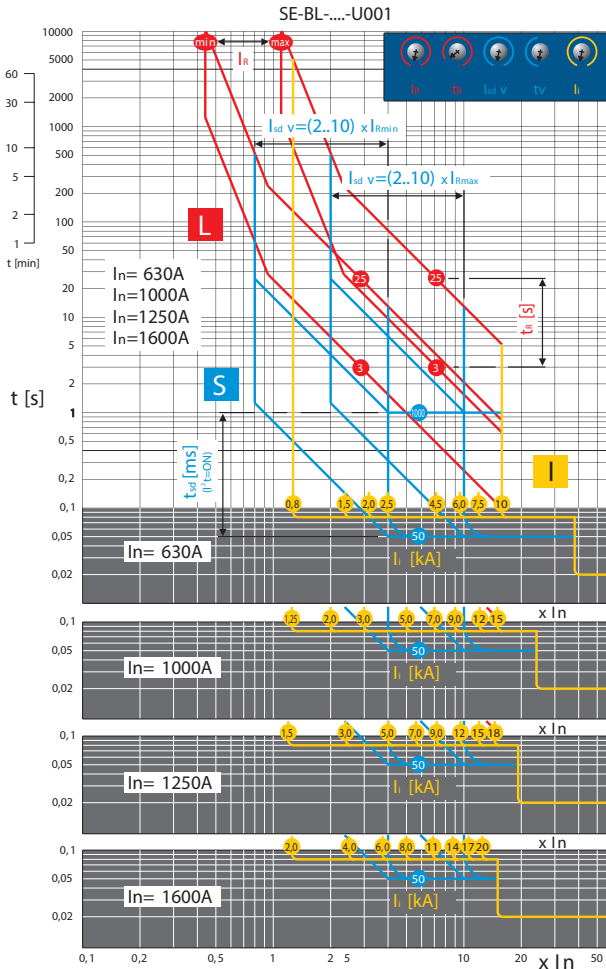
Nastavuje se parametrem  $I_s$ .

K jisticím tohoto druhu se dodává široká škála nadproudových spouští. Od zcela jednoduchých, jejichž vypínací charakteristika obsahuje jen dvě pásma L a I a které nemají žádnou možnost regulace (vypínací charakteristika je pevně nastavena), až po univerzální nadproudové spouště umožňující regulaci všech výše uvedených parametrů, případně i jištění v N-pólu jističe nebo monitorování zemního proudu.



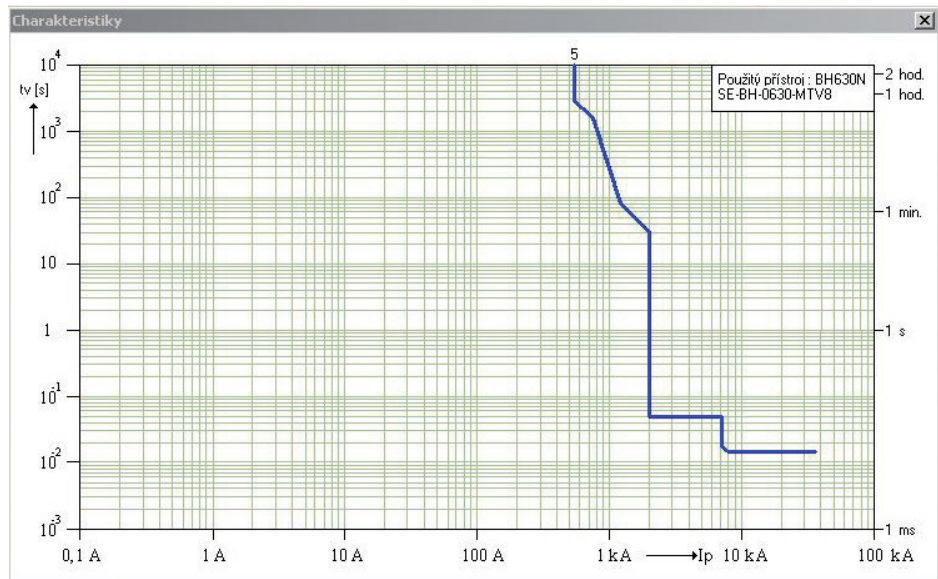
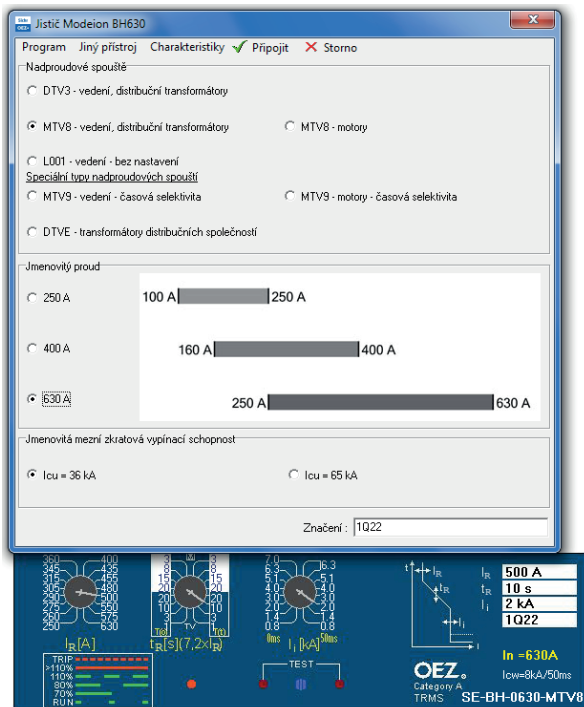


Obr. 2-40: Příklad nejjednodušší digitální elektronické nadproudové spouště typu L001 jističe BD250 a její vypínací charakteristiky



Obr. 2-41: Příklad univerzální digitální elektronické nadproudové spouště typu U001 jističe BL1600, její vypínací charakteristiky a čelního panelu

Vypínací charakteristiky spolu s čelními panely všech druhů nadproudových spouští jednotlivých typů jisticích lze snadno zobrazit ve výpočtovém programu Sichr. Pomocí aktivních regulačních prvků příslušných parametrů lze snadno simulovat možné průběhy vypínacích charakteristik jednotlivých nadproudových spouští.



Obr. 2-42: Příklad zobrazení čelního panelu a vypínací charakteristiky digitální elektronické nadproudové spouště typu MTV8 jističe BH630 pomocí výpočtového programu Sichr

### 2.2.4.3. Vypínací charakteristiky spouštěčů motoru a nadproudových relé

Meze vypínacích charakteristik těchto jisticích přístrojů, jejich nadproudových spouští (relé) na přetížení, jsou dány předmětovou normou ČSN EN 60947-4-1. Jsou definovány meze prvního bodu vypínací charakteristiky v závislosti na počtu napájených pólů, zdali se jedná o teplotně kompenzovanou nebo nekompenzovanou nadproudovou spoušť a citlivou nebo necitlivou na ztrátu fáze. Dále je definováno rozmezí vypínací doby pro 1,5 a 7,2násobek jejich jmenovitého proudu (proudového nastavení), a to v závislosti na tzv. třídě vybavení.

V následujících tabulkách je uveden výtah ze stanovených mezí.

Meze činnosti trojpólových spouští (relé) na přetížení napájených ve všech pólech:

Typ spouště na přetížení	Smluvená doba [h]	Smluvený nevypínací proud $I_{nt}$	Smluvený vypínací proud $I_t$	Referenční teplota okolního vzduchu
tepelný typ kompenzovaný pro změny teploty	2	1,05násobek proudového nastavení	1,2násobek proudového nastavení	+ 20 °C
elektronický typ	2	1,05násobek proudového nastavení	1,2násobek proudového nastavení	- 5 °C, + 20 °C, +40 °C

Tab. 2-9: Meze prvního bodu vypínací charakteristiky

Třída vybavení	Vypínací doba $T_p$ ze studeného stavu při 7,2násobku proudového nastavení	
	běžná tolerance	menší tolerance
10A	$2 < T_p \leq 10$	
10	$4 < T_p \leq 10$	$5 < T_p \leq 10$
20	$6 < T_p \leq 20$	$10 < T_p \leq 20$
30	$9 < T_p \leq 30$	$20 < T_p \leq 30$

Tab. 2-10: Třída vybavení (charakterizuje náročnost rozběhu)

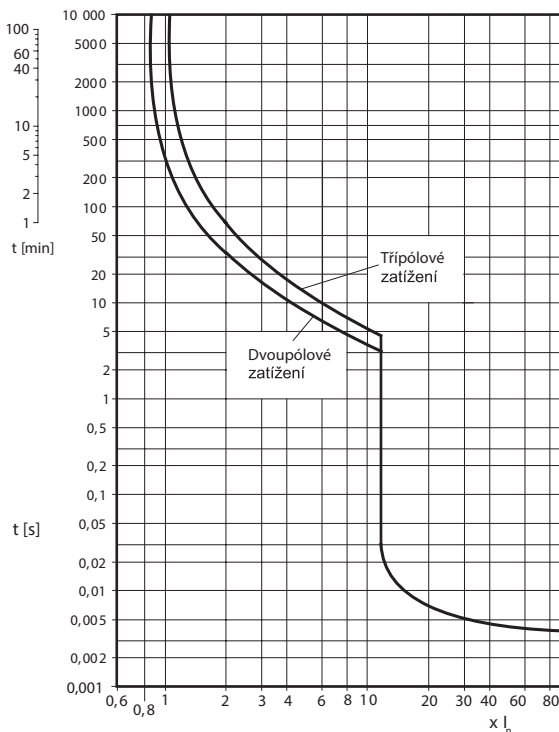
Typ tepelné spouště na přetížení	Smluvená doba [h]	Smluvený nevypínací proud $I_{nt}$	Smluvený vypínací proud $I_t$	Referenční teplota okolního vzduchu
kompenzovaný pro změny teploty necitlivý na ztrátu fáze	2	3 póly 1,0násobek <sup>1)</sup>	2 póly 1,32násobek <sup>1)</sup> 1 pól 0,9násobek <sup>1)</sup>	+ 20 °C
nekompenzovaný pro změny teploty necitlivý na ztrátu fáze	2	3 póly 1,0násobek <sup>1)</sup>	2 póly 1,25násobek <sup>1)</sup> 1 pól 0násobek <sup>1)</sup>	+ 40 °C
kompenzovaný pro změny teploty citlivý na ztrátu fáze	2	2 póly 1,0násobek <sup>1)</sup> 1 pól 0,9násobek <sup>1)</sup>	2 póly 1,15násobek <sup>1)</sup> 1 pól 0násobek <sup>1)</sup>	+ 20 °C

<sup>1)</sup> proudového nastavení

Tab. 2-11: Meze prvního bodu vypínací charakteristiky trojpólových tepelných spouští (relé) na přetížení napájených pouze ve dvou pólech

Spouště na přetížení spouštěčů motorů SM a nadproudových relé SR jsou teplotně kompenzované a citlivé na ztrátu fáze. Mají třídu vybavení 10.

Časově nezávislá okamžitá spoušť spouštěčů motorů je pevně nastavena na  $13 \times I_n$ , tedy hodnotu s dostatečnou rezervou větší, než je za normálních okolností zapínací proud asynchronního motoru (vlivem remanentního magnetizmu a nepříznivému okamžiku zapnutí může dosáhnout krátkodobě větší hodnoty než za normálních okolností).



Obr. 2-43: Vypínací charakteristika spouštěčů motoru SM

Z průběhu vypínací charakteristiky je patrné, že při ztrátě napájení jedné fáze, tedy dvoupólovém zatížení, vypíná spouštěč motoru za dobu ještě kratší než při trojpólovém zatížení. Nemůže tedy dojít k poškození jistěného motoru přetížením při ztrátě fáze.

Digitální elektronické nadproudové spouště MTV8 a MTV9 pro jističe typových velikostí BD250, BH630, BL1000 a BL1600 splňují také výše uvedené požadavky na jistění motorů. Jsou citlivé na ztrátu fáze. Třidu vybavení lze u nich nastavit v rozmezí 10A až 30.

### 2.2.5. Provedení a příslušenství jisticů

Jističe se dodávají v celé řadě provedení a lze je doplnit rozsáhlým příslušenstvím.

**PŘIPOJOVACÍ SADY**

**Třmenové svorky** CS-BD-T011

**Blokové svorky** CS-BD-B011

**Blokové svorky** CS-BD-B012

**Blokové svorky dvojité** CS-BD-B021, CS-BD-B022

**Blokové svorky** CS-BD-B014

**Zadní přívod** CS-BD-A021

**Přední přívod** CS-BD-A011

**Potenciálové svorky** CS-BD-PS01

**RUČNÍ POHONY**

RP-BD-CK...  
RP-BHD-CP...  
RP-BHD-CN...  
RP-BHD-CH...

**Mechanické paralelní spínání**  
RP-BHD-CD10

**Mechanické blokování**  
RP-BHD-CB10

**Mechanické blokování bovdenem**  
MB-BD-PV05  
MB-BHD-PV03

**MOTOROVÉ POHONY** MP-BD-X...  
OD-BHD-KA02  
OD-BHD-PP01

**SPÍNACÍ BLOK**  
BD250SE305  
BD250NE305

**ODNÍMATELNÉ ZAŘÍZENÍ**  
ZO-BD-0250-300

**VÝSUVNÉ ZAŘÍZENÍ**  
ZV-BD-0250-300

**SPÍNÁČE PS-BHD-...**

Jednoduché Dvojité Přepínací Předstihový

**NAPĚTOVÁ SPOUŠŤ** SV-BHD-X...

**PODPĚTOVÁ SPOUŠŤ** SP-BHD-X...

**NADPROUDOVÉ SPOUŠŤE**

SE-BD-....L001 SE-BD-....DTV3 SE-BD-0250-V001

SE-BD-....MTV8 SE-BD-....MTV9 SE-BD-....4D01

**BLOK ODPÍNÁČE**

**DOPLŇKY K ZO... A ZV...**

Propojovací kabel OD-BHD-KA01

Signalizace polohy SO-BHD-0010

**DOPLŇKY**

Uzamykací náhla OD-BD-UP01

Plombovací vložka OD-BD-VP01

Přídavný kryt nadproudové spouště OD-BD-VP02

Kryt svorek OD-BD-KS03

Izolační přepážky OD-BHD-KS02

Klíčovací sada OD-BD-KK01

Obr. 2-44: Přehled provedení a příslušenství kompaktních jisticů BD250

Celý sortiment výše uvedených jisticů včetně veškerého příslušenství, podrobných technických parametrů a rozměrových náčrtů je uveden vždy v příslušném katalogu:

**Modulární přístroje Minia**

- jističe LTN, LTE a LVN
- proudové chrániče s nadproudovou ochranou OLE, OLI

**Kompaktní jističe Modeion**

- jističe BC160, BD250, BH630, BL1000 a BL1600

**Vzduchové jističe Arion WL**

- jističe Arion WL velikostí I, II a III

**Přístroje pro spínání a ovládní Conteo**

- spouštěče motoru SM12, SM25, SM50, SM100 a SM1E
- nadproudová relé SR12, SR25, SR50 a SR100

**2.2.6. Normy ČSN týkající jisticů a nadproudových relé:**

ČSN EN 60898 -1	Elektrická příslušenství – Jističe pro nadproudové jištění domovních a podobných instalací Část 1: Jističe pro střídavý provoz (AC)
ČSN EN 60898 -2	Elektrická příslušenství – Jističe pro nadproudové jištění domovních a podobných instalací Část 2: Jističe pro střídavý a stejnosměrný proud
ČSN EN 61009 -1	Proudové chrániče s vestavěnou nadproudovou ochranou pro domovní a podobné použití (RCBO) Část 1 : Všeobecná pravidla
ČSN EN 60947 -1	Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí Část 1: Všeobecná ustanovení
ČSN EN 60947 -2	Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí Část 2: Jističe
ČSN EN 60947 -4-1	Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí Část 4-1: Stykače a spouštěče motoru – Elektromechanické stykače a spouštěče motoru



### 3. Úvod do problematiky jistění elektrických zařízení

Silnoproudá elektrická zařízení, ať už se jedná o transformátory, elektromotory, frekvenční měniče nebo vedení atd., jsou zařízení vesměs značně drahá. Jejich případné poškození má tak většinou vážný ekonomický dopad. Ten se může ještě podstatně zvýšit v důsledku následných škod, např. přerušením výroby. Proto je důležité, aby byly vytvořeny takové podmínky ochrany zařízení, které zajistí, aby k jejich poškození nemohlo dojít. Velký význam v této souvislosti má ochrana před nedovolenými tepelnými a v některých případech i mechanickými účinky nadproudů, tady správně navržené jistění elektrického zařízení.

Dříve, než se začneme zabývat jistěním podrobněji, vymezme konkrétněji pojem nadproud, který byl v předchozím textu už několikrát uveden a jehož obecný význam asi podvědomě chápeme už ze samotné skladby slova nad-proud. Předpona „nad“ v tomto případě vystihuje hodnotu proudu, která je větší, než určitá jiná hodnota. O kterou charakteristickou hodnotu proudu elektrického zařízení se jedná?

Elektrická zařízení jsou konstruována tak, aby jimi mohl za předepsaných podmínek (teplota okolí, krytí atd.) trvale procházet jejich jmenovitý proud  $I_n$ , u spínacích elektrických přístrojů jmenovitý trvalý proud  $I_u$  (v některých případech se udává tzv. jmenovitý tepelný proud  $I_{th}$ ). Přitom je zajištěno, že teplota (oteplení při předepsané teplotě okolí) jejich rozhodujících částí nepřestoupí maximální dovolenou teplotu (oteplení) při trvalém provozu nebo pokud se jedná o jisticí přístroj, že také nedojde k jeho vypnutí (viz stanovené meze prvního bodu vypínacích charakteristik jednotlivých jisticích přístrojů). Vyšší hodnota proudu procházejícího elektrickým zařízením znamená vyšší elektrické ztráty a tím i zvýšení jejich teploty v ustáleném stavu. Pokud se jedná o jisticí přístroj, ten v souladu s vypínací charakteristikou vypne.

Zde je třeba upozornit na nezáměnnost jmenovitého nebo tepelného proudu s dalším parametrem udávaným u spínacích přístrojů, a to jmenovitým pracovním proudem  $I_e$ . Jmenovitý pracovní proud, na rozdíl od jmenovitého nebo tepelného proudu, závisí na dalších parametrech (jmenovité pracovní napětí, jmenovitý kmitočet, kategorie užití atd.). Je menší nebo maximálně roven jmenovitému trvalému nebo tepelnému proudu.

Maximální dovolená teplota při trvalém provozu závisí na druhu použité izolace. Při jejím překročení dochází k rychlejšímu stárnutí izolace a tím zkrácení životnosti elektrického zařízení. Elektrickým zařízením nemůže tedy trvale protékat proud větší než jeho jmenovitý (trvalý nebo tepelný) proud.

V této souvislosti můžeme říci, že nadproudem je pro určité elektrické zařízení každý proud, který převyšuje jmenovitý (trvalý nebo tepelný) proud tohoto zařízení. Pojem nadproud tedy zahrnuje celou oblast proudů, od proudů velice málo převyšujících jmenovitý proud elektrického zařízení až po mezní proudy dosahované při galvanických zkratech. Jaké mohou být příčiny nadproudů? Může to být např. větší zatížení elektrického zařízení (motor, transformátor atd.) než odpovídá jeho jmenovitému proudu, u elektrického vedení dovolenému zatěžovacímu proudu, nebo vyšší napájecí napětí než jmenovité, případně porucha – zkrat.

Z výše uvedeného by mohl vyplynout nesprávný závěr, že z hlediska ochrany elektrického zařízení proti nadproudům by stačilo a bylo dokonce nejhodnější, kdyby jisticí přístroj zajišťující ochranu reagoval na každý nadproud tekoucí zařízením okamžitým vypnutím a tím odpojením zařízení od zdroje. Pokud by tomu tak bylo, většinu elektrických zařízení bychom nebyli schopni vůbec ani zapnout. Zapínací proud velké části elektrických zařízení je totiž výrazně větší než jejich jmenovitý proud. Doba jeho trvání se pohybuje od několika milisekund do desítek sekund. Přitom z počáteční maximální hodnoty plynule přechází v ustálenou hodnotu. Zapínací proud je dán fyzikálním principem funkce konkrétního elektrického zařízení.

Uved'me několik příkladů:

**Žárovka:** Odpor vlákna žárovky (spirála z wolframového drátku) se s teplotou zvětšuje. Při zapínání žárovky, kdy je její vlákno studené, je tedy odpor vlákna nejmenší a proud tedy největší. Po velice krátké době, trvající několik milisekund, se vlákno silně ohřeje, zvýší se jeho odpor a proud klesne na hodnotu odpovídající deklarovanému výkonu žárovky. Zapínací proud žárovky je až 20násobně vyšší než při jejím provozu.

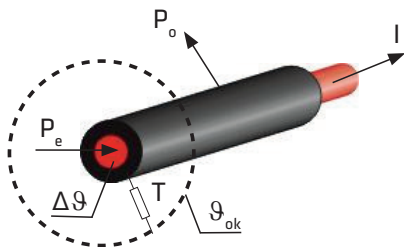
**Transformátor:** Vlivem remanentního magnetizmu a nepříznivého okamžiku připojení transformátoru ke zdroji dojde k přesycení jádra transformátoru a tím dojde k přechodovému stavu, který se vyznačuje výrazným krátkodobým poklesem jeho impedance proti ustálenému stavu. Pokles impedance tak znamená zvýšení zapínacího proudu transformátoru. Přechodový děj trvá od desítek po stovky milisekund. Zapínací proud může dosáhnout 10 až 50násobku jmenovitého proudu transformátoru podle vlastností jádra transformátoru, jeho bodu sycení a konstrukčního řešení transformátoru.

**Asynchronní elektromotor:** Asynchronní elektromotor se při zapínání chová podobně jako transformátor nakrátko. Jeho zapínací proud je také omezen jen jeho impedancí nakrátko. Podle počtu pólů se pohybuje zapínací proud při přímém rozběhu mezi 3 až 8násobkem svého jmenovitého proudu. Přitom nejvyšší hodnoty odpovídají dvoupólovému motoru, nižší hodnoty motorům více pólovým. Doba nadproudu závisí na náročnosti rozběhu.

V celé řadě případů by také asi nebylo vhodné, kdyby elektrické zařízení bylo odpojeno během provozu vždy, pokud dojde jen krátkodobě k jeho přetížení (zatížení větší než jmenovité a tomu odpovídající hodnota nadproudu). Zřízení by v mnoha případech muselo být nadměrně předimenzováno.

### 3.1. Princip oteplování elektrických zařízení

Doposud byl zmiňován v souvislosti s maximální dovolenou teplotou (oteplením) elektrického zařízení jen jeho trvalý provoz, ustálený stav. Je zřejmé, že pro správný návrh jistění elektrického zařízení, které by umožnilo jeho provoz a dobré využití, je to nedostatečné. Musíme respektovat reálnou existenci nadproudů během provozu zařízení, přitom ovšem zajistit, aby nedošlo k výraznějšímu zkrácení jeho životnosti nebo dokonce havárií vlivem tepelného porušení izolace. Uved'me si proto, co se děje s elektrickým zařízením od samotného začátku průchodu proudu, jak se mění jeho teplota respektive oteplení při dané teplotě okolí a co z toho vyplývá. Pro jednoduchost si za příklad vezmeme přímý izolovaný vodič:



Kde:

- I ..... proud procházející vodičem [A]
- $P_e$  ..... ztrátový elektrický výkon ve vodiči [W]
- $P_o$  ..... výkon odváděný do okolí vodiče [W]
- $\Delta\theta$  ..... oteplení vodiče [K]
- $\theta_{ok}$  ..... teplota okolí [°C]
- T ..... tepelný odpor mezi jádrem vodiče a okolím [K/W]

Obr. 3-1: Znázornění poměrů při zatěžování izolovaného vodiče

Obrázek znázorňuje izolovaný vodič, kterým prochází proud  $I$  konstantní velikosti. Průchodem proudu vzniká ve vodiči ztrátový elektrický výkon:

$$P_e = R \times I^2 \tag{3-1}$$

Kde:  $R$  ..... elektrický odpor vodiče [ $\Omega$ ]

V důsledku ztrátového výkonu se vodič začne ohřívat. Závislost okamžité hodnoty oteplení vodiče na čase popisuje oteplovací rovnice:

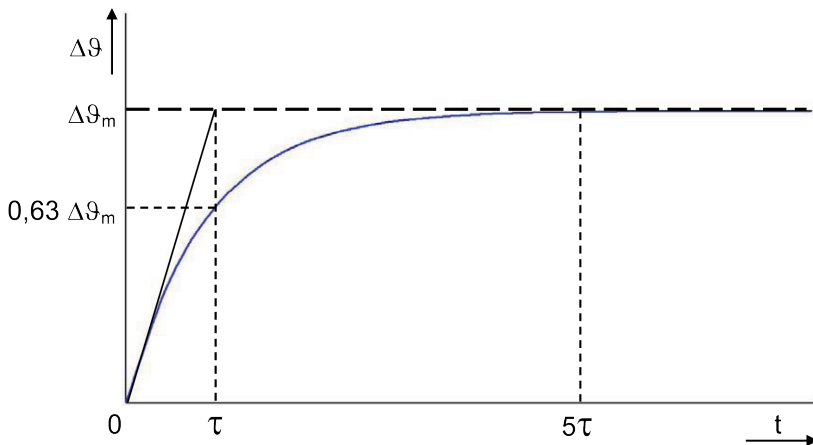
$$\Delta v = \Delta v_m \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \tag{3-2}$$

Kde:  $\Delta \vartheta_m$  ..... maximální (ustálené) oteplení [K]  
 $t$  ..... čas [s]  
 $\tau$  ..... časová oteplovací konstanta [s]

Pro úplnost uvedme také vztah pro teplotu vodiče:

$$v = \Delta v + v_{ok} \tag{3-3}$$

Grafickým vyjádřením oteplovací rovnice a tedy průběhu oteplování vodiče je oteplovací křivka:



Obr. 3-2: Oteplovací křivka

Z průběhu oteplování je patrné, že skoková změna proudu nevyvolá skokovou změnu oteplení, ale že oteplení se zvyšuje postupně a má exponenciální průběh. Z počátku se zvyšuje relativně rychle, postupně se rychlost oteplování zmenšuje. Přibližně za dobu  $5\tau$  (matematicky za nekonečně dlouhou dobu) se prakticky už nezvyšuje, je dosaženo maximálního oteplení a tedy ustáleného stavu.

Proč neodpovídá průběh oteplení skokovému průběhu proudu? Je to způsobeno tepelnou kapacitou  $C_T$  vodiče. Na začátku oteplování se velká část elektrických ztrát přemění v teplo a akumuluje do vodiče a jen malá část se odvádí přes tepelný odpor  $T$ , který je dán izolací vodiče a prostředím, ve kterém je uložen, do okolí vodiče. Je to dáno tím, že z počátku je oteplení vodiče relativně malé vzhledem k hodnotě ustáleného oteplení. Postupně, jak se zvyšuje oteplení vodiče, roste výkon odváděný do okolí a na úkor toho se snižuje část elektrických ztrát, která se mění v teplo, akumuluje do vodiče a zvyšuje tak jeho teplotu. V konečném stádiu, ustáleném stavu, se ztrátový výkon ve vodiči  $P_e$  rovná výkonu odváděnému do okolí  $P_o$ :

$$P_e = P_o \quad (3-4)$$

Výkon odváděný do okolí je přímo úměrný rozdílu teplot vodiče a okolí, tedy maximálnímu oteplení  $\Delta\vartheta_m$  vodiče a nepřímo úměrný tepelnému odporu  $T$ :

$$P_o = \frac{\Delta\vartheta_m}{T} \quad (3-5)$$

A tedy po dosažení za ztrátový výkon  $P_e$  a výkon odváděný do okolí  $P_o$ :

$$I^2 R = \frac{\Delta\vartheta_m}{T} \quad (3-6)$$

Maximální oteplení vodiče je potom dáno vztahem:

$$\Delta\vartheta_m = I^2 \times R \times T \quad (3-7)$$

Z výše uvedeného popisu mechanismu oteplování vodiče je patrné, že rychlost jeho oteplování a tím doba, kdy dosáhne prakticky ustáleného oteplení, je úměrná jeho tepelné kapacitě (jíímavosti) a tepelnému odporu mezi jeho jádrem vodiče a okolím. Tuto skutečnost vyjadřuje časová oteplovací konstanta  $\tau$ :

$$\tau = C_T \times T \quad (3-8)$$

Velikost časové oteplovací konstanty vyjadřuje, za jakou dobu v sekundách by vodič dosáhl maximální hodnoty oteplení, pokud by se žádný ztrátový výkon neodváděl do okolí. Také lze říci, že za dobu rovnající se jedné časové oteplovací konstantě dosáhne reálné oteplení vodiče hodnoty  $0,63 \Delta\vartheta_m$  (viz obrázek grafické vyjádření oteplovací rovnice).

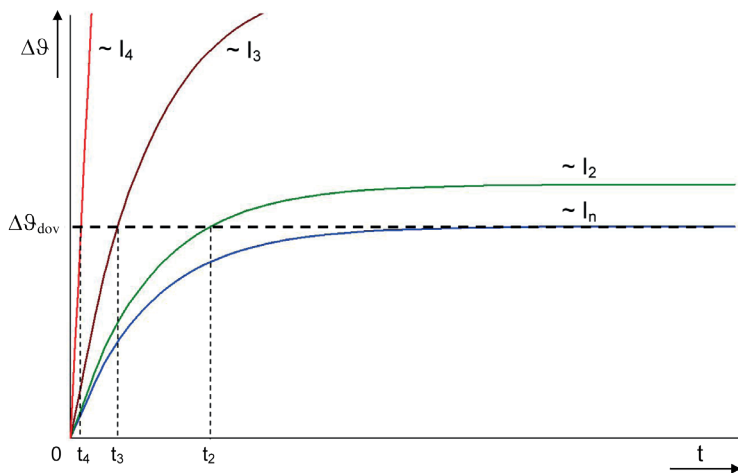
Pro úplnost je třeba uvést, že ve skutečnosti se tepelná kapacita  $C_T$  a tepelný odpor  $T$  mění s teplotou. Ztrátový elektrický výkon není vždy přesně úměrný druhé mocnině elektrického proudu, jak si např. ukážeme v části týkající se jištění vedení. Tím je popsán průběh oteplování částečně zjednodušen. Na princip oteplování to ovšem nemá vliv.

Uvedený způsob oteplování neplatí pochopitelně jen pro zvolený příklad vodiče, ale platí obecně.

### 3.2. Ideální průběh vypínací charakteristiky jisticího přístroje

Nyní si ukažme, co vyplývá z průběhu oteplování a jaké z toho plynou požadavky na vypínací charakteristiky jisticích přístrojů.

Budeme uvažovat elektrické zařízení, které bude zatěžováno postupně čtyřmi různě velkými proudy  $I_1, I_2, I_3$  a  $I_4$ . Ve všech případech bude počáteční teplota zařízení stejná a bude se rovnat předepsané teplotě okolí. Při jmenovitém proudu  $I_n$  dosáhne oteplení elektrického zařízení v ustáleném stavu právě maximální dovolené hodnoty  $\Delta\vartheta_{dov}$ . Proud  $I_2$  bude o 10 % větší než  $I_n$ , proud  $I_3$  o 50 % a proud  $I_4$  bude 3x větší než  $I_n$ . Znázorníme si příklad průběhů oteplování zařízení, které je charakterizováno určitou hodnotou časové oteplovací konstanty, odpovídající jednotlivým proudům:

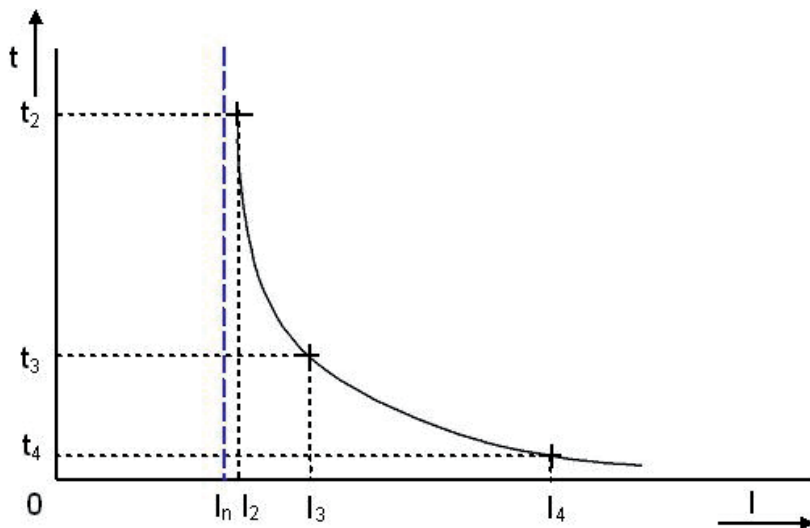


Obr. 3-3: Průběhy oteplování

Jmenovitý proud tedy může zatěžovat elektrické zařízení, v souladu s tím co jsme uvedli, trvale. Pokud bude zařízení zatěžováno proudem  $I_2$ , dosáhne v okamžiku  $t_2$  jeho oteplení hodnoty rovnající se maximálnímu dovolenému oteplení  $\Delta\vartheta_{dov}$ . Aby nebylo překročeno dovolené oteplení, může proud  $I_2$  protékat tedy jen omezenou dobu. V případě zatěžování zařízení proudem  $I_3$  dosáhne zařízení dovoleného oteplení v okamžiku  $t_3$ . Doba možného zatěžování se dále zkrátila. V případě zatěžování proudem  $I_4$ , který je 3x větší než jmenovitý proud zařízení, je možná doba zatěžování již velmi krátká.

Z uvedeného vyplývá, že elektrickým zařízením může téci bez poškození i proud větší než je jeho jmenovitý proud, ale jen po určitou dobu. Tato doba se s rostoucí velikostí proudu výrazně zkracuje.

Závislost doby průchodu proudem elektrickým zařízením v závislosti na velikosti tohoto proudu, přičemž oteplení zařízení dosáhne právě maximální dovolené teploty, vyjadřuje křivka mezního zatížení elektrického zařízení (mezní charakteristika zařízení). Pokud bude elektrické zařízení zatěžováno proudem po dobu odpovídající průběhu této křivky, nebude překročeno jeho maximální dovolené oteplení a přitom bude dosaženo jeho optimálního využití z hlediska jeho dimenzování. Průběh mezní charakteristiky elektrického zařízení odpovídající příkladu je znázorněn na obr. 3-4:



Obr. 3-4: Mezní charakteristika elektrického zařízení

Jaký význam má mezní charakteristika elektrického zařízení pro volbu jisticího přístroje, který zajišťuje jeho nadproudovou ochranu?

Z výše uvedeného je zřejmé, že mezní charakteristika elektrického zařízení vyjadřuje také průběh ideální vypínací charakteristiky jisticího přístroje tohoto zařízení. V praxi nedosáhneme ideálního stavu, kdy by v celém průběhu byly totožné mezní zatěžovací charakteristika zařízení a vypínací charakteristika jisticího přístroje. Je to způsobeno reálnými vlastnostmi jisticích přístrojů a v mnoha případech omezenými relevantními informacemi o jištěném zařízení. Také vzhledem k možným tolerancím jednotlivých charakteristik by to nebylo ani správné. Vždy ale musí ležet vypínací charakteristika jisticího přístroje vlevo pod mezní charakteristikou jištěného elektrického zařízení. Čím více se budou obě charakteristiky blížit, tím větší využití jištěného zařízení bude možné.

Závěrem je třeba ještě uvést, jak to bude vypadat, pokud jištěné zařízení bylo před průchodem proudem zatěžováno, např. došlo ke změně velikosti proudu. V takovém případě procházel předcházející zatěžovací proud pochopitelně také jisticím přístrojem a ten na nový, vyšší nadproud vypne za kratší dobu než ze studeného stavu, viz „tepelná paměť“ nadproudové spouště (část 2.2.4. Vypínací charakteristiky). Zkrácení je úměrné předcházejícímu zatížení, podobně jako tomu je u jištěného zařízení. Proto, až na výjimky, není vhodné vypínat tepelnou paměť u jisticích s elektronickými nadproudovými spouštěmi (tepelná paměť zajištěna softwarově).

## 4. Jištění vedení

Silnoproudá vedení jsou tvořena vícežilovými nebo jednožilovými kabely nebo vodiči. V některých případech jsou vzdušná energetická distribuční vedení tvořena holými ocelohliníkovými AIFe lany. Tak jako jiná elektrická zařízení, je nutné i vedení dostatečně dimenzovat a chránit je proti nadproudům, tj. jistit proti přetížením a zkratům. Problematikou jištění vedení se zabírá norma ČSN 33 2000-4-43.

Při návrhu vedení, tj. jeho dimenzování a jištění se vychází mimo jiné z následujících dovolených teplot, stanovených pro jednotlivé druhy izolace kabelů:

- maximální dovolená teplota při trvalém provozu
- maximální dovolená teplota při přetížení
- maximální dovolená teplota při zkratu

Přitom se předpokládá, že vedení bude navrženo tak, že se malé dlouhodobé nadproudy nebudou vyskytovat příliš často a zkratové proudy jen zcela výjimečně. V takovém případě bude životnost vedení dostatečná, i když je přípustně překročení dovolené teploty při trvalém provozu vyšší maximální dovolenou teplotou při přetížení a zkratu. Hodnoty maximálních dovolených teplot pro vodiče a kabely s nejrozšířenějšími druhy izolace jsou:

		Izolace vodiče, kabelu		
		PVC	Zesítený polyetylen	Etylenpropylen
Maximální dovolená teplota [°C]	při trvalém provozu	70	90	90
	při přetížení	120	120	130
	při zkratu	160	250	250

Tab. 4-1: Maximální dovolené teploty vodičů a kabelů

### Poznámka:

V některých případech mohou být omezeny maximální dovolené teploty vodičů nebo kabelů v důsledku vnějších vlivů. Například teplota vedení uloženého na hořlavém podkladu nesmí při jakémkoliv nadproudu, tedy přetížení ani zkratu, překročit 120 °C, viz ČSN 33 2312. To je třeba respektovat při návrhu ochrany takového vedení proti přetížení a zkratu, viz dále – přetěžovací charakteristika vedení a součinitel k.

Výpočtový program Sichr umožňuje kontrolu zajištění ochrany vedení proti přetížení a zkratu i v těchto případech.

Abychom zajistili předpoklad, že se malé dlouhodobé nadproudy nebudou vyskytovat příliš často, je nutné dostatečně dimenzovat průřez vedení.

### 4.1. Dimenzování průřezu vedení

Dimenzování průřezu vedení vychází z celé řady požadavků. Jednak to jsou požadavky vyplývající z tepelných účinků proudů, tedy zajištění nepřekročení maximálních dovolených teplot vedení, jak bylo uvedeno, ale jsou to také další požadavky – nepřekročení dovoleného úbytku napětí na vedení a zajištění, spolu s daným jisticím přístrojem, ochrany automatickým odpojením od zdroje při poruše (impedance poruchové smyčky a tedy i navrhovaného vedení). Může jím ale být také požadavek minimálního přípojovacího průřezu konkrétního elektrického přístroje z důvodu

nepřekročení povoleného oteplení jeho připojovacích svorek nebo ekonomický požadavek stanovení průřezu na základě minimalizace celkových nákladů spojených s pořízením a provozem vedení, tzv. ekonomická optimalizace průřezu vedení.

Dále se budeme zabývat jen požadavky nepřekročení maximálních dovolených teplot vedení. Jedním z těchto požadavků je, že nesmí být překročena maximální dovolená teplota jádra kabelu (vzdušného vedení) při trvalém provozu. Tuto podmínku vystihuje nerovnost (uvedená v normě ČSN 33 2000-4-43, čl. 433.2 Koordinace mezi vodiči a jisticími prvky):

$$I_b \leq I_n \leq I_z \tag{4-1}$$

Kde:  $I_b$ .....výpočtový (soudobý) proud [A]  
 $I_n$ .....jmenovitý proud jisticího přístroje [A]  
 $I_z$ .....dovolené proudové zatížení vedení [A]

Abychom zajistili splnění této podmínky, musíme znát výpočtový proud procházející vedením. Dále zvolíme vhodný jisticí přístroj se jmenovitým proudem (redukovaným jmenovitým proudem u jističů s regulovatelnou časově závislou spouští) větším než je výpočtový proud. Uvedený vztah nám sice dává možnost rovnosti výpočtového a jmenovitého proudu, ale z praktického hlediska, zvláště při návrhu vedení napájejícího větší množství spotřebičů, to není vhodné. Zvyšuje se riziko, že jisticí přístroj bude vypínat a přitom k tomu nemusí být z hlediska ochrany vedení důvod. Například stanovíme výpočtový proud menší než ve skutečnosti bude a přitom dovolený zatěžovací proud vedení vyšší zatížení dovolí. Také musíme vzít v úvahu možné budoucí zvýšení odběru.

Dále je třeba stanovit průřez vedení tak, aby jeho dovolené proudové zatížení odpovídalo nerovnosti (4-1). V některých případech, kdy jsou použity jednožilové kabely (relativně krátká časová oteplovací konstanta) nebo pojistkové vložky gG pro jištění proti přetížení, nemusí být splnění této podmínky pro  $I_z$  rovný nebo jen o málo větší než  $I_n$  dostačující. Nemusí být také dostačující v případě velkých hodnot propuštěného Jouleova integrálu  $I^2t$  jisticím přístrojem, který chrání vedení před zkratem. V takových případech je limitován průřez vedení podmínkou nepřekročení maximální dovolené teploty při přetížení nebo zkratu.

#### 4.1.1. Výpočtový proud vedení

Pokud navrhované vedení napájí jeden spotřebič, je stanovení výpočtového proudu snadné. Výpočtový proud se v tom případě rovná jmenovitému proudu spotřebiče. Pokud neznáme jmenovitý proud, ale výkon nebo příkon spotřebiče, jmenovitý proud spočítáme. V případě výpočtu z výkonu musíme uvažovat také účinnost spotřebiče.

Výpočtový proud pro jeden trojfázový spotřebič:

$$I_b = I_n = \frac{1000 \times P_{1p}}{\sqrt{3} \times U_s \times \cos \varphi} = \frac{1000 \times P_{1v}}{\sqrt{3} \times U_s \times \cos \varphi \times \eta} \tag{4-2}$$

Výpočtový proud pro jeden jednofázový spotřebič:

$$I_b = I_n = \frac{1000 \times P_{1p}}{U \times \cos \varphi} = \frac{1000 \times P_{1v}}{U \times \cos \varphi \times \eta} \tag{4-3}$$



Výpočtový proud pro jeden stejnosměrný spotřebič:

$$I_b = I_n = \frac{1000 \times P_{1p}}{U} = \frac{1000 \times P_{1v}}{U \times \eta} \quad (4-4)$$

Kde:  $I_b$  ..... výpočtový proud [A]  
 $I_n$  ..... jmenovitý proud [A]  
 $P_{1v}$  ..... výkon jednoho spotřebiče [kW]  
 $P_{1p}$  ..... příkon jednoho spotřebiče [kW]  
 $U_s$  ..... jmenovité sdružené napětí [V]  
 $U$  ..... jmenovité fázové napětí jednofázového spotřebiče nebo jmenovité stejnosměrné napětí spotřebiče [V]  
 $\cos \varphi$  ..... účinník spotřebiče  
 $\eta$  ..... účinnost spotřebiče

V některých případech je spotřebič předimenzován a není plně zatěžován. Například vyměníme porouchaný elektromotor za nový, o větším výkonu. Potom je výpočtový proud dán jmenovitým proudem vynásobeným součinitelem využití.

$$I_b = k_z \times I_n \quad (4-5)$$

Kde:  $k_z$  ..... součinitel využití

Pokud navrhované vedení napájí skupinu spotřebičů nebo celý provoz, případně firmu, v bytovém rozvodu několik bytů nebo rodinných domků, musíme nejdříve spočítat výpočtové (soudobé) zatížení. V průmyslových rozvodech obvykle z instalovaných výkonů všech spotřebičů, v bytových rozvodech ze soudobých příkonů všech bytů (rodinných domků).

$$P_b = P_i \times \beta \quad (4-6)$$

Kde:  $P_b$  ..... výpočtové zatížení [kW]  
 $P_i$  ..... instalovaný výkon všech spotřebičů (průmyslové rozvody) nebo soudobý příkon všech bytů, rodinných domků (bytové rozvody) [kW]  
 $\beta$  ..... součinitel náročnosti (průmyslové rozvody, viz ČSN 34 1610) nebo soudobost (bytové rozvody, viz ČSN 33 2130) (ve výpočtovém programu SICHR je označen písmenem B, podle konkrétní řešení situace může odpovídat součiniteli náročnosti nebo soudobosti)

Výpočtový proud pro skupinu trojfázových spotřebičů (také bytů, rodinných domků):

$$I_b = \frac{1000 \times P_b}{\sqrt{3} \times U_s \times \cos \varphi} \quad (4-7)$$

Výpočtový proud pro skupinu jednofázových spotřebičů (také bytů):

$$I_b = \frac{1000 \times P_b}{U \times \cos \varphi} \quad (4-8)$$

Výpočtový proud pro skupinu stejnosměrných spotřebičů:

$$I_b = \frac{1000 \times P_b}{U} \quad (4-9)$$

#### 4.1.2. Dovolené proudové zatížení vedení

Dovolené proudové zatížení vedení  $I_z$  vyjadřuje hodnotu proudu, který může vedením procházet trvale. Přitom teplota vedení dosáhne v ustáleném stavu maximální dovolené teploty pro trvalý provoz. Hodnota maximální dovolené teploty je dána druhem izolace, viz tab. 4-1.

Protože se jedná o ustálený stav, kdy se celý ztrátový elektrický výkon  $P_g$  vznikající ve vedení rovná výkonu  $P_o$  odváděnému do jeho okolí, můžeme úpravou vztahu (3-6) dospět ke vztahu pro výpočet dovoleného proudového zatížení vodiče  $I_z$ . Přitom za maximální oteplení  $\Delta\vartheta_m$  dosadíme maximální dovolené oteplení při trvalém provozu  $\Delta\vartheta_z$ . Například pro vodič s PVC izolací a teplotu okolí 30 °C by bylo  $\Delta\vartheta_z = 40$  K.









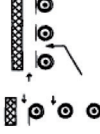
$$I_z = \sqrt{\frac{\Delta\vartheta_z}{R \times T}} \quad (4-10)$$

*Poznámka:*

*Vztah (4-10) platí, jak je uvedeno, pro jeden samostatný vodič, protože je uvažován ztrátový elektrický výkon  $P_g = I^2 \times R$ . V případě vedení (jednofázového nebo trojfázového) musíme stanovit  $P_g$  pro celkový počet zatížených vodičů tohoto vedení.*

Stanovení dovoleného proudového zatížení výpočtem na základě vztahu (4-10) je uvedeno v normách ČSN IEC 287 Elektrické kabely - Výpočet dovolených proudů. Až na výjimky (náročné elektrické rozvody, komplikované z hlediska uložení a působení zvláštních vlivů) se tímto způsobem v běžné praxi dovolené proudové zatížení vedení nestanovuje, ale vychází se z normy ČSN 33 2000-5-52 ed. 2 Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-52: Výběr a stavba elektrických zařízení - Elektrická vedení - Příloha B: Dovolené proudy

Norma ČSN 33 2000-5-52 stanovuje referenční způsoby uložení kabelů a vodičů:

A1		Izolované vodiče v trubce v tepelně izolační stěně
A2		Vícežilové kabely v trubce v tepelně izolační stěně nebo přímo v tepelně izolační stěně
B1		Izolované vodiče v trubce na stěně nebo ve zdi, v instalační liště nebo kabelovém kanálu
B2		Vícežilové kabely v trubce na stěně nebo ve zdi, v instalační liště nebo kabelovém kanálu
C		Jednožilové nebo vícežilové kabely na stěně, na podlaze, přímo ve zdi nebo na neperforovaných lávkách
D		Vícežilové kabely v trubkách v zemi nebo přímo v zemi
E		Vícežilové kabely na vzduchu na vodorovných nebo svislých perforovaných lávkách nebo kabelových roštích
F		Jednožilové dotýkající se kabely na vzduchu na vodorovných nebo svislých perforovaných lávkách nebo kabelových roštích
G		Jednožilové od sebe vzájemně vzdálené kabely na vzduchu na vodorovných nebo svislých perforovaných lávkách nebo kabelových roštích. Vzájemná vzdálenost a vzdálenost od zdi alespoň na průměr kabelu.

Tab. 4-2: Referenční způsoby uložení kabelů a vodičů

K těmto referenčním způsobům uložení stanovuje norma v závislosti na materiálu žíly (Cu nebo Al), druhu izolace a počtu zatížených vodičů (dva nebo tři) dovolené proudové zatížení. Nazvěme si ho referenčním dovoleným proudovým zatížením  $I_{zr}$ .

Přitom se uvažuje pro referenční způsoby uložení A, B, C, E, F a G teplota okolí kabelu 30 °C. Pro uložení D se uvažuje teplota okolí 20 °C a tepelná vodivost půdy 2,5 K.m/W.

Výsledné dovolené proudové zatížení  $I_z$  konkrétního navrhovaného vedení se stanoví tak, že referenční dovolené proudové zatížení  $I_{zr}$ , které odpovídá uložení konkrétního vedení, se vynásobí součiniteli, které zohledňují další vlivy působící na velikost dovoleného proudového zatížení. Těmito vlivy mohou být:

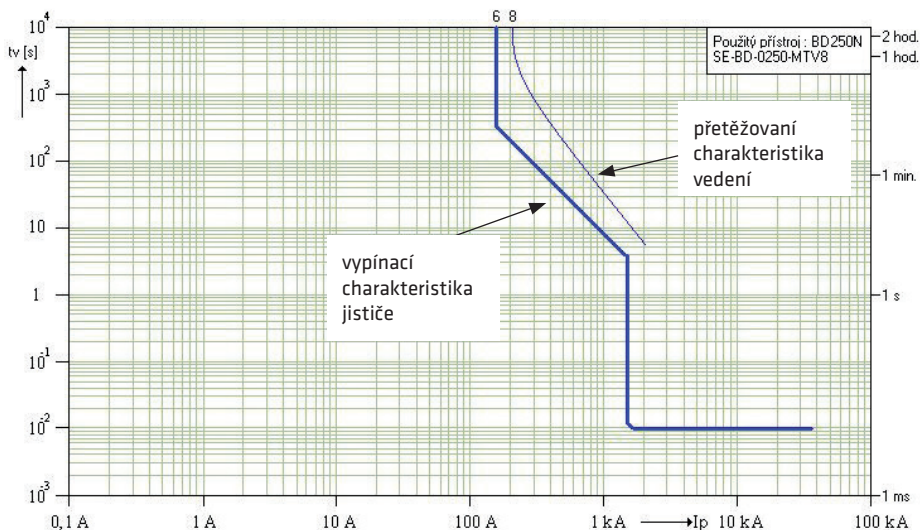
- jiná teplota než okolí než 30 °C respektive 20 °C
- jiná tepelná vodivost půdy než 2,5 K.m/W (hodnota tepelné vodivosti půdy v obvyklých podmínkách České republiky je 1 K.m/W)
- seskupení více než jednoho obvodu (několik součinitelů podle způsobu uložení)

$$I_z = k_1 \times \dots \times k_n \times I_{zr} \quad (4-11)$$

Kde:  $I_z$  ..... výsledné dovolené proudové zatížení konkrétního vedení [A]  
 $I_{zr}$  ..... referenční dovolené proudové zatížení odpovídající referenčnímu způsobu uložení, danému materiálu vodiče, druhu izolace, počtu zatížených vodičů a teplotě okolí, případně vodivosti půdy  
 $k_1, \dots, k_n$  ..... součinitelé zohledňující další vlivy působící na velikost dovoleného proudového zatížení

#### 4.2. Jištění vedení proti proudovým přetížením

Pro zajištění ochrany vedení před nedovolenými tepelnými účinky nadproudů v oblasti přetížení, tj. nepřekročení stanovené maximální dovolené teploty pro daný druh izolace kabelu, je nutné, jak bylo vysvětleno v Úvodu do problematiky jištění, včas přerušit nadproud. To znamená, nejpozději v okamžiku, kdy teplota kabelu dosáhne právě maximální dovolené teploty při přetížení. Doba působení nadproudu tedy nesmí překročit tzv. mezní charakteristiku elektrického zařízení, viz obr. 3-4. V případě vedení, kdy vycházíme z maximální dovolené teploty při přetížení, budeme tuto mezní charakteristiku nazývat přetěžovací charakteristika vedení (v souladu s terminologií používanou výpočtovým programem Sichr). Jak už bylo uvedeno v kapitole 3.2., aby byla zajištěna ochrana vedení proti přetížení, musí vypínací charakteristika jisticího přístroje, který zajišťuje tuto ochranu, ležet při znázornění obou charakteristik ve společných souřadnicích vlevo pod přetěžovací charakteristikou daného vedení. Charakteristiky se nesmí křížit. Je obvyklé vynášet charakteristiky v logaritmických souřadnicích (mezní charakteristika na obr. 3-4 je pro názornost vynesena v lineárních souřadnicích). Správná vzájemná poloha přetěžovací a vypínací charakteristiky, kdy je zajištěna ochrana vedení proti přetížení jisticím přístrojem, je uvedena na obr. 4-2.



Obr. 4-2: Přetěžovací charakteristika vedení a vypínací charakteristika jističe

Mezní charakteristika elektrického zařízení na obr. 3-4 byla odvozena graficky z průběhu oteplování zařízení v závislosti na proudu uvedeném na obr. 3-3. Průběh mezní charakteristiky, v případě vedení přetěžovací charakteristiky, lze stanovit z oteplovací rovnice (3-2). Přitom maximální dovolené oteplení, které by vedení dosáhlo v ustáleném stavu při nadproudu, si vyjádříme pomocí maximálního dovoleného oteplení při dovoleném proudovém zatížení vedení a poměrném nadproudu:

$$\Delta v_m = \Delta v_z \times i^x \quad \text{přitom platí:} \quad i = \frac{I_m}{I_z} \quad (4-12)$$

- Kde:  $\Delta \vartheta_m$  ..... maximální ustálené oteplení vedení (kabelu) odpovídající nadproudu  $I_m$  [K]  
 $\Delta \vartheta_z$  ..... oteplení vedení odpovídající dovolenému proudovému zatížení vedení  $I_z$  [K]  
*i* ..... poměrný nadproud  
*x* ..... mocnitel  
 $I_m$  ..... nadproud způsobující maximální ustálené oteplení  $\Delta \vartheta_m$  [A]  
 $I_z$  ..... dovolené proudové zatížení vedení [A]

V kapitole 3.1. je uveden vztah (3-7), ze kterého vyplývá, že maximální oteplení je úměrné kvadrátu proudu, tedy mocniteli  $x = 2$ . Norma ČSN 33 2000-4-43, Příloha NK, uvádí mocnitel  $x = 2$  jen pro holé vodiče. Pro izolované vodiče (kabely) uvádí mocnitel  $x = 2,492$ . Diskuzi, proč je uveden mocnitel s takovou přesností, když se jedná o přibližnou hodnotu, ponechme stranou. Základním důvodem, že u izolovaných vodičů je mocnitel větší než  $x = 2$  je, že ztráty ve vodiči rostou v důsledku zvyšujícího se odporu s teplotou rychleji než s kvadrátem proudu a tepelný odpor mezi vodičem a okolím a jeho změna s teplotou je rozdílná u izolovaného a holého vodiče.

Po dosazení vztahu (4-12) do oteplovací rovnice (3-2) a dosazení za oteplení  $\Delta\vartheta$  maximální dovolené oteplení při přetížení, dostaneme:

$$\Delta v = \Delta v_p = \Delta v_z \times \left(\frac{I_m}{I_z}\right)^x \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (4-13)$$

Kde:  $\Delta\vartheta_p$  ... maximální dovolené oteplení vedení (kabelu) při přetížení [K]

Maximální dovolené oteplení při přetížení je dáno vztahem:

$$\Delta v_p = v_p - v_{ok} \quad (4-14)$$

Kde:  $\vartheta_p$  ..... maximální dovolená teplota vedení (kabelu) při přetížení [°C]

Maximální dovolené oteplení při trvalém provozu je dáno vztahem:

$$\Delta v_z = v_z - v_{ok} \quad (4-15)$$

Kde:  $\vartheta_z$  ..... maximální dovolená teplota vedení (kabelu) při trvalém provozu [°C]

Z oteplovací rovnice (4-13) můžeme potom úpravou vyjádřit závislost velikosti nadproudu při přetížení na době jeho průchodu vedením, přičemž vedení dosáhne právě maximální dovolenou teplotu při přetížení:

$$I_m = I_z \times e^{\frac{\ln\left(\frac{\Delta v_p}{\Delta v_z \times \left(1 - \frac{1}{e^{\frac{t}{\tau}}}\right)}\right)}{x}} \quad (4-16)$$

Ze vztahu (4-16) už můžeme spočítat jednotlivé body přetěžovací charakteristiky vedení.

Norma ČSN 33 2000-4-43, vydaná v březnu 2003 a také její následná edice č. 2 vydaná v prosinci 2010 uvádí pro zajištění ochrany proti přetížení podmínku:

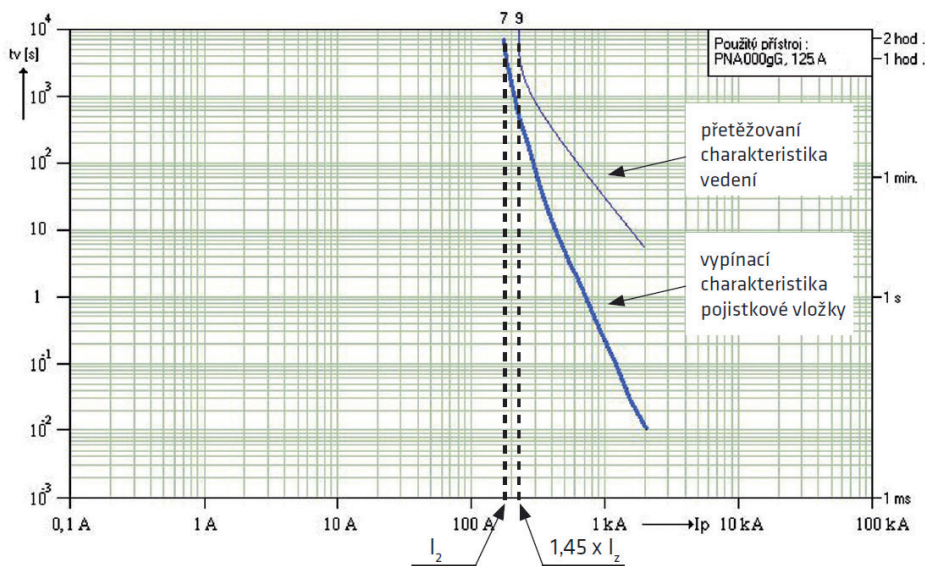
$$I_2 \leq 1,45 \times I_z \quad (4-17)$$

Kde:  $I_2$  ..... proud zajišťující účinné zapůsobení daného jisticího přístroje ve smlouvené době

Uvedená podmínka vychází ze vztahu (4-12) po dosazení  $I_m = I_2$  a  $\Delta\vartheta_m = \Delta\vartheta_p$  a stanovuje požadavky na jisticí přístroj zajišťující ochranu proti přetížení daného vedení jen z hlediska prvního bodu jeho vypínací charakteristiky a prvního bodu přetěžování charakteristiky jištěného vedení.

Obecně je proud  $I_2$  horní mezí prvního bodu vypínací charakteristiky jisticího přístroje, protože při proudu menším nemusí vypnout, ale při hodnotě proudu rovnajícímu se horní mezí musí

vypnout vždy. U pojistkových vložek se tedy rovná smluvenému tavnému proudu (viz tab. 2-1, 2-2 a 2-3), u jisticích a spouštěčů motorů se rovná smluvenému vypínacímu proudu (viz tab. 2-5, 2-7, 2-9 a 2-11). Protože vypínací doba pojistkových vložek při smluveném tavném proudu a jisticích při smluveném vypínacím proudu může být až jednotky hodin, uvažuje se, že vedení dosáhne ustáleného oteplení. Potom stačí pro zajištění ochrany vedení proti přetížení stanovit podmínku pro správnou polohu vypínací a přetěžovací charakteristiky jen pomocí proudů, tedy podmínky (4-17). Konkrétní případ správné vzájemné polohy prvního bodu vypínací charakteristiky pojistkové vložky a prvního bodu přetěžovací charakteristiky vedení, splňující podmínku (4-17), je na obr. 4-3.



Obr. 4-3: Proudů odpovídající prvnímu bodu vypínací a přetěžovací charakteristiky

Proud odpovídající prvnímu bodu přetěžovací charakteristiky se rovná v tomto případě  $1,45 \times I_2$ . Koeficient 1,45 platí pouze pro kabely s izolací PVC, tedy maximální dovolenou teplotu při trvalém provozu  $70^\circ\text{C}$  a maximální dovolenou teplotu při přetížení  $120^\circ\text{C}$  ( $115^\circ\text{C}$  viz výpočet koeficientu, vztah (4-22)) a dále pro teplotu okolí kabelu  $30^\circ\text{C}$  ve vzduchu a  $20^\circ\text{C}$  v zemi a za předpokladu, že oteplení vodiče vedení je úměrné mocnители  $x = 2$ . Dále se předpokládá, že vypínací charakteristika jisticích přístrojů leží ve svém dalším průběhu vlevo pod přetěžovací charakteristikou vedení, což nemusí platit předně pro kabely malých průřezů a jednožilové kabely, jejichž časová oteplovací konstanta je malá. Nemusí také platit při jištění proti přetížení jisticích s elektronickými spouštěmi, které umožňují nastavení vypínací charakteristiky v širokém rozsahu. Bohužel neplatí ani pro všechny kabely s PVC izolací. Kabely typu 1-AES používané v distribučním rozvodu elektrické energie mají stanovenou maximální dovolenou teplotu při přetížení jen  $90^\circ\text{C}$ .

Z podmínky (4-17), po dosazení za proud  $I_2$ , můžeme stanovit podmínku pro jmenovitý proud jisticích přístrojů zajišťujícího za uvedených podmínek ochranu proti přetížení.

Na příklad pro pojistkové vložky gG se jmenovitým proudem větším než 16 A, u kterých se smluvený tavný proud rovná  $1,6 \times I_n$ , viz tab. 3-1, platí:

$$I_2 = 1,6 \times I_n \leq 1,45 \times I_z \quad (4-18)$$

Jmenovitý proud výše uvedených pojistkových vložek musí tedy být:

$$I_n \leq \frac{1,45}{1,6} \times I_z = 0,9 \times I_z \quad (4-19)$$

Pro jističe řady Modeion a Arion, pro které platí předmětová norma ČSN EN 60947-2 a které mají smluvený vypínací proud  $1,3 \times I_n$ , viz tab. 2-7, platí:

$$I_2 = 1,3 \times I_n \leq 1,45 \times I_z \quad (4-20)$$

Jmenovitý proud těchto jističů by mohl být podle podmínky 4-17:

$$I_n \leq \frac{1,45}{1,3} \times I_z = 1,12 \times I_z \quad (4-21)$$

Tedy větší než dovolené proudové zatížení vedení. Protože ale musí být současně splněna podmínka (4-1), musí být tedy i v tomto případě jmenovitý proud  $I_n$  menší nebo maximálně roven dovolenému proudovému zatížení  $I_z$ .

*Poznámka:*

*Koeficient 1,45 lze vypočítat z upraveného vztahu (4-12):*

$$\frac{I_2}{I_z} = \sqrt{\frac{\Delta v_p}{\Delta v_z}} = \sqrt{\frac{v_p - v_o}{v_z - v_o}} = \sqrt{\frac{115 - 30}{70 - 30}} = 1,45 \quad (4-22)$$

Při výpočtu je uvažována maximální dovolená teplota při přetížení  $\Delta \vartheta_p = 115 \text{ °C}$  (pro  $120 \text{ °C}$  by se koeficient rovnal 1,5) z důvodu, aby podmínka (4-17) platila i pro uložení kabelů na hořlavém podkladu. Normy IEC, ze kterých je podmínka (4-17) převzata, v této souvislosti vyžadují nepřekročení teploty  $115 \text{ °C}$ , na rozdíl od norem ČSN, které připouštějí až  $120 \text{ °C}$ . Koeficient rovnající se 1,45 samozřejmě vyhovuje i pro teplotu  $120 \text{ °C}$ . Pro mocninel  $x = 2,492$  a maximální dovolenou teplotu při přetížení  $\Delta \vartheta_p = 120 \text{ °C}$  má koeficient menší hodnotu. Rozdíl v tomto případě není ale příliš významný.

Podmínka (4-17) nemá tedy obecnou platnost. Pro jiné výchozí podmínky (odlišný druh izolace kabelu, teplota okolí) a pro jisticí přístroje s nastavitelným průběhem vypínací charakteristiky (jističe řady Modeion a Arion) je třeba vycházet vždy, v souladu s Přílohou NK (v edici 2 označena NA) normy ČSN 33 2000-4-43, z celého průběhu vypínací charakteristiky v oblasti přetížení a přetěžovací charakteristiky jištěného vedení. Tímto obecně platným způsobem ověřuje při návrhu nebo kontrole elektrického rozvodu zajištění ochrany vedení proti přetížení také výpočtový program Sichr.



### 4.3. Jištění vedení proti zkratovým proudům

Z důvodu značných tepelných účinků zkratových proudů, zvláště zkratových proudů dosahujících velkých hodnot, je žádoucí odpojit místo poruchy co nejdříve. Normy ČSN uvádí čas vypnutí zkratového proudu do 5 sekund. Vzhledem k hodnotám časových oteplovacích konstant i nejslabších kabelů, které se rovnají řádově desítkám sekund, je to čas velice krátký. V případech, kdy čas průchodu nadproudu vodičem a tedy i doba jeho oteplování je výrazně kratší než jeho časová oteplovací konstanta, můžeme v souladu s výše uvedeným principem oteplování zanedbat po tuto krátkou dobu výkon  $P_0$  odváděný do okolí. Můžeme tak uvažovat, že veškeré elektrické ztráty za dobu průchodu proudu vodičem, tedy vzniklá elektrická energie, se přemění ve vodiči v tepelnou energii a zvýší se tak jeho oteplení (adiabatický děj). Uvedená situace je znázorněna na obr. 4-4:



Kde:

$W_e$  ..... elektrická energie [J]

$W_t$  ..... tepelná energie [J]

$W_0$  ..... energie odvedená do okolí [J]

$I$  ..... proud procházející vodičem  
(ekvivalentní oteplovací proud) [A]

$\Delta\theta$  ..... oteplení vodiče [K]

Obr. 4-4: Znázornění poměrů při krátkodobém průchodu proudu vodičem (adiabatický děj)

Ekvivalentní oteplovací proud je takový proud, který má stejné tepelné účinky jako skutečný zkratový proud procházející vodičem po stejnou dobu. Uplatňuje se hlavně při velmi krátké době trvání zkratového proudu (jednotky až stovky ms). Lze jej vypočítat např. podle ČSN EN 60909-0. Při delší době trvání zkratového proudu (cca nad 200 ms) je ekvivalentní oteplovací proud přibližně roven počátečnímu rázovému zkratovému proudu  $I_k$ .

Platí tedy:

$$W_e = W_t \quad (4-23)$$

Po vyjádření  $W_e$  a  $W_t$  a dosazení do vztahu (4-23):

$$R \times I^2 \times t = C_T \times \Delta\theta \quad (4-24)$$

Ze vztahu (4-24) můžeme určit oteplení, které dosáhne vodič při zkratu:

$$\Delta\theta = \frac{R \times I^2 \times t}{C_T} \quad (4-25)$$

Protože pro konkrétní vodiče (kabely) je podle druhu materiálu jejich žíly a izolace stanovena jejich maximální dovolená teplota při zkratu, můžeme dosazením do vztahu (4-25) za  $\Delta\vartheta$ , R a  $C_T$  a jeho úpravou dospět k podmínce:

$$I^2 t \leq k^2 \times S^2 \tag{4-26}$$

Kde: k ..... součinitel respektující měrný odpor, teplotní součinitel odporu a tepelnou kapacitu vodiče a dále teplotu okolí a maximální dovolenou teplotu při zkratu

S ..... průřez vodiče [mm<sup>2</sup>]

I<sup>2</sup>t..... Jouleův integrál [A<sup>2</sup>s]

Pro zajištění ochrany vedení proti zkratu je tedy nutné, aby Jouleův integrál I<sup>2</sup>t propuštěný jisticím přístrojem, který zajišťuje tuto ochranu, byl menší nebo maximálně roven k<sup>2</sup> x S<sup>2</sup> daného vedení (vodičů nebo kabelů, kterými je tvořen).

Tato podmínka musí být splněna jak pro fázové vodiče, tak vodič PEN nebo vodiče PE a N, a to pro všechny odpovídající zkratové proudy v kterémkoliv místě jištěného vedení.

Podmínku (4-26) můžeme dále upravit do tvaru:

$$t = \frac{k^2 \times S^2}{I^2} \tag{4-27}$$

Kde: t..... maximální doba průchodu ekvivalentního oteplovacího proudu vedením

Z podmínky (4-27) můžeme potom spočítat maximální dobu průchodu ekvivalentního oteplovacího proudu vedením, při které ještě nedojde k překročení jeho maximální dovolené teploty při zkratu. Vypínací čas jisticího přístroje zajišťujícího ochranu proti zkratu daného vedení musí být potom kratší, než vypočítaná doba. Tato podmínka musí být splněna pro všechny vodiče a pro všechny odpovídající zkratové proudy, tak jako v případě podmínky (4-26).

Výpočtový program Sichr ověřuje zajištění ochrany vedení proti zkratu při návrhu nebo kontrole elektrického rozvodu pomocí podmínky (4-26).

Hodnoty součinitele k:

		Izolace vodiče	
		PVC	Zesítený polyetylen Etylenpropylen
Teplota vodiče [°C]	počáteční	70	90
	konečná	160	250
Materiál jádra vodiče	Cu	115	143
	Al	76	94

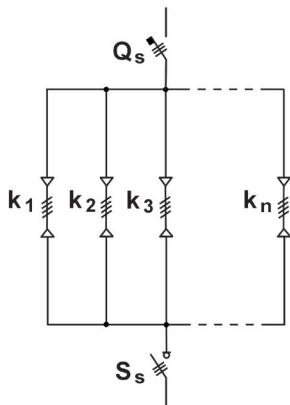
Tab. 4-3: Hodnoty součinitele k pro fázové vodiče

Hodnoty součinitele  $k$  pro PEN vodič nebo N a PE vodiče jsou dále odvislé od toho, jestli jsou žilami vícežilového kabelu a nebo se jedná o samostatné izolované vodiče. V případě, že jsou žilami vícežilového kabelu, jsou hodnoty součinitelů  $k$  stejné jako pro fázové vodiče (jejich počáteční a konečná teplota je stejná jako fázových vodičů). Pokud se jedná o samostatné vodiče, záleží na jejich počáteční teplotě. V případě PEN nebo N vodiče je počáteční teplota dána teplotou okolí a oteplením způsobeným procházejícím proudem (proud a tím oteplení mohou být zanedbatelné), v případě PE vodiče je počáteční teplota dána jen teplotou okolí a hodnota součinitele  $k$  bude vždy větší než pro fázové vodiče. Výpočet součinitele  $k$  je uveden v normě ČSN 33 2000-4-43.

#### 4.4. Jištění vedení tvořeného paralelními kabely

Použití elektrických vedení tvořených paralelními kabely vyplývá z požadavku přenosu velkých soudobých proudů – řádově stovky až tisíce ampér, případně posílení stávajících jednoduchých vedení.

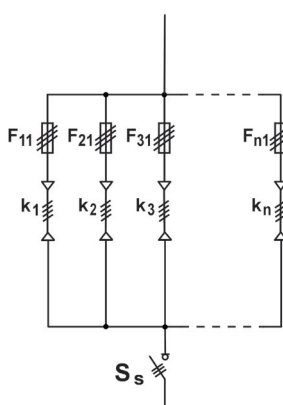
Jištění vedení tvořených paralelními kabely (dále paralelní vedení) se řídí stejnými základními požadavky jako jištění jednoduchých vedení. Obecně lze tedy uvést, že jmenovitý proud jisticího přístroje musí být menší nebo maximálně roven celkovému dovolenému zatěžovacímu proudu paralelního vedení – v případě jištění všech kabelů společným jisticím přístrojem, obr. 4-5, nebo dovolenému proudu jednoho daného kabelu – v případě jištění jednotlivých kabelů samostatnými jisticími přístroji, obr. 4-6. Dále musí jisticí přístroj(e) v případě vzniku nedovoleného přetížení nebo zkratu odpojit paralelní vedení nebo jeho ohroženou část dříve, než by došlo k překročení maximální dovolené teploty některého z kabelů.



Obr. 4-5

Kde:

- $Q_s$  ..... společný jisticí přístroj
- $S_s$  ..... společný odpínač
- $k_1, \dots, k_n$  .. paralelní kabely



Obr. 4-6

Kde:

- $F_{11}, \dots, F_{n1}$  ..... jisticí přístroje na začátcích kabelů

Vzhledem k možným poruchovým stavům, které se mohou vyskytnout při provozu paralelního vedení, a výchozím podmínkám (jednotlivé kabely jsou či nejsou stejných parametrů, tj. průřezu, délky, materiálu, konstrukce atd.) je jeho návrh podstatně komplikovanější, než je tomu u vedení jednoduchého.

Z obecného hlediska může být paralelní vedení tvořeno i kabely nestejných parametrů (pokud není jištěno proti zkratu společným jisticím přístrojem). Řešení je ale značně komplikované. Požadavek na kabely nestejných parametrů může vzniknout předně v případech potřeby posílení stávajícího, obvykle jednoduchého, vedení. I v případě, že se kabely liší jen svým průřezem, musíme si být vědomi, že výsledné dovolené proudové zatížení takového vedení není dáno součtem dovolených proudových zatížení jednotlivých kabelů, které tvoří paralelní vedení. Příčinou je klesající proudová hustota ve vodiči, odpovídající jeho dovolenému proudovému zatížení, s růstem jeho průřezu (vliv skin efektu, relativně horší ochlazování) a rozdělení celkového přenášeného proudu do jednotlivých paralelních kabelů v závislosti na jejich impedancích. Z hlediska ochrany proti nedovolenému přetížení bychom měli také respektovat rozdílnou časovou oteplovací konstantu kabelů rozdílných průřezů v případě jištění společným jisticím přístrojem. Zvýšenou pozornost musíme také věnovat ochraně proti zkratům v důsledku rozdělení proudů (přesněji  $I^2t$ ) v závislosti na impedancích. V případě návrhu nového paralelního vedení není v podstatě důvod řešit vedení kabely, které nemají stejné parametry.

Dále se budeme věnovat problematice jištění paralelních vedení, které jsou tvořeny stejnými kabely. Přitom budeme uvažovat rovnoměrné rozdělení proudů do jednotlivých kabelů. Tuto podmínku můžeme považovat za splněnou, pokud je paralelní vedení tvořeno vícežilovými kabely, přičemž jeden kabel představuje úplné dílčí trojfázové vedení (např. jedná-li se o síť TN-C, musí obsahovat všechny tři fázové vodiče a PEN). Je to dáno tím, že součet okamžitých hodnot proudů ve vodičích kabelu je roven nule a tím je téměř rovno nule také jeho vnější magnetické pole. Vodiče různých kabelů, které tvoří paralelní vedení, se tak vzájemně téměř neovlivňují a jejich impedance jsou přibližně stejné. Rovnoměrné rozdělení proudů nemůžeme ale uvažovat, pokud bude paralelní vedení tvořeno jednožilovými nestíněnými kabely a tyto kabely budou uspořádány např. podle obr. 4-7 a nebudou prostřídány jejich vzájemné polohy tak, aby se vzájemně ovlivňování vyrušilo.



Obr. 4-7

Pokud uspořádáme jednožilové kabely do svazků, které obsahují úplné dílčí trojfázové vedení, obr. 4-8, můžeme rovnoměrné rozdělení proudů předpokládat.

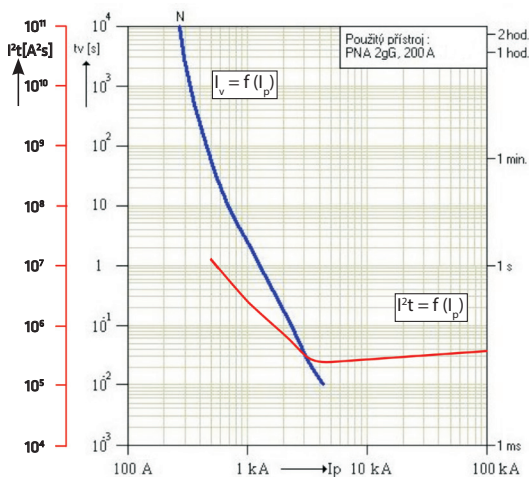


Obr. 4-8

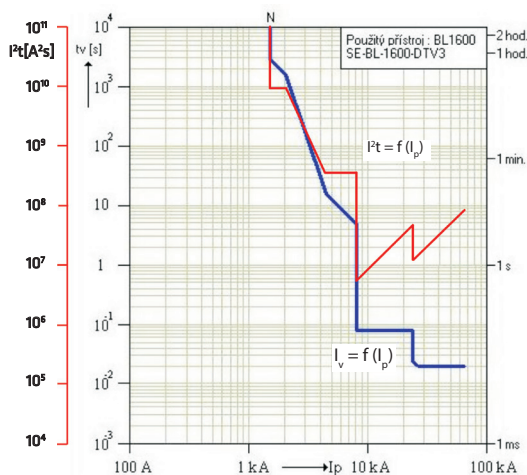
Když se zabýváme jištěním vodičů proti zkratu, a je jedno, jestli se to týká jednoduchých vedení nebo vedení tvořených paralelními kabely, prakticky vždy bereme v úvahu maximální zkratový proud. Kontrolujeme, zdali při tomto proudu daný jisticí přístroj uchrání příslušné vedení před zkratem.

Mnohdy ale zapomínáme provést nebo nedoceňujeme kontrolu z hlediska minimálního zkratového proudu, který se může za určitých podmínek vyskytnout. Vzhledem k vlastnostem zvoleného jisticího přístroje může právě minimální zkratový proud způsobit překročení maximální dovolené teploty vedení při zkratu, i když kontrola při maximálním zkratovém proudu je v pořádku. U omezičících jisticích přístrojů – pojistek, jisticů se běžně udává  $I^2t$  v závislosti na předpokládaném vypínacím (zkratovém) proudu  $I_p$  jen pro oblast proudů, ve které tyto přístroje omezují. Horní hranici této oblasti

tvorí proud odpovídající vypínací schopnosti jisticího přístroje, dolní hranici proud, při kterém začíná omezovat. Právě v oblasti menších proudů, kdy jisticím přístrojem po dobu než vypne prochází plný (neomezený) proud a vypínací čas narůstá podle jeho vypínací charakteristiky, dochází k velkému nárůstu propuštěného  $I^2t$ . Tak i při proudech odpovídajících relativně krátkým vypínacím časům dosahuje  $I^2t$  značně vyšších hodnot, než při proudu, který odpovídá jeho vypínací schopnosti. U jističů dochází obecně k velkému skokovému nárůstu  $I^2t$  při vypínacím proudu, při kterém přestává vypínat časově nezávislá okamžitá (zkratová) nadproudová spoušť a začíná vypínat časově závislá (tepelná) nadproudová spoušť. Situace je zřejmá z obr. 4-9 a 4-10, na kterých je jednak uvedena závislost  $I^2t$  na předpokládaném vypínacím proudu zahrnující i oblast menších vypínacích proudů, ale také pro porovnání závislost vypínacího času daného jisticího přístroje na vypínacím proudu.



Obr. 4-9

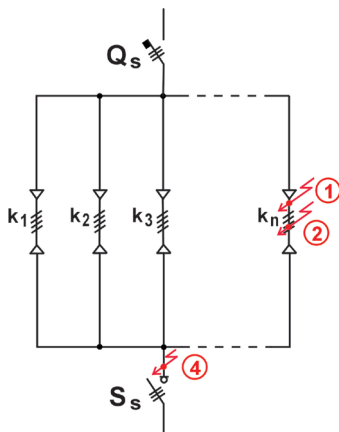


Obr. 4-10

Dále si ukážeme základní možné varianty jištění vedení tvořeného paralelními kabely, které lze řešit také programem Sichr. Uvedeme si některé výhody a nevýhody jednotlivých variant.

#### 4.4.1. Jištění paralelních kabelů společným jisticím přístrojem

Schéma části elektrického rozvodu tvořeného paralelními kabely jištěnými společným jisticím přístrojem je na obr. 4-11.



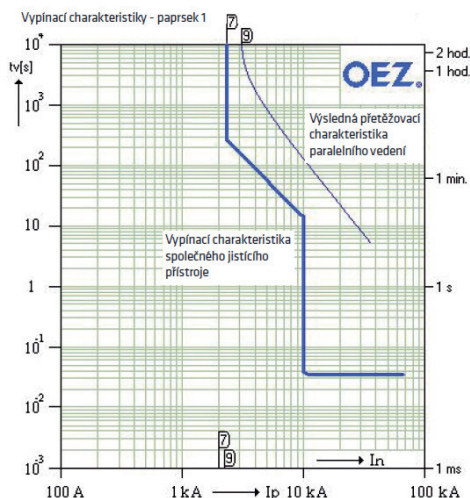
Obr. 4-11

Z hlediska trvalého zatížení paralelního vedení musí být splněna nerovnost:

$$I_b \leq I_{ns} \leq n \times I_z \tag{4-28}$$

- Kde:
- $I_b$  ..... výpočtový (soudobý) proud přenášený paralelním vedením
  - $I_{ns}$  ..... jmenovitý (redukovaný) proud společného jisticího přístroje
  - $n$  ..... počet paralelních kabelů
  - $I_z$  ..... dovolené proudové zatížení jednoho kabelu při daném uložení včetně uvažování vlivu seskupení obvodů

Aby byla zajištěna ochrana před nedovoleným přetížením, musí vypínací charakteristika společného jisticího přístroje ležet vlevo dole od výsledné přetěžovací charakteristiky paralelního vedení při vyjádření obou charakteristik ve společných souřadnicích, viz obr. 4-12. Tím je zaručeno, že při nedovoleném přetížení bude paralelní vedení odpojeno společným jisticím přístrojem od napájení dříve, než by byla překročena tato teplota.



Obr. 4-12

Z hlediska ochrany proti zkratu musí společný jisticí přístroj zajistit ochranu vodičům paralelního vedení při maximálních a minimálních zkratových proudech. Musí tedy být splněna nerovnost:  $I^2t \leq k^2S^2$ , aby nebyla překročena maximální dovolená teplota při zkratu.

Přitom se uvažuje celkový průřez fázových vodičů nebo vodičů PEN a Jouleovy integrály  $I^2t$  odpovídající zkratovým proudům na konci paralelního vedení (viz ČSN 33 2000-4-473, čl. 473.2.4N1, bod c) – na obr. 4-11 místo zkratu 4.

Pokud v případě zkratu na jednom z kabelů nezajistí společný jisticí přístroj nepřekročení maximální dovolené teploty při zkratu tohoto kabelu, musí být splněno ustanovení výše uvedeného článku 473.2.4N1, bodu a) a kabely se přitom nesmí nacházet v prostředí s nebezpečím výbuchu nebo požáru. Znění článku 473.2.4N1, bodu a):

Paralelní vodiče (kabely) jsou uloženy na nehořlavém podkladě a to tak, aby ani sousední, ani ostatní vodiče (kabely) nebyly ohrožovány. Proto se doporučuje oddělit vodiče (kabely) nehořlavou přepážkou nebo opatřit vodiče (kabely) nehořlavým např. dexaflamovým nátěrem nebo nástřikem o tloušťce vrstvy alespoň 5 mm nebo vzdálenost mezi nimi zvětšit alespoň na 1,5násobek průměru vodiče (kabelu), nejméně však 6 cm.

V případě kontroly ochrany jednoho kabelu se uvažuje maximální zkratový proud, který vznikne při zkratu na jeho začátku a jemu odpovídající  $I^2t$  – na obr. 4-11 místo zkratu 1. Minimální zkratový proud a jemu odpovídající  $I^2t$  vznikne při jednofázovém zkratu jednoho kabelu v místě jeho trasy, kde zkratový obvod má největší hodnotu impedance – místo zkratu 2. Polohu tohoto místa a jí odpovídající hodnotu zkratové impedance program Sichr vypočítává.

Varianta jištění společným jisticím přístrojem je jednoduchá a relativně levná. Lze ji použít, pokud máme jistotu rovnoměrného rozdělení celkového přenášeného proudu do jednotlivých kabelů, anebo pokud je jmenovitý (redukovaný) proud  $I_n$  ( $I_R$ ) společného jisticího přístroje volen o dostatečnou rezervu menší než celkový dovolený zatěžovací proud paralelního vedení. Pokud by z nějakého důvodu (např. přechodový odpor) došlo v průběhu provozu k nerovnoměrnému rozdělení proudů s následkem přetěžování některých z kabelů, společný jisticí přístroj na to nereaguje a může tak dojít k havárii vedení.

Na konci paralelního vedení můžeme pro možnost jeho odpojení s výhodou použít odpínač namísto jističe. Takové řešení bude levnější a vyhneme se rovněž problémům se selektivitou jisticů na začátku a konci paralelního vedení.

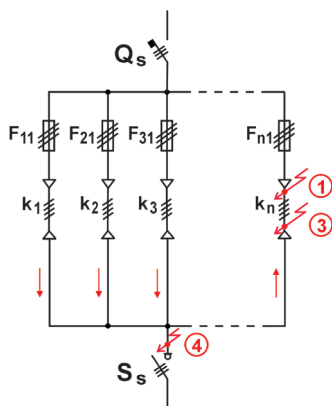
#### 4.4.2. Jištění jednotlivých paralelních kabelů samostatnými jisticími přístroji na jejich začátku

K použití této varianty jištění paralelních kabelů nás mohou vést obvykle důvody:

- a) dosažení dokonalejší ochrany jednotlivých kabelů
- b) společný jisticí přístroj nezajistí vedení tvořeného paralelními kabely ochranu proti zkratu z hlediska celkového průřezu fázových vodičů nebo vodičů PEN případně zajistí ochranu z hlediska celkových průřezů, ale nezajistí ochranu průřezu vodičů jednoho kabelu a nechceme realizovat ustanovení článku 473.2.4N1, bodu a) nebo se jedná o prostředí s nebezpečím požáru nebo výbuchu

Tato varianta může být také doplněna o předřazený společný jisticí přístroj a přiřazený např. odpínač pro možnost odpojení vedení.

Schéma části elektrického rozvodu tvořeného paralelním vedením, kdy jištění jednotlivých paralelních kabelů je provedeno samostatnými jisticími přístroji na jejich začátku, je na obr. 4-13.



Obr. 4-13

Z hlediska trvalého zatížení paralelního vedení musí být splněna nerovnost:

$$I_b \leq n \times I_n \leq n \times I_z \tag{4-29}$$

- Kde:
- $I_b$  ..... výpočtový (přenášený) proud paralelním vedením
  - $I_n$  ..... jmenovitý (redukovaný) proud jisticího přístroje na začátku kabelu
  - $n$  ..... počet paralelních kabelů a jisticích přístrojů na jejich začátcích
  - $I_z$  ..... dovolené proudové zatížení jednoho kabelu při daném uložení včetně uvažování vlivu seskupení kabelů

Z hlediska ochrany před nedovoleným přetížením musí výsledná vypínací charakteristika, daná součtem vypínacích charakteristik všech jisticích přístrojů na začátku kabelů, ležet vlevo dole od výsledné přetěžovací charakteristiky paralelního vedení při vyjádření obou charakteristik ve společných souřadnicích.



Z hlediska ochrany proti zkratu musí jisticí přístroj na začátku kabelu zajistit ochranu jeho vodičů před zkratem v důsledku účinků maximálních zkratových proudů na začátku kabelu - na obr. 4-13 místo zkratu 1. Kontroluje se tedy fázový vodič z hlediska účinků maximálního trojfázového zkratového proudu a PEN vodič z hlediska účinků maximálního jednofázového zkratového proudu. Z hlediska účinků maximálních zkratových proudů se provádí také kontroly na samém konci kabelu - místo zkratu 3. Při těchto kontrolách se uvažuje trojfázový a jednofázový zkratový proud tekoucí kabelem do místa zkratu z opačné strany - „zpětný“ proud. Dílčí zkratové proudy, které tvoří tento proud, prochází od zdroje neporušenými kabely a jisticími přístroji na jejich začátcích - viz šípky na obr. 4-13. Dále se provádí kontrola z hlediska tepelných účinků minimálního jednofázového zkratového proudu pro případ, že nastane zkrat na začátku kabelu - místo zkratu 1, a vypne jisticí přístroj  $F_{m1}$  na začátku kabelu. Zkratový proud teče potom do místa 1 tak, jako při kontrolách v místě 3, tj. z opačné strany. V obou případech mohou být tepelné účinky zpětných proudů velmi významné, rozhodující. Musíme si uvědomit, že jednotlivými jisticími přístroji protékají dílčí proudy a jim odpovídající  $(I^2t)_{dílčí}$  mohou být zvláště v případě minimálního zkratového proudu velké (např. u pojistky oblast proudu, kde ještě neomezuje) a že výsledný  $(I^2t)_{výsledný}$ , který projde vodiči zkratovaného kabelu až již na konci nebo začátku, se rovná:

$$(I^2t)_{výsledný} = (n-1)^2 \times (I^2t)_{dílčí} \quad (4-30)$$

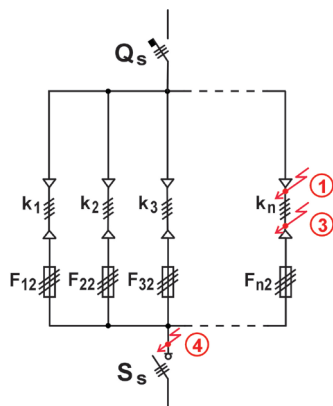
V případě předřazeného společného přístroje se provádí kontroly z hlediska účinků zpětných zkratových proudů v místě 1 a 3 také vzhledem k zajištění ochrany tímto přístrojem. Potom musí platit, že zkratovaný kabel uchrání buď jisticí přístroje na začátcích zbývajících kabelů, anebo předřazený společný jisticí přístroj. Pokud tomu tak není, musí být splněno ustanovení článku 473.2.4N1, bodu a) a kabely se přitom nesmí nacházet v prostředí s nebezpečím výbuchu nebo požáru.

V poslední řadě se provádí kontroly z hlediska tepelných účinků maximálního a minimálního zkratového proudu na konci kabelů - místo zkratu 4.

Varianta jištění jednotlivých paralelních kabelů samostatnými jisticími přístroji na jejich začátku je dokonalejší, ale z hlediska investičních nákladů dražší, než ochrana společným jisticím přístrojem. Při větším počtu paralelních kabelů větší délky mohou být problémy s tepelnými účinky zpětných proudů.

#### 4.4.3. Jištění jednotlivých paralelních kabelů samostatnými jisticími přístroji na jejich konci a předřazeným společným jisticím přístrojem

Schéma části elektrického rozvodu tvořeného paralelním vedením, kdy jištění jednotlivých paralelních kabelů je provedeno samostatnými jisticími přístroji na jejich konci a společným předřazeným jisticím přístrojem, je na obr. 4-14.



Obr. 4-14

Při tomto způsobu jištění musí být paralelním kabelům vždy předřazen společný jisticí přístroj. Tento jisticí přístroj zajišťuje kabelům ochranu proti zkratu. Jisticí přístroje na koncích kabelů zajišťují jejich dokonalejší ochranu proti přetížení.

Z hlediska trvalého zatížení a ochrany proti nedovolenému přetížení musí být splněny stejné podmínky jako u předchozí varianty jištění.

Zajištění ochrany proti zkratovým proudům se kontroluje v podstatě stejně jako u předchozích variant. Provádí se tedy kontroly z hlediska tepelných účinků Jouleových integrálů  $I^2t$  maximálních a minimálních zkratových proudů na vodiče paralelních kabelů v místech 1, 3 a 4, viz obr. 4-14.

Varianta jištění jednotlivých paralelních kabelů samostatnými jisticími přístroji na jejich konci a předřazeným společným jisticím přístrojem je určitou modifikací předchozí varianty jištění, a to v případě, je-li také předřazen společný jisticí přístroj. Její výhodou je tedy také dokonalejší ochrana jednotlivých kabelů proti přetížení.

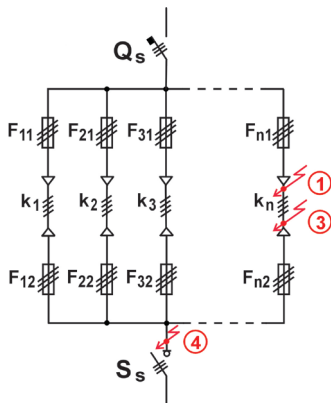
#### 4.4.4. Jištění jednotlivých paralelních kabelů samostatnými jisticími přístroji na jejich začátku a také na konci

Jištění paralelních kabelů samostatnými jisticími přístroji na jejich začátku a také na konci je vhodné, pokud:

- společný jisticí přístroj nezajistí ochranu proti zkratu vedení tvořeného paralelními kabely – podrobněji viz bod b) varianty 4.4.2.
- chceme zajistit dokonalejší ochranu proti přetížení jednotlivých kabelů a v důsledku nadměrných tepelných účinků zpětných zkratových proudů nelze použít variantu 4.4.2., tj. jištění jednotlivých kabelů samostatnými jisticími přístroji na jejich začátku

Tato varianta může být také doplněna o předřazený společný jisticí přístroj a přiřazený např. odpínač pro možnost odpojení vedení.

Schéma části elektrického rozvodu tvořeného paralelním vedením, kdy jištění jednotlivých paralelních kabelů je provedeno samostatnými jisticími přístroji na jejich začátku a také konci, je na obr. 4-15.



Obr. 4-15

Z hlediska trvalého zatížení paralelního vedení jištěného jisticími přístroji na začátku i konci musí být splněna známá podmínka:

$$I_b \leq n \times I_n \leq n \times I_z \tag{4-31}$$

Pro zajištění ochrany proti nedovolenému přetížení musí pochopitelně také při této variantě ležet výsledná vypínací charakteristika vlevo dole od výsledné přetěžovací charakteristiky paralelního vedení.

Výše uvedené požadavky musí splňovat buď jisticí přístroje na začátcích kabelů nebo na jejich koncích.

Zajištění ochrany proti zkratu jisticími přístroji na začátcích kabelů a na jejich koncích se kontroluje stejným způsobem jako u předchozích variant, tj. v předpokládaných místech zkratů 1, 3 a 4 z hlediska tepelných účinků minimálních a maximálních zkratových proudů vzhledem k celkovým průřezům fázových vodičů a vodičů PEN paralelních kabelů a vzhledem k dílčím průřezům vodičů (jednoho vícežilového kabelu).

Výhodou této varianty je mimo dokonalejší ochrany jednotlivých kabelů také to, že v případě poruchy na některém z paralelních kabelů můžeme tento kabel snadno na obou stranách odpojit a provozovat zbývající část paralelního vedení. Výhodou je i ochrana proti tepelným účinkům zpětných proudů při větším počtu paralelních kabelů jisticími přístroji na koncích kabelů.

Praktický příklad návrhu vedení tvořeného paralelními kabely (dimenzování a jištění) pomocí výpočtového programu Sichr je součástí manuálu tohoto programu.

#### 4. 5 Další opatření k zajištění ochrany vedení proti nadproudům

Další opatření k zajištění ochrany vedení proti nadproudům, mimo požadavky uvedené v kapitolách 4.1. až 4.3., jsou specifikována v ČSN 33 2000-4-43 a ČSN 33 2000-4-473. Dále jsou uvedena hlavní opatření.

#### 4.5.1. Povaha jisticích přístrojů

Ochranu proti celému možnému rozsahu nadproudů, tj. proudům způsobujícím přetížení a zkratovým proudům, může zajišťovat jeden jisticí přístroj, který musí splňovat požadavky uvedené v kapitolách 4.1. až 4.3. V takovém případě musí být jisticí přístroj schopen přerušit, v případě jističe i zapnout, jakýkoliv nadproud, až do velikosti předpokládaného zkratového proudu v místě, kde je instalován. Jeho nižší jmenovitá vypínací schopnost než předpokládaný zkratový proud se dovoluje, jestliže je předřazen (směrem ke zdroji) jiný jisticí přístroj s dostatečnou vypínací schopností a společně propuštěná energie je menší, než kterou ještě jisticí přístroj snese – tzv. kaskádování jisticích přístrojů. Jisticími přístroji pro ochranu v celém možné rozsahu nadproudů mohou být jističe s nadproudovými spouštěmi proti přetížení a zkratu nebo pojistky s plným rozsahem vypínací schopnosti, např. s vypínací charakteristikou gG, gS atd. Nemohou jimi být pojistky s částečným rozsahem vypínací schopnosti, tj. s vypínací charakteristikou např. aM nebo aR.

Ochranu proti proudům způsobujícím přetížení a ochranu proti zkratovým proudům mohou zajišťovat také rozdílné jisticí přístroje.

V případě zajištění jen ochrany proti přetížení musí daný jisticí přístroj splňovat požadavky uvedené v kapitolách 4.1. a 4.2. Jeho vypínací schopnost může být i menší než je předpokládaný zkratový proud v místě, kde je instalován. V takovém případě ale musí být zajištěna jeho ochrana proti zkratu ve spolupráci s jiným jisticím přístrojem.

V případě zajištění jen ochrany proti zkratovým proudům musí daný jisticí přístroj splňovat požadavky uvedené v 4.3. Jeho vypínací schopnost nesmí být menší než předpokládaný zkratový proud v místě, kde je instalován. Výjimka může být jen v případě použití kaskádování jisticích přístrojů. Ochrana proti přetížení musí být potom zajištěna jiným jisticím přístrojem nebo lze použít v případě, pokud ochrana proti přetížení nemusí být.

#### 4.5.2. Opatření k zajištění ochrany proti přetížením

##### 4.5.2.1. Umístění jisticích přístrojů proti přetížením

Jisticí přístroj zajišťující ochranu proti přetížením musí být umístěn v místě, kde změna způsobuje snížení hodnot dovoleného proudového zatížení vodičů, jako např. změna průřezu, způsobu uložení nebo složení vedení.

Výjimkou může být umístění kdekoli na trase vedení nebo dokonce vynechání ochrany proti přetížení, ale jen v případech, pokud jsou proto splněny podmínky, viz dále.

Jisticí přístroj zajišťující ochranu proti přetížením může být umístěn kdekoli na trase vedení, jestliže část vedení mezi místem, kde dochází ke změně průřezu, způsobu uložení nebo složení a místem, kde je jisticí přístroj, nemá ani odbočku ani zásuvku a splňuje jednu z těchto podmínek:

- vedení je chráněno před zkratovými proudy
- délka vedení nepřesahuje 3 m a je provedeno tak, aby nebezpečí zkratu bylo minimální a na minimum se snížilo nebezpečí požáru nebo ohrožení osob;

U odboček ve venkovním nebo vnějším rozvodu, jakož i v průmyslových a elektrických provozovnách, může být jeho délka za stejných požadavků prodloužena až na 10 m a ve venkovních sítích nn až na konec prvního rozpětí od místa odbočení nebo až na vstup do budovy nebo jeho blízkosti (např. v hlavní domovní skříni apod.)

Bez omezení délky za stejných požadavků se mohou jistit také vedení nn mezi transformátorem a jeho jisticím přístrojem, provedená z holých pasů nebo kabelů, umístěná v téže budově nebo i mimo budovu, pokud je vedení chráněno před zkratovými proudy. V tomto případě musí být tedy splněna také podmínka a).

#### 4.5.2.2. Vynechání jisticích přístrojů proti přetížením

Ochrana proti přetížením nemusí být provedena:

- a) na vedení umístěném na straně odběru za změnou průřezu, druhu, způsobu uložení nebo složení, pokud je účinně chráněno proti přetížením jisticím přístrojem umístěným na straně přívodu
- b) na vedení, u něhož není pravděpodobné, že by bylo přetíženo, za podmínky, že toto vedení bude chráněno před zkratovými proudy a že vedení nemá ani odbočku ani zásuvku
- c) na instalacích pro telekomunikace, ovládání, signalizaci apod.

Uvedené případy, kdy nemusí být provedena ochrana proti přetížení, se nesmějí uplatňovat v instalacích umístěných v prostorách, kde je nebezpečí požáru nebo výbuchu a kde zvláštní předpisy pro určité prostory stanoví odlišné podmínky.

#### 4.5.2.3. Doporučení vynechání jisticích přístrojů proti přetížením z bezpečnostních důvodů

Doporučuje se neumísťovat jisticí přístroj proti přetížením do obvodů napájejících elektrická zařízení, jestliže nečekané rozpojení obvodu by mohlo vyvolat nebezpečí. V takových případech se doporučuje použít elektrický přístroj oznamující přetížení. Příklady takových případů:

- budící obvody rotačních strojů
- napájecí obvody zvedacích elektromagnetů
- sekundární obvody proudových transformátorů
- obvody napájející hasící a bezpečnostní zařízení

### 4.5.3. Opatření k zajištění ochrany proti zkratovým proudům

#### 4.5.3.1. Umístění jisticích přístrojů proti zkratovým proudům

Jisticí přístroj zajišťující ochranu proti zkratovým proudům musí být umístěn v místě, kde zmenšení průřezu vodiče nebo jiná změna by mohla mít za následek, že v následující části směrem k odběru nebude zajištěna ochrana proti zkratovým proudům.

Výjimkou může být přemístění jisticího přístroje zajišťujícího ochranu proti zkratovým proudům, ale jen v případech, pokud jsou proto splněny podmínky, viz dále. Přitom následující případy se nesmějí uplatňovat na instalace umístěné v místě s nebezpečím požáru nebo výbuchu a ani tam, kde pro určité prostory určují zvláštní pravidla odlišné podmínky.

Připouští se, aby jisticí přístroj zajišťující ochranu proti zkratovým proudům byl umístěn jinde, pokud:

část vedení mezi místem zmenšení průřezu nebo jiné změny a umístěním tohoto jisticího přístroje splňuje současně tyto tři podmínky:

- a) délka vedení nepřesahuje 3 m nebo se jedná o domovní přípojku provedenou závěsným kabelem nebo kabelem uloženým v zemi, nepřesahujícím délku 35 m

- b) vedení je provedeno takovým způsobem, aby se nebezpečí zkratu snížilo na minimum (tuto podmínku lze splnit např. zesílením ochrany vedení proti vnějším vlivům)  
 c) vedení nesmí být v blízkosti hořlavých materiálů

nebo:

jisticí přístroj umístěný na straně napájení od zmenšeného průřezu nebo jiné změny má takovou provozní charakteristiku (propuštěný  $I_{\text{p}}^2 t = f(I_{\text{p}})$ ), případně také  $i_0 = f(I_{\text{p}})$ , že zajistí ochranu proti zkratovým proudům také vedení umístěnému na straně zátěže.

#### 4.5.3.2. Vynechání jisticích přístrojů proti zkratovým proudům

Ochrana proti zkratovým proudům lze vynechat:

- u vodičů spojujících generátory, transformátory, usměrňovače, akumulátorové baterie s příslušnými hlavními rozváděči, přičemž jisticí přístroje jsou umístěny v těchto rozváděčích
- u obvodů, kde rozpojení by mohlo být nebezpečné pro provoz elektrických zařízení nebo obvodů, tak jak je uvedeno v 4.5.2.3.
- u určitých měřicích obvodů

za předpokladu, že jsou současně splněny následující dvě podmínky:

- a) vedení je provedeno tak, aby se nebezpečí zkratu snížilo na minimum  
 b) vedení není v blízkosti hořlavých materiálů

Dále není třeba jištění proti zkratu ani proti přetížení na sekundární straně u elektrochemických, svářecích a podobných zařízení (s velkými proudy), avšak vedení za transformátory, motorgenerátory, usměrňovači apod. se nesmí nebezpečně zahřívat.

Jištění proti zkratu ani přetížení není třeba rovněž umísťovat do obvodů s velmi značnými, krátkodobými proudy, jako je obvod baterie pro startování spalovacích motorů apod., ale vedení v těchto obvodech se nesmí nebezpečně zahřívat.

#### 4.5.4. Ochrana fázových (krajních) vodičů a nulového (středního) vodiče

Pojem „fázový“ a „nulový“ vodič se používá ve střídavých sítích. Ve stejnosměrných sítích se používají pojmy „krajní“ a „střední“ vodič.

##### 4.5.4.1. Ochrana fázových vodičů

Všechny fázové vodiče musí být chráněny proti nadproudům. Jisticí přístroj musí odpojit vodič, ve kterém byl zjištěn nadproud, přičemž odpojení ostatních aktivních vodičů není nezbytně nutné.

*Poznámka:*

*Jestliže odpojení jediné fáze může vyvolat nebezpečí, např. v případě trojfázových motorů, musí být provedena vhodná opatření (spouštěče motoru proto vypínají vždy všechny tři póly současně).*

#### 4.5.4.2. Ochrana nulového vodiče v sítích TT nebo TN

Pokud je průřez nulového vodiče alespoň rovný průřezu fázových vodičů, není nutné nulový vodič vybavit detekcí nadproudu nebo odpojovacím přístrojem pro tento vodič.

Pokud průřez nulového vodiče je menší než průřez fázových vodičů, je nutné vybavit nulový vodič nadproudovou detekcí, přiměřenou průřezu tohoto vodiče. Zařízení zajišťující nadproudovou detekci musí způsobit odpojení fázových vodičů, nikoliv však nezbytně nulového vodiče.

Zřízení zajišťující nadproudovou detekci nemusí být použito, jestliže jsou současně splněny tyto dvě podmínky:

- a) střední vodič je chráněn proti zkratovým proudům jisticím přístrojem, který chrání fázové vodiče
- b) největší proud, který může nulovým vodičem protékat, je za normálního provozu výrazně menší, než je hodnota dovoleného proudového zatížení tohoto vodiče

#### 4.5.4.3. Ochrana nulového vodiče v sítích IT

V sítích IT se důrazně doporučuje, aby nulový vodič nebyl rozveden.

Pokud však je nulový vodič rozveden, musí být nulový vodič každého obvodu opatřen zařízením zajišťujícím nadproudovou detekci, které musí způsobit odpojení všech aktivních vodičů daného obvodu včetně nulového vodiče.

Zařízení zajišťující nadproudovou detekci v nulovém vodiči nemusí být použito, pokud je tento nulový vodič účinně chráněn proti zkratovým proudům předřazeným jisticím přístrojem (na začátku vedení).

#### 4.5.4.4. Vypínání a zapínání nulového vodiče

Jestliže se vyžaduje odpojení nulového vodiče, pak jeho vypínání a zapínání musí být takové, že nulový vodič se nesmí vypnout dříve než fázové vodiče a musí se zapnout současně nebo dříve než fázové vodiče.

Všechny čtyřpólové jističe OEZ řady Minia, Modeion a Arion tyto podmínky splňují.

### 4.6. Základní normy ČSN týkající problematiky jištění a dimenzování:

ČSN 33 2000-4-43	Elektrická instalace budov – Část 4: Bezpečnost – Kapitola 43: Ochrana proti nadproudům
ČSN 33 2000-4-473	Elektrické předpisy – Elektrická zařízení – Část 4: Bezpečnost – Kapitola 47: Použití ochranných opatření pro zajištění bezpečnosti – Oddíl 473: Opatření k ochraně proti nadproudům
ČSN 33 2000-5-52	Ed. 2 Elektrické instalace nízkého napětí – Část 5-52: Výběr a stavba elektrických zařízení – Elektrická vedení – Příloha B: Dovolené proudy
ČSN 34 1610	Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách
ČSN 33 2130	Elektrické instalace nízkého napětí – Vnitřní elektrické rozvody
ČSN IEC 287	Elektrické kabely – Výpočet dovolených proudů

## 5. Doplňující část

### 5.1. Zkratové proudy v rozvodech nn

#### 5.1.1. Vznik zkratu – příčiny a jejich význam

U každého elektrického zařízení je nutno počítat vedle normálních provozních stavů také s různými poruchovými jevy, jako např. nedovolené přetížení, přepětí nebo zkrat. Nelze jim zcela zabránit ani v případě, že zařízení je projektováno, realizováno, zkoušeno a provozováno podle odpovídajících platných předpisů a norem. Je tedy nutné zajistit, předně vhodným řešením elektrického zařízení, aby v případě výskytu poruchových jevů se jejich možné následky minimalizovaly, nebyly nebezpečné pro vlastní zařízení a okolí.

Velmi vážnou poruchou může být zkrat. Zkratem rozumíme chybné vodivé spojení mezi fázemi nebo spojení některé z fází se zemí případně středním vodičem v uzemněné soustavě, které musí být bezprostředně po vzniku samočinně odpojeno ochranou. Podle toho, čím je chybné spojení způsobeno, můžeme hovořit o dokonalém nebo nedokonalém zkratu. Dokonalý zkrat vznikne galvanickým spojením, tj. kovovým předmětem dostatečného průřezu, jehož impedance je zanedbatelná (zapomenutý klíč na sběrnicích v rozváděči, lžíce bagru při zemních pracích atd.). Zkratové proudy při dokonalém zkratu mohou dosahovat značně vysokých hodnot. Naproti tomu nedokonalý zkrat vznikne spojením, které je charakteristické nezanedbatelnou hodnotou impedance (např. oblouk, vodivá kapalina atd.). Většina dokonalých zkratů přechází v obloukový zkrat. V takovém případě nemusí být dokonce hodnota zkratového proudu ani výrazně větší než jmenovitý proud elektrického zařízení.

Dalším druhem chybného vodivého spojení je zemní spojení. Může se vyskytnout jen v izolované soustavě při spojení jedné z fází se zemí. Nepovažuje se za zkrat a nemusí být bezprostředně odpojeno. Pokud dojde ke spojení dvou různých fází se zemí, třeba i na různých místech, jedná se již o zkrat.

#### 5.1.2. Následky zkratových proudů

Zkratky v elektrických zařízeních, v důsledku svých účinků, se mohou projevit mnoha velmi vážnými následky, které mohou ohrozit nejen funkci a bezpečnost provozu elektrického zařízení, ale také bezprostředně bezpečnost obsluhy. Mohou být také příčinou následného požáru. Aby se předešlo těmto následkům, je třeba při návrhu elektrického zařízení brát v úvahu nejen normální provozní stavy, ale také možnost vzniku zkratu. Vhodným řešením pak dosáhnout minimalizace účinků zkratových proudů.

Hlavní účinky zkratových proudů:

- 1) *Dynamické síly* – namáhají vodiče na ohyb, působí na upevňovací konstrukce vodičů – podpěry, průchodky atd., namáhají vinutí transformátorů, točivých strojů a kontaktní systémy spínačů, stykačů (krátkodobé oddálení kontaktů s nebezpečím jejich následného svaření nebo upálení)
- 2) *Teplné účinky* – průchod zkratového proudu vodiči způsobuje velký výkon tepla a tím i jejich velké oteplení. Dochází k degradaci izolace a mechanických vlastností vodičů, až k jejich roztavení. Také případně vzniklý elektrický oblouk má devastující tepelné účinky.
- 3) *Pokles napětí* – při dokonalém zkratu je napětí v místě zkratu rovno téměř nule, blíže ke zdroji stoupá. Při nedokonalém zkratu je napětí vyšší, nicméně zdaleka nedosahuje jmenovitého napětí. Významný vliv má pokles napětí například na funkci asynchronních motorů (moment závisí na druhé mocnině napětí), elektrotepelných zařízení (výkon závisí na druhé mocnině napětí), elektromagnetů - vypínání stykačů (síla závisí na druhé mocnině napětí) atd.



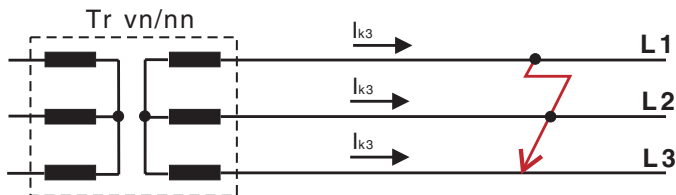
- 4) Nebezpečí úrazu elektrickým proudem – vznikne-li zkrat, napŕ. poškozením izolace fázového vodiče a tím jeho spojením s neživou částí elektrického zařídění, může napětí na neživé části dosáhnout hodnoty větší než dovolené.

Zkratové proudy mohou mít celou řadu dalších účinků, jako napŕ. přepětí (při vypínání zkratového proudu), elektromagnetické rušení, zřídění a tlakový ráz v důsledku elektrického oblouku atd.

**5.1.3. Druhy zkratu**

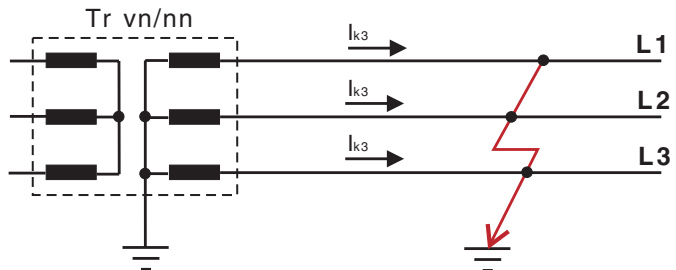
V trojfázové soustavě může dojít k chybnému spojení mezi různými vodiči. Podle konkrétního spojení mluvíme o následujících druzích zkratu:

- 1) *Trojfázový zkrat* – nastane v případě spojení všech tří fází v jednom místě, obr. 5-1. V naprosté většině případů dosahuje zkratový proud při souměrném trojfázovém zkratu nejvyšší hodnoty.



Obr. 5-1

- 2) *Trojfázový zemní zkrat* – nastane při spojení všech tří fází v jednom místě a jejich současném spojení se zemí, obr. 5-2. Při souměrném zkratu neteče zemí žádný proud. Zkratový proud je stejný jako v případě trojfázového zkratu.



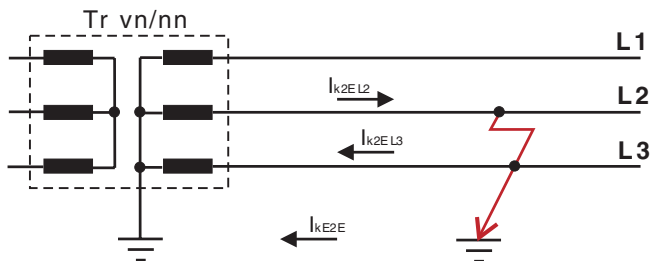
Obr. 5-2

- 3) *Dvojfázový zkrat* – nastane při spojení libovolných dvou fází trojfázové soustavy v jednom místě, obr. 5-3.



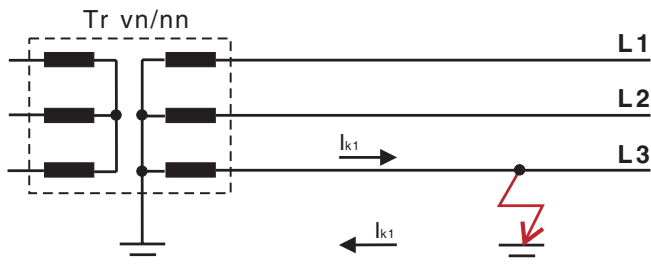
Obr. 5-3

- 4) *Dvojfázový zemní zkrat* - nastane při spojení libovolných dvou fází trojfázové soustavy v jednom místě a jejich současném spojení se zemí, obr. 5-4. V některých případech může být proud  $I_{kE2E}$  větší než souměrný trojfázový zkratový proud ve stejném místě.



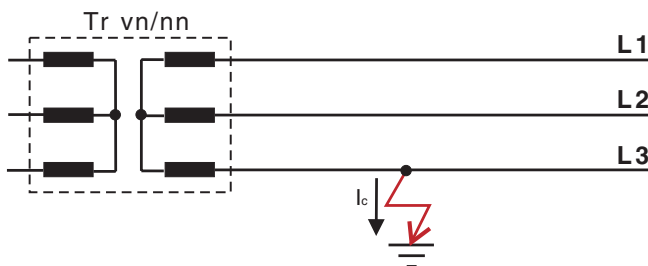
Obr. 5-4

- 5) *Jednofázový zkrat* - nastane při spojení libovolné fáze se středním vodičem nebo zemí v soustavě s uzemněným uzlem, obr. 5-5. Ve výjimečných případech může být jednofázový zkratový proud větší než souměrný trojfázový zkratový proud ve stejném místě (např. na svorkách transformátoru nebo v jeho blízkosti, a to při spojení sekundárního vinutí transformátoru do lomené hvězdy).

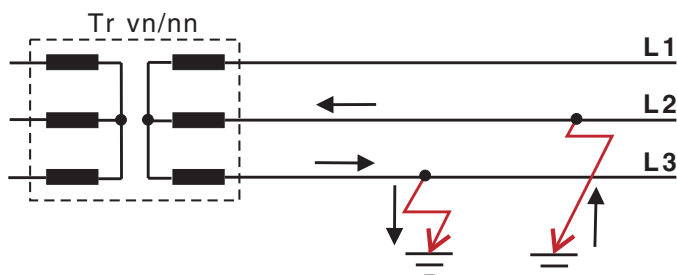


Obr. 5-5

- 6) *Zemní spojení* - nastane při spojení libovolné fáze se zemí v izolované soustavě obr. 5-6. Zemní spojení se nepovažuje za zkrat. Protéká pouze svodový, převážně kapacitní proud  $I_c$ . Pokud dojde následně na jiném místě ke spojení jedné ze zbývajících fází se zemí, obr. 5-7, jedná se již o zkrat (tzv. simultánní zkrat).



Obr. 5-6



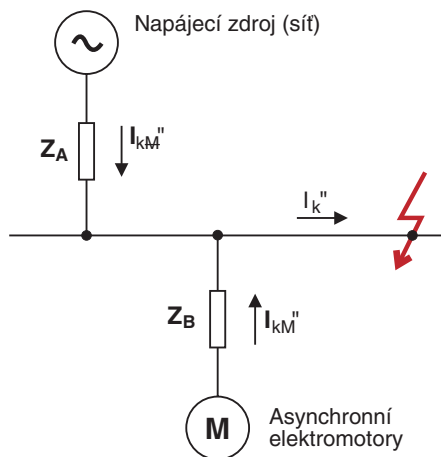
Obr. 5-7

Jednofázové a dvojfázové zkraty jsou vždy zkraty nesouměrné.

### 5.1.4. Průběh zkratového proudu

Zdrojem zkratového proudu je zejména napájecí síť (nadřazená soustava), po určitou dobu jím ale také mohou být připojené asynchronní motory a synchronní stroje (alternátory, kompenzátory, motory).

Příklad:



Obr. 5-8: Příklad zdrojů zkratového proudu

$$I_k'' = I_{km}'' + I_{km}'' \tag{5-1}$$

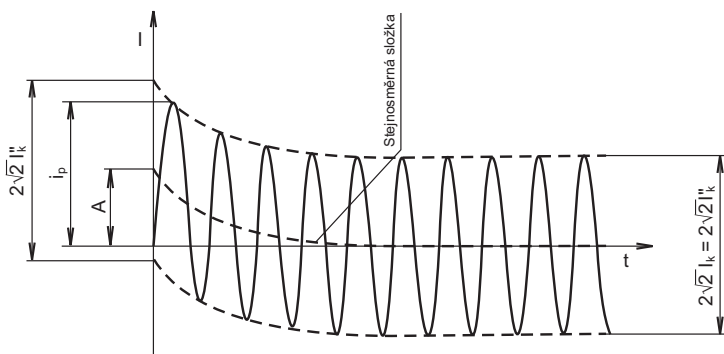
- Kde:
- $Z_A$  .....impedance větve napájecího zdroje
  - $Z_B$  .....náhradní impedance asynchronních motorů včetně připojovacích vedení
  - $I_k''$  .....zkratový proud v místě zkratu
  - $I_{km}''$  .....zkratový proud od zdroje (bez příspěvku asynchronních motorů)
  - $I_{km}''$  .....příspěvek zkratového proudu od asynchronních motorů

Pokud lze zanedbat příspěvky zkratového proudu od asynchronních a synchronních strojů, hovoříme o elektricky vzdáleném zkratu, pokud příspěvky nelze zanedbat, hovoříme o elektricky blízkém zkratu.

V distribučním a domovním rozvodu lze příspěvky zanedbat. V průmyslovém rozvodu v mnoha případech také.

#### 5.1.4.1. Průběh a parametry zkratového proudu elektricky vzdáleného zkratu

Obecný průběh zkratového proudu se skládá ze dvou hlavních složek – stejnosměrné, která se časem zmenšuje a souměrné střídavé, která kmitá kolem stejnosměrné složky a její efektivní hodnota je v tomto případě konstantní. Počáteční velikost stejnosměrné složky zaleží na okamžiku vzniku zkratu. Protože zkratový proud má převážně induktivní charakter, tzn. je zpožděn za napětím téměř o  $90^\circ$ , bude hodnota stejnosměrné složky největší, vznikne-li zkrat v okamžiku nejmenší okamžité hodnoty napětí (při průchodu napětí nulou). V tomto případě dosáhne také zkratový proud své největší vrcholové hodnoty  $i_p$ . Při výpočtu zkratových proudů se uvažuje tento nehorší případ – největší nesymetrie zkratového proudu (obr. 5-9). V trojfázovém rozvodu, při trojfázovém zkratu, bude mít stejnosměrná složka ve zbývajících dvou fázích, a tím i maximální vrcholový proud, nižší hodnotu.



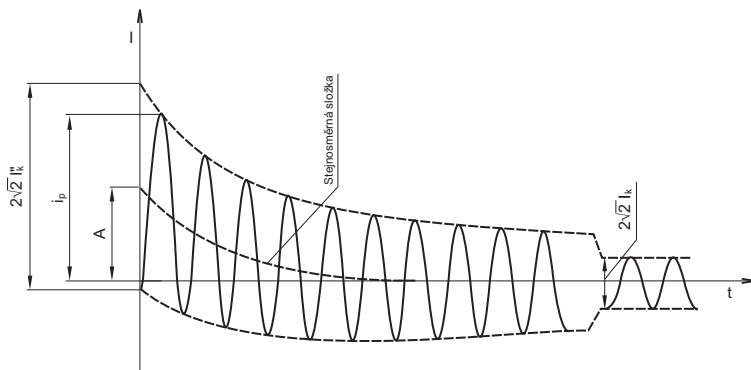
Obr. 5-9: Průběh zkratového proudu elektricky vzdáleného zkratu

Zkratové proudy jsou charakterizovány následujícími parametry (značení parametrů zkratových proudů podle ČSN EN 60909):

- $I_k$  - ustálený zkratový proud (efektivní hodnota; dříve se označoval také  $I_{ku}$  - od části názvu „ustálený“)
- $I_k''$  - počáteční souměrný rázový zkratový proud (největší efektivní hodnota souměrné střídavé složky zkratového proudu; pro elektricky vzdálený zkrat platí  $I_k'' = I_k$  - tj. střídavá složka je konstantní velikosti; dříve se označoval  $I_{ks}$  - od části názvu „souměrný“, v některých případech také  $I_{ks0,01}$  nebo  $I_{k0}$ )
- $i_p$  - nárazový zkratový proud (nejvyšší vrcholová hodnota zkratového proudu; dříve se označoval  $I_{km}$  - od „maximální“ hodnota a používal se také název „dynamický proud“)
- A - počáteční hodnota stejnosměrné složky zkratového proudu

### 5.1.4.2. Průběh a parametry zkratového proudu elektricky blízkého zkratu

V případě elektricky blízkého zkratu, kdy nelze příspěvky od synchronních a asynchronních strojů zanedbat, není souměrná střídavá složka konstantní, ale zpočátku má větší velikost (o příspěvky) a následně přechází v ustálenou hodnotu zkratového proudu bez příspěvků. Pro stejnosměrnou složku a tím i výsledný průběh zkratového proudu platí totéž, jako v případě elektricky vzdáleného zkratu (obr. 5-10).



Obr. 5-10: Průběh zkratového proudu elektricky blízkého zkratu

### 5.1.5. Velikost zkratového proudu

Velikost zkratového proudu, jednotlivých jeho parametrů závisí zjednodušeně řečeno na druhu zkratu a parametrech (napětí, impedance atd.) zkratového obvodu, tj. obvodu, kterým se zkratový proud uzavírá.

Pro správné dimenzování jednotlivých částí elektrického rozvodu (vedení, jisticí a spínací přístroje atd.) je třeba znát v jednotlivých místech elektrického rozvodu předně maximální hodnotu, v některých případech ale také minimální hodnotu (většinou při jednofázovém zkratu) počátečního souměrného rázového zkratového proudu  $I_k''$ . Dále maximální hodnotu nárazového zkratového proudu  $i_p$  a případně ekvivalentního oteplovacího proudu  $I$  (v ČSN EN 60909-0 značen  $I_{th}$ ) a jeho Joleův integrál  $I^2t$ .

Podle toho, jedná-li se o jednofázový, dvojfázový nebo trojfázový zkrat, rozlišujeme jednotlivé parametry zkratového proudu číselnými indexy 1, 2 nebo 3. Tedy například počáteční souměrný rázový zkratový proud: jednofázový zkrat –  $I_{k1}''$ , dvojfázový zkrat –  $I_{k2}''$  a trojfázový zkrat –  $I_{k3}''$ . Běžně se parametry trojfázového zkratového proudu označují ale také bez tohoto indexu, tedy v případě počátečního souměrného rázového zkratového proudu pouze  $I_k''$ . Tento způsob značení parametrů zkratových proudů je použit také v programu Sichr.

#### 5.1.5.1. Zkratové proudy transformátorů

V mnoha případech nám stačí pro první orientaci znát zkratové proudy na svorkách napájecího transformátoru vn/nn, viz tab. 5-1 a 5-2. V tabulkách jsou uvedeny obvyklé maximální hodnoty počátečního souměrného rázového zkratového proudu  $I_k''$  a nárazového zkratového proudu  $i_p$  transformátorů vn/nn při trojfázovém zkratu, bez vlivu impedance nadřazené soustavy.

Jmenovitý výkon	Jmenovitý proud	Napětí nakrátko	Počáteční rázový zkratový proud $I_k''$ [kA]	Nárazový zkratový proud $i_p$ [kA]	Rezistance nakrátko jedné fáze $R_T$ [mΩ]	Induktivní reaktance nakrátko jedné fáze $X_T$ [mΩ]
$S_T$ [kVA]	$I_n$ [A]	$u_k$ [%]				
100	137	4	3,44	6,1	31	63,5
160	220	4	5,5	10,3	16	41
250	344	4	8,6	16,6	9,2	26,7
		6	5,7	11,1	10	41,1
400	550	4	13,7	30,3	4,3	16,7
		6	9,1	20,3	5,1	25
630	866	6	14,4	32,7	2,9	16,6
1 000	1 375	6	22,9	51,7	1,86	10
1 600	2 199	6	36,7	82,5	1,17	6,5

 Tab. 5-1: Obvyklé parametry distribučních transformátorů  $U_n = 420/242$  V

Jmenovitý výkon	Jmenovitý proud	Napětí nakrátko	Počáteční rázový zkratový proud $I_k''$ [kA]	Nárazový zkratový proud $i_p$ [kA]	Rezistancee nakrátko jedné fáze $R_T$ [mΩ]	Induktivní reaktance nakrátko jedné fáze $X_T$ [mΩ]
$S_T$ [kVA]	$I_n$ [A]	$u_k$ [%]				
100	144	4	3,61	6,37	28,0	57,0
160	231	4	5,77	10,8	14,7	37,2
250	361	4	9,02	17,5	8,3	24,2
		6	6,01	12,6	9,2	37,3
400	577	4	14,4	32,5	3,5	15,0
		6	9,62	21,7	4,2	23,6
630	909	4	22,7	46,8	2,62	9,81
		6	15,2	34,4	2,58	15,0
1 000	1443	6	24,1	55,5	1,5	9,48
1 600	2309	6	38,5	88,6	0,94	5,93

 Tab. 5-2: Obvyklé parametry distribučních transformátorů  $U_n = 400/230$  V

Hodnotu zkratového proudu  $I_k''$  lze orientačně zjistit také pomocí měřících přístrojů, které měří impedanci mezi vodiči. Některé z nich na základě změřené impedance vypočítávají a uvádějí přímo hodnotu zkratového proudu v místě měření. Na základě změřené impedance mezi fázemi uvádějí  $I_k''$  při trojfázovém zkratu, na základě měření impedance mezi fází a ochranným nebo středním vodičem obvykle hodnotu zkratového proudu při jednofázovém zkratu. Pokud má impedance malou hodnotu, řádově desítky mΩ, je přesnost měření impedance a tím i hodnota uváděného zkratového proudu malá – desítky procent.

### 5.1.5.2. Výpočet zkratových proudů

Při výpočtu zkratových proudů se vychází z Ohmova zákona s použitím metody ekvivalentního napěťového zdroje v místě zkratu. Ekvivalentní napěťový zdroj je tak jediným aktivním napětím řešené soustavy. Všechny síťové napáječe, synchronní a asynchronní stroje jsou nahrazeny svou vnitřní impedancí. Všechny impedance je třeba přepočítat na jednu napěťovou hladinu, obvykle na hladinu, v které se určuje zkratový proud. Zvláště při řešení nesouměrných zkratů je vhodné použít metody souměrných složek (sousedná, zpětná a netočivá).

Výpočet zkratových proudů je uveden předně v normách: ČSN EN 60909-0, ČSN 33 3022-1, ČSN IEC 909-2.

Zkratové proudy trojfázové i jednofázové počítá také výpočtový program Sichr.

Dále jsou uvedeny základní vztahy pro výpočet zkratových proudů při zanedbání příspěvků od synchronních a asynchronních strojů (elektricky vzdálený zkrat). Podle ČSN EN 60909-0 lze příspěvky od asynchronních motorů zanedbat pokud

$$\Sigma I_{rM} \leq 0,01 I_{kM} \quad (5-2)$$

Kde:  $I_{rM}$  ..... jmenovitý proud asynchronního elektromotoru

Pro informaci je uvedena přibližná hodnota příspěvku zkratového proudu od asynchronních motorů (na svorkách motoru, tj. bez vlivu impedance připojovacího vedení) :

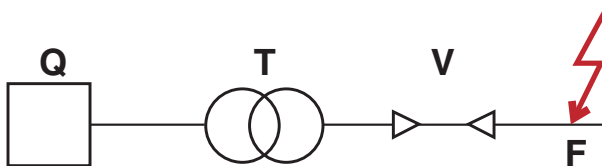
- a) P = 30 kW,  $I_{rM} = 55$  A; příspěvek zkratového proudu od motoru cca  $I_{kM} = 280$  A
- b) P = 400 kW,  $I_{rM} = 685$  A; příspěvek zkratového proudu od motoru cca  $I_{kM} = 3\,200$  A

Při zjednodušení lze konstatovat, že příspěvek počátečního souměrného rázového zkratového proudu od asynchronního motoru  $I_{rM}$  se přibližně rovná jeho záběrovému proudu při zapínání  $I_{zM}$  (bez jakéhokoliv omezení záběrového proudu, např. hvězda-trojúhelník atd.)

#### 5.1.5.2.1. Počáteční souměrný rázový zkratový proud

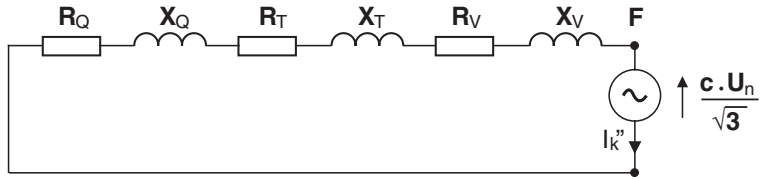
- a) Trojfázový zkrat:

Schéma zkratového obvodu



Obr. 5-11: Principiální schéma zkratového obvodu

- Kde: Q ..... síťový napáječ (nadřazená soustava)  
 T ..... transformátor vn/nn  
 V ..... vedení  
 F ..... místo zkratu



Obr. 5-12: Náhradní schéma

$$I_k'' = \frac{c \times U_n}{\sqrt{3} \times Z_k} \quad (5-3)$$

Kde:

$$Z_k = \sqrt{(R_Q + R_T + R_V)^2 + (X_Q + X_T + X_V)^2} \quad (5-4)$$

- Kde:  $Z_k$  ..... výsledná impedance zkratového obvodu (absolutní hodnota)  
 $R_Q$  ..... rezistance 1 fáze síťového napáječe přepočítaná na napětí  $U_n$   
 $R_T$  ..... rezistance nakrátko 1 fáze transformátoru  
 $R_V$  ..... rezistance fázového vodiče vedení  
 $X_Q$  ..... reaktance 1 fáze síťového napáječe přepočítaná na napětí  $U_n$   
 $X_T$  ..... reaktance nakrátko 1 fáze transformátoru  
 $X_V$  ..... reaktance fázového vodiče vedení  
 $U_n$  ..... jmenovité sdružené napětí soustavy, v které počítáme zkratový proud  
 $c$  ..... napěťový součinitel (pro max. zkratový proud  $c = 1,1$ )  
 $c \times U_n / \sqrt{3}$ ... ekvivalentní napěťový zdroj

Při trojfázovém zkratu se uplatňují rezistence a reaktance jen jedné fáze.



V tab. 5-3 jsou uvedeny obvyklé rezistence  $R_V$  (při 20 °C) a reaktance  $X_V$  fázových vodičů kabelů:

Průřez vodiče $S$ [mm <sup>2</sup> ]	Materiál a parametry vodiče kabelu (na 1 m délky)			
	Cu		Al	
	$R_V$ [mΩ/m]	$X_V$ [mΩ/m]	$R_V$ [mΩ/m]	$X_V$ [mΩ/m]
1,5	12,5	0,114		
2,5	7,5	0,111	12,38	0,111
4	4,7	0,107	7,74	0,107
6	3,1	0,101	5,16	0,101
10	1,88	0,095	3,1	0,095
16	1,17	0,09	1,93	0,09
25	0,75	0,087	1,24	0,089
35	0,54	0,083	0,88	0,086
50	0,376	0,096	0,62	0,086
70	0,269	0,083	0,442	0,083
95	0,198	0,082	0,326	0,082
120	0,157	0,081	0,258	0,081
150	0,125	0,081	0,206	0,081
185	0,102	0,081	0,167	0,081
240	0,078	0,08	0,129	0,081

Tab. 5-3 Obvyklé parametry fázových vodičů kabelů:

#### Příklad 1:

Přívod elektrické energie do elektroměrového rozváděče je proveden z rozváděče distribučního transformátoru  $S_t = 630$  kVA,  $U_n = 420/242$  V,  $u_k = 6$  % kabelem AYKY 3x 240 +120 mm<sup>2</sup> délky  $L_1 = 50$  m do rozpojovací skříně, dále kabelem AYKY 3x 185 +95 mm<sup>2</sup> délky  $L_2 = 20$  m do přípojkové skříně rodinného domku. Odtud přívod pokračuje kabelem CYKY 4x 10 mm<sup>2</sup> délky  $L_3 = 7$  m do elektroměrového rozváděče.

Jak velký je maximální trojfázový počáteční souměrný rázový zkratový proud  $I_k$  v místě elektroměrového rozváděče?

#### Řešení:

Pro zjednodušení zanedbáme rezistenci a reaktanci nadřazené soustavy (vliv je obvykle velice malý – tvrdý zdroj). Nebudeme také uvažovat případné omezení zkratového proudu pojistkami v přípojkové skříně.

Výsledná impedance zkratového obvodu (parametry transformátoru a vedení viz tab. 5-1 a 5-3)

$$Z_k = \sqrt{(R_T + R_{V1} + R_{V2} + R_{V3})^2 + (X_T + X_{V1} + X_{V2} + X_{V3})^2}$$

$$Z_k = \sqrt{(2,9 + 6,45 + 3,34 + 13,16)^2 + (16,6 + 4,05 + 1,62 + 0,66)^2}$$

$$Z_k = 34,55 [\text{m}\Omega] = 0,03455 [\Omega]$$

Trojfázový počáteční souměrný rázový zkratový proud  $I_k''$ :

$$I_k'' = \frac{c \times U_n}{\sqrt{3} \times Z_k}$$

$$I_k'' = \frac{1,1 \times 400}{\sqrt{3} \times 0,03455}$$

$$I_k'' = 7361 [A] = 7,361 [kA]$$

b) Jednofázový zkrat:

Jedná se o nesouměrný zkrat, a proto je vhodné počítat zkratové proudy pomocí souměrných složek.

Počáteční souměrný rázový zkratový proud  $I_{k1}''$  při jednofázovém zkratu:

$$I_k'' = \frac{\sqrt{3} \times c \times U_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)}|} = \frac{\sqrt{3} \times c \times U_n}{|2Z_{(1)} + Z_{(0)}|} \quad (5-5)$$

Kde:  $Z_{(1)}$  ..... výsledná sousledná impedance zkratového obvodu  
 $Z_{(2)}$  ..... výsledná zpětná impedance zkratového obvodu  
 $Z_{(0)}$  ..... výsledná netočivá impedance zkratového obvodu  
 $Z_T$  ..... impedance nakrátko 1 fáze transformátoru  
 $Z_V$  ..... impedance fázového vodiče vedení

Pro souměrné složky impedance transformátorů platí:

$$Z_{(1)} = Z_{(2)} = Z_T$$

$Z_{(0)} \cong Z_{(1)}$  - platí pro běžné transformátory

$Z_{(0)} \leq Z_{(1)}$  - platí pro transformátory, které mají sekundární vinutí spojené do lomené hvězdy, tj. např. Yzn1

Pro souměrné složky impedance vedení platí:

$$Z_{(1)} = Z_{(2)} = Z_V$$

Velikost netočivé impedance vedení  $Z_{(0)}$  (složek R a X) závisí předně na tom, kudy se uzavírá zpětná cesta zkratového proudu, zda jen vodičem nebo i zemí případně vodivým pláštěm kabelu a na průřezu vodiče. Hodnoty lze zjistit např. v ČSN IEC 909-2.

V naprosté většině případů je trojfázový počáteční souměrný rázový zkratový proud největší. Pouze v ojedinělých případech se může vyskytnout jednofázový zkratový proud stejný (přímo na sekundárních svorkách běžných transformátorů - vyplývá z  $Z_{(0)} \cong Z_{(1)}$  a ze vztahu pro výpočet  $I_{k1}''$ ) nebo dokonce větší (na sekundárních svorkách transformátorů nebo v jejich blízkosti, které mají sekundární vinutí zapojené do lomené hvězdy - vyplývá z  $Z_{(0)} \leq Z_{(1)}$  a ze vztahu pro výpočet  $I_{k1}''$ ) než trojfázový. Transformátory s vinutím do lomené hvězdy se používají v distribučním rozvodu, ale obvykle jen do výkonu  $S_n = 250$  kVA, tedy s poměrně malým zkratovým proudem.

### 5.1.5.2.2. Nárazový zkratový proud

Jeho velikost se odvíjí od hodnoty počátečního souměrného rázového proudu  $I_k''$  a rezistance a reaktance zkratového obvodu (složek impedance zkratového obvodu  $Z_k$ ).

a) Nárazový zkratový proud při trojfázovém zkratu:

$$i_p = n \times I_k'' \quad (5-6)$$

b) Nárazový zkratový proud při jednofázovém zkratu:

$$i_{p1} = n \times I_{k1}'' \quad (5-7)$$

Činitel  $n$  je možné přibližně stanovit v závislosti na  $I_k''$  podle tab. 5-4 (platí pro uvedený obvyklý  $\cos \varphi$  zkratového obvodu):

Počáteční souměrný rázový zkratový proud $I_k''$ [kA]	$\cos \varphi$	$n$
$4,5 \leq I \leq 6$	0,7	1,5
$6 < I \leq 10$	0,5	1,7
$10 < I \leq 20$	0,3	2,0
$20 < I \leq 50$	0,25	2,1
$50 < I$	0,2	2,2

Tab. 5-4

Přesněji lze stanovit činitel  $n$  např. podle ČSN EN 60909-0.

#### Příklad 2:

Jak velký je přibližně nárazový zkratový proud  $i_p$ , který odpovídá počátečnímu souměrnému rázovému proudu  $I_k'' = 7,4$  kA z Příkladu 1?

#### Řešení:

Z tab. 5-4 stanovíme pro  $I_k'' = 7,4$  kA (obvyklý  $\cos \varphi \cong 0,5$ ) činitel  $n = 1,7$ .

Nárazový zkratový proud:  $i_p = n \times I_k'' = 1,7 \times 7,4 = 12,6$  kA

#### Poznámka:

*Ve skutečnosti bude mít proud  $i_p$  menší hodnotu, protože  $\cos \varphi$  bude větší ( $I_k''$  nedosahuje poloviny rozmezí  $6 < I \leq 10$ ). Takto stanovená hodnota je tedy na straně bezpečnosti.*

### 5.1.6. Volba jisticích přístrojů z hlediska předpokládaných zkratových proudů

Abyste jisticí přístroje mohly spolehlivě plnit svou ochrannou funkci, musí předně samy zvládnout bez problémů vypnutí zkratového proudu. Aby tomu tak bylo, musí jejich odpovídající parametry být v souladu s odpovídajícími parametry charakterizujícími zkratové proudy. Z tohoto hlediska musí platit pro:

a) Jističe odpovídající normě ČSN EN 60947-2 (jističe řady Modeion, Arion, dříve také BA), obr. 5-13



Obr. 5-13

a1) Jmenovitá mezní zkratová vypínací schopnost  $I_{cu}$  případně jmenovitá provozní vypínací schopnost  $I_{cs}$  jističe musí být větší, minimálně rovna, počátečnímu souměrnému rázovému zkratovému proudu  $I_k''$  v místě rozvodu jeho uvažovaného použití, tedy:

$$I_{cu} \text{ nebo } I_{cs} \geq I_k'' \quad (5-8)$$

Jaký je rozdíl mezi jmenovitou mezní zkratovou vypínací schopností  $I_{cu}$  a jmenovitou provozní vypínací schopností  $I_{cs}$ ?

Zjednodušeně lze říci, že jistič mající určitou hodnotu  $I_{cu}$ , musí být schopen bez problémů 1x vypnout a 1x zapnout s následným vypnutím zkratového proudu  $I_k''$  stejné hodnoty jako  $I_{cu}$  a nemusí být schopen dalšího provozu. Přitom v jedné fázi musí zkratový proud dosahovat maximální vrcholové hodnoty, tj.  $i_p$  (největší nesymetrie). Podobně platí pro jistič mající určitou hodnotu  $I_{cs}$ , ale s tím rozdílem, že musí být schopen 1x vypnout a 2x zapnout s následným vypnutím zkratového proudu  $I_k''$  stejné hodnoty jako  $I_{cs}$  a poté být schopen omezeného provozu.

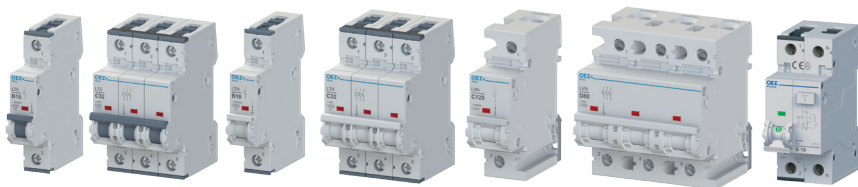
V naprosté většině případů postačuje, když výše uvedenému vztahu vyhovuje alespoň parametr  $I_{cu}$ .

a2) Jmenovitá zkratová zapínací schopnost  $I_{cm}$  jističe musí být větší, minimálně rovna, nárazovému zkratovému proudu  $i_p$  v místě rozvodu jeho uvažovaného použití, tedy:

$$I_{cm} \geq i_p \quad (5-9)$$

Musí platit obě podmínky. Pokud jistič splňuje první podmínku, není až na výjimky s druhou podmínkou problém (vyplývá z metodiky zkoušek vypínací a zapínací schopnosti jističů podle ČSN EN 60947-2).

b) Jističe odpovídající normě ČSN EN 60898-1 (jističe LTN, LTE, LVN, proudové chrániče s nadproudovou ochranou OLI, OLE, OLF1 a OLFE), obr. 5-14



Obr. 5-14

U těchto jističů se udává jen jmenovitá zkratová vypínací schopnost  $I_{cn}$ , jejíž hodnota odpovídá mezní vypínací schopnosti, jistič tedy po úspěšném zvládnutí zkratů nemusí být schopen dalšího provozu.

Jmenovitá zkratová vypínací schopnost jističe musí být větší, minimálně rovna, počátečnímu souměrnému rázovému zkratovému proudu  $I_k$  v místě rozvodu jeho uvažovaného použití, tedy:

$$I_{cn} \geq I_k \quad (5-10)$$

c) Pojistky (pojistkové vložky) nízkého napětí odpovídající ČSN EN 60269



Obr. 5-15

U pojistek (pojistkových vložek) se udává jmenovitá vypínací schopnost  $I_1$ . Jmenovitá vypínací schopnost  $I_1$  pojistky (pojistkové vložky) musí být větší, minimálně rovna, počátečnímu souměrnému rázovému zkratovému proudu  $I_k$  v místě rozvodu jejího uvažovaného použití, tedy:

$$I_1 \geq I_k \quad (5-11)$$

*Poznámka:*

*Splnění nerovnosti (5-11) je podmínkou pro použití samotné pojistkové vložky (např. pojistkové vložky se šroubovými spoji pro jištění polovodičů) nebo pojistky (pojistkové vložky v pojistkovém spodku), obr. 5-15. Při použití pojistkové vložky v pojistkovém odpínači nebo odpojovači, obr. 5-16, je rozhodující jmenovitý podmíněný zkratový proud  $I_{cc}$  pojistkového odpínače nebo odpojovače s konkrétní pojistkovou vložkou. Ten může být menší nebo maximálně roven vypínací schopnosti  $I_1$  pojistky (pojistkové vložky).*



Obr. 5-16

Jmenovitý podmíněný zkratový proud  $I_{cc}$  pojistkového odpínače nebo odpojovače s pojistkovou vložkou musí být větší, minimálně roven, počátečnímu souměrnému rázovému zkratovému proudu  $I_k$  v místě rozvodu jeho uvažovaného použití, tedy:

$$I_{cc} \geq I_k \quad (5-12)$$

Výpočtový program Sichr kontroluje parametry jisticích přístrojů vzhledem k parametrům předpokládaných zkratových proudů v místech jejich použití.

## 5.2. Ekonomická optimalizace průřezu silových kabelů nn

Elektrická silová vedení, určená k přenosu elektrické energie, mohou významně ovlivnit nejen spolehlivost a bezpečnost její dodávky, ale i hospodárnost přenosu.

Správně navržené elektrické vedení musí být v souladu s celou řadou požadavků. Pokud okruh požadavků zúžíme na požadavky bezprostředně související s dimenzováním průřezu jeho vodičů, musí navržené vedení splňovat minimálně tato základní kritéria:

- nesmí být překročena jeho maximální dovolená teplota vzhledem k druhu izolace vodičů, a to jak při trvalém provozu, tak také při přetížení a zkratu
- úbytek napětí na vedení musí být menší nebo roven maximálnímu dovolenému úbytku
- impedance vedení (spolu s vypínací charakteristikou daného ochranného přístroje) musí být v souladu s podmínkami ochrany automatickým odpojením od zdroje, pokud je tato ochrana použita
- mechanická pevnost musí odpovídat jeho možnému extrémnímu namáhání – poryvy větru, námraza (venkovní vzdušné vedení), dynamické účinky zkratových proudů atd.

Současné splnění výše uvedených kritérií vyžaduje určitý minimální průřez vodičů vedení. Cena kabelu je úměrná průřezu jeho vodičů. Dimenzování vedení na základě těchto kritérií tedy vede k návrhu vedení s minimálními pořizovacími náklady.

V naprosté většině případů návrhu vedení jej dimenzujeme právě pouze z hlediska těchto kritérií, tedy minimálních pořizovacích nákladů. Na první pohled to nemá chybu, ale...

Pokud se rozhodneme koupit si např. auto, bude pro většinu z nás rozhodující nejen jeho pořizovací cena, ale také spotřeba pohonných hmot, která tvoří rozhodující část provozních nákladů. Když situaci trochu zjednodušíme, budeme se rozhodovat na základě celkové hospodárnosti, tedy minima celkových nákladů tvořených pořizovací cenou a provozními náklady. Ne jinak by tomu mělo být při návrhu elektrického vedení.

Pokud tedy navrhujeme vedení, které bude významnou dobu zatěžováno proudem blížícím se výpočtovému proudu nebo cena elektrické energie bude vysoká (fotovoltaické elektrárny), je vhodné se zabývat hospodárností přenosu elektrické energie tímto vedením. Za hospodárné vedení v tomto smyslu považujeme takové vedení, jehož průřezy vodičů jsou stanoveny na základě minimalizace celkových nákladů, tj. pořizovacích a provozních nákladů za ekonomickou životnost vedení. Vlastní metodu stanovení optimálního průřezu nazýváme obvykle ekonomickou optimalizací průřezu.

Hospodárné vedení tedy musí samozřejmě splňovat výše uvedená základní kritéria a) až d) a dále kritérium optimálního průřezu. Problematikou stanovení optimálního průřezu vodičů vedení se zabývají normy:

- ČSN 34 1610 Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách
- ČSN IEC 287-3-2 Ekonomická optimalizace průřezu silových kabelů

Pro ilustraci si uvedme základní vztahy ekonomické optimalizace průřezu vedení a předpoklady jejich platností, a to např. pro trojfázové vedení.

### 5.2.1. Pořizovací náklady

Při ekonomické optimalizaci průřezu daného vedení uvažujeme:

- stejný způsob uložení vedení – v tom případě můžeme uvažovat jen pořizovací náklady na kabel (úměrné jeho průřezu) a nemusíme uvažovat náklady spojené s jeho uložením (konstantní, nezávislé na průřezu)<sup>1)</sup>.
- stejný typ kabelu – s určitou přijatelnou nepřesností můžeme uvažovat cenu kabelu délky 1 m vztahenou k 1 mm<sup>2</sup> průřezu fázového vodiče jako konstantní

*Poznámka:*

<sup>1)</sup> *Takto uvažované pořizovací náklady na vedení budou sice nižší než ve skutečnosti, ale na stanovení optimálního průřezu vedení nemá neuvažování nákladů na jeho uložení vliv.*

$$N_k = C_k \times S \times l \quad (5-13)$$

Kde:  $N_k$ ..... pořizovací náklady na vedení (náklady na kabel) [Kč]  
 $C_k$ ..... cena kabelu na 1m délky vztahená k 1 mm<sup>2</sup> průřezu fázového vodiče [Kč/m mm<sup>2</sup>]  
 $S$ ..... průřez jedné fáze vedení [mm<sup>2</sup>]  
 $l$ ..... délka vedení [m]

### 5.2.2. Provozní náklady

Provozní náklady jsou dány budoucími náklady na elektrické ztráty ve vedení. Náklady na ztráty v prvním roce:

$$N_{z1} = 3 \times 0,001 \times \rho_{45} \times \frac{l}{S} \times I_b^2 \times T \times C_w \quad (5-14)$$

Kde:  $N_{z1}$ ..... náklady na ztráty v prvním roce [Kč]  
 $\rho_{45}$ ..... měrný elektrický odpor vodičů vedení při 45 °C [ $\Omega$ mm<sup>2</sup>/m]  
 $I_b$ ..... výpočtový (soudobý) proud tekoucí vedením v prvním roce [A]  
 $T$ ..... doba plných ztrát za rok [hod/rok]  
 $C_w$ ..... cena jedné kWh elektrické energie [Kč/kWh]

Měrný elektrický odpor  $\rho$  uvažujeme při 45 °C, protože dovolený zatěžovací proud vedení s optimalizovaným průřezem bude výrazně větší než výpočtový proud tekoucí tímto vedením. Nepřesnost proti skutečnosti ovlivňuje zanedbatelně stanovení hospodárního průřezu. Doba plných ztrát  $T$  je čas, za který by ve sledovaném období jednoho roku způsobil výpočtový proud  $I_b$  stejné ztráty jako skutečně procházející, časově proměnný, proud  $I(t)$ :

$$T = \int_0^{8760} \frac{I^2(t) \times dt}{I_b^2} \quad (5-15)$$

nebo pokud lze vyjádřit průběh skutečně procházejícího proudu vedením konstantními hodnotami v jednotlivých časových úsecích ve sledovaném období:

$$T = \frac{I_1^2 \times t_1 + I_2^2 \times t_2 + \dots + I_n^2 \times t_n}{I_b^2} \quad (5-16)$$

Kde:  $I_1, \dots, I_n$ ..... proudy konstantní velikosti procházející vedením po dobu  $t_1, \dots, t_n$

Aby bylo možné dávat do společného vztahu pořizovací náklady a provozní náklady v průběhu ekonomické životnosti vedení, je nutné je vyjádřit ekonomickými hodnotami, které se vztahují ke stejnému časovému bodu. Jako tento bod je vhodné volit datum provedení elektrického rozvodu a považovat jej za současnost. Budoucí náklady na ztráty elektrické energie ve vedení se potom přepočítají na jejich ekvivalentní současnou hodnotu pomocí diskontování. Pokud vezmeme dále v úvahu možný nárůst zatížení vedení a ceny elektrické energie, bude současná hodnota nákladů na ztráty, tedy provozních nákladů, za ekonomickou životnost vedení:

$$N_z = 3 \times 0,001 \times \rho_{45} \times \frac{l}{S} \times I_b^2 \times T \times C_w \times \frac{B}{1 + i/100} \quad (5-17)$$

Kde:  $N_z$  ..... současná hodnota nákladů na ztráty [Kč]  
 $B$ ..... součinitel zahrnující nárůst zatížení, ceny elektrické energie za dobu ekonomické životnosti vedení a diskontní sazbu  
 $i$ ..... diskontní sazba [%]

Výše diskontní sazby vyjadřuje časovou hodnotou peněz. V případě nedostatku přesnějších informací lze uvažovat diskontní sazbu  $i = 5\%$ .

$$B = \sum_{n=1}^{t_r} (r^{n-1}) = \frac{1 - r^{t_r}}{1 - r} \quad (5-18)$$

$$r = \frac{(1 + a/100)^2 \times (1 + b/100)}{(1 + i/100)} \quad (5-19)$$

Kde:  $t_r$ ..... ekonomická životnost vedení [rok]  
 $a$  ..... roční nárůst zatížení [%/rok]  
 $b$  ..... roční nárůst ceny elektrické energie [%/rok]

Ekonomická životnost vedení je doba uvažovaná pro ekonomické výpočty. Je menší, maximálně rovna, fyzické životnosti vedení.

Předpokládá se, že diskontní sazba, roční nárůst zatížení a roční nárůst ceny elektrické energie budou po celou dobu ekonomické životnosti konstantní.

### 5.2.3. Celkové náklady na vedení

$$N_c = N_k + N_z \quad (5-20)$$

$$N_c = ( C_k \times S \times l ) + ( 0,003 \times \rho_{45} \times \frac{l}{S} \times I_b^2 \times T \times C_w \times \frac{B}{1 + i/100} ) \quad (5-21)$$



#### 5.2.4. Optimální (hospodárný) průřez vodiče(ů) jedné fáze vedení

Jak je uvedeno výše, optimální průřez vodičů elektrického vedení se stanoví na základě minimální hodnoty celkových nákladů na vedení za jeho ekonomickou životnost. Optimální průřez vodičů tedy stanovíme z nulové hodnoty první derivace funkce celkových nákladů podle průřezu:

$$\frac{dN_c}{dS} = 0 \quad (5-22)$$

$$\left( C_k \times I \right) - \left( 0,003 \times \rho_{45} \times l \times S_o^{-2} \times I_b^2 \times T \times C_w \times \frac{B}{1+i/100} \right) = 0 \quad (5-23)$$

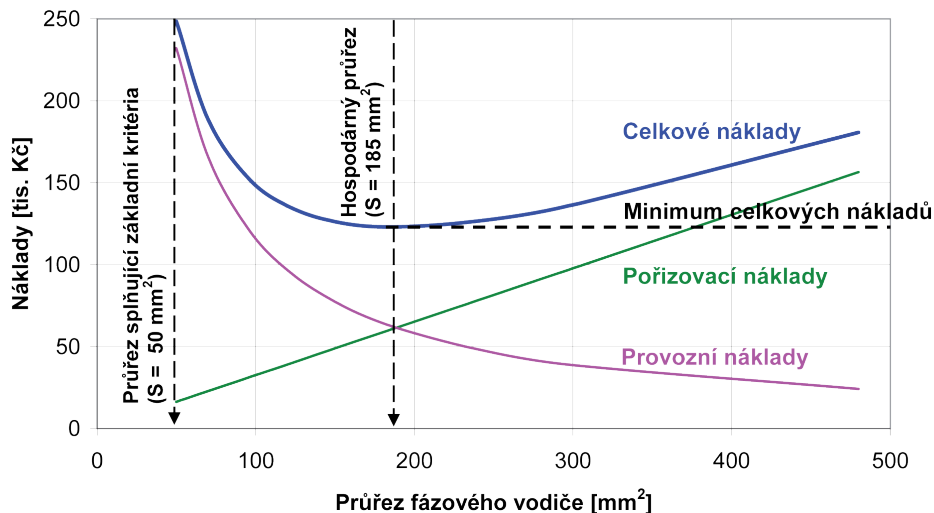
tedy optimální průřez vodiče(ů) jedné fáze trojfázového vedení:

$$S_o = 0,055 \times I_b \times \sqrt{\frac{C_w}{C_k} \times \rho_{45} \times T \times \frac{B}{1+i/100}} \quad (5-24)$$

Stejným způsobem lze odvodit vztah pro optimální průřez jednoho pracovního vodiče jednofázového vedení:

$$S_o = 0,045 \times I_b \times \sqrt{\frac{C_w}{C_k} \times \rho_{45} \times T \times \frac{B}{1+i/100}} \quad (5-25)$$

K takto stanovenému optimálnímu (hospodárnému) průřezu zvolíme nejbližší normalizovaný průřez kabelu. Není výjimkou, že optimalizací průřezu snížíme celkové náklady na vedení o více než 50 %.



Obr. 5-17: Příklad závislosti nákladů na průřezu vedení

Výpočtový program Sichr od verze 10 umožňuje návrh hospodárného vedení na základě ekonomické optimalizace průřezu použitých kabelů.

Projekt : Návrh přípojovacího vedení FVE 60 kW

**Ekonomická optimalizace**

Ekonomická optimalizace průřezu kabelů

Zapojení Přístroj

1T1	ELIN 22/0.42	In = 866 A	St = 630 kVA	Ik'' = 14.1 kA
		U2 = 242/420 V	dU = 3.3 %	uk = 6 %
				ip = 32.1 kA
1Q3	BL1000-DIV1E	In = 1000 A	Ir = 866 A	Icu = 65 kA
				ip = 32.1 kA
1B5	Sběrnice	I = 800 A, cos φ = 0.95	Ik'' = 14.1 kA	
		U = 407 V (Un + 1.7%)		ip = 32.1 kA
1Q7	BD250N-DIV3	In = 160 A	Ir = 110 A	Icu = 36 kA
				io = 15.6 kA

I = 96.6/96.6/96.6A, tvč5

1T9	1-AYKY 3x50+25	Iz = 132.3 A	Nk = 16 300 Kč
		So = 189 mm <sup>2</sup>	Nc = 248 344 Kč
			Nz = 232 044 Kč

**\* Povinné údaje**

* Cena kabelu 1-AYKY 3x50+25	81.5	Kč / m
* Cena elektrické energie	12.15	Kč / kWh
* Ekonomická životnost vedení	20	roků
* Doba plných ztrát	500	hodin / rok
Diskontní sazba	5	%
Roční nárůst zařízení	0	% / rok
Roční nárůst ceny elektrické energie	0	% / rok
Plné ztráty	3.065	kW
Pořizovací náklady	16300	Kč
Provozní náklady	232044.8	Kč
Celkové náklady	248344.8	Kč
Zvolený průřez lázového vodiče	50	mm <sup>2</sup>
Optimální průřez lázového vodiče	189.6	mm <sup>2</sup>

Přidat do porovnání 1x 1-AYKY 3x50+25; Iz = 117/147 A

Pro provedení optimalizace vyberte kabel s průřezem nejbližším optimálnímu průřezu.  
Postup opakujte.

Ok


Obr. 5-18: Ekonomická optimalizace průřezu přípojovacího vedení FV elektrárny pomocí programu Sichr


OEZ s.r.o., Šedivská 339, 561 51 Letohrad,  
tel.: +420 465 672 111, fax: +420 465 672 151, e-mail: oez.cz@oez.com, www.oez.cz

DIČ: CZ49810146  
IČ: 49810146

Firma zapsaná v obch. rejstříku KS v Hradci Králové, oddíl C, vložka 4649


### TECHNICKÁ PODPORA

 **Minia, Modeion, Arion, Varius, Conteo, Distri**  
tel.: +420 465 672 222  
e-mail: technicka.podpora.cz@oez.com


 **Softwarová podpora - programy Sichr, Konfigurator OEZ, podpora pro CAD/CAE a e-shopy**  
e-mail: softwarova.podpora.cz@oez.com


### SERVISNÍ SLUŽBY

 **Operativní servis**  
tel.: +420 465 672 313  
e-mail: servis.cz@oez.com

 **Nepřetržitá pohotovostní služba**  
tel.: +420 602 432 786


### KATALOGOVÁ DOKUMENTACE

 Pro zaslání katalogové dokumentace, prosíme, vyplňte formulář uvedený na adrese:  
[www.oez.cz/ke-stazeni/zadost-o-zaslani-dokumentace](http://www.oez.cz/ke-stazeni/zadost-o-zaslani-dokumentace)

 **Prevence poruch - asistenční služby, diagnostika a údržba přístrojů**  
tel.: +420 465 672 369  
e-mail: servisni.sluzby.cz@oez.com

 **Modernizace rozváděčů - retrofity**  
tel.: +420 465 672 193  
e-mail: retrofity.cz@oez.com

### OBCHOD

 **Prodej a příjem objednávek**  
tel.: +420 465 672 379  
e-mail: prodej.cz@oez.com  
e-mail: objednavky.cz@oez.com

OEZ Slovakia, spol. s r.o., Rybníčná 36c, 831 07 Bratislava  
tel.: +421 2 49 21 25 11, fax: +421 2 49 21 25 25, e-mail: oez.sk@oez.com, www.oez.sk

IČ DPH: SK2020338738  
IČO: 314 05 614

Obchodný register Okresného súdu Bratislava I, oddiel: Sro, vložka číslo: 9850/B

### TECHNICKÁ PODPORA

 **Minia, Modeion, Arion, Varius, Conteo, Distri**  
tel.: +421 2 49 21 25 55  
e-mail: technicka.podpora.sk@oez.com

### SERVISNÉ SLUŽBY

 **Servis**  
tel.: +421 2 49 21 25 09  
Nepřetržitá pohotovostní služba servisu  
tel.: +421 905 908 658  
e-mail: servis.sk@oez.com

### OBCHOD

 **Predaj, reklamácie, expedícia**  
tel.: +421 2 49 21 25 13  
tel.: +421 2 49 21 25 15  
e-mail: predaj.sk@oez.com



Změny vyhrazeny



JP01-2017-CZ