

---

# 1. Úvod

---

Správně a přitom optimálně dimenzovat a jistit elektrická zařízení není snadné. Vždy je totiž nutné sladit celou řadu požadavků, přičemž na prvním místě je zajištění co nejlepší bezpečnosti provozovaného zařízení a zároveň celková hospodárnost jeho provedení. Obě tato hlediska jsou přitom z principu protichůdná. Vždy jde o to, aby zařízení a přívodní vedení ani za těch nejnejpříznivějších provozních, a poruchových podmínek neohrožovalo své okolí. Na druhé straně nás finanční možnosti nutí k tomu, aby celé zařízení nebylo předimenzované, zbytečně nákladné a ani prostorově náročné.

Bezpečnost elektrického zařízení určují elektrotechnické předpisy, kde je předepsáno, že zařízení se nesmí při přetížení nadměrně zahřívat, úbytky napětí na přívodu nesmějí za žádných provozních podmínek přesahovat dovolenou mez, ochrana automatickým (samočinným), odpojením od zdroje musí v případě poruchy reagovat v dostatečně krátkém čase atd. Z uvedeného výčtu se zdá, že pokud zařízení a přívod k němu budou dostatečně dimenzovány, bude bezpečnostním požadavkům vyhověno. Nesmíme zapomínat ani na skutečnost, že při poruše mohou vznikat nadměrně velké zkratové proudy a právě možným zkratovým proudům musí zařízení, ve všech částech, vyhovět. Chybná volba některého z prvků instalace může vážně ohrozit bezpečnost vlastního zařízení, ale i bezpečnost okolí.

Vedle nezbytných hledisek bezpečnosti nelze zapomínat ani na hledisko spolehlivosti provozu. Při poruše způsobené jednou částí zařízení nesmí být celý objekt vyřazen z provozu, ale má dojít k odpojení jisticího prvku jen u příslušné části s poruchou. Přestože se uvedené hledisko selektivního odstupňování zmiňuje hned v několika normách, v praxi se této otázce většinou bohužel nevěnuje náležitá pozornost. Různorodým požadavkům, které jsou zde naznačeny, lze vyhovět správnou volbou zařízení, vedení a jisticích prvků. Těch je v současné době k dispozici poměrně široký sortiment, ale při jejich výběru je nutné vzít v úvahu to, že každý typ má trochu jinou charakteristiku a hodí se tedy k jinému účelu.

## **1.1 Proč je dobré dimenzovat a jistit pomocí počítače ?**

Především by to nemělo být proto, aby se práce projektanta elektrických zařízení, rozvodů a instalací naprosto zmechanizovala a zautomatizovala. Projektování se nemůže a nesmí zdeformovat jen do nějaké sériové výroby projektů. Projektant, předtím, než samotný projekt vůbec začne zpracovávat, musí zjistit řadu údajů, hodnot a parametrů. Musí vědět, co a čím je třeba napájet, za jakých podmínek, co vše musí elektrické zařízení v provozu vydržet atd. Na druhou stranu je však při projektování řada úkonů rutinních a mnohdy únavných. Mezi ně patří jak správné nadimenzování vedení, tak i správná volba jisticího prvku, kdy je třeba vedení i jisticí prvek ověřovat z mnoha různých hledisek. V některých případech by měl projektant správně provádět celou řadu úkonů i několikrát. Nevyjde-li mu např. průřez z důvodu úbytku napětí, což je ověření, které by se mělo provádět jako jedno z posledních, měl by předchozí ověřování návrhu ze všech hledisek projít znova.

Přitom asi každý uzná, že opakování všech úkonů je mnohdy i zbytečné. Kdy tomu tak je si musí rozhodnout na základě zralé úvahy opět projektant sám. Pokud však používá počítač, mnohé ze starostí a úvah odpadají, protože počítač dané úkony zpracuje sám. Používat počítač je tedy dobré i proto, že nechceme nic ponechat náhodě, že nechceme z důvodu pracnosti některé kroky přeskočit a také proto, že chceme výpočet provést rychle a přesně. Projektant však musí vědět, co počítač

---

vlastně provádí a proč to provádí. Musí si být vědomý toho, že počítač je mu sice užitečným pomocníkem, ale všechna důležitá rozhodnutí musí provést on sám.

## **1.2 Program PAVOUK - pro co je určen ?**

Program PAVOUK je určen pro návrh instalací nízkého napětí a jejich jištění v sítích TN, TT a IT, jejichž jmenovité napětí je možné volit z nabídky obvyklých napětí, případně zadat libovolné jiné napětí a to až do 1000 V. Práce v sítích TT a IT rozšiřuje použitelnost programu prakticky na všechny případy, které jsou projektanty vyžadovány.

Samotné uspořádání sítě záleží na tom, kde je situován zdroj a jak jsou rozloženy spotřebiče. Podle toho projektant rozhodne, jak má síť vypadat, zda vést jedno páteřní vedení a z něho odbočovat k jednotlivým odběratelům, nebo síť provést jako paprskovou s rozbočením přímo u transformátoru, popř. jako kombinaci obou předchozích. Další výhodnou vlastností programu Pavouk je možnost řešení okružních i mřížových sítí. Program umožní navržené uspořádání sítě rychle ověřit a optimalizovat různé konfigurace sítě.

Při řešení problematiky dimenzování nízkonapěťových sítí pomocí výpočetní techniky pracujeme obecně se dvěma typy prvků:

- vnesené prvky, tj. prvky, jejichž parametry jsou předem dány a nelze je v rámci programu dimenzovat (zdroje, transformátory, spotřebiče, motory, kompenzační kondenzátory),
- vlastní prvky, tj. prvky, jejichž parametry jsou předmětem zkoumání a optimalizace (vedení - kabely, přípojnícové systémy; jističí prvky - jističe, pojistky).

V dalším textu se budeme zabývat problematikou dimenzování vlastních prvků.

Program PAVOUK umožňuje práci v těchto základních režimech:

- režim návrhový, tj. parametry vlastních prvků, u kterých to uživatel požaduje, budou automaticky určeny a nastaveny tak, aby byly splněny požadavky na bezpečnost; navržené řešení však nemusí být zcela optimální;
- režim kontrolní, tj. parametry všech prvků (vlastních i vnesených) jsou nastaveny uživatelem na základě zkušeností; po provedení výpočtu následuje kontrola kritérií bezpečného provozu sítě. Uživatel provede zhodnocení výsledků a následně může, provést optimalizaci návrhu.

## **1.3 Jak postupovat při návrhu nízkonapěťové sítě**

Postup návrhu nízkonapěťové sítě v jednotlivých krocích, popsany v následujících kapitolách, je pouze doporučený a projektant si může volit pořadí jednotlivých kroků podle své potřeby. Obvyklé je, že se sice rozvod navrhne jako celek, ale dodatečně se zjistí, že je zapotřebí něco doplnit. Přitom již není možné to, co již bylo vyprojektováno, či již nainstalováno, změnit. Ostatně s doplňováním elektrických zařízení v průběhu života objektu se má podle elektrotechnických předpisů počítat a je v praxi běžné. Obdobný je v principu případ, kdy se mění napájení určité části zařízení. Například v nouzovém režimu se část zařízení odpojí a zbytek instalace je napájen z náhradního zdroje. Projektant v takovém případě pracuje s již danými parametry vedení a provede pouze příslušné kontroly a případně úpravy. Optimální případ je, že se celý elektrický rozvod navrhuje najednou a právě tímto případem se zabývá následující text uživatelského manuálu.

---

## 2. Chování sítě v provozním stavu a při přetížení

---

### 2.1 Proud ve vedení $I_B$ , jmenovitý proud jisticího prvku $I_n$

Nejprve projektant ze známého vybavení daného odběrného místa (objektu, prostoru, dílny, provozu) určí největší proud ve vedení, který je nutno, pro zajištění normálního uvažovaného provozu elektrického zařízení, do tohoto místa přivést. Není to však prostý součet jmenovitých proudů všech zařízení, ale maximální proud potřebný k napájení všech zařízení, o kterých se předpokládá, že mohou být provozována současně, a to ne na maximální, ale na využívaný výkon. Při napájení zařízení stejného charakteru se součet jmenovitých proudů násobí součinitelem soudobosti a součinitelem využití (součinitel soudobosti je poměr mezi počtem zařízení v provozu, a celkovým počtem zařízení; součinitel využití vyjadřuje na kolik procent je zařízení využíváno). Program PAVOUK umožňuje zadávat oba součinitele. Součinitel využití je zohledňován vždy, součinitel soudobosti je zohledňován v paprskových sítích. Kromě toho nabízí též možnost odpojování jednotlivých zátěží. Tím umožňuje modelovat reálné stavy při provozu elektrického zařízení a zohledňovat hlavně těžší spotřebiče.

Zde je zapotřebí upozornit na jistá úskalí při posuzování využívaného (skutečného) a instalovaného výkonu je nutno postupovat uvážlivě. Například pokud si uživatel zadá proudy všech napájených spotřebičů, bude počítat se součtem těchto proudů. Tento postup je ovšem chybný. Kdyby někdo zadal jeden zásuvkový vývod jako jeden spotřebič, vyjde mu na jeden zásuvkový obvod s deseti zásuvkami výpočtový proud  $I_B = 10 \times 16 = 160$  A, což je samozřejmě nesprávné. V reálném případě tedy musí výše uvedené omezení vložit již do svého zadání.

Na základě informací o spotřebičích získá projektant největší proud ve vedení, který se nazývá výpočtový proud  $I_B$ . K tomuto proudu si projektant zvolí jmenovitý proud jisticího prvku  $I_n$ . Jeho hodnota musí být vždy větší než výpočtový proud  $I_B$ . Musí tedy platit:

$$I_B \leq I_n$$

kde:  $I_B$  ..... výpočtový proud [A]  
 $I_n$  ..... jmenovitý proud jisticího prvku [A]

Uvedená podmínka vyplývá z požadavku, aby jisticí prvek nevypínal při normální funkci zařízení.

V tomto okamžiku se projektant nebude příliš zamýšlet nad dalšími vlastnostmi jisticího prvku. Určí jenom jeho jmenovitou velikost. Ta je dnes pro jističe i pojistky stejná a je možno ji volit z řady 2; 4; 6; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 225; 250; 315; 400; 630 A atd. (odlišují se pouze jmenovité hodnoty 12 A, případně ještě 35 A pro pojistky a 13 A pro jističe).

### 2.2 Dimenzování vedení

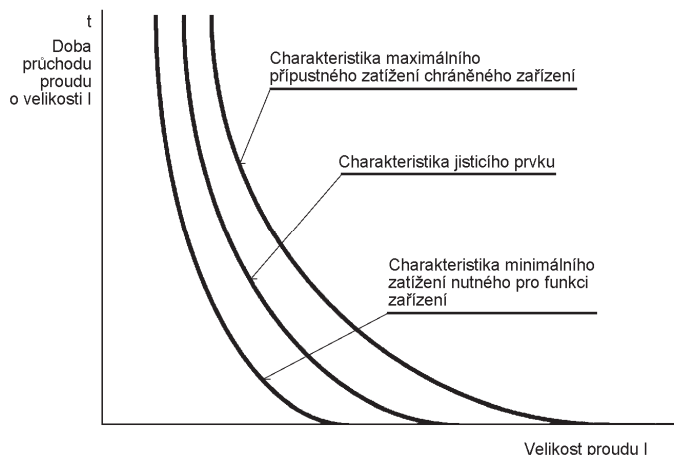
Z velikosti výpočtového proudu  $I_B$  a následně pak z velikosti jmenovitého proudu jisticího prvku  $I_n$  vyplývá i dovolené proudové zatížení vedení  $I_z$ . Musí být splněna podmínka:

$$I_n \leq I_z$$

kde:  $I_n$  ..... jmenovitý proud jisticího prvku [A]

$I_z$  ..... dovolené proudové zatížení vedení [A]

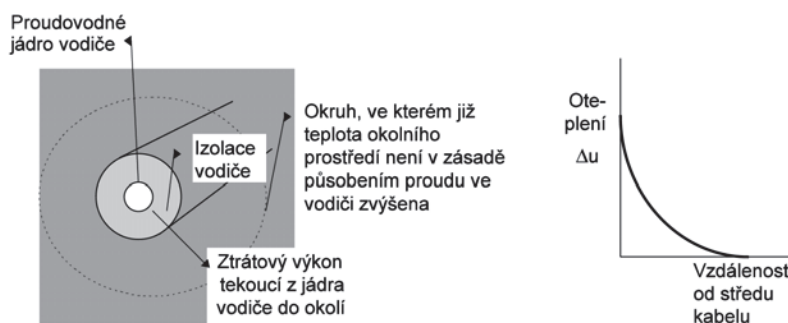
Uvedená podmínka vychází z požadavku, že ani při neobvyklém provozu zařízení, ani při jeho přetížení, nesmí docházet k přetížení vedení, jinak musí být vedení odpojeno od napájení. Proto musí být dovolené proudové zatížení vedení větší než jmenovitý proud jisticího prvku. Zároveň se požaduje, aby jisticí přístroj ještě nevypínal nadproudy, které se při provozu mohou krátkodobě vyskytovat. Z toho vyplývá i přiřazení charakteristik vedení (maximálního přípustného zatížení), jistění a zařízení (zatížení nutné pro funkci zařízení), jak je znázorněno na obrázku.



Zde se nabízí myšlenka, obdobně jako tomu bylo u přiřazení jistění k výpočtovému proudu, přiřadit ke jmenovitému proudu jistění stejnou, nebo větší hodnotu jmenovitého proudu vodičů nebo kabelů. ČSN 33 2000-5-523 skutečně uvádí termíny "jmenovitá proudová zatížitelnost - jmenovitý proud". Tak proč tedy jednoduše nevzít vodič nebo kabel, který je pro nás cenově nejvýhodnější, jehož jmenovitý proud (dovolené proudové zatížení vedení  $I_z$ ) je nejbližší vyšší ke jmenovitému proudu jisticího prvku  $I_n$ ? Vždyť výrobci jmenovité proudy kabelů udávají a jmenovité hodnoty řady z nich jsou uvedeny v příloze ČSN 33 2000-5-523. Proč to není tak jednoduché, je vysvětleno v následujícím textu.

### 2.2.1 Vznik tepla ve vodiči

Při průchodu elektrického proudu vodičem vzniká teplo. Kdyby takto vzniklé teplo nebylo odváděno do okolí, vodič by se zahříval, dokud by se neroztavil. Teprve tím by se průchod proudu přerušil. Při průchodu jakéhokoli proudu menšího než toho, který způsobí roztavení vodiče, se nakonec teplota ustálí na určité hodnotě. Nicméně čím vyšší je teplota vodiče, tím více tepla předává vodič do svého okolí (viz následující obrázek). Teplo vyvíjené průchodem proudu ve vodiči je úměrné odporu vodiče a narůstá s druhou mocninou proudu. Kromě toho je třeba pamatovat na to, že s nárůstem teploty se odpor vodičů zvyšuje a to zapříčiní ještě vyšší tepelný výkon, než by odpovídalo druhé mocnině (přesně 2,495).



---

## 2.2.2 Ustálená teplota vodiče - maximální dovolené teploty: provozní a při přetížení

Při dosažení ustálené teploty je dosaženo rovnováhy mezi teplem, které se ve vodiči průchodem proudu vyvíjí a teplem, které tento vodič předává do svého okolí. Čím více je teple bráněno v tom, aby bylo předáváno do okolí (izolace, způsobem uložení, ...), tím menší proud stačí k jeho zahřátí na ustálenou teplotu. Nejvyšší dovolená teplota jádra je tedy určena izolací, kterou je vodič obalen. Trochu vyšší teplota jádra vodiče je dovolena při přetížení a při zkratu, protože u těchto nadproudů se předpokládá, že budou v dostatečně krátkém čase přerušeny jisticím prvkem. Uvedené maximální dovolené teploty při normálním provozu a při přetížení se pro různé druhy izolace liší. Různé izolační materiály odolávají totiž různě vysokým teplotám. Pro běžnou izolaci z PVC je maximální dovolená teplota při normálním provozu 70 °C, při přetížení 120 °C a při zkratu 160 °C. Pro holé hliníkové a měděné vodiče (Al, Cu) jsou tyto teploty 80 °C, 180 °C a 300 °C.

## 2.2.3 Maximální dovolené proudy - na čem závisí

O velikosti dovolených proudů rozhoduje jednak maximální teplota vodiče, teplota okolí, do něhož se teplo předává. Rozhodující je rozdíl maximální dovolené teploty vodiče (ať už provozní nebo při přetížení) a teploty okolí. Proto mohou být vedení při nižších teplotách okolí zatěžovány více než při jeho základní teplotě a naopak méně při vyšších teplotách okolí.

Další důležitou vlastnost, která ovlivňuje dovolené proudové zatížení vodiče, si ukážeme na příkladě. Jmenovitý proud jednožilového vodiče CY o průřezu 0,35 mm<sup>2</sup> je 10,5 A. Očekávali bychom, že jmenovitý proud téhož vodiče CY o průřezu 35 mm<sup>2</sup>, tedy stokrát větším, bude rovněž stokrát větší, tedy přibližně 1000 A. Zdaleka tomu tak však není. Jmenovitý proud vodiče CY o průřezu 35 mm<sup>2</sup> je pouze 181 A. Proč tak málo? Zatížení se může zvýšit jenom do té míry, jak se zvýší odvod tepla z vodiče do okolí. Odvod tepla do okolí se však nezvýšil úměrně průřezu, ale úměrně povrchu vodiče. Povrch se, vycházíme-li z průřezů jader, nezvýšil 100krát, jako průřez, ale pouze 10krát. Odtud by dovolený proud měl být 105 A. To, že skutečný jmenovitý proud je větší, vyplývá ještě z dalších vlivů, které jsme při odhadu neuvažovali (tloušťka izolace apod.). Na tomto příkladě jsme si ukázali, že čím lepší je odvod tepla do okolí vodiče, tím více může být vodič zatížen. Proto je obecně možné vodiče malých průřezů zatěžovat na jednotku průřezu více než vodiče velkých průřezů. Obdobně se také snižuje zatížitelnost vodičů ve svazcích. Zjednodušeně řečeno, zatížitelnost se nezvýší úměrně počtu vodičů ve svazku, ale úměrně odmocnině tohoto počtu.

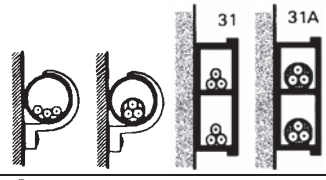
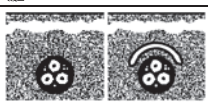
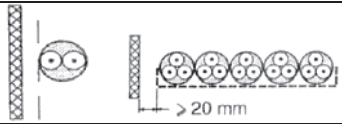
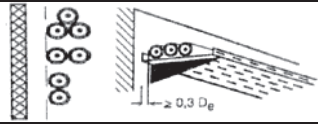
Při návrhu je stále nutné mít na paměti, že proudové zatížení vedení není možno obecně porovnávat se jmenovitou proudovou zatížitelností - jmenovitým proudem. Je to proto, že jmenovitou proudovou zatížitelnost vodiče nebo kabelu udává výrobce pro jmenovité podmínky, které obnášejí:

- pro uložení na vzduchu (základní uložení) - jmenovitou teplotu vzduchu (30 °C) a uložení ve vodorovné poloze v klidném vzduchu,
- pro uložení v zemi - jmenovitou teplotu země (20 °C) a stanovený tepelný odpor okolní půdy.

Jmenovité podmínky však v praxi bývají splněny jen výjimečně. Skutečné podmínky se od jmenovitých podmínek obvykle liší. Vodiče a kabely, mohou být (a obvykle jsou) kromě základního uložení určeny pro různé jiné způsoby uložení a je nutné provést přepočet na skutečný stav.



Podle ČSN 33 2000-5-523 se rozeznávají tyto základní způsoby uložení:

|   |                                                                                                                         |                                                                                      |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| A | izolované vodiče nebo vícežilové kabely v trubce v tepelně izolační stěně nebo vícežilové kabely přímo v izolační stěně |    |
| B | izolované vodiče nebo vícežilové kabely v trubce na dřevěné stěně nebo na zdi                                           |    |
| C | kabel uložený na dřevěné stěně nebo na zdi                                                                              |    |
| D | kabel uložený přímo v zemi nebo kabel uložený v trubce v zemi                                                           |    |
| E | dvou nebo trojžilové kabely na vzduchu                                                                                  |    |
| F | jednožilové kabely těsně seskupené ve vzduchu                                                                           |   |
| G | jednožilové kabely na vzduchu vzdálené od sebe alespoň na průměr kabelu                                                 |  |

Norma rozlišuje ještě modifikace těchto způsobů uložení kabelů. Uložení A1 od A2 a B1 od B2 se od sebe liší tím, že v případě A1 a B1 se jedná o izolované vodiče nebo jednožilové kabely v trubce, v případě A2 a B2 o vícežilové kabely v trubce. Dříve užívaná uložení H, J, K, L atd. rozlišující, zda se jednalo o lávky perforované či neperforované, o uložení na hácích, žebřících, rostech jsou nyní zahrnuta pod uložení E, F, nebo G.

Kromě toho nemusí být teplota okolí vždy v souladu s hodnotami, se kterými se počítá podle normy. Teploty 30 °C pro teplotu okolního vzduchu a 20 °C pro teplotu okolní půdy jsou pro většinu případů dostatečné. Obvykle se totiž teplota okolního prostředí pohybuje pod těmito hodnotami. Nepřesahuje-li např. teplota okolního vzduchu např. 25 °C a počítáme-li s teplotou 30 °C, máme v zatěžování vedení určitou rezervu. Přitom se nepředpokládá, že by někdo zatěžoval vedení s ohledem na změny teploty okolního prostředí (např. den - noc nebo léto - zima). Počítá se s maximální teplotou okolního prostředí. Zatížení vedení se počítá pro tyto maximální teploty. Krátkodobé malé výkyvy teploty se přitom neberou v úvahu. Pokud se maximální teploty od uvedených hodnot dlouhodobě, ať již směrem nahoru nebo směrem dolů, liší, je nutno tyto odlišné teploty do programu zadat.

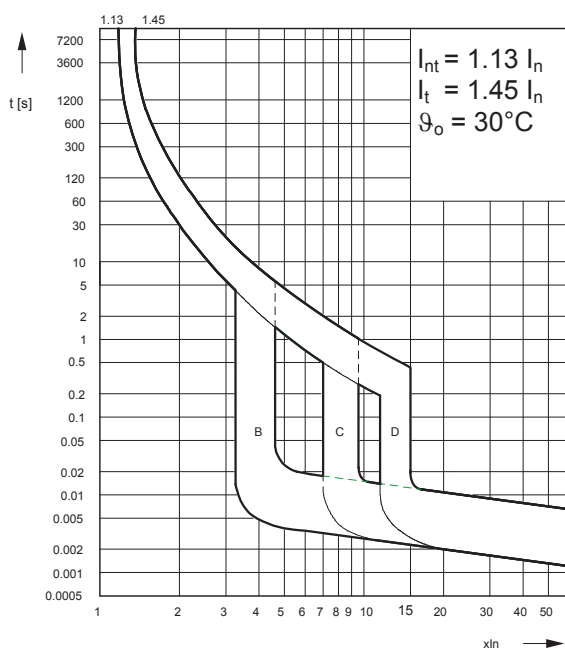
Dále při zatěžování vedení záleží na seskupení vodičů a kabelů. Více vodičů ve svazku snižuje dovolené zatížení. Kabely mohou být seskupeny různým způsobem. Tak vzniká spolu s možnostmi uložení množství variant. Program z praktických důvodů umožňuje řešit pouze základní případy popsané v ČSN. Přesto však je užitečným pomocníkem i pro ty případy, které přímo neuvádí, protože lze vybrat některou blízkou variantu a na jejím základě odhadnout případ, který řešit potřebujeme (viz též kap. 2.2.4).

#### 2.2.4 Poznámka k zadávání hodnot do programu PAVOUK

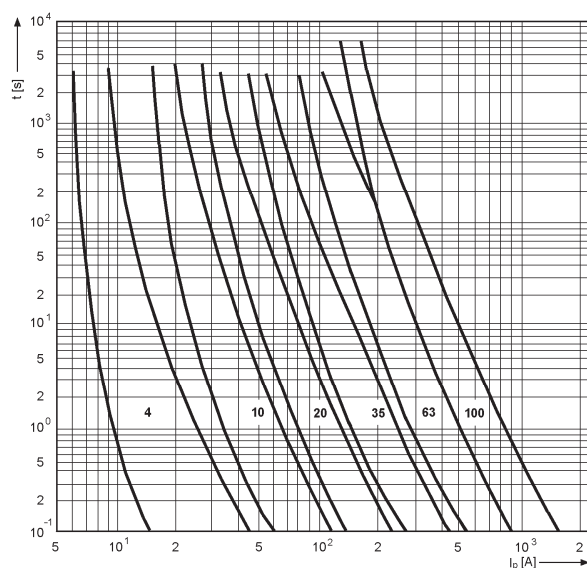
Program řeší pouze případy popsané v ČSN 33 2000-5-523. Například se nepředpokládá, že by se do trubek a lišt ukládala vedení větších průřezů než 120 mm<sup>2</sup>. Většinou však se pro tak velké proudy vyplatí klást paralelně dva nebo i více kabelů, než jeden s enormním průřezem, což program PAVOUK umožňuje. Nejsou též řešeny kabely s větším průřezem než 300 mm<sup>2</sup>. Všechny další nepopsané vlivy je možné zohlednit pomocí uživatelského koeficientu, kterým lze libovolně snížit nebo zvýšit výslednou proudovou zatížitelnost kabelu. Použití tohoto koeficientu je zcela na zodpovědnosti uživatele.

## 2.3 Určení a ověření jisticích přístrojů

Pro jištění elektrických vedení je možno volit jak jističe, tak pojistky. V současné době se pro jištění vedení malých průřezů do 10 mm<sup>2</sup> pro snadnou možnost znovuzapnutí užívají jističe, a to jističe s charakteristikami vedení B, C a popř. D (viz kapitola 5). Na vstupu elektrického vedení do objektu se obvykle používají pojistky. Pro průřezy 16 mm<sup>2</sup> a 25 mm<sup>2</sup> se užívají jak jističe tak pojistky, pro větší průřezy většinou pojistky s charakteristikami gG. Pro velké dovolené proudy je možno používat jističe u nichž je možno nastavovat jak jmenovitý proud, tak vybavovací proudy a doby vypnutí v jednotlivých částech charakteristiky. Takto je možno tyto jističe nastavit tak, aby jejich charakteristika optimálně odpovídala charakteristice chráněného vedení.



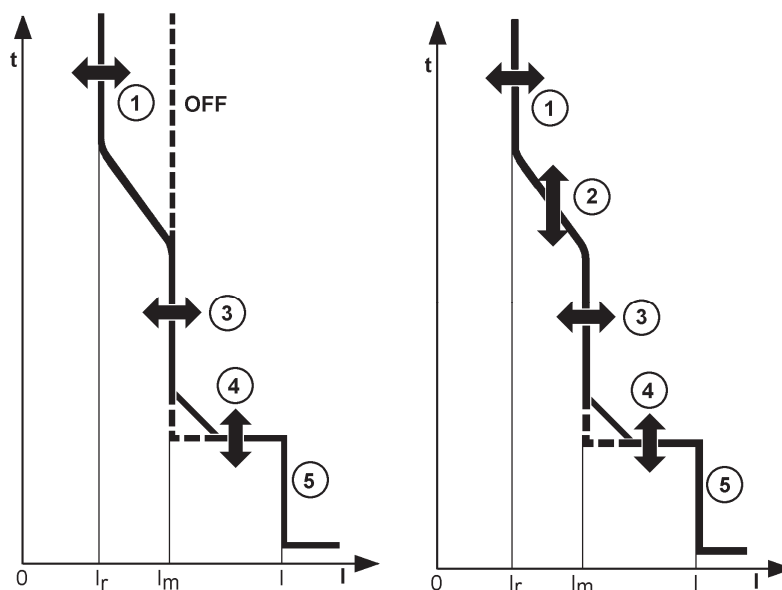
Vypínací charakteristiky jističů, typ B, C, D<sup>1)</sup>



*Vypínací charakteristiky pojistek gG  
s vyznačením tolerančních polí*

<sup>1)</sup> Tyto jističe, někdy nazývané též malé (MCB, podle ČSN EN 60 898, viz kap. 5.2) nebo instalační jističe mají stejnou tepelnou spoušť, která způsobuje vypínání malých nadproudů při přetížení. Liší se v nastavení okamžité (zkratové, elektromagnetické) spouště, která zajistí vypínání velkých nadproudů - zkratů. Tato spoušť působí teprve až od proudů určité velikosti. U jističů s charakteristikou:

- B od proudů větších než 3 až 5 násobek jmenovitého proudu,
- C od proudů větších než 5 až 10 násobek jmenovitého proudu,
- D od proudů větších než 10 až 20 násobek jmenovitého proudu.



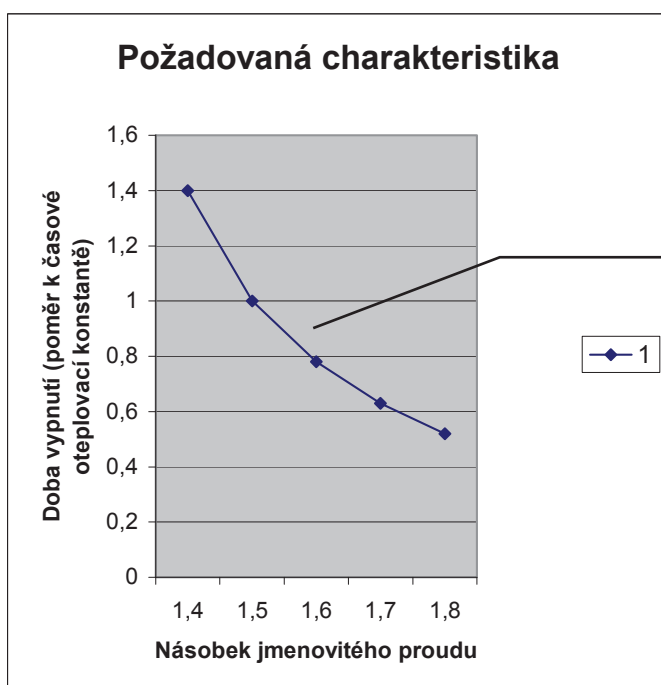
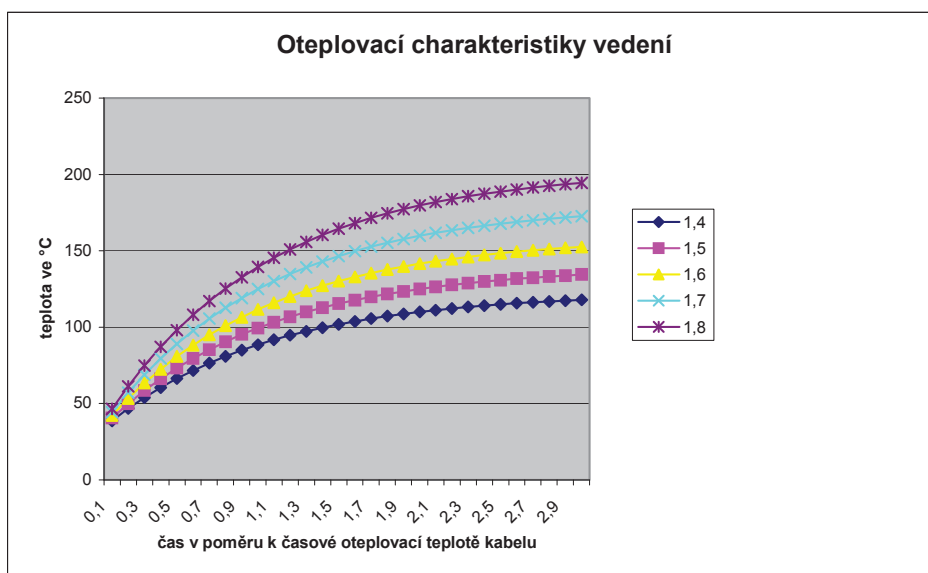
*Vypínací charakteristiky jističů na větší proudy umožňující nastavení spouští  
(viz katalog Moeller „Výkonové jističe“ – čárové charakteristiky).*

Na tomto místě je vhodné se zmínit o principu správného přiřazení jisticího prvku k vedení. Jak již bylo uvedeno, vedení má být zatěžováno svým výpočtovým proudem  $I_B$ . Jmenovitý proud jisticího prvku  $I_n$  musí být větší, nebo alespoň rovný výpočtovému proudem  $I_B$ , tj.  $I_B \leq I_n$ . Splnění této nerovnosti však ještě není zárukou správného přiřazení jisticího prvku k vedení. Dokonce ani splnění podmínky  $I_n \leq I_z$  to ještě nezaručuje. Jmenovitý proud jisticího prvku nám totiž bez znalosti vypínací charakteristiky nevypovídá skoro nic o jeho schopnosti řádně jistit vedení. Proud, který zajišťuje vypnutí jisticího prvku může být o 20 % vyšší než jeho jmenovitý proud, ale může být stejně tak i o 80 % vyšší. V prvním případě téměř jistě nedojde k zahřátí vedení nad dovolenou teplotu při přetížení, zatímco ve druhém případě k tomuto nedovolenému zahřátí vedení jednou určitě dojde (kabely s PVC izolací se mohou zahřát až na 200 °C). Narušení izolace je potom tak silné, že pokud nedojde ještě k jiným závažným důsledkům (požár) musí se vedení i s instalačními prvky (krabicemi, svorkami apod.) vyměnit.

Kromě tohoto zjištění, zda jisticí prvek vůbec vypíná, potřebujeme vědět také něco o tom, kdy vlastně vypíná. Pro vodič je povolena maximální dovolená teplota provozní a maximální dovolená teplota při přetížení. Aby však vodič této teploty nedosáhl, musí být ještě dříve nadproud vypnut jisticím prvkem. Zda je toho dosaženo, je možno pomocí programu PAVOUK ověřit. To je ostatně patrné z následujících obrázků.

Na prvním obrázku jsou zobrazeny oteplovací charakteristiky vedení (tj. závislosti teploty na čase) při nadproudech od 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8 násobku jmenovitého proudu. Z těchto charakteristik jsou odečteny časy, za jak dlouho při výše uvedených nadproudech by mělo dojít k vypnutí, když by neměla být překročena při přetížení teplota 100 °C. Níže (na druhém obrázku) je vynesena závislost těchto časů na proudu kabelu (udaném v násobcích jeho jmenovitého proudu). Jisticí prvek by při uvedených proudech neměl vypínat později, než v těchto časech.



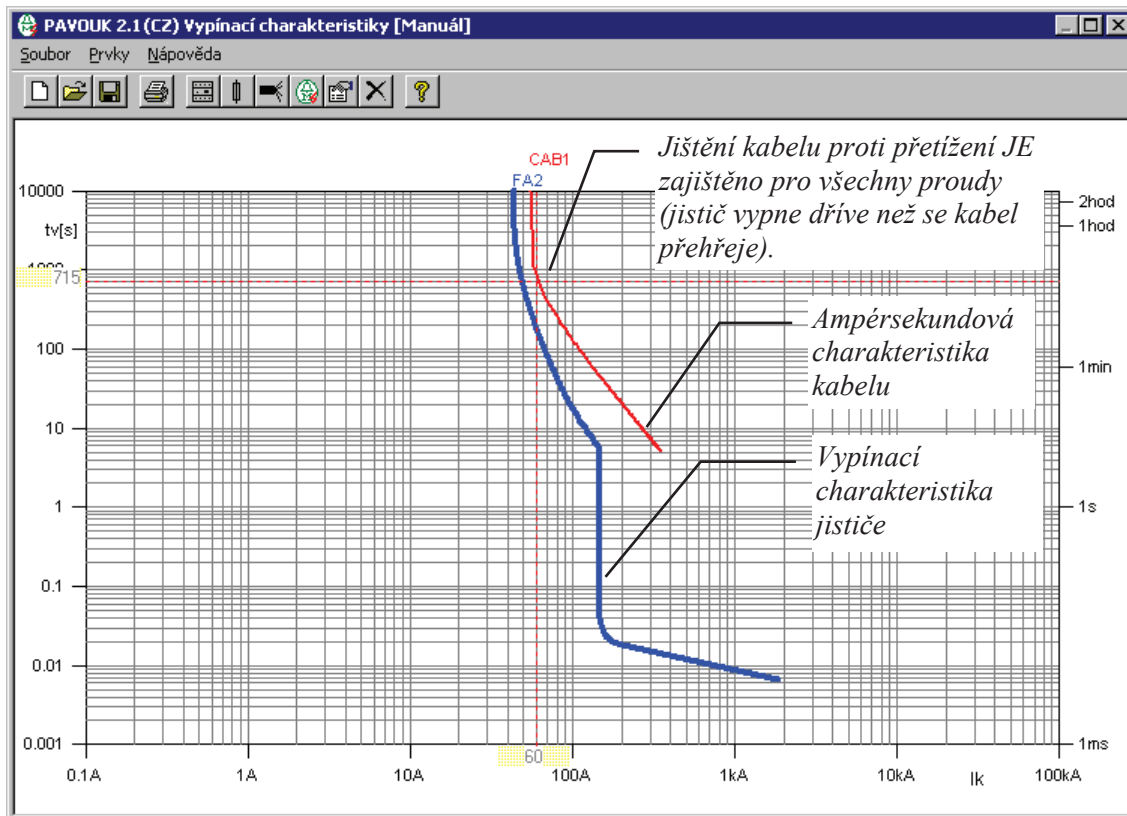
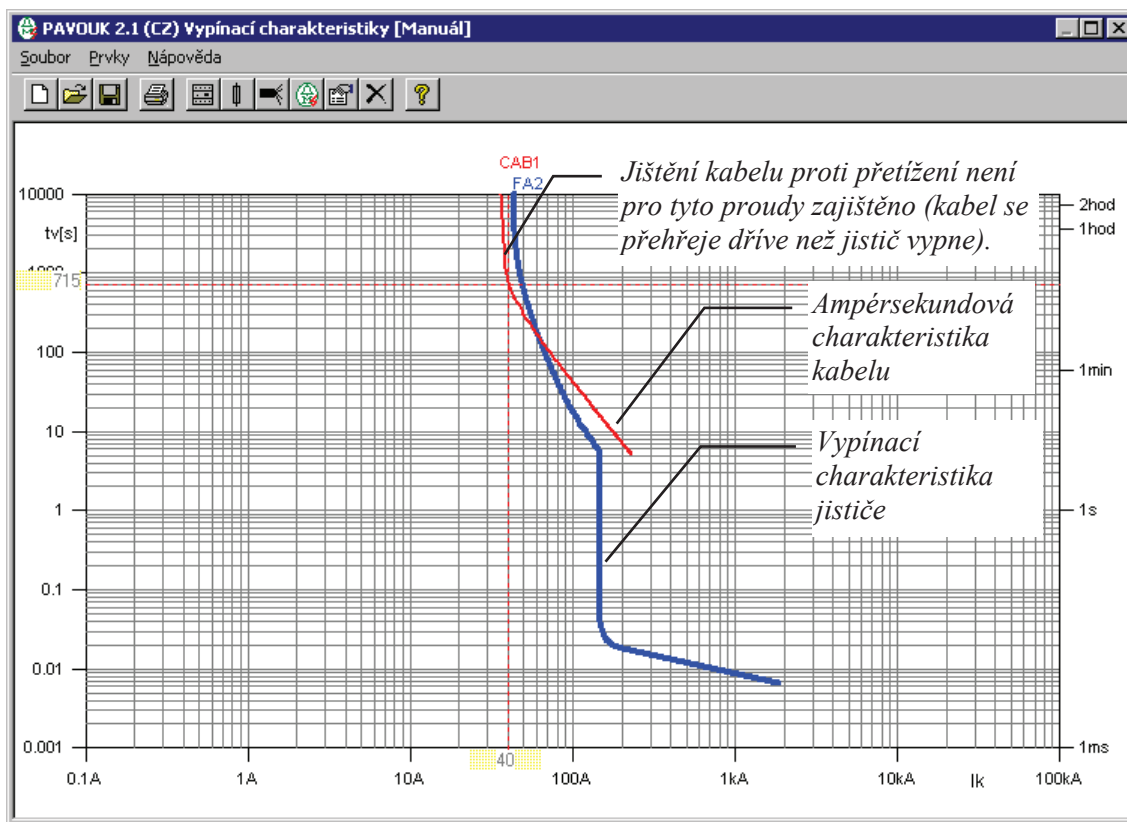


*Průběh ideální charakteristiky vedení (pro obecné vyjádření použity poměrné hodnoty).*

Následují ukázky grafických výstupů z programu PAVOUK (modul Vypínací charakteristiky): Tenkou čarou v charakteristice čas - proud vyznačena mez, na které dojde k ohřátí jádra vodiče nebo kabelu na dovolenou teplotu při přetížení. Na prvním z těchto obrázků je vyznačen bod se souřadnicemi 40 A a 715 s. Co tento bod znamená? Prostě jenom to, že prochází-li vodičem nebo kabelem proud 40 A po dobu 715 s, je jeho jádro zahřáto na dovolenou teplotu při přetížení. Na druhém obrázku platí totéž pro proud 60 A. Ten může daným kabelem procházet po dobu 715 s, než se jeho jádro zahřeje na provozní teplotu. Takto každý bod tenké křivky určuje nadproud a dobu, za jak dlouho je při tomto nadproudu dosaženo maximální dovolené teploty při přetížení.

Jak potom ověříme, zda je jištění k vodiči nebo kabelu správně přiřazeno? Jednoduše z podmínky, že pro jakýkoliv nadproud musí jistič prvek vypnout dříve, než je dosažena mezní teplota při přetížení. To znamená, že každý bod charakteristiky jističe - na obrázcích znázorněné silnou čarou - musí ležet pod tenkou křivkou. To je splněno v případě znázorněném na druhém z uvedených obrázků. Např. pro nadproud 60 A dojde k vypnutí asi za 150 s, zatímco maximální dovolené teploty dosáhne jádro vodiče až za 715 s. Vidíme, že podmínka je v tomto případě bohatě splněna. Jinak je tomu však v případě, znázorněném na předchozím obrázku. Tady se obě křivky protínají. Na

tomto obrázku vidíme, že při nadproudu 40 A bude dovolené teploty při přetížení dosaženo za 715 s a z charakteristiky jističe je přitom zřejmé, že k vypnutí dojde až asi za 10 000 s, pokud k němu vůbec dojde, protože pořadnice (kolmá přímka na proudovou osu) pro 40 A se v tomto bodě charakteristiky jističe jenom dotýká.



Někdo možná namítne, že uvedený postup je složitější, nežli postup uvedený v technické normě, jmenovitě v ČSN 33 2000-4-43:2003. Tato norma stanoví, že dovolené proudové zatížení jištěného vedení, musí být 1,45krát větší, než je proud zajišťující účinné zapůsobení jisticího prvku ve smluvené době. Co je onou smluvenou dobou, již norma dále nevysvětluje. My si zde můžeme uvést, že pro malé jističe se touto dobou rozumí buď jedna hodina pro menší jmenovité proudy (do 63 A) nebo dvě hodiny pro větší jmenovité proudy. Do této doby (tj. do jedné hodiny nebo do dvou hodin) musí malé jističe vypnout 1,45 násobek svého jmenovitého proudu. Samotné přiřazení těchto malých jističů k vedení je pak velmi jednoduché. Dovolené zatížení vedení musí být větší než jmenovitý proud jističe. Méně jednoznačné je toto přiřazení pro pojistky. Pro běžné pojistkové vložky je tavný proud v dohodnutém čase (obvykle jedné hodiny, ale i 2, 3 a 4 hodin) 1,6 násobek jejího jmenovitého proudu. Přiřazení vedení (jeho průřezu) ke jmenovitému proudu pojistky je pak takové, že zatížitelnost (dovolené proudové zatížení) vedení musí být větší než přibližně 110 % jmenovitého proudu pojistkové vložky ( $1,6/1,45 = 1,103$ ). Vyjádřeno matematicky:

$$I_2 \leq 1.45 \cdot I_z$$

kde:  $I_2$  ..... proud zajišťující účinné zapůsobení jisticího prvku ve smluvené době [A]  
 $I_z$  ..... dovolené proudové zatížení jištěného vedení [A]

- Pro malé jističe platí:

$$I_2 = 1.45 \cdot I_n$$

kde:  $I_n$  ..... jmenovitý proud jističe [A], pak:

$$1.45 \cdot I_n \leq 1.45 \cdot I_z$$

z toho plyne, že  $I_n \leq I_z$  a tedy že dovolené zatížení kabelu musí být VĚTŠÍ než jmenovitý proud jističe.

- Pro pojistky platí:

$$I_2 = 1.6 \cdot I_n$$

kde:  $I_n$  ..... jmenovitý proud pojistky [A], pak:

$$1.6 \cdot I_n \leq 1.45 \cdot I_z$$

z toho plyne, že  $1.1 \cdot I_n \leq I_z$  a tedy že dovolené zatížení kabelu musí být VĚTŠÍ než 110% jmenovitého proudu pojistky.

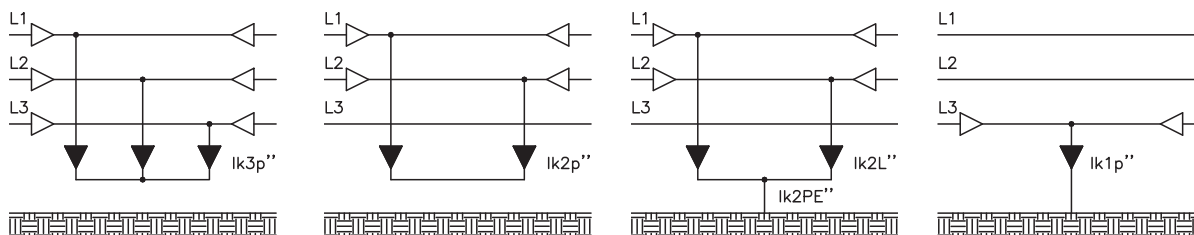
Program PAVOUK provádí vždy kontrolu podle těchto vzorců, které platí jenom na určitou, i když největší skupinu případů. Norma totiž vychází z některých zjednodušení. Prvním z nich je předpokládaná teplota okolí, při níž je vedení zatěžováno svým maximálním provozním proudem, druhým je maximální dovolená teplota izolace při přetížení a třetím je předpokládaný průběh oteplení vedení, který by měl být přibližně v souladu s charakteristikou jisticího prvku (viz předchozí obrázky). Samotná norma proto uvádí, že ochrana podle normy nezajišťuje dokonalou ochranu ve všech případech a nemusí být ve všech případech nejekonomičtější. I když ani ochrana podle programového systému PAVOUK nedává absolutně přesné výsledky, je výsledné přiřazení jisticích prvků, zohledňující též oteplovací charakteristiky, nejen přesnější, ale umožňuje přiřazení jisticích prvků i pro podstatně odlišné výchozí podmínky (jiné teploty okolního prostředí, jiné maximální dovolené teploty izolace), než se kterými uvažuje norma. Nicméně program PAVOUK od verze 2.5 nabízí možnost vypnout kontrolu založenou na porovnání oteplovací charakteristiky kabelu a vypínací charakteristiky jističe a zohlednit pouze závazné požadavky normy.

## 3. Chování sítě při zkratech

### 3.1 Druhy zkratových poruch

Dojde-li ke spojení dvou vodičů s různým napětím, hovoříme o zkratu. Zkratem v síti tedy rozumíme elektromagnetický přechodný děj, který vznikne náhlým zmenšením impedance mezi fázovými vodiči případně mezi fází a středním nebo ochranným vodičem. Příčinou chybného vodivého spojení může být chybná manipulace, mechanické poškození izolace, poškození kabelu při zemních pracích apod., její přirozené znehodnocování např. vlhkostí nebo je důsledkem zvýšeného namáhání při spínacích pochodech. Zkrat způsobující zmenšení impedance má za následek okamžité zvětšení proudu na mnohonásobek normálního provozního proudu, jehož hodnota závisí na napětí a impedanci. Zkratový proud dosahuje hodnot v rozmezí tisíců až desetitisíců ampér a svými dynamickými (silovými) a tepelnými účinky ohrožuje všechny prvky instalace a elektrizační soustavy, kterými protéká.

Podle způsobu zatěžování jednotlivých vodičů třífázové soustavy při zkratech (resp. jejího zdroje) rozeznáváme *zkraty symetrické*, neboli *souměrné* (třífázové, případně třífázové zemní) a *zkraty nesouměrné* (dvoufázový, dvoufázový zemní, jednofázový) jak je naznačeno obrázcích.



3-fázový symetrický zkrat

2-fázový nesymetrický zkrat

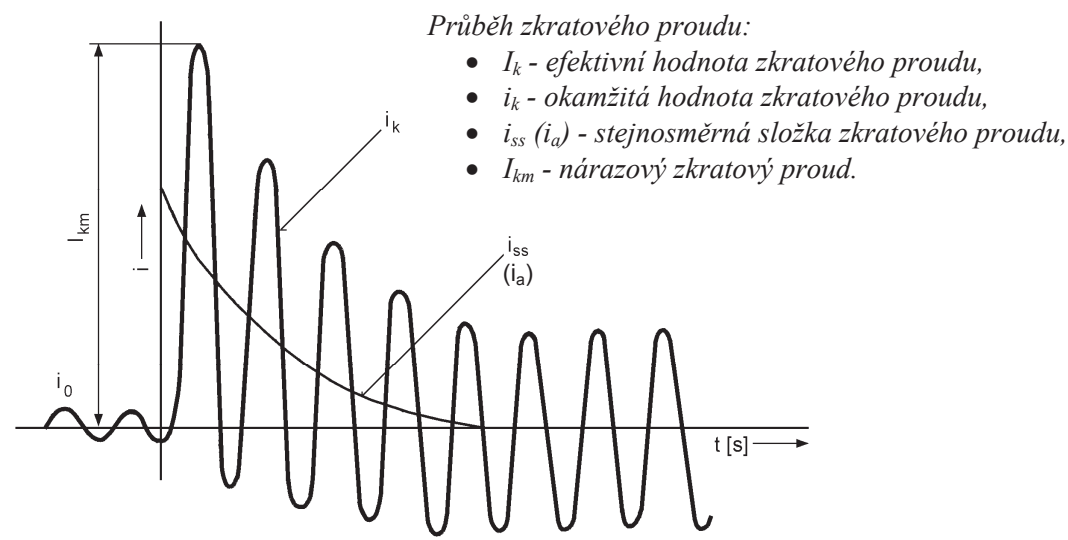
2-fázový zemní zkrat

1-fázový zemní zkrat

Z hlediska dimenzování elektrických sítí dle ČSN je významný případ 3-fázového symetrického zkratu, při kterém vzniká největší zkratový proud. Opačným případem je 1-fázový zemní zkrat s velkou impedancí smyčky poruchového proudu, kde díky malému zkratovému proudu může být čas odpojení poruchy značně dlouhý a po tuto dobu se na neživých částech vyskytuje nebezpečné napětí.

### 3.2 Průběh zkratového proudu

Náhlá změna impedance při zkratu má za následek přechodný děj. Velkým zkratovým proudem se v prostoru elektrizační soustavy poruší rovnováha mezi magnetickým a elektrickým polem a do nového rovnovážného stavu přechází soustava přechodnými složkami proudu a napětí. Časový průběh zkratového proudu závisí na okamžiku vzniku zkratové poruchy. Tento průběh může vykazovat nesymetrii vůči časové ose s přítomností stejnosměrné složky. Zobrazení zkratového proudu je na následujícím obrázku.

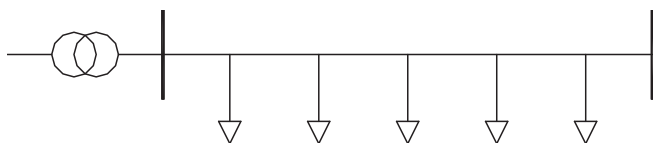


Pro dimenzování elektrických zařízení a nastavení ochran se u zkratového proudu definují tyto charakteristické hodnoty označované symboly:

- $I_k''$  **Počáteční rázový zkratový proud:** tj. efektivní hodnota symetrického zkratového proudu bez stejnosměrné složky při vzniku zkratu.
- $I_{km}$  ( $i_p$ ) **Nárazový zkratový proud:** tj. první amplituda (vrcholová hodnota) nesymetrického zkratového proudu se stejnosměrnou složkou. Je rozhodujícím kritériem při kontrole dynamického namáhání zařízení sítě. Poznámka: v novějších předpisech se pro  $I_{km}$  (uváděno v dřívějších ČSN) používá symbol  $i_p$  (převzato z IEC).
- $I_{tr}$  **Vypínací zkratový proud** (symetrický) a jeho stejnosměrná složka  $i_{a\ tr}$ . Je kritériem pro kontrolu dimenzování vypínačů a jističů.
- $I_{ke}$  **Ekvivalentní oteplovací proud:** tj. efektivní hodnota ekvivalentního, neboli pomyslného symetrického (souměrného) zkratového proudu, který vyvolá za dobu trvání zkratu  $t_k$  stejné tepelné účinky jako skutečný nesymetrický zkratový proud se stejnosměrnou složkou. Je kritériem pro posouzení tepelného namáhání zařízení elektrizační soustavy.
- $I_k$  **Ustálený zkratový proud:** tj. efektivní hodnota zkratového proudu (symetrického) po zaniknutí všech přechodných složek. U elektricky vzdálených zkratů (většina praktických případů) je roven počátečnímu rázovému zkratovému proudu  $I_k''$ . U elektricky blízkých zkratů tj. v rozvedech v blízkosti zdrojů s velkými synchronními generátory je  $I_k < I_k''$  vlivem narůstající vnitřní reaktance synchronního stroje během doby trvání zkratu.

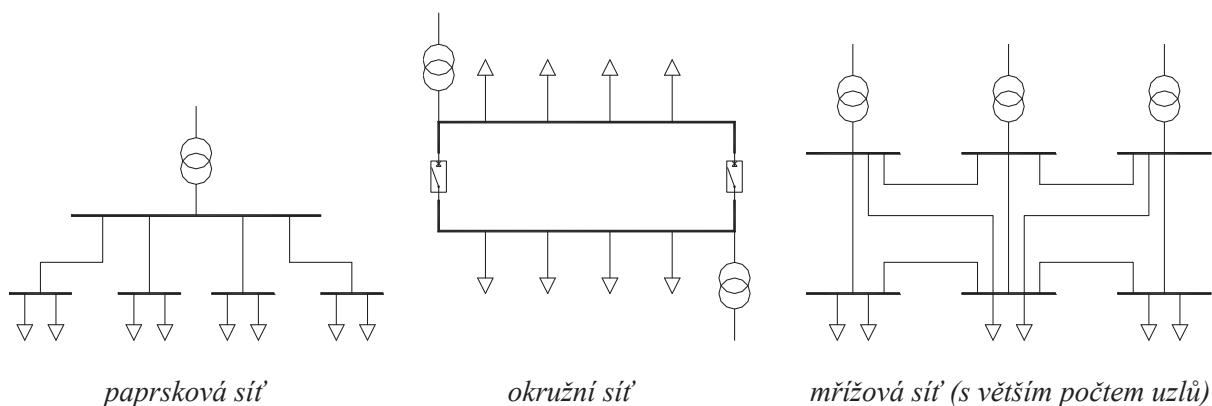
### 3.3 Konfigurace sítí

V praxi se setkáváme s různými konfiguracemi sítí, které kladou různé nároky na výpočetní postupy. Obecně rozlišujeme tyto typy sítí:



vedení s napájením z jedné strany



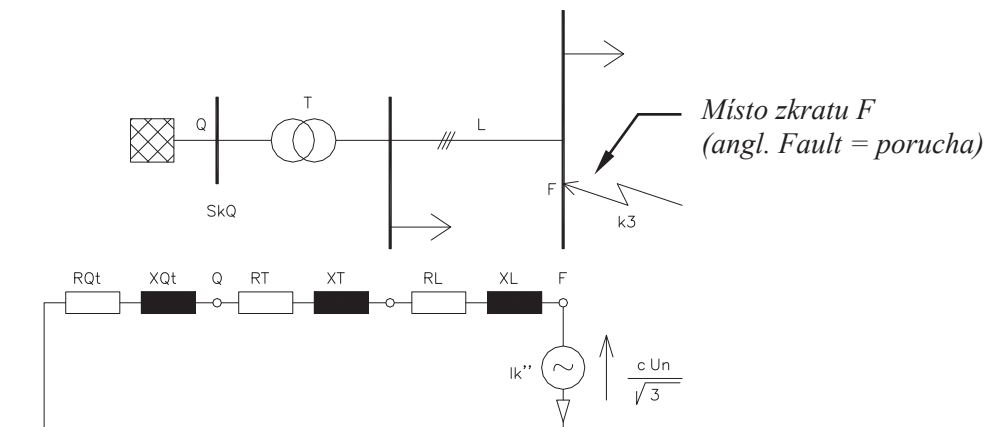


Zatímco pro síť napájenou z jedné strany nebo pro paprskovou síť vystačíme pro výpočet zkratových proudů s jednoduššími výpočetními metodami a výpočetními prostředky (např. výpočet pomocí nomogramů), pro efektivní řešení mřížové sítě je nutno použít počítače. Výhodou programu PAVOUK je možnost výpočtů v mřížových sítích s obecným (prakticky libovolným) zadáním zdrojů, vedení a zátěží.

### 3.4 Výpočet zkratových proudů

Výpočtem poměrů při zkratech v trojfázové soustavě se zabývají normy ČSN 33 3020 a ČSN 33 3022. Výpočet lze provádět s poměrnými (procentními) hodnotami impedancí nebo se skutečnými hodnotami. Postup výpočtu se skutečnými hodnotami impedancí vypadá takto:

1. Síť, v níž se mají určit zkratové poměry se znázorní tzv. výchozím schématem, v němž se vyznačí všechny provozní stavy.
2. Označí se místa, v nichž se budou počítat zkratové poměry.
3. Určí se (výpočtem se) impedance jednotlivých prvků soustavy. Impedance jednotlivých prvků soustavy se pak přepočtou na vztažné napětí, obvykle odpovídající jmenovitému napětí v místě zkratu. Vztažné napětí je voleno pro celou soustavu jednotně.
4. Pro výpočet souměrných (třífázových) zkratů je nutné určit sousledné složky impedance, pro výpočet nesouměrných zkratů (dvoufázových, jednofázových) je třeba znát také zpětné složky impedance a netočivé složky impedance prvků elektrizační soustavy.
5. Sestaví se náhradní schémata pro složkovou soustavu souslednou, zpětnou a netočivou.
6. Výpočetními metodami - u jednodušších konfigurací sítě postupným zjednodušováním, u složitější sítě s větším počtem uzlů pomocí počítače se stanoví výsledná zkratová impedance daného místa zkratu.
7. Vypočítá se zkratový proud jakožto proud ekvivalentního napěťového zdroje a zkratové impedance.



Pro uživatele, kteří mají zájem znát podrobnosti o výpočtových postupech použitých v algoritmech programu Pavouk, uvádíme následující vztahy.

Výpočtová impedance pro:

- Napájecí část (šrafovaný obdélník):  $Z_{Q_t} = R_{Q_t} + jX_{Q_t}$  *počítá se ze zkratového výkonu v napájecím uzlu*
- Transformátor:  $Z_T = R_T + jX_T$  *počítá se z napětí nakrátko a ze ztrát nakrátko transformátoru*
- Kabelové vedení:  $Z_L = R_L + jX_L$  *počítá se z katalogových hodnot rezistance a indukčnosti kabelu*

Zkratová impedance:

$$Z_k = R_k + jX_k \quad \text{kde : } R_k = R_{Q_t} + R_T + R_L$$

$$X_k = X_{Q_t} + X_T + X_L$$

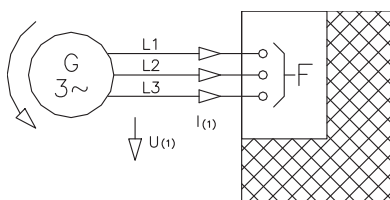
Výpočtové impedance mají komplexní charakter (obsahují reálnou a imaginární složku) a počítáme s nimi podle pravidel s komplexními čísly.

Absolutní hodnota zkratové impedance:  $Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2}$

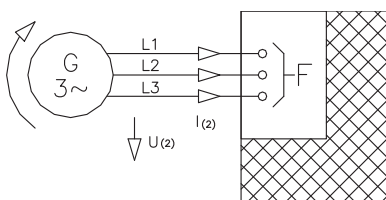
Počáteční rázový zkratový proud při třífázovém zkratu:  $I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} Z_k}$

přičemž  $\frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3}}$  je fázové napětí ekvivalentního zdroje;  $c$  je napěťový součinitel, který určujeme dle normy ČSN 33 3020 (jeho hodnota závisí na napětí použité soustavy nn, vn, vvn).

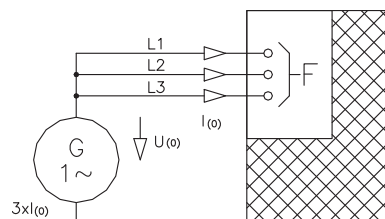
V případě 1-fázových a 2-fázových zkratů je situace poněkud komplikovanější, protože je nutno počítat se souslednou  $Z_{(1)}$ , zpětnou  $Z_{(2)}$  a netočivou  $Z_{(0)}$  složkou impedance.



*Definice sousledné složky zkratové impedance:*  
 $Z_{(1)} = U_{(1)} / I_{(1)}$



*Definice zpětné složky zkratové impedance:*  
 $Z_{(2)} = U_{(2)} / I_{(2)}$



*Definice netočivé složky zkratové impedance:*  
 $Z_{(0)} = U_{(0)} / I_{(0)}$

V praktických případech platí, že  $Z_{(1)} = Z_{(2)}$ , takže počáteční rázový zkratový proud při 1-fázovém zkratu (významný pro výpočet času odpojení poruchy od zdroje) je pak dán vztahem:

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

Impedanci poruchové smyčky (pro potřeby ČSN 33 2000-4-41) lze stanovit takto:

$$Z_{sv} = (2 \cdot Z_{(1)} + Z_{(0)}) / 3$$

Vzhledem k tomu, že program PAVOUK počítá přímo čas odpojení poruchy od zdroje, nemusí se uživatel výpočtem impedancí zabývat. Vypočtené impedance  $Z_{(0)}$ ,  $Z_{(1)}$  a  $Z_{sv}$  je možné zobrazit buď jako absolutní hodnoty, nebo jako komplexní čísla.

---

*Poznámka: Revizní technici často požadují zobrazení impedance  $Z_s$  (případně  $Z_{sv}$  podle ČSN 33 2000-4-41) ve tvaru jednoho čísla. Přes jistou rozporuplnost v interpretaci naměřených hodnot pomocí měřicích přístrojů pro revize (obvykle se totiž neměří impedance, ale činný odpor smyčky - viz  $R_{schb}$ , což je vzhledem k chybě měření přijatelné zjednodušení) je možné porovnat výsledky s vypočtenými hodnotami  $Z_{sv}$  získanými programem PAVOUK.*

### 3.5 Výpočetní postupy

Program PAVOUK byl vyvinut k výpočtům obecně zadané sítě, včetně složitě konfigurované energetické sítě s velkým počtem uzlů. Síť lze analyzovat jak při normálních provozních stavech, tak i při zkratových poruchách. Výpočet je řešen maticovými metodami tj. sestavením admitanční matice pro vykreslenou konfiguraci sítě a její inverzí na impedanční matici. Z takto získaných impedancí se výpočtovými postupy uvedenými v ČSN 33 3020 určují charakteristické hodnoty zkratových proudů, tedy počáteční rázový proud  $I_k''$ , nárazový zkratový proud  $I_{km}$  ( $i_p$ ), vypínací proud  $I_{tr}$  a ekvivalentní oteplovací proud  $I_{ke}$ . Je zobrazován průběh zkratového proudu, vypočítaný metodou řešení diferenčních rovnic. Při výpočtech se stále pracuje s plně sestaveným schématem energetické sítě na němž lze grafickou formou kdykoli v průběhu výpočtů vytvářet různé konfigurační režimy sítě, jako např. změny zdrojů a zátěží připnutím nebo odepnutím větví a pod.

### 3.6 Dimenzování vedení z hlediska zkratu

Vedení (vodiče a kabely) i přístroje zařazené v obvodu musí snést maximální zkratový proud, který se ve vedení může objevit. Je to proud, který vznikne v důsledku zkratu na začátku vedení, které předtím nebylo zatěžováno, takže se počítá s jeho minimálním elektrickým odporem. Na tyto maximální možné zkratové proudy, které jsou různé podle toho, v jakém místě sítě je počítáme, se ověřují jak vedení, tak přístroje. Kromě toho je nutno ověřit, zda jističí přístroje jsou schopny zapůsobit i při nejmenších zkratových proudech, které v obvodu vzniknou. Zde je nutno si uvědomit:

- že funkce jisticích přístrojů je vyvolávána zkratovým proudem a ten, jestliže je příliš malý, nedá popud k vybavení jisticího přístroje
- a také, že i tyto „malé“ zkratové proudy mohou při delší době svého působení poškodit přístroje, vodiče a kabely a elektrické předměty zařazené v obvodu se zkratem.

Vedení se ověřují z hlediska maximálních zkratových proudů. V databázi programu PAVOUK je pro každý kabel uvedena hodnota krátkodobého výdržného proudu pro čas 0.1 s, tj.  $I_{cw(0,1s)}$ . Je to velikost zkratového proudu, která může kabelem procházet po dobu 0.1 s, aniž by se kabel zahřál na teplotu vyšší než dovolenou teplotu při zkratu. A proč se tato hodnota udává pro dobu zkratu 0.1 s ? To je totiž nejdelší doba, která je uvedena ve výrobových normách pro jističe (např. ČSN EN 60 947-2), za kterou musí jističe odpojit zkrat a je to tedy i nejdelší doba průchodu předpokládaného zkratového proudu kabelem. Běžně však bývají doby trvání zkratu kratší. Obvyklé jističe vypínají zkrat podstatně dříve než za 0,1 s (malé jističe řádově během několika milisekund, výkonové jističe během desítek milisekund). Uvedená veličina je odvozena z předpokladu, že veškeré teplo, které se vyvine průchodem zkratového proudu, také tento vodič absorbuje a ohřeje se jím. Tento předpoklad je oprávněn proto, že za krátkou dobu průchodu zkratového proudu nedojde k podstatnému přenosu tepla do okolí. V každé případě však chyba, která vznikne zanedbáním přenosu tepla do okolí, je na straně bezpečnosti. Skutečný proud by tedy mohl být i nepatrně vyšší než proud vypočítaný na základě uvedeného předpokladu. V programu se přepočítává reálný zkratový proud  $I_k''$  (počáteční) na ekvivalentní oteplovací proud vodičem pro 0,1 s  $I_{ke(0,1s)}$ . To je proud, který by procházel vodičem

---

po dobu 0,1 s a měl by stejné účinky jako reálný zkratový proud, který tam prochází po čas  $T_{tr}$  (od začátku zkratu do vypnutí). Tento proud se porovnává s  $I_{cw(0,1s)}$  a musí být menší než  $I_{cw(0,1s)}$ , tj.  $I_{ke(0,1s)} \leq I_{cw(0,1s)}$ . Důležité je, že hodnotu  $I_{cw}$  pro čas 0,1s si můžeme snadno vypočítat z materiálu a průřezu vodiče.

*Poznámka: Z ČSN 33 2000-4-43 vyplývá vztah:  $I^2 \times t = k^2 \times S^2$ , kde  $I$  je efektivní hodnota zkratového proudu (tj.  $I_k$ ),  $S$  je průřez jádra kabelu v  $[mm^2]$  a  $k$  je konstanta závislá na materiálu vodiče a jeho izolace. Z tohoto vztahu pak dostaneme  $I_{cw(0,1s)}$ , jestliže do něj dosadíme za čas  $t$  hodnotu 0,1 s. Odtud pak vyplývá nerovnost:  $I_k^2 \times T_{tr} \leq I_{cw}^2 \times 0,1$ .*

### 3.7 Dimenzování jisticích přístrojů z hlediska zkratu

Vyžaduje se jednak ověření z hlediska maximálních zkratových proudů, tj. zda je jisticí přístroje vydrží, a také ověření z hlediska minimálních zkratových proudů, tj. zda je tyto přístroje odpojí. Podrobnější informace o přístrojích jsou v kapitole „Vlastnosti jisticích přístrojů“ (část I. kap. 5).

#### Ověření z hlediska maximálních zkratových proudů

Přístroje, které jsou zařazeny v obvodu, ve kterém došlo ke zkratu, musí tento zkrat vydržet. U jističů je jednak důležité, aby na zkratový proud reagovaly na druhé straně je důležité i to, aby byly schopny zkrat vypnout. Proto jsou přístroje ověřovány i z hlediska průchodu zkratového proudu. U malých jističů (MCB) se udává jeden parametr - jmenovitá vypínací schopnost  $I_{cn}$ , u výkonových jističů se udávají dvě vypínací schopnosti a to jmenovitá mezní vypínací schopnost  $I_{cu}$  a jmenovitá provozní vypínací schopnost  $I_{cs}$ . Je zaručeno, že jistič vydrží průchod proudu  $I_{cu}$  a že jej také vypne. Potom však již není zaručeno, že jistič bude splňovat veškeré požadavky tak, jak má. Jinak řečeno - není již zaručeno, že takový proud vypne podruhé. Pokud se týká proudu  $I_{cs}$ , u toho je zaručeno, že proud rovnající se  $I_{cs}$  nejen vypne, ale že zůstane nadále funkční a že i po toto vypnutí splňuje příslušné parametry. Není jej tedy po zkratu třeba vyměňovat.

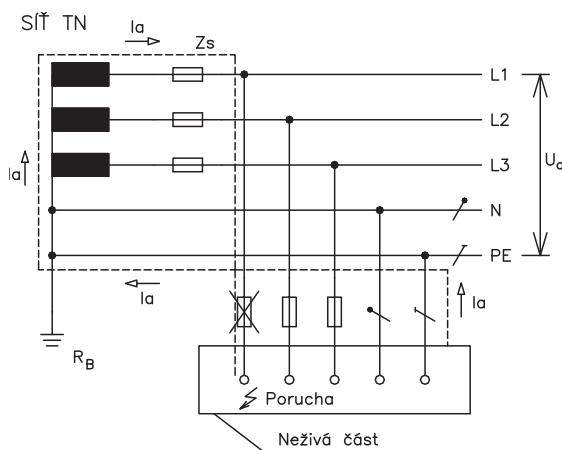
Vypínací zkratový proud  $I_{tr}$ , tj. zkratový proud v okamžiku vypnutí, který se skládá jednak ze své střídavé složky  $I_k$  a stejnosměrné složky  $I_a$  ( $I_{ss}$ ), se porovnává s hodnotami  $I_{cu}$  a  $I_{cs}$  jističe nebo s hodnotou  $I_{cn}$  pojistky (její jmenovité vypínací schopnosti). Zkratový proud  $I_{tr}$  musí být menší než  $I_{cu}$ . Jestliže je však třeba, aby jistič zůstal i po zkratu nadále funkční, musí být zkratový proud  $I_{tr}$  menší než  $I_{cs}$ .

#### Ověření z hlediska min. zkratových proudů - ochrana před nebezpečným dotykem neživých částí

Jedním z nejužívanějších způsobů zajištění ochrany před nebezpečným dotykem neživých částí (správněji ochrany při poruše) je ochrana automatickým odpojením od zdroje. V případě poruchy (průrazu izolace mezi živou a neživou částí) je zajištěno odpojení obvodu vhodným jisticím přístrojem.

Program PAVOUK dovoluje řešit ochranu automatickým odpojením ve všech obvyklých střídavých sítích nízkého napětí, tj. v sítích TN, TT a IT. Podmínky pro ochranu v sítích TN, TT, IT jsou uvedeny v normě ČSN 33 2000 4-41 – Ochrana před úrazem elektrickým proudem a vzhledem k tomu, že se nejedná o neznámé skutečnosti, uvedeme zde pouze nejdůležitější informace.

**Sítě TN** se u nás nejvíce používají, a proto se zmíníme o jejich vlastnostech podrobněji. Princip automatického odpojení v sítích TN spočívá v tom, že v případě poruchy izolace vznikne zkratový proud, jisticí prvek zapůsobí a tím odpojí obvod s poruchou. Aby tato ochrana mohla fungovat, jsou neživé části spojeny se zemí a s uzlem zdroje prostřednictvím ochranného vodiče PE (viz obrázek). Aby ochrana fungovala a vypnutí nastalo v dostatečně krátkém čase, musí být poruchový proud větší, než minimální vybavovací proud jisticího přístroje. Ale co to znamená „v dostatečně krátkém čase“? Je to maximální doba, po kterou se může člověk bezpečně dotýkat neživé části, která je při poruše pod napětím. Bylo zjištěno, že při poruše ve správně přizemněných sítích TN s fázovým napětím 230 V je maximální napětí na neživých částech 90 V a toto napětí člověk bez újmy na zdraví snese po dobu 0,45 s. Proto je pro zásuvkové obvody předepsána maximální doba odpojení 0,4 s. U obvodů napájejících větší a upevněná zařízení, u nichž není nebezpečí, že je může osoba držet v ruce, se připouští doba odpojení až 5 s. Trvalé dotykové napětí  $U_L$  v normálních prostorech je 50 V. Ve zvlášť nebezpečných prostorách a vymezených případech (např. zdravotnictví) může být hodnota  $U_L$  snížena – např. na 25 V. Pro odpojování se pak používají citlivé proudové chrániče s  $I_{\Delta n} \leq 30$  mA.



Proud poruchy (tj. minimální zkratový proud) v obvodu tvořeném zdrojem, fázovým vodičem k místu poruchy a ochranným vodičem od místa poruchy ke zdroji (v tzv. smyčce poruchového proudu) musí být větší, než je minimální zkratový proud (v ČSN 33 2000-4-41 označovaný  $I_a$ ), který zaručuje funkci jisticího přístroje v předepsaném čase. Odtud vyplývá známá podmínka pro impedanci smyčky  $Z_s$  poruchového proudu:

$$Z_s \leq U_o / I_a$$

kde:  $Z_s$  ..... impedance smyčky poruchového proudu [ $\Omega$ ]

$U_o$  ..... fázové napětí [V]

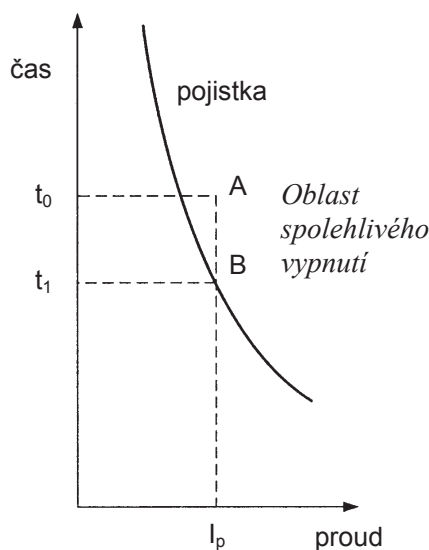
$I_a$  ..... proud vybavení jisticího přístroje v předepsaném čase [A]

Předepsané časy odpojení v síti TN jsou delší než v síti TT, ve které se k odpojení používají klasické jisticí přístroje (jističe nebo pojistky). Pro  $U_o = 230$  V je to u koncových obvodů do 32 A včetně 0,4 s, u distribučních obvodů a obvodů nad 32 A je to 5 s.

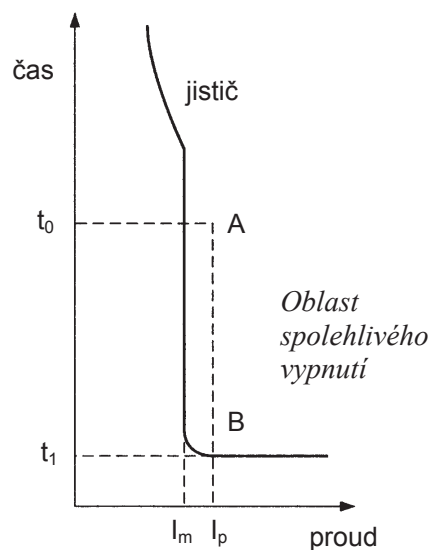
Z podmínek pro automatické odpojení a minimální zkratový proud v reálných instalacích vyplývá jednak to, že se uvažuje impedance při provozní teplotě (tedy větší než za studeného stavu) a že fázové napětí se vlivem zkratového proudu snižuje. Tyto podmínky (uvedené v ČSN 33 2000-4-41 vzorcem pro impedanci smyčky  $Z_s$  počítanou nebo měřenou při teplotě 20 °C upraveným s ohledem na předpokládané oteplení vodičů při poruše:

$$Z_s \leq \frac{2}{3} \times \frac{U_o}{I_a}$$

jsou v programu zahrnuty, takže po dosazení příslušných údajů vyjde skutečně, zda obvod vyhovuje i za těch nejneprůznivějších podmínek poruchy. Program počítá přímo čas vypnutí, takže není nutno se zabývat výpočtem impedance (podrobněji viz též, část I. kap. 3.4, část II. kap. 14.5). Na obrázcích je znázorněno, že bod určený souřadnicemi vypočítaného zkratového proudu a předepsané doby odpojení musí být vůči charakteristice pojistky nebo jističe napravo od pravé hraniční čáry vypínací charakteristiky (příp. nad touto charakteristikou).

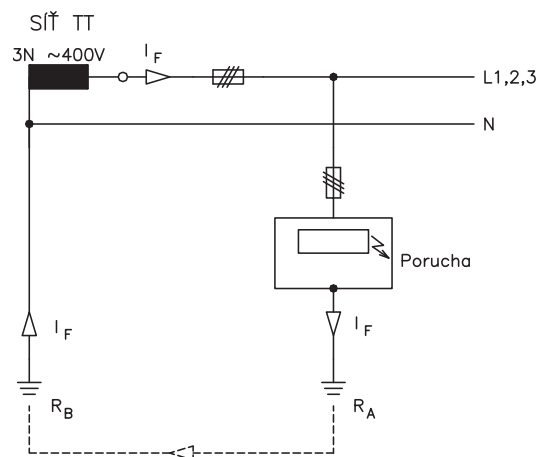


Ochrana pojistkami



Ochrana jističi

**Síť TT** je charakterizována tím, že pracovní vodiče (L1, L2, L3, N) jsou vedeny od uzemněného zdroje ke spotřebiči, ale ochrana neživých částí se zajišťuje spojením neživých částí spotřebičů s uzemněním. Při vzniku zemního poruchového proudu (zkrat mezi fází a kostrou spotřebiče) prochází poruchový proud  $I_F$  zemí ke zdroji a jeho velikost je určena velkými odpory uzemnění spotřebiče ( $R_A$ ) a uzemnění zdroje ( $R_B$ ). Po dobu poruchy, tedy až do okamžiku odpojení, se na neživých částech vyskytuje dotykové napětí, to však, při svém delším trvání, nesmí překročit hodnotu trvalého dotykového napětí  $U_L$  (50, 25 V).



Z tohoto požadavku je odvozena podmínka pro zajištění této ochrany v případě, že přístrojem, který automatické odpojení v síti TT zajišťuje, je proudový chránič. Proudový chránič je totiž v současné době prakticky jediný přístroj, který je schopen u výkonných zařízení v síti TT poruchu – průraz na neživou část – odpojit. Je-li tedy pro automatické odpojení v síti TT použit proudový chránič, musí pro odpor uzemnění spotřebiče být splněno:

$$R_A \leq U_L / I_{\Delta n}$$

kde:  $R_A$  ..... zemní odpor uzemnění chráněného spotřebiče [ $\Omega$ ],

$U_L$  ..... dovolená mez trvalého dotykového napětí 50 V,

$I_{\Delta n}$  ..... jmenovitý reziduální vybavovací proud proudového chrániče [A].

Aby odpojení bylo dosaženo v dostatečně krátkém čase, vyžaduje se, aby se ve výše uvedené podmínce namísto s  $I_{\Delta n}$  počítalo s podstatně větším proudem. Jako typická hodnota se uvádí  $5 I_{\Delta n}$ , takže při výpočtu s tímto bezpečnostním zvýšením by odpor uzemnění spotřebiče měl vyhovovat podmínce  $R_A \leq U_L / (5 I_{\Delta n})$ .

V některých případech, a to především u malých zařízení, na malé odběrné proudy, je možno nadále používat klasické jisticí prvky, tedy pojistky nebo jističe. Při použití pojistek nebo jističů platí



odlišná podmínka, než při použití proudových chráničů. Vychází, obdobně jako u podmínky pro automatické odpojení v síti TN, z představy proudové smyčky, kterou se při poruše (zkratu mezi fází a kostrou spotřebiče) uzavírá poruchový proud. Tento poruchový proud musí být včas odpojen, aby napětí na neživých částech při poruše, jehož velikost se může blížit až velikosti fázového napětí v síti TT, bylo včas odpojeno. Uvedenou podmínku je možno zapsat obdobným způsobem jako známou podmínku pro automatické odpojení v síti TN:

$$Z_s \leq U_o / I_a$$

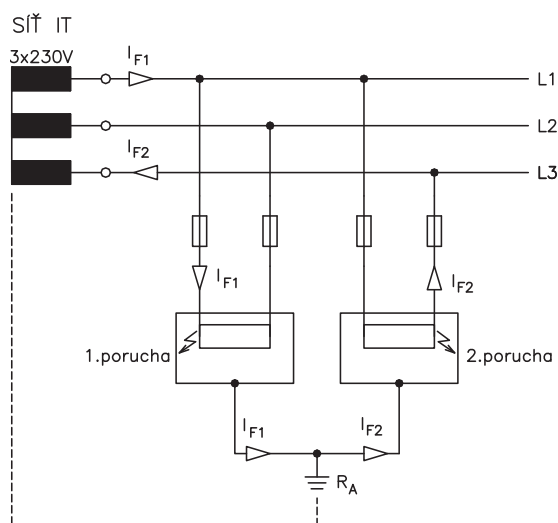
kde:  $Z_s$  ..... impedance smyčky poruchového proudu [ $\Omega$ ]

$U_o$  ..... fázové napětí [V]

$I_a$  ..... proud vybavení jisticího přístroje v předepsaném čase [A]

Přitom smyčka poruchového proudu, kromě zdroje, vodiče vedení až k místu poruchy, ochranného vodiče k neživým částem, uzemňovacího přívodu obsahuje především zemnič elektrické instalace a zemnič zdroje. Při zjednodušeném výpočtu postačí s určitou rezervou uvažovat odpory těchto zemničů. Proud vybavení jisticího přístroje v síti TT však v principu není stejný jako proud vybavení v síti TN. Vzhledem k tomu, že při poruše se na neživých částech objevují vyšší dotyková napětí než při poruše v síti TN, jsou předepsané časy odpojení v síti TT kratší než v síti TN. Pro  $U_o = 230$  V je to u koncových obvodů do 32 A včetně 0,2 s, u distribučních obvodů a obvodů nad 32 A je to 1 s. Na druhou stranu se však na rozdíl od sítě TN neuvažuje se zvýšením impedance smyčky vlivem oteplení vedení, jako je tomu v síti TN, protože elektrický odpor vedení tvoří jen v podstatě zanedbatelnou část odporu v impedanci smyčky.

**Sítě IT** jsou používány v případech, kde je vyžadována maximální bezpečnost pro obsluhu a vysoká spolehlivost v dodávce elektrické energie a to i v případě poruchy, která by v uzemněných sítích TN a TT způsobila vybavení jisticího přístroje. Ochrana neživých částí se – stejně jako v síti TT – zajišťuje spojením neživých částí spotřebičů na uzemnění. Vlastností sítě IT je to, že při vzniku poruchy (první porucha) proti zemi nedojde k vybavení ochranného přístroje, protože poruchový proud je omezen pouze na svodové a kapacitní proudy instalace. Za této situace můžeme na síť s první poruchou pohlížet jako na síť TN, nebo síť TT (to záleží na rozsahu a provedení přizemnění spotřebičů – zda jsou neživé části všech spotřebičů v síti připojeny ke společnému ochrannému vodiči, nebo zda jsou uzemněny po skupinách nebo každý spotřebič jednotlivě). Při první poruše ještě, při řádně provedeném spojení neživých částí se zemí, nevzniká nebezpečí úrazu elektrickým proudem, a proto se při vzniku této první poruchy obvod s poruchou ještě neodpojuje, je však předepsána kontrola stavu izolace pomocí hlídačů izolačního stavu nebo jiných přístrojů.



K vybavení ochranného přístroje vlivem velkého nadproudu může dojít teprve až při druhé poruše, která vznikla na další fázi a většinou na jiném elektrickém zařízení. Jsou-li neživé části spotřebičů v síti připojeny ke společnému ochrannému vodiči, prochází při druhé poruše vodiči zkratový proud daný impedancí poruchové smyčky.

Na uvedený stav lze pohlížet jako na určitou analogii sítě TN, ovšem s tím rozdílem, že první a druhá porucha mohou být v nejnejpříznivějším případě až na nejvzdálenějších, opačných koncích

---

instalace a z tohoto důvodu se musí počítat s dvojnásobnou délkou vedení (viz číslo 2 ve jmenovateli).

Pro síť IT bez vyvedeného uzlu musí být splněno:

$$Z_s \leq U / 2 \cdot I_a$$

Pro síť IT s vyvedeným uzlem musí být splněno:

$$Z'_s \leq U_0 / 2 \cdot I_a$$

kde:  $Z_s$  ..... impedance poruchové smyčky složená z fázového a ochranného vodiče,  
 $Z'_s$  ..... impedance poruchové smyčky složená z nulového (středního) a ochranného vodiče,  
 $U_0$  ..... jmenovité napětí mezi fází a nulovým (středním) vodičem,  
 $U$  ..... jmenovité napětí mezi fázemi,  
 $I_a$  ..... vypínací proud ochranného přístroje vypínajícího do stanovené doby (pro 230/400 V je pro síť bez nulového (středního) vodiče vypínací čas 0,4 s a pro síť s nulovým (středním) vodičem je to 0,8 s). Pro zvlášť nebezpečné prostory jsou vypínací časy kratší.

Jestliže jsou neživé části spotřebičů v síti IT uzemněny jednotlivě nebo po skupinách, platí pro automatické odpojení, bez ohledu na to, zda je k automatickému odpojení požito proudových chráničů nebo nadproudových jisticích přístrojů, tato podmínka:

$$R_A \leq U_L / I_a$$

kde:  $R_A$  ..... zemní odpor uzemnění chráněného spotřebiče včetně odporu ochranného vodiče k neživým částem [ $\Omega$ ],  
 $U_L$  ..... dovolená mez trvalého dotykového napětí [V],  
 $I_a$  ..... vypínací proud nadproudového ochranného prvku chráněného zařízení [A].

Sítě IT se pro své vlastnosti používají v těžkých provozech s nutností nepřetržitého provozu (doly, hutě, speciální provozy, atd.), kde se současně pracuje většinou s napětím 500 V. Zvláštním typem sítě IT používané ve zdravotnictví je zdravotnická izolovaná soustava (ZIS) a setkáme se s ní zejména na operačních sálech (napětí 230 V). Požadavky na ZIS jsou uvedeny v samostatné normě ČSN 34 2140 – Elektrická instalace ve zdravotnických využívaných prostorách. Určitou zvláštností ZIS je to, že se pro vytvoření izolované soustavy používají speciální ochranné oddělovací transformátory, které musí mj. splňovat požadavky normy VDE 0107, která platí pro elektrická zařízení ve zdravotnických zařízeních (v databázi nabídka typů firmy Moeller) a které se připojují primárním vinutím na síť TN. Vstupní složky impedance pro oddělovací transformátor (převod obvykle 230 V / 230 V) lze snadno získat přímo ze sítě TN v daném bodě připojení.

---

## 4. Úbytky napětí, rozložení zátěže, selektivita

---

### 4.1 Dovolené úbytky napětí

Při jakémkoliv odběru z elektrické sítě dochází ke vzniku elektrického proudu. Ten svým průchodem vyvolává na těchto vedeních úbytky napětí, takže napětí přivedené až ke spotřebiči není rovno napětí na svorkách zdroje, ale je nižší. Pro jednotlivé části elektrického rozvodu jsou přitom předepsány různé úbytky napětí.

Pro úbytek napětí od zdroje k odběrnému místu je možno vyjít z předepsaných odchylek napětí (ČSN 33 0120 a ČSN 33 0121), které mají být v mezích + 6 % a – 10 % od jmenovité hodnoty (od roku 2003 mají tyto meze být  $\pm 10$  %). To znamená, že celkový úbytek napětí od zdroje až k odběrnému místu může být až 16 %.

Ve vlastní elektrické instalaci budovy (tj. uvnitř objektu), se podle ČSN 33 2000-5-52 doporučuje, aby pokles napětí mezi počátkem instalace a provozním zařízením uživatele nebyl větší než 4 % jmenovitého napětí instalace. Toto doporučení poněkud koliduje s požadavky ČSN 33 2130, která pro jednotlivé části instalace předepisuje tyto maximální úbytky napětí:

1. Od rozváděče za elektroměrem (bytové rozvodnice) ke spotřebičům:

- u světelných vývodů 2 %,
- u vývodů pro vařidla a topidla (pračky) 3 %,
- zásuvek a ostatních vývodů 5 %,

2. Vedení mezi elektroměrovou rozvodnicí a bytovou rozvodnicí

- u světelného a smíšeného odběru 2 %,
- u odběru jiného než světelného 3 %.

Lze připustit, že s ohledem na splnění ostatních požadavků mohou při dimenzování vedení vzniknout v některém úseku větší úbytky než je výše uvedeno, pokud nebudou překročeny ve vedení od přípojkové skříně až ke spotřebiči tyto úbytky:

- u světelných vývodů 4 %,
- u vývodů pro vařidla a topidla (pračky) 6 %,
- zásuvek a ostatních vývodů 8 %.

Je vidět, že při sečtení všech dovolených úbytků napětí (v distribuční síti a v elektrické instalaci) se můžeme dostat až na samou mez funkce některých přístrojů a zařízení. (Např. u relé a stykačů je zaručena jejich funkce od 85 % jmenovitého napětí výše, u elektromotorů to je od 90 % jmenovitého napětí.) Proto je zapotřebí řídit se výše uvedeným doporučením (úbytek do 4 %) uvedeným v ČSN 33 2000-5-52.

---

Prísnejší požadavky na úbytky napětí stanoví pro průmyslový rozvod ČSN 34 1610. Ta stanoví, že:

- pokles napětí na svorkách motorického spotřebiče způsobený jeho jmenovitým proudem nemá být větší než 5 % jmenovitého napětí sítě (napětí tedy nemá klesnout pod 95% jmen. napětí),
- pokles napětí v místě světelného zdroje způsobený výpočtovým zatížením nemá být větší než 3 % jmenovitého napětí sítě (napětí tedy nemá klesnout pod 97% jmenovitého napětí),
- pokles napětí v místě tepelného spotřebiče způsobený výpočtovým zatížením nemá být větší než 5 % jmenovitého napětí sítě (napětí tedy nemá klesnout pod 95% jmenovitého napětí).

Podotýkáme, že v případě požadavků ČSN 34 1610 se nejedná o úbytek napětí na některé části vedení, ale o požadavek, o kolik smí napětí poklesnout vzhledem ke jmenovitému napětí. Na svorkách transformátoru může být např. napětí rovnající se 110 % jmenovitého napětí, od kterých pak mohou úbytky napětí být 15 %, resp. 13 %. Projektant má tedy určité volné pole, jak úbytky napětí v těchto případech od zdroje ke spotřebiči rozvrhnout. Užitečnou novou funkcí programu PAVOUK je možnost nastavení mezních úbytků lokálně pro jednotlivé uzly a větve sítě.

#### **4.2 Poznámky k výpočtu úbytků napětí**

Je třeba říci, jak se úbytky napětí počítají, popř. jak se sčítají. Pokud se týká čistě činných odběrů, jako jsou elektrotepelné spotřebiče, a malých průřezů vedení, je situace jednoduchá. Úbytky napětí jsou součiny proudů a odporů vedení, které je možno jednoduchým způsobem sčítat. V případě, že se jedná o spotřebiče, např. motory, jejichž charakter odběru je činný a induktivní, a o obecné impedance  $Z$  vedení složené z reálné složky (rezistance)  $R$  a imaginární složky (induktance)  $X$ , násobí se vzájemně tyto komplexní veličiny. Výsledkem tohoto součinu je opět komplexní veličina, tedy komplexní úbytek napětí. Ta nám popisuje úbytky napětí v reálné a imaginární ose souřadnic. Absolutní hodnoty těchto úbytků na jednotlivých částech vedení od zdroje ke spotřebiči se proto nesmějí sčítat běžným způsobem, ale musí se sčítat opět jenom jako komplexní veličiny (tj. reálné a imaginární složky zvlášť). Proto uživatele programu nesmí překvapit, že součty absolutních hodnot úbytků napětí nejsou často přesným součtem jejich absolutních hodnot na jednotlivých, na sebe navazujících vedeních. Stejně je tomu i v případě součtu impedancí a proudů. Podle Kirchhoffova zákona musí být součet proudů v uzlech roven nule, nikoliv však součet absolutních hodnot.

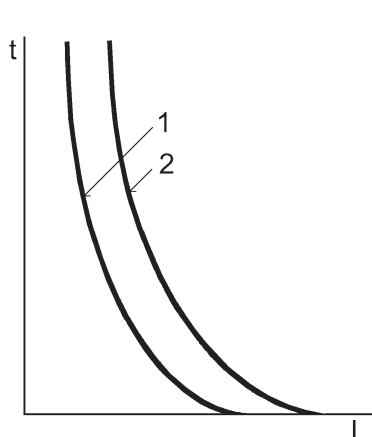
#### **4.3 Výpočet zatížení jednotlivých větví sítě**

Program PAVOUK umožňuje počítat též zatížení jednotlivých větví sítě (představovaných kabely a vodiči) při různém rozložení zatížení sítě. V tomto případě počítá opět s komplexními hodnotami proudů a impedancí. Proto není možné, stejně jako v předchozím případě, proudové zatížení jednotlivých větví sčítat jednoduše jako aritmetický součet absolutních hodnot proudů, ale zvlášť složky reálné a imaginární. Při respektování těchto pravidel je možno určit zatížení při jakékoliv konfiguraci sítě. Obdobná pravidla se respektují i při výpočtu zkratových proudů. I při zkratu se počítá s impedancí sítě vyjádřenou v komplexním tvaru.

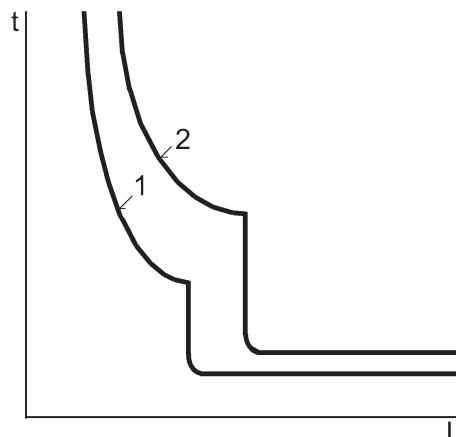
#### **4.4 Selektivita**

Účelem zajištění selektivity je, aby poruchu nebo přetížení vypnul vždy pouze ten jisticí prvek, který je k místu poruchy nebo k místu, ve kterém dochází k přetížení, nejbližší. Proto, pokud chceme mezi dvěma za sebou zařazenými jisticími prvky zachovat selektivitu, nesmí se jejich

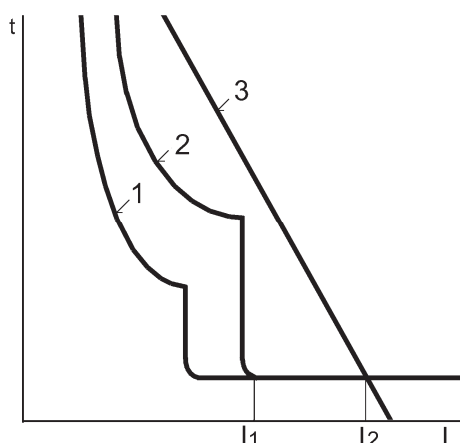
charakteristiky v žádném bodě protínat a jsou-li namísto jednoznačně udané charakteristiky pomocí jedné čáry udána pásma charakteristik, nesmějí se protínat ani tato pásma. K protnutí charakteristik nebo k překrytí jejich pásem nesmí dojít ani pro nadproudy odpovídající přetížení, ani pro zkratové proudy. Na obrázcích jsou znázorněny různé případy zajištění selektivity, a to buď pro všechny nadproudy (obr. a, b) nebo jen v určitém pásmu nadproudů (obr. c).



a) Jištění dvěma pojistkami: selektivita zajištěna pro všechny proudy.



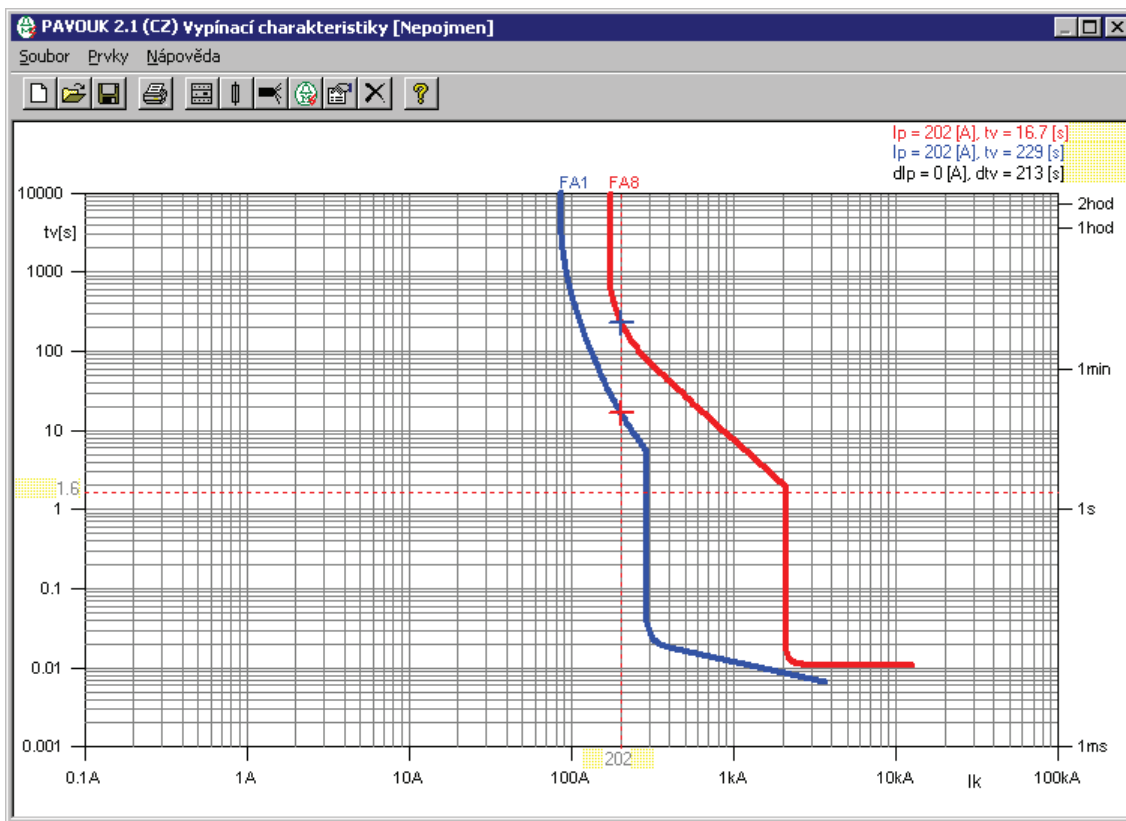
b) Jištění dvěma jističi, selektivita zajištěna pro všechny proudy.



c) Jištění dvěma jističi a pojistkou: selektivita jističů plně zajištěna pro rozsah proudů menších než  $I_1$ , pro rozsah proudů mezi  $I_1$  a  $I_2$  nelze zaručit selektivitu mezi jističi; pro proudy větší než  $I_2$  vybavuje pojistka s charakteristikou 3.

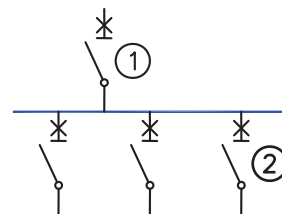
Následuje ukázka grafických výstupů z programu PAVOUK (modul Vypínací charakteristiky). Na obrázku je znázorněn praktický případ zajištění selektivity mezi jističi FA1 a FA8. Jistič FA1 je blíže k prvku nebo obvodu jištěnému proti nadproudu, jistič FA8 je od tohoto prvku nebo obvodu dále. Jistič FA8 je tedy jističi FA1 předřazen. Typický příklad takového řazení je, že jistič FA1 jistí např. vývod 63 A a jistič FA8 jistí čtyři tyto vývody, jejichž soudobý výpočtový proud se předpokládá 125 A. Je samozřejmě žádoucí, pokud dojde k přetížení pouze v jednom vývodu 63 A, aby vypnul pouze jistič FA1. Tím je zajištěno, že napájení ostatních vývodů v takovém případě pokračuje bez přerušení. Jistič FA1 totiž při jakémkoliv nadproudu (ať už při přetížení nebo při zkratu) zapůsobí dříve, než by zapůsobil jistič FA8. Z obrázku se o tom můžeme přesvědčit. Odečteme např. dobu odpojení pro 200 A. Nejprve vypne jistič FA1 - v čase asi 17 s a teprve mnohem později by vypnul jistič FA8 - až asi za 200 s. Podobně je možno vysledovat, že jistič FA8 by vypnul později než jistič FA1 pro každý nadproud, který je možné v daném obvodu předpokládat. Jistič FA8 v takovém případě působí jako záložní pro případ selhání jističe FA1, nebo v případě, kdy se součet proudů všech obvodů napájených vedením jištěným jističem FA8 se

dostane do oblasti nadproudů. To se může stát, jestliže je překročena předpokládaná soudobost nebo při využití uvedených obvodů, jestliže všechny čtyři obvody jištěné jističi FA1 najednou odebírají svůj plný výpočtový proud. Podrobnější informace o jisticích přístrojích jsou uvedeny v kapitole „Vlastnosti jisticích přístrojů“ (viz část I. kap. 5).



Speciální funkce programu PAVOUK umožňuje vyhodnotit selektivitu dvou jističů též na základě tabulek selektivity uvedených v katalogu výkonových jističů. Tyto tabulky byly se staveny na základě výsledků zkratových zkoušek a pro standardní případy nabízejí přesnější, ověřené výsledky. Mohou nastat tyto základní situace:

- Plná selektivita (T): přiřazený jistič (2) vypne a předřazený jistič (1) zůstává zapnutý.
- Částečná selektivita: selektivita mezi zadanými jističi je zajištěna, pokud zkratový proud  $I_k$  bude menší než uvedená hodnota. V tom případě přiřazený jistič (2) vypne a předřazený jistič (1) zůstává zapnutý.
- Není selektivita: vždy vypnou oba jističe, přiřazený (2) i předřazený (1).
- Nelze posoudit: zkoumaná dvojice nebyla nalezena v tabulce selektivity; selektivitu nutno posoudit pouze porovnáním vypínacích charakteristik jak je uvedeno výše.



#### 4.5 Kaskádování jisticích prvků

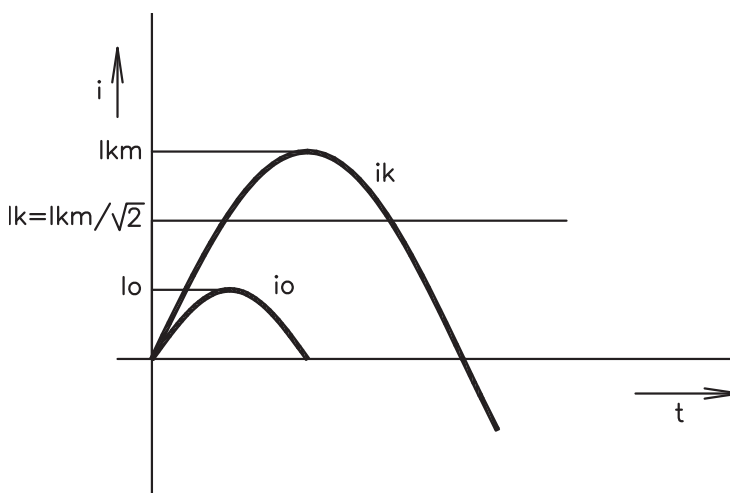
Kaskádováním jisticích prvků se rozumí jejich řazení z hlediska účinků zkratových proudů. Asi všichni zhruba chápeme princip správného řazení jisticích prvků tak, aby zkratový proud byl přerušen dříve, než dojde k poškození některého z nich. Přesto si pro jistotu uvedeme několik vysvětlujících poznámek.



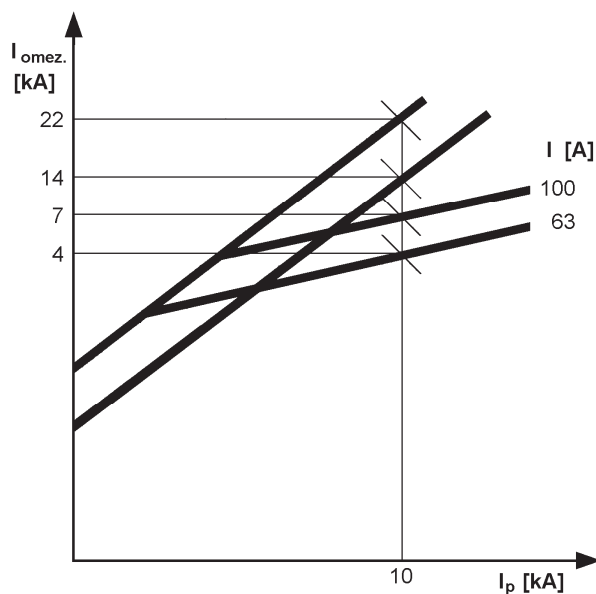
V předchozích článcích jsme se dozvěděli, že jisticí prvek má přerušit takový nadproud, který by ohrožoval chráněné vedení. Shrňme-li a zjednodušíme-li to, platí, že čím větší je proud, tím dříve by jej měl jisticí prvek přerušit. Přeruší však jisticí prvek jakýkoliv proud? Samozřejmě, že by to bylo ideální. Ve skutečnosti tomu tak však není. Nezabývali jsme se tím, co se stane, jestliže je nadproud příliš veliký. V takovém případě nemusí jisticí prvek nadproud přerušit a dojde k jeho destrukci. To je samozřejmě nežádoucí. Aby k takové situaci nedošlo, je třeba provádět příslušné kontroly a ověření. Na jedné straně se jisticí prvky ověřují, jaký maximální proud vlastně vydrží. Na straně druhé projektant počítá, jak velký může být maximální nadproud (tj. obvykle zkratový proud) v místě umístění jisticího prvku. V prvním případě se jedná o otázku konstrukce jisticího prvku, ve druhém případě jde o provedení a uspořádání obvodů, v kterých jsou jisticí prvky nasazeny.

Je zde ovšem ještě další možnost.

Vzdálenější jisticí prvek sice nevydrží předpokládaný zkratový proud v místě zkratu, ovšem předřazený jisticí prvek zkratový proud omezí. Omezení spočívá v tom, že k přerušení zkratového proudu dojde dříve, než první půlvlna předpokládaného zkratového proudu (tj. proudu, který by obvodem procházel, kdyby v něm jisticí prvek nebyl) dosáhne svého maxima. To je znázorněno na obrázku, kde je uveden časový průběh předpokládaného zkratového proudu  $i_k$  a časový průběh omezeného proudu  $i_o$ . Maximální hodnoty tohoto omezeného zkratového proudu  $I_o$  závisí na velikosti předpokládaného zkratového proudu  $i_k$ . I když je zkratový proud jisticím prvkem omezen v průběhu své první půlvlny, je tento omezený proud tím větší, čím rychlejší je nárůst zkratového proudu, a proto i omezený zkratový proud  $I_o$  je tím větší, čím větší je předpokládaný zkratový proud (trvání jedné půlvlny je vždy 10 ms). Předpokládaný zkratový proud se však nepopisuje průběhem své okamžité hodnoty, ale svou efektivní hodnotou, a to v ustáleném stavu. Ta se označuje  $I_k$ . Maximální hodnota zkratového proudu (na vrcholu sinusovky) je  $I_{km} = I_k \times \sqrt{2}$ . Jako  $I_k$  se označuje zkratový proud, resp. jeho efektivní hodnota v ustáleném stavu. V grafické závislosti maximální hodnoty omezeného proudu  $I_o$  na předpokládaném zkratovém proudu  $I_k$  se tento zkratový proud označuje obvykle  $I_p$  (index p si můžeme zapamatovat jako označení poruchového proudu). Příklad takovéto závislosti v případě, že omezujícím prvkem je pojistka, o jmenovitém proudu 63 A, resp. 100 A, je znázorněn na dalším obrázku. Vidíme, že zkratový proud, jehož efektivní hodnota je 10 kA (tzn., že jeho maximální hodnota je asi 14 kA) je



Průběh omezení předpokládaného zkratového proudu  $i_k$



Omezovací charakteristiky pojistek

zkratovém proudu  $I_k$  se tento zkratový proud označuje obvykle  $I_p$  (index p si můžeme zapamatovat jako označení poruchového proudu). Příklad takovéto závislosti v případě, že omezujícím prvkem je pojistka, o jmenovitém proudu 63 A, resp. 100 A, je znázorněn na dalším obrázku. Vidíme, že zkratový proud, jehož efektivní hodnota je 10 kA (tzn., že jeho maximální hodnota je asi 14 kA) je

---

pojistkou 63 A omezen na 4 kA a pojistkou 100 A na 7 kA. Tyto tzv. omezovací charakteristiky jsou dodávány výrobcí přístrojů a v programu PAVOUK jsou obsaženy v digitalizované podobě.

Aby jisticí prvek zařazený za prvek omezující zkratový proud pro tento omezený zkratový proud vyhověl, musí být maximální hodnota zkratového proudu, který tento druhý prvek snese, vyšší než maximální hodnota omezeného zkratového proudu  $I_o$ . Tímto druhým jisticím prvkem bývá obvykle jistič. U jističů se uvádějí hodnoty zkratového proudu, které je tento jistič schopen vypnout. Jsou to tak zvané zkratové vypínací schopnosti jističe (a to mezní  $I_{cu}$  nebo provozní  $I_{cs}$  - viz dále). A právě tyto hodnoty je nutno porovnat s hodnotou omezeného zkratového proudu  $I_o$ . Je tady však jeden detail, na který je třeba přitom pamatovat. Vypínací schopnosti jističů se uvádějí v efektivních hodnotách, zatímco hodnota omezeného zkratového proudu  $I_o$  je skutečná maximální hodnota omezeného proudu. Abychom obě čísla mohli porovnat, musíme efektivní hodnotu zkratové vypínací schopnosti  $I_c$  přepočítat na maximální hodnotu  $I_{cmax}$ . Ta se rovná  $I_{cmax} = I_c \times \sqrt{2}$ . Musí platit  $I_c \times \sqrt{2} \geq I_o$ . Přitom za  $I_c$  se dosadí zkratové vypínací schopnost jističe buď mezní  $I_{cs}$  nebo provozní  $I_{cu}$ . tento výběr závisí na tom, zda potřebujeme, aby po zkratu byl jistič nadále funkční - dosadíme  $I_{cs}$ , nebo nám bude stačit, že jistič zkratový proud bezpečně vydrží - dosadíme  $I_{cu}$ .

Tradičními prvky, které omezují velké zkratové proudy jsou pojistky. U jističů se tato schopnost dříve vůbec nepředpokládala. Počítalo se s tím, že i při zkratovém proudu nejprve projde několik period zkratového proudu a teprve potom jistič vypne. Nyní však instalační jističe (MCB) mají omezovací schopnost a vypínají zkratový proud dříve, než jeho první půlvlna dosáhne vrcholu.

Shrneme-li tedy uvedené poznatky, můžeme doporučit postup, jak ověřovat jisticí prvky z hlediska jejich zkratové odolnosti:

1. Vypočítáme maximální zkratový proud  $I_k$ , který může jisticím prvkem procházet. Je to obvykle proud vzniklý při trojfázovém zkratu v místě jisticího prvku.
2. Ověříme, zda jisticí prvek uvedený zkratový proud snese. Aby jisticí prvek vyhověl, musí být jeho vypínací schopnost vyšší než zkratový proud. Pokud chceme mít skutečnou jistotu, uvažujeme s nárazovým zkratovým proudem  $I_{km}$ , jehož hodnota  $I_{km} = K \times I_k$ , kde  $K$  obvykle nepřesáhne hodnotu 1,6. Vypínací schopnost (tj. pro výkonové jističe buď  $I_{cs}$  nebo  $I_{cu}$ ) tedy musí být, pokud chceme mít jistotu, větší než 1,6  $I_k$ . Pokud zvolený jisticí prvek této podmínce nevyhoví, je možno zvolit jisticí prvek s vyšší zkratovou odolností.
3. Ověříme, zda předřazený jisticí prvek omezí zkratový proud tak, že hodnota omezeného zkratového proudu  $I_o$  (tj. jeho maximální hodnota) je nižší než maximální hodnota proudu odpovídající vypínací schopnosti daného jisticího prvku, tj. nižší než  $I_c \times \sqrt{2} \geq I_o$  (kdy za  $I_c$  se dosadí zkratové vypínací schopnost jističe buď mezní  $I_{cs}$  nebo provozní  $I_{cu}$ ).

Pokud uvedená podmínka není splněna, je možno volit buď jisticí prvek s vyšší vypínací schopností nebo předřadit jisticí prvek, který zkratový proud více omezí (téměř vždy lze použít pojistky).

#### **4.6 Kompenzace jalového výkonu**

Elektrická zařízení, jako elektrické motory, transformátory, tlumivky zářivek a mnohé další nespotřebovávají ze sítě pouze činnou energii, ale i energii jalovou, která je nezbytná pro zajištění jejich správné funkce. Problémem je, že přenosová síť je zatěžována součtem obou těchto energií. Aby byla redukována jalová energie přenášená soustavou, připojuje se ke spotřebiči, nebo v jeho blízkosti, kompenzační kondenzátor, který dodává jalovou energii přímo spotřebiči a tím se sníží

velikost jalové energie přenášené po síti. Kvalita kompenzace jalové energie se udává účínkem  $\cos \varphi$ , což je poměr činného výkonu  $P$  a zdánlivého výkonu  $S$ . Při určitém zjednodušení platí vztah:

$$\cos \varphi = P / S$$

Zdánlivý výkon  $S$  se skládá ze složky činného a jalového výkonu:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

kde:  $\cos \varphi$  ... účíník (kosinus úhlu fázového posunu mezi napětím a proudem – pro 50 Hz)

$P$  ..... činný výkon [W]

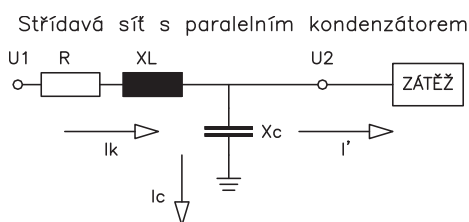
$S$  ..... zdánlivý výkon [VA]

$Q$  ..... jalový výkon [var]

Ideálním stavem je docílit účíník co nejbližší jedné. Pokud je účíník příliš nízký, je odběratel penalizován za odběr jalové energie.

Podle rozsahu a stability odběru jsou používány různé druhy kompenzace: individuální, skupinová a centrální. U individuální kompenzace je kondenzátor spínán přímo se spotřebičem, skupinová a centrální kompenzace je vhodná pro rozsáhlejší elektrické systémy s proměnnou zátěží. Zde je již spínání kondenzátorů řízeno automatickým regulátorem, který zajišťuje dosažení požadovaného účíníku. Ve všech uvedených případech však platí, že kompenzace v kterémkoli bodě sítě ovlivňuje celou soustavu.

Na obrázku vpravo je znázorněno zjednodušené schéma paralelního zapojení kompenzačního kondenzátoru. Při tom dochází ke změně fázoru proudu, a sice z velikosti  $I'$  na velikost  $I_K$ . Celkový proud vedení se po kompenzaci změní na  $I_K = I' + I_C$ .



S kondenzátorem  $C$  docílíme kompenzační výkon:

$$Q_C = \frac{I^2}{\omega \cdot C}$$

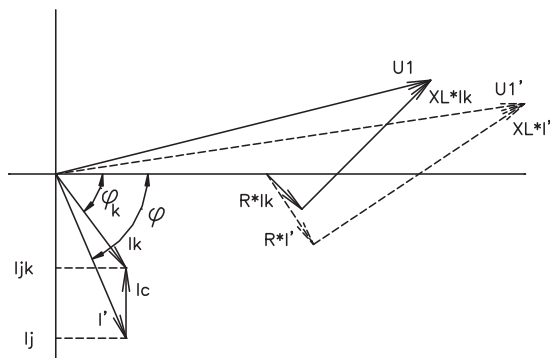
kde:  $Q_C$  ..... výkon kondenzátoru [var]

$I$  ..... efektivní hodnota proudu [A]

$\omega$  ..... úhlový kmitočet

( $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$  pro 50 Hz je to 314)

$C$  ..... kapacita kondenzátoru [F]



V třífázových sítích se používá prakticky výhradně zapojení kondenzátoru do trojúhelníku ( $C_D$ ). Program PAVOUK však umožňuje použít kondenzátory i pro zapojení do hvězdy, které se ovšem využijí jen pro jednofázové spotřebiče. Po připojení kondenzátoru je možné odečíst proud tekoucí kondenzátorem a tento proud použít pro výběr kondenzátorových stykačů (firma Moeller nabízí úplnou řadu). Požadovaného účíníku dosáhneme volbou vhodného kondenzátoru, přičemž je nutno upozornit na skutečnost, že program neprovádí automatický výpočet z původního na výsledný účíník, ale počítá stav s konkrétním vybraným kondenzátorem. Při uvedené kontrole si můžeme vyzkoušet například maximální výkon kompenzačních baterií, které budeme v dané síti potřebovat, abychom síť nepřekompenzovali, případně nenavrhovali (doposud většinou odhadem) zbytečně výkonné kompenzační baterie. Snižování výkonu připojovaných kondenzátorů je pak záležitost automatiky, která je běžnou součástí kompenzačních rozváděčů.

---

Programem PAVOUK je rovněž možné porovnat úbytek napětí před kompenzací a po kompenzaci, protože snížením zdánlivého výkonu se sníží i proud. Je prokazatelné, že snižování ztrát při přenosu elektrické energie je velmi výhodným opatřením, protože ostatní způsoby, jako zvyšování průřezů, zvyšování jmenovitého napětí a další, jsou neekonomické a techniky často obtížně proveditelné. Výpočty si lze rovněž ověřit skutečnost, že v některých případech je dokonce možné snížit i průřezy použitých vedení.

*Poznámka (převzato z publikace: Kompenzace jalového výkonu v praxi):*

*„O tom, co jalový výkon je nebo není, bylo během uplynulých sta let sepsáno nespočetně článků a složeno mnoho doktorských disertací. Záhadám jalového výkonu byla samozřejmě věnována také řada odborných konferencí. Výsledek celého bádání o fyzikální podstatě jalového výkonu je však prozatím víceméně také jalový. Jediná teze, se kterou se světoví odborníci jednohlasně shodují, neříká nic více, než že jalový výkon je něco jiného než výkon činný, a proto se za něj také musí zvlášť platit....“*

---

## 5. Vlastnosti jisticích přístrojů

---

Pro správné použití jisticího přístroje v elektrických obvodech je nezbytné znát jak základní parametry obvodu (zkratové poměry, druh zátěže atd.), tak i vlastnosti jisticího přístroje (typ vypínací charakteristiky, vypínací schopnost atd.). Vhodnost použití jisticího přístroje v daném obvodu je určena parametry, které garantuje výrobce v katalogové dokumentaci. Přitom je nezbytné vědět, který parametr jisticího přístroje (např.  $I_{cn}$ ,  $I_{cu}$ ,  $I_{cs}$ ,  $I_{cw}$ ) lze přiřadit ke kterému parametru zkratového proudu (např.  $I_k$ ,  $I_{km}$ ) v daném obvodu..

*Poznámka: všechny proudy převyšující jmenovitý proud obvodu se označují jako „nadproud“. Pod pojem „nadproud“ se zahrnují pojmy „přetížení“ (malé nadproudy, několikanásobky  $I_n$ ) a „zkrat“ (velké nadproudy).*

### 5.1 Pojistky

V současné době platí pro pojistky soubor norem IEC/EN 60269 (u nás pod třídicím znakem ČSN 35 4701). Pojistky lze dělit podle různých hledisek, jako je konstrukce (výkonové – nožové, závitové, válcové, atd.), typu vypínací charakteristiky (gG/gL: pro všeobecné použití - pro převážnou většinu použití; aM: pro jištění motorových obvodů – pouze pro zkratovou ochranu; gR, aR: pro jištění polovodičů aj.), podle druhu proudu (AC, DC), jmenovitého napětí atd. Typy a provedení se liší i podle národních zvyklostí.

Přetížení: V oblasti přetížení, tj. při malých nadproudech, je u pojistek nutno počítat s relativně delšími vypínacími časy, než u jističů. Z definice vypínací charakteristiky pojistky lze například uvést, že při průchodu proudu s hodnotou  $1,6 I_n$  může pojistka vypnout až za 1 hodinu, kdežto u jističů jsou smluvené vypínací proudy nižší.

Zkratové proudy: Nejvýznamnější vlastností pojistek je vysoká vypínací schopnost při zkratu, která při velmi malých rozměrech předurčuje použití pojistek pro hlavní, nebo pro záložní ochranu obvodů a přístrojů před zkraty. Jmenovitá vypínací schopnost pojistek se uvádí jako jedno číslo  $I_{cn}$  a pohybuje se běžně v rozmezí od 50 kA až 120 kA (závisí na typu pojistky, účinníku, napětí, atd.). Pro nadproudy od cca  $20 I_n$  lze počítat s omezujícími vlastnostmi pojistek, kdy je zkratový proud omezen dříve, než dosáhne maximální hodnoty (při frekvenci 50 Hz tedy musí vypínání nastat nejpozději do 5 ms). Omezený proud (běžně označovaný jako  $I_o$ ), se vyjadřuje v maximální hodnotě. Typický průběh omezovacích charakteristik je zřejmý z obrázku uvedeném v kapitole 4.5. Jsou na něm znázorněny dvě rovnoběžné čáry:

- dolní čára vyjadřuje vrcholovou (omezenou) hodnotu symetrického zkratového proudu (předpokládaného),
- horní čára vyjadřuje vrcholovou (omezenou) hodnotu nesymetrického zkratového proudu, to znamená nejnepríznivější stav.

Volba, kterou z čar použít závisí na stavu obvodu, ve kterém zkrat vyšetřujeme.

Další možností, jak popsat vlastnosti pojistek vyčíslení energie propuštěné do obvodu (tj. energie způsobující oteplení vedení), kterou vyjadřuje parametr  $I^2t$  (Jouleův integrál). Odečítá se z omezujících charakteristik, které jsou k dispozici v katalogové dokumentaci. Omezení zkratového proudu má příznivý vliv na oteplení vedení a snížení dynamického namáhání vodičů a rozváděčů.

---

Kriterium výběru pojistky v obvodu se známými zkratovými poměry:

$$I_{cn} \geq I_k''$$

kde:  $I_{cn}$  ..... jmenovitá zkratová vypínací schopnost pojistky  
 $I_k''$  ..... počáteční rázový zkratový proud

Selektivita pojistek: Selektivita dvou pojistek v sérii je obecně zaručena při poměru jmenovitých proudů 1 : 1.6, pokud výrobce neuvede jinak. Podmínkou jsou ovšem stejné typy vypínacích charakteristik (viz kap. 4.4, obr. a).

## 5.2 Jističe

Podle účelu použití musíme vzít v úvahu hned dvě základní normy pro jističe, které se v katalozích uvádějí nejčastěji a to normu ČSN EN 60898 a normu ČSN EN 60947-2.

### ČSN EN 60898 Jističe pro nadproudové jištění domovních a podobných instalací (1995)

Pro jističe používané pro instalace budov (též instalační jističe), kde se počítá s laickou obsluhou, je určena norma ČSN EN 60898. Jmenovité proudy jsou dnes až do 125 A. Vypínací charakteristika je uvedena na obrázku v kapitole 2.3.

Přetížení malými nadproudy: Pro malé nadproudy jsou stanoveny meze, ve kterých nesmí, nebo musí dojít k zapůsobení spouště na přetížení. Smluvný nevypínací proud ( $I_{nt}$ ) je pro 1,13  $I_n$ , smluvný vypínací proud ( $I_t$ ) je 1,45  $I_n$ . To znamená, že při průchodu proudu pod hodnotou 1,13  $I_n$  nesmí ve smluvném čase dojít k vybavení jističe a při proudech nad 1,45  $I_n$  musí ve smluvném čase dojít k vybavení jističe. Smluvný čas je buď 1 hodina (pro  $I_n \leq 63$  A) nebo 2 hodiny (pro  $I_n > 63$  A). Tyto meze jsou stanoveny obecně bez ohledu na typ vypínací charakteristiky. Uvedené údaje platí pro referenční teplotu okolí 30 °C s tím, že jističe nemají tepelnou kompenzaci.

Zkratové proudy: Pro oblast působení zkratové spouště norma ČSN EN 60898 předepisuje celkem tři typy vypínacích charakteristik s různými mezemi nastavení – pro typ B je to od 3 do 5  $I_n$ , pro typ C od 5 do 10  $I_n$  a pro typ D od 10 do 20  $I_n$ . Oblast působení zkratových spouští má přímý vliv na správnou volbu jističe v obvodu v těch případech, kdy požadujeme splnění podmínek na odpojení poruchy v předepsaném čase a přímo souvisí i s dodržением podmínky pro maximální hodnotu impedance smyčky v síti TN. V této souvislosti tedy řešíme problém zajištění takové impedance smyčky, která zaručí v obvodu s poruchou vznik alespoň minimálního zkratového proudu. Každý vyšší proud pak zaručí rychlé odpojení obvodu s poruchou s časy řádově v milisekundách. V oblasti velkých zkratových proudů se musí brát v úvahu jmenovitá vypínací schopnost jističe ( $I_{cn}$ ), která je u jističů v hodnotách 6, 10, 15, 20, a 25 kA. Pokud zkratový proud překročí jmenovitou vypínací schopnost jističe, dojde k jeho poškození. Jednou z možností, jak tomuto stavu předejít je předřazení pojistky (hodnota pojistky je 100 A pro jističe PL6, PL7 a jističe FAZ, nebo 200 A pro jističe PLHT, AZ). V tomto případě mluvíme o záložní ochraně jističe. Limitujícím činitelem při předřazení pojistky před jistič z důvodů záložní ochrany je jisté omezení selektivity, přičemž konkrétní hodnoty maximálního selektivního proudu, při kterém je kombinace jistič/pojistka ještě selektivní, udávají výrobci jističů v katalozích ve formě tabulky (údaje v tabulkách jsou ověřeny měřeními).



---

Kriterium výběru instalačního jističe (MCB) v obvodu se známými zkratovými poměry:

$$I_{cn} \geq I_k$$

kde:  $I_{cn}$  ..... jmenovitá zkratová vypínací schopnost jističe  
 $I_k$  ..... počáteční rázový zkratový proud

*Poznámka: Pro zjednodušení je v databázi programu PAVOUK u malých jističů použita hodnota  $I_{cn}$  ve sloupci  $I_{cs}$ . (jističe PL7, PL6, FAZ, PLHT, proudové chrániče s nadproudovou ochranou PFL).*

Selektivita instalačních jističů: V ČSN EN 60898 jsou dále pro jističe do 32 A definovány tři třídy omezení energie při zkratu. Většina jističů se řadí do třetí třídy (třída omezení 3, též třída selektivity 3) a prakticky sem spadají i jističe pro vyšší proudy (například i jističe PLHT a AZ do 125 A). Výhodou těchto omezujících jističů je vysoké omezení prošlé energie srovnatelné s pojistkami a tím i velmi malý ohřev vedení při zkratu (pouze jednotky, pouze výjimečně desítky stupňů Celsia), nevýhodou je nemožnost selektivního odstupňování dvou za sebou zařazených jističů ve stejné, tj. třetí třídě selektivity), kdy za sebou zařazené omezující jističe vypínají prakticky stejně rychle. Selektivita v plném rozsahu pracovních proudů by byla teoreticky možná až při velkém odstupu jmenovitých proudů (cca od poměru desetinásobku  $I_n$ ), což je ovšem v praxi nepoužitelné. Proto pozor na běžně se tradující omyl, že selektivitu dvou instalačních jističů lze vyřešit pouhým odstupňováním charakteristik typu B, C a D! Oba omezující jističe (např. jistič 32 A s charakteristikou C a jistič 10 A s charakteristikou B) vypínají při zkratu přibližně stejně rychle a jejich prošlá energie je srovnatelná. Problém selektivity je řešitelný až použitím dvou jističů s velmi rozdílnými hodnotami prošlé energie, tj. s různou rychlostí vybavení při zkratu), například použitím výkonového jističe s vyšším proudem (podle ČSN EN 60 947-2) jako prvního a za ním zařadit instalační jistič s charakteristikou B, C, nebo D (podle ČSN EN 60898). Grafické zobrazení této situace je uvedeno na obr. b) v kapitole 4.4.

*Poznámka: pro jištění nadproudů pomocí kombinovaných proudových chráničů s jističi se používají proudové chrániče s vestavěnou nadproudovou ochranou (podle ČSN EN 61009), pro které lze beze změn aplikovat podmínky pro instalační jističe uvedené v ČSN EN 60898. Do jmenovitého proudu jističe 40 A je k dispozici typová řada PFL7, případně řada PFL6.*

## **ČSN EN 60947 Spínací a řídicí přístroje. Část 2: Jističe (1997)**

Jističe posuzované podle ČSN EN 60947-2 jsou určeny zejména pro průmyslové použití a předpokládá se, že přístroje budou vždy obsluhovány pouze osobami s elektrotechnickou kvalifikací (kvalifikovaná obsluha). Norma platí jak pro jističe vedení i motorové jističe, pro jakékoliv proudy a způsoby konstrukce nebo navrhované použít a je platná i pro jističe s nastavitelnými spouštěmi.

Přetížení malými nadproudy: vypínací charakteristika je určena pouze dvěma závaznými hodnotami a to hodnotou smlouveného nevypínacího proudu  $1,05 I_n$  a smlouveného vypínacího proudu  $1,3 I_n$ . Smlouvená doba je 1 hodina pro  $I_n \leq 63$  A a dále 2 hodiny pro  $I_n > 63$  A). Referenční teplota okolí je přednostně 30 °C, není-li uvedeno jinak.

Zkratové proudy: norma nestanovuje žádné meze pro nastavení zkratových spouští a jejich označování vypínacích charakteristik. Výrobce si tedy může sám nadefinovat označení a nastavení pro své jističe (např. charakteristiky R, S, atd.). Jednou z nejdůležitějších vlastností jističů je jejich schopnost opakovaného a bezpečného odpojení zkratových proudů. Jističe posuzované podle normy ČSN EN 60947-2 jsou většinou označovány jako „výkonové jističe“ a jsou charakterizovány hned několika hodnotami vypínacích schopností:

- **jmenovitá mezní zkratová vypínací schopnost ( $I_{cu}$ )** – hodnota zkratového proudu uvedená na jističi při příslušném jmenovitém napětí, kterou jistič musí bezpečně vypnout. Po tomto vypnutí však může dojít ke změně jeho charakteristik, neboli jinými slovy, vypnutí zkratového proudu s hodnotou  $I = I_{cu}$  je garantováno pouze jednou. Přestože se na první pohled jeví jako technický nesmysl dimenzovat jističe na hodnotu  $I_{cu}$  (Jistič na jedno použití?), praxe ověřila, že poruchy nevznikají bezprostředně na výstupních svorkách jističů a i relativně malá impedance vedení za jističem stačí účinně snížit zkratový proud pod hodnotu  $I_{cu}$ .
- **jmenovitá provozní zkratová vypínací schopnost ( $I_{cs}$ )** – hodnota zkratového proudu uvedená na jističi při příslušném jmenovitém napětí. Je vyjádřena hodnotou předpokládaného vypínacího proudu (v kA) odpovídající jedné z normou stanovených hodnot, nejčastěji v procentech (25, 50, 75 a 100%  $I_{cu}$ ), vztažených k hodnotě  $I_{cu}$ , tj. např. pro jistič s  $I_{cs} = 75\%$   $I_{cu}$  a  $I_{cu} = 100$  kA je  $I_{cs} = 75$  kA. Jističe musí hodnotu  $I_{cs}$  vypínat opakovaně a záleží tedy pouze na projektantovi, s jakou mírou dlouhodobé spolehlivosti provozu chce počítat – zda jističe navrhne s ohledem na hodnotu  $I_{cs}$ , nebo  $I_{cu}$ . S tím souvisí i cena jističů.
- **jmenovitá provozní zkratová zapínací schopnost ( $I_{cm}$ )** - hodnota zkratového proudu uvedená na jističi při příslušném jmenovitém napětí, jmenovitém kmitočtu a stanoveném účinku. Vyjadřuje se jako maximální předpokládaný dynamický proud (maximální hodnota první půlvlny při započítání stejnosměrné složky zkratového proudu). Jmenovitá zkratová zapínací schopnost ( $I_{cm}$ ) je vždy vyšší, než jmenovitá zkratová vypínací schopnost ( $I_{cu}$ , příp.  $I_{cs}$ ) a jejich minimální poměr je předepsán normou v rozmezí od 1,5 až do 2,2.

*Poznámka: Hledisko zkratových proudů se dostává do popředí zájmu projektanta zejména v blízkosti zdroje, kde se vedle střídavé složky proudu  $I_k$  projevuje i stejnosměrná složka zkratového proudu  $I_a$ . Zde nelze zapomínat na dynamické účinky zkratů  $I_{dyn}$ , což je důležité zejména při posuzování zkratové odolnosti rozváděčů (posuzování  $I_{dyn}$  se provádí podle parametru  $I_{km}$ ).*

Kriteria výběru výkonového jističe v obvodu se známými zkratovými poměry:

a) podle jmenovité zkratové vypínací schopnosti jističe:

$$I_{cu} \geq I_k''$$

kde:  $I_{cu}$  ..... jmenovitá zkratová vypínací schopnost jističe  
 $I_k''$  ..... počáteční rázový zkratový proud

*\*) V případě náročnějších požadavků provozu, kde je nutné pracovat s dostatečnou rezervou parametrů, lze jističe dimenzovat na parametr  $I_{cs}$ , což je programem PAVOUK podporováno.*

b) podle jmenovité zkratové zapínací schopnosti jističe:

$$I_{cm} \geq I_{km}$$

kde:  $I_{cm}$  ..... jmenovitá zkratová zapínací schopnost pojistky  
 $I_{km}$  ..... nárazový zkratový proud (též označovaný  $i_p$ )

Selektivita výkonových jističů: Otázka selektivity dvou a více za sebou řazených výkonových jističů je řešena tím, že norma ČSN EN 60974-2 definuje dvě skupiny jističů, tzv. kategorii užití A (běžné, neselektivní jističe) a dále kategorii užití B pro selektivní jističe s nastavitelným zpožděním (minimálně 50 ms; přednostní hodnoty jsou 0,05 – 0,1 – 0,25 – 0,5 – 1s).

---

Pro jističe v kategorii B, tj. v selektivním provedení, je zaveden obdobný parametr, jako u kabelů a tím je jmenovitý krátkodobý výdržný proud  $I_{cw}$ , který vystihuje schopnost jističe přenášet po plnou dobu vynuceného zpoždění zkratový proud rovnající se právě  $I_{cw}$ . Výrobci výkonových jističů udávají nejobvyklejší doby pro krátkodobé zpoždění 0,1 s; 0,3 s; 1 s nebo 3 s. Jistič zapojený blíže k místu poruchy pak obvykle není v selektivním provedení (kategorie užití A) a poruchu odpojí v krátkém čase - maximálně v desítkách milisekund - a parametr  $I_{cw}$  selektivního jističe pak obvykle nemusí být plně využit.

### **ČSN EN 60947 Spínací a řídicí přístroje.**

#### **Část 4: Elektromechanické stykače a spouštěče motorů (1994)**

Do skupiny jističů, na které se vztahuje norma ČSN EN 60947-1 se zahrnují i spouštěče motorů, které lze jinými slovy označit za zvláštní provedení jističů pro jištění motorů. Vyznačují se možností nastavitelnosti nadproudových spouští a pro zajištění jejich správné ochranné funkce je nutné nastavit tepelnou spoušť na jmenovitý proud motoru, tj. spoušť nastavit na „proud nastavení“. Obdobně se postupuje i při použití tepelných nadproudových relé, které ovšem vyžadují použití zkratové ochrany spínacího přístroje (např. pojistky, nejlépe v charakteristice aM).