

## Dimenzování vodičů

Nároky na elektrická vedení jsou velmi obsáhlá a často i protichůdná. Požadují se nízké pořizovací náklady, nízké provozní náklady a na druhé straně vysoká přenosová schopnost, spolehlivost, odolnost vůči vlivům okolí, bezpečnost provozu, hospodárnost atd.

Průřez vodičů elektrického vedení musí být takový, aby vyhovoval celé řadě hledisek :

proudové zatížení vodiče s ohledem na oteplení,  
dovolený úbytek napětí,  
odolnost vůči zkratovým proudům,  
mechanická odolnost,  
hospodárnost,  
bezpečnost provozu (správná funkce elektrických ochran).

### 1.1 Proudové zatížení vodičů

Výpočtové proudy jednotlivých spotřebičů jsou určeny vztahy, které vychází z výpočtového zatížení jednotlivých spotřebičů. Toto zatížení  $P_P$  [kW] vychází instalovaného výkonu daného spotřebiče a z předpokládaného součinitele náročnosti.

$$P_P = P_i \cdot \beta \quad (2.1)$$

Pro výpočtové proudy pak platí vztahy :

Trojfázové spotřebiče

$$I_P = \frac{1000 \cdot P_P}{\sqrt{3} \cdot U_S \cdot \cos\varphi} \quad [A, kW, V] \quad (2.2)$$

Pro jednofázové spotřebiče

$$I_P = \frac{1000 \cdot P_P}{U_F \cdot \cos\varphi} \quad [A, kW, V] \quad (2.3)$$

Pro stejnosměrné spotřebiče

$$I_P = \frac{1000 \cdot P_P}{U} \quad [A, kW, V] \quad (2.4)$$

$U_S$  ... hodnota sdruženého napětí [V]

$U_F$  ... hodnota fázového napětí [V]

Dimenzování průřezu vodiče na dovolený proud vychází z dovoleného oteplení vodiče. Průchodem elektrického proudu vodiči dochází ke ztrátám a tím k vývinu tepla. Teplo, které se vyvine ve vodiči je přímo úměrné odporu vodiče a druhé mocnině protékajícího proudu.

V ustáleném stavu se musí toto teplo převést povrchem vodiče do okolí. Teplo přenášené do okolí je přímo úměrné teplotnímu rozdílu mezi povrchem vodiče (izolace) a okolí  $\Delta\vartheta$  a nepřímo úměrné tepelnému odporu  $T$  (izolace i bezprostředního okolního prostředí) mezi vodičem (vodivým jádrem kabelu) a vzdálenějším okolím (již vodičem neovlivňovaným).

Pro tepelné ztráty tedy platí :

$$\Delta P = R \cdot I^2 = \frac{\Delta\vartheta}{T} \quad (2.5)$$

Teplota vodiče nebo jádra kabelu nesmí překročit určitou maximální hodnotu  $\vartheta_m$ , která závisí na materiálu izolace, na spojovacím materiálu vodiče atd.

Oteplení vodiče tedy nesmí přesáhnout hodnotu  $\Delta\vartheta_m = \vartheta_m - \vartheta_0$ . Hodnota  $\vartheta_0$  je základní teplota okolního vzduchu popř. zeminy. Pro maximální hodnotu proudu, kterým může být vodič zatěžován pak platí vztah :

$$I = \sqrt{\frac{\Delta\vartheta_m}{R \cdot T}} \quad (2.6)$$

$R$  ... elektrický odpor vodiče na jednotku délky [ $\Omega \cdot m^{-1}$ ]

$T$  ... tepelný odpor vodiče na jednotku délky mezi vodičem a okolím [ $K \cdot m \cdot W^{-1}$ ]

$\Delta\vartheta_m$  ... maximální dovolený teplotní rozdíl jádra vodiče a okolí [K]

Hodnota tepelného odporu  $T$  má více složek

$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4$ , kde

$T_1$  ... tepelný odpor na jednotku délky mezi jádrem vodiče a jeho obalem [ $K \cdot m \cdot W^{-1}$ ]

$T_2$  ... tepelný odpor na jednotku délky mezi obalem vodiče a pláštěm kabelu [ $K \cdot m \cdot W^{-1}$ ]

$T_3$  ... tepelný odpor na jednotku délky mezi pláštěm kabelu a jeho vnějším obalem [ $K \cdot m \cdot W^{-1}$ ]

$T_4$  ... tepelný odpor na jednotku délky mezi povrchem kabelu a okolním prostředím [ $K \cdot m \cdot W^{-1}$ ]

Pro výpočet jednotlivých tepelných odporů existuje řada vzorců podle typu kabelu a jeho uložení vůči okolnímu prostředí.

Z hlediska dovolené provozní teploty vodiče nebo kabelu je pro různé použité materiály jader vodičů normou stanovená hodnota *jmenovité proudové zatížitelnosti*  $I_n$ . Je to taková hodnota proudu, kterou je možno trvale zatěžovat vodič nebo kabel při základním způsobu uložení, aniž by se přitom překročila dovolená provozní teplota vodiče.

Jako základní způsob uložení vodiče se označují následující podmínky:

- Uložení ve vodorovné poloze v klidném vzduchu o základní teplotě.
- Vodorovné uložení v zemi s měrným tepelným odporem 0,7 Km/W v hloubce asi 70 cm pod povrchem terénu a s teplotou půdy 20 °C.

Hodnoty jmenovité proudové zatížitelnosti  $I_n$  pro daný typ vodiče stanoví jeho výrobce podle fyzikálních vlastností použitých materiálů. V praxi je ovšem nutné respektovat i jiné uložení vodiče nežli základní, proto jmenovitá proudová zatížitelnost přepočítává na tzv. *dovolené proudové zatížení*  $I_{dov}$  podle vztahu:

$$I_{dov} = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_i \cdot I_n \quad [2]$$

$k_{1,2-i}$  přepočítací součinitelé proudové zatížitelnosti.

Přepočítací činitelé respektují změnu zatížitelnosti vodiče nebo kabelu s ohledem na jejich uložení v různém prostředí (v zemi, v kanálech apod.), v různém seskupení a s různým zatížením (trvalý, krátkodobý, přerušovaný chod nebo zatížení). Hodnoty přepočítacích součinitelů jsou uvedeny v příslušných normách.

**V praxi je možné postupovat i tak, že výpočtový proud  $I_p$  ( $\approx I_n$ ) se vydělí součinem všech přepočítacích součinitelů  $k_{1,2-i}$  a výslednému proudu se v tabulce pro základní způsob uložení přiřadí potřebný průřez vodiče.**

## 1.2 Dovolený úbytek napětí

Vodiče a kabely musí být dimenzovány tak, aby při předpokládaném zatížení nezpůsobily nedovolený pokles napětí. Úbytek napětí na daném vedení tedy nemůže přesáhnout dovolenou hodnotu úbytku napětí. Konkrétní požadavky jsou uvedeny v různých technických normách. Hodnota úbytku napětí je rovna rozdílu hodnoty napětí na začátku vedení a hodnoty napětí na konci vedení  $\Delta U = U_1 - U_2$ .

Výpočet úbytku napětí je možno provést při znalosti výpočtového proudu daných spotřebičů a příslušné konfigurace sítě.

Problematika úbytku napětí již byla probrána.

### 1.3 Odolnost vůči zkratovým proudům

Vedení musí odolat jak dynamickým, tak i tepelným účinkům zkratových proudů, které v daném místě připadají v úvahu.

Dynamické síly vznikají elektromagnetickým působením proudů v sousedních vodičích. Největší silový ráz způsobuje tzv. nárazový zkratový proud ( $I_{KM}$ ). Je to v podstatě první amplituda zkratového proudu po vzniku zkratu za předpokladu maximální stejnosměrné složky.

Síla mezi vodiči vztažená na jeden metr vodiče je dána vztahem :

$$F_K = k_1 \cdot k_2 \cdot 2 \cdot \frac{I_{KM}^2}{a} \cdot 10^{-7} \quad [N \cdot m^{-1}] \quad (2.7)$$

- $k_1$  ... koeficient tvaru vodiče (respektuje rozložení proudů)  
 $k_2$  ... koeficient respektující uspořádání vodičů a fázový posuv proudů  
 $I_{KM}$  ... nárazový zkratový proud [A]  
 $a$  ... vzdálenost vodičů [m]

Tepelné účinky zkratového proudu mohou působit nepříznivě hlavně na izolaci vodičů. Zkratový proud způsobí velké oteplení, během krátké doby trvání zkratu nemůže být toto teplo odvedeno do okolí, a proto se zvyšuje teplota vodičů.

Tepelné účinky zkratového proudu se posuzují podle tzv. ekvivalentního oteplovacího proudu ( $I_{KE}$ ), což je fiktivní hodnota střídavého proudu stálé velikosti, která za dobu působení zkratu má stejné tepelné účinky jako skutečný zkratový proud.

Pro minimální průřez kabelu platí s ohledem na tepelné účinky zkratového proudu vztah :

$$S_{MIN} = \frac{I_{KE} \cdot \sqrt{t_K}}{K} \quad [mm^2] \quad (2.8)$$

- $I_{KE}$  ... ekvivalentní oteplovací proud [A]  
 $t_K$  ... doba trvání zkratu [s]  
 $K$  ... koeficient, který respektuje teplotu jádra kabelu před a po zkratu

Velikost zkratového proudu v elektrických rozvodech může být významně ovlivněna jištěním. Správně dimenzovaná pojistka přeruší zkratový proud dříve než dosáhne své maximální možné hodnoty.

### 1.4 Mechanická odolnost

Některé druhy vedení jsou mechanicky namáhány při montáži nebo i při samotném provozu. Zejména jsou to venkovní vedení. Výpočet mechaniky vedení je většinou prováděn u venkovních vedení VN a VVN. Tam se počítá minimální průřez

vodiče s ohledem na jeho hmotnost a povětrnostní vlivy (vítr, námraza). Dále jsou zde prováděny mechanické výpočty stožárů a jejich základů.

V oblasti průmyslových sítí je mechanická odolnost zohledňována stanovením minimálních průřezů pro jednotlivé druhy vodičů a jejich uložení. Hodnoty těchto minimálních průřezů jsou stanoveny v příslušných normách.

## 1.5 Hospodárnost průřezu

Vodiče mají být dimenzovány tak, aby byly zatěžovány hospodárným proudem. Pořizovací náklady i náklady na provoz a údržbu by měly být optimální.

Definování jednotlivých činitelů této optimalizace je dosti složité. Činitele můžeme rozdělit na technické a ekonomické. Technické činitele můžeme určit měřením a výpočtem, ekonomické činitele mají návaznost na ceny materiálů, energie atd.

Výpočet hospodárného průřezu je možno např. vypočítat s použitím následujících činitelů :

- A ... energie přenesená vedením za rok [kWh]
- t ... počet provozních hodin připojeného zařízení za rok [hod]
- $P_p$  ... přenášený výpočtový výkon [kW]

Z těchto hodnot se vypočte tzv. doba plných ztrát ( $T$ ). Doba plných ztrát je definována jako čas za který by maximální výpočtové zatížení způsobilo ve vedeních stejné ztráty jako skutečné zatížení za jeden rok. Pro tuto hodnotu platí následující vztah :

$$T = t \cdot \left[ 0,2 \frac{A}{P_p \cdot t} + 0,8 \left( \frac{A}{P_p \cdot t} \right)^2 \right] \quad [\text{hod} \cdot \text{rok}^{-1}] \quad (2.9)$$

Pokud je doba plných ztrát vyšší než asi 1000 hodin ročně a je předpoklad, že zařízení bude v činnosti aspoň 10 let určí se z grafů v normě (ČSN 341610) specifická hospodárná hustota proudu. Nebo se vypočte hospodárný průřez jedné fáze vedení podle vztahu :

$$S = k \cdot I_p \cdot \sqrt{T} \quad [\text{mm}^2] \quad (2.10)$$

- $I_p$  ... výpočtový proud [A]
- k ... součinitel dle tabulky tab. 2.1

Druh vedení	Materiál jádra vodiče	
	+Cu	Al
Holé přípojnice	0.006	0.014
Kabely od 25 mm <sup>2</sup> výše do 10 kV	0.007	0.0168
Chráněné vodiče a kabely o průřezu 16 mm <sup>2</sup>	0.006	0.0129
Chráněné vodiče, kabely do 10 mm <sup>2</sup> , 1 kV nebo vodiče v instalačních trubkách	0.0053	0.009

Tab. 2.1

## 1.6 Bezpečnost provozu

Kritérium bezpečnosti provozu je hlavním kritériem pro dimenzování vodičů (i když je v tomto výčtu uvedeno na posledním místě). Jedná se o správné působení ochrany před nebezpečným dotykem (dříve ČSN 341010, nyní ČSN 332000-4-41).

Impedance poruchové smyčky musí splňovat vztah :

$$Z_S \cdot I_A \leq U_0 \quad (2.11)$$

- $Z_S$  ... impedance poruchové smyčky zahrnující zdroj, fázový vodič až k místu poruchy a ochranný vodič mezi místem poruchy a zdrojem [ $\Omega$ ]  
 $I_A$  ... proud zajišťující samočinné působení odpojovacího ochranného prvku v době stanovené normou [A]  
 $U_0$  ... jmenovité napětí proti zemi [V]

Při ochraně nulováním (rychlým odpojením od zdroje) je nutno průřez vedení dimenzovat tak, aby impedance poruchové smyčky nepřesáhla hodnotu dle vztahu 2.11.