

# Dimenzování silnoproudých rozvodů

## Návrh napájecího zdroje

Skupina el. spotřebičů  $P_i = \sum P_n$ , obvykle nepracují zároveň při jmenovitém výkonu →

*činitel současnosti*

$$k_s = \frac{\sum P_{ns}}{\sum P_n}$$

$P_{ns}$  – současně připojené spotřebiče

*činitel zatížitelnosti*

$$k_z = \frac{\sum P_s}{\sum P_{ns}}$$

~ poměrné zatížení současně připojených spotřebičů

*náročnost*

$$\beta = \frac{k_s k_z}{\eta_m \eta_s} = \frac{1}{\eta_m \eta_s} \frac{\sum P_s}{\sum P_n}$$

$P_s$  – skutečné zatížení současně připojených spotřebičů

$\eta_m$  – účinnost spotřebičů

$\eta_s$  – účinnost napájecí soustavy

$\beta$  i v ČSN

běžně  $\sim 0,2 \div 0,7$   
(VS el. 0,8; osvětlení, vtok VE 1,0)

Odtud *výpočtové zatížení*  $P_v$  (reálné maximum skupiny)  $\rightarrow$  napájecí zdroj, průřez vodičů, přístroje, ochrany,...

Homogenní skupina spotřebičů – srovnatelné výkony

$$P_v = \beta \sum P_n$$

Nehomogenní skupina spotřebičů – některé spotřebiče výrazně odlišný výkon (uvažují se zvlášť)

$$P_v = \beta_x P_x + \beta_i P_i$$

$\beta_x, P_x$  – jen vybrané spotřebiče

$\beta_i, P_i$  – celá skupina včetně  $P_x$

+ kontrola  $P_{inst}$  2-3 největších spotřebičů

Výpočtový proud

$$I_{v1f} = \frac{P_v}{U \cdot \cos \varphi}$$

$$I_{v3f} = \frac{P_v}{\sqrt{3}U \cdot \cos \varphi}$$

$$I_{\text{vDC}} = \frac{P_{\text{v}}}{U}$$

→ zdroje, vodiče, přístroje

## Návrh silnoproudých vodičů

Vhodně zvolit při projektování:

- druh vodiče
- způsob uložení
- potřebný průřez vodiče

5 základních kritérií při volbě vodiče:

- 1) teplota vodičů při běžném provozu v dovolených mezích
  - 2) hospodárný průřez vodičů
  - 3) dostatečná mechanická pevnost
  - 4) dovolený úbytek napětí
  - 5) odolnost proti silovým a tepelným účinkům zkratových proudů
- dále např. izolační hladina, koróna, rušení

## **Dovolená provozní teplota**

= nejvyšší teplota jakékoliv části vodiče umožňující trvalý provoz

- dána hospodárnou životností, závisí na izolaci, provozních podmínkách

### Vliv na teplotu vodiče

- proudové zatížení (Joulovy ztráty)
- teplota prostředí (konvekce, sálání)
- sluneční záření (venkovní vedení)
- vzájemné ovlivňování více vodičů

Trvalé proudové zatížení závisí na dovolené provozní teplotě, teplotě okolí a způsobu uložení. Teplota jader nad dovolenou mez pouze omezenou dobu → životnost snížena málo (+ neohrozit okolí).

ČSN udávají nejvyšší dovolené teploty provozní (většinou  $60 \div 90^{\circ}\text{C}$ ) a při zkratu ( $150 \div 300^{\circ}\text{C}$ ) podle typu izolace.

Jmenovitá proudová zatížitelnost  $I_{\text{nv}}$  – jak lze zatížit vodič při základním způsobu uložení bez překročení dovolené provozní teploty.

## Základní způsob uložení

- a) uložení ve vodorovné poloze v klidném vzduchu o základní teplotě dle ČSN
- b) vodorovné uložení v zemi s měrným tepelným odporem  $0,7 \text{ K}\cdot\text{m}\cdot\text{W}^{-1}$  v hloubce asi 70 cm pod povrchem a s teplotou půdy  $20^\circ\text{C}$

$I_{\text{nv}}$  stanoví výrobce (v katalogu, ČSN,...)

Dovolené proudové zatížení  $I_{\text{dov}}$

$$I_{\text{dov}} = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n \cdot I_{\text{nv}}$$

$k_i$  – přepočítací činitele pro daná prostředí

$I_{\text{dov}}$  podle nejhorších podmínek

Určení průřezu vodiče

$$A \geq \frac{I_{\text{dov}}}{J}$$

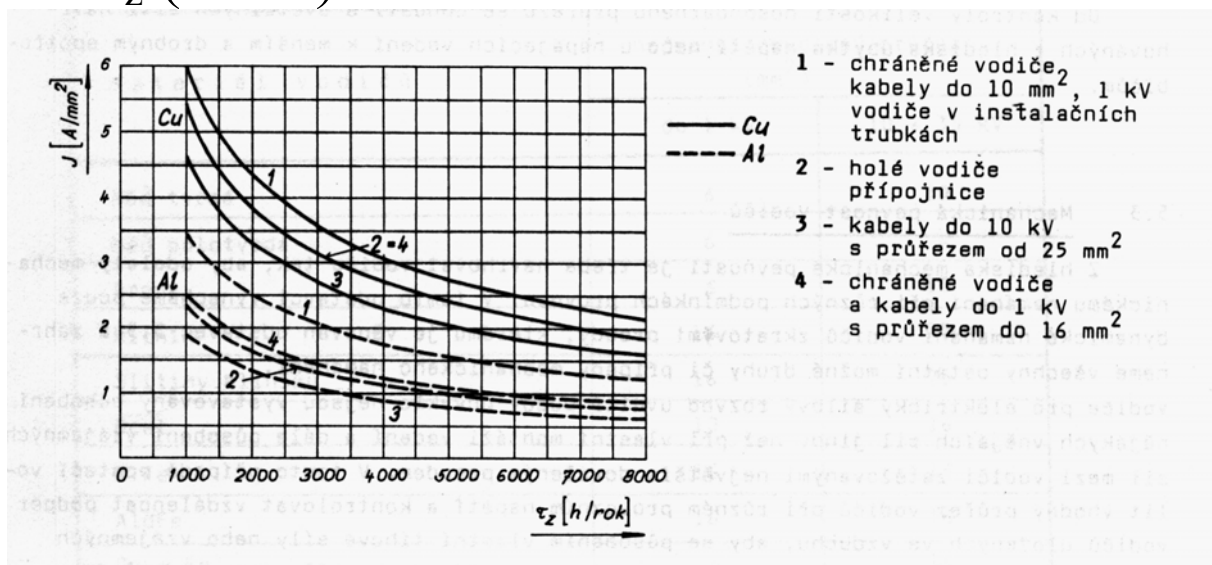
$J$  – dovolená proudová hustota pro daný materiál (Cu:  $12 \text{ A}/\text{mm}^2$ , Al:  $8 \text{ A}/\text{mm}^2$ )

Zároveň  $I \leq I_{\text{dov}}$

## Hospodárný průřez vedení

Nezatěžovat vodiče více než *hospodárnou proudovou hustotou* (dle materiálu, způsobu zatěžování) ~ ekonomická zásada.

Hospodárná  $J$  ( $A/mm^2$ ) závislá na době plných ztrát  $\tau_z$  (h/rok) –  $J$  klesá se zatěžováním



*Doba plných ztrát*  $\tau_z$  – jak dlouhý by byl provoz s max. činnými ztrátami, aby celkové ztráty odpovídaly proměnlivému zatěžování za dobu  $T$

$$\int_0^T Ri^2(t)dt = RI_{\max}^2 \tau_z$$

$$\tau_z = \frac{\int_0^T i^2(t)dt}{I_{\max}^2}$$

## Hospodárný průřez

$$A_h = k \cdot I_v \sqrt{\tau_z} \quad (\text{mm}^2)$$

$k$  ( $\text{mm}^2/\text{A}$ ) – součinitel

$I_v$  (A) – výpočtový proud

### Velikost činitele $k$ pro určení hospodárného průřezu

Druh vedení	součinitel $k$ ( $\text{mm}^2 \cdot \text{A}^{-1}$ )	
	měděné vodiče	hliníkové vodiče
Holé přípojnice	0,006	0,014
Kabely od $25 \text{ mm}^2$ výše do 10 kV	0,007	0,0168
Chráněné vodiče a kabely do 1 kV o průřezu do $16 \text{ mm}^2$	0,006	0,0129
Chráněné vodiče, kabely do $10 \text{ mm}^2$ , 1 kV nebo vodiče v instalačních trubkách	0,0053	0,009

- kontroluje se při  $\tau_z > 1000 \text{ h / rok}$ , životnost zařízení  $> 10$  let
- $A_{\text{dim}} \geq A_h$  (nebo zaokrouhlení)
- rozhodující, když je větší než podle ostatních zásad

## Mechanická pevnost vodičů

Odolat mech. namáhání při montáži i všech provozních podmínkách.

Vnitřní: běžně jen montáž, vzájemné síly pro max. dovolený proud, vlastní tíha u svislého uložení (→ podpěry)

Venkovní: navíc klimatické vlivy (vítr, námraza)

### Vedení do 1 kV uvnitř budov

Vedení	Nejmenší dovolený průřez jader vodičů (mm <sup>2</sup> )	
	hliníkových	měděných
v trubkách a lištách	2,5	1,5
z můstkových, páskových nebo jednožilových vodičů uložených v omítce	2,5	1
z kabelů	2,5	1
z jednožilových vodičů uložených na podpěrách vzdálených méně než 1 m	2,5	1,5
z jednožilových vodičů uložených na podpěrách vzdálených více než 1 m	4	2,5



## Nejmenší dovolený průřez venkovního vedení

Materiál vodičů	nejmenší dovolený průřez (mm <sup>2</sup> )	
	do 1 kV	10 - 35 kV
Měď tvrdá	6	10
Měď polotvrdá	6	-
Bronz	6	10
Hliník	16	25
Slitiny hliníku	16	25
Ocel	10	16
Hliníkové lano s ocelovou duší	16	16
Lano z hliníkových slitin s ocelovou duší	16	16

### Vítr (ČSN 33 33 00)

Přídavné vodorovné zatížení.

Statická složka zatížení větrem  $W$  kolmo na vodič

$$W = w_n \cdot A \quad (\text{N})$$

$w_n$  – normový tlak větru (N/m<sup>2</sup>)

$A$  – plocha vystavená větru (m<sup>2</sup>)

Normová hodnota tlaku větru  $w_n$

$$w_n = w_0 \cdot k_w \cdot C_w$$

$w_0$  – základní tlak větru (N/m<sup>2</sup>)

Na území ČR je  $w_0 = 550 \text{ N/m}^2$ .

$k_w$  – součinitel výšky, závislý na rychlosti větru

$$k_w = \left( \frac{v}{29,6} \right)^2$$

$v$  – rychlost větru ( $\text{m.s}^{-1}$ )

$C_w$  – tvarový součinitel

$$C_w = \alpha \cdot C \cdot \sin^2 \beta$$

$\alpha$  – součinitel nerovnoměrnosti tlaku větru na vodiče

$\beta$  – úhel mezi směrem větru a osou vodiče

$C$  – tvarový součinitel pro místní tlaky při směru větru kolmém na osu vodiče

pro neomrzlé vodiče

$C = 1,1$  pro průměr vodiče  $d < 16 \text{ mm}$

$C = 1,0$  pro průměr vodiče  $d \geq 16 \text{ mm}$

pro omrzlé vodiče všech průměrů je  $C = 1,0$

Plocha vystavená větru  $A = d \cdot l$

## Rychlost větru podle výšky nad zemí

h	v		$k_w$	$\alpha$	$W_n$ (N.m <sup>-2</sup> ) pro průměr vodiče	
	(m)	(m.s <sup>-1</sup> )			(km.h <sup>-1</sup> )	d > 16 c = 1
0 - 20	29,6	107	1,00	0,80	440	484
20 - 40	33,5	120	1,27	0,75	525	577,5
40 - 100	38,0	137	1,64	0,75	675	742,5
100 - 150	43,8	158	2,18	0,75	900	990

## Námraza

Přídavné svislé zatížení.

Vytváří se při teplotách těsně pod nulou (0 až -5°C) a při velké relativní vlhkosti vzduchu. Velikost závisí na *námrazové oblasti* (L, S, T, K) – podle nadmořské výšky a typu krajiny.

### Parametry normálního námrazku

Oblast	Tloušťka námrazky t (mm)	Hustota námrazky $\rho$ (kg . m <sup>-3</sup> )	Hmotnost námrazku na 1 m délky vodiče (kg . m <sup>-1</sup> )	
			$q_t$ na měrné tyči d = 30 mm	q na vodiči o průměru d mm
L	17,0	400	1,0	$0,361 + 0,0213 \cdot d$
S	27,6	400	2,0	$0,959 + 0,0347 \cdot d$
T	36,1	400	3,0	$1,638 + 0,0454 \cdot d$
K	$\sqrt{225 + 795,8 \cdot q_t} - 15$	400 *	>3,0	$1,257 \cdot t \cdot (d+t) \cdot 10^{-3}$

\* Největší hustota námrazku (ledovky) se uvažuje 900 kg.m<sup>-3</sup>.

Normální námrazek  $q_{mn} < \text{dovolené namáhání}$ .  
 Zvětšený námrazek  $q_{zn} = (1 \div 3)q_{mn} < 85\%$   
 pevnosti vodiče.

Poloměr vodiče s námrazkem  $r = t + d / 2$   
 Hmotnost námrazku na jednotku délky

$$q = \pi r^2 \cdot \rho - \pi \left( \frac{d}{2} \right)^2 \cdot \rho$$

$$q = \pi \cdot \rho \cdot t \cdot (t + d)$$

Při kontrole zvážit vítr + námrazu, kolmé směry.

Namáhání se mění i s teplotou (dilatace, stavová rovnice lana). Natahování podle *montážních tabulek* (namáhání a průhyby pro škálu venkovních teplot  $-20^\circ\text{C} \div +40^\circ\text{C}$ ).

### **Úbytek napětí na vodičích**

Udržet  $U$  v pásmu dovolených odchylek od  $U_n$ .  
 Významné u dlouhých paprsků.  
 Vliv na průřez a délku.

$$\Delta \hat{U}_f = \hat{Z}_l \hat{I} = (R + jX) (I_c \mp jI_j) \begin{matrix} \text{IND} \\ \text{KAP} \end{matrix}$$

$$\Delta \hat{U}_f \doteq \Delta U_f = RI \cos \varphi \pm XI \sin \varphi \begin{array}{l} \text{IND} \\ \text{KAP} \end{array}$$

V soustavách nn má rozhodující vliv R

$$1f: \Delta U_f = \frac{2\rho l}{A} I \cos \varphi = \frac{2\rho l}{A} \frac{P}{U_f}$$

$$3f: \Delta U_f = \frac{\rho l}{A} I \cos \varphi = \frac{\rho l}{A} \frac{P}{\sqrt{3}U_s}$$

Dovolené tolerance dle ČSN EN 50160

$\pm 10\%$   $U_n$  (za normálního provozu 95%  
průměrných ef. hodnot každý týden  
v měřicích intervalech 10 minut)  
(207÷253 V)

+10%/-15%  $U_n$  všechny průměrné ef. hodnoty

Výjimečně větší odchylky – dlouhé radiály,  
spouštění motorů, nouzová zařízení,...

Citlivá zařízení lokálně menší odchylky (světelné  
spotřebiče např. 3%, 5%  $U_n$ ).

## **Odolnost proti účinkům zkratových proudů**

Účinky na vodiče i konstrukční prvky.

### Silové účinky

Vliv zejména u pevně uložených tuhých vodičů (+ podpěrné izolátory, odpojovače, konstrukční prvky,...).

U AC frekvence sil 2f.

Síla na vodič v mag. poli

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha \quad (\text{N})$$

$$B = \mu \cdot H \quad (\text{T})$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \quad (\text{H/m})$$

$\alpha$  – úhel mezi silou a osou vodiče

Intenzita mag. pole ve vzdálenosti **a** od vodiče

$$H = \frac{I}{2\pi a} \quad (\text{A/m})$$

2 rovnoběžné vodiče → síla kolmo na osu vodiče  
( $\sin \alpha = 1$ ) → je největší

$$F = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{I}{2\pi a} I l = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I^2}{a} l \quad (\text{N})$$

Nejvyšší síla odpovídá nejvyšší okamžité hodnotě proudu → *nárazový zkratový proud* (první amplituda po vzniku zkratu)

$$I_{km} = \kappa \sqrt{2} I''_{k0} \quad (\text{A})$$

$\kappa$  – činitel podle druhu sítě ( $\kappa_{nn} = 1,8$ )  
teoretické maximum  $\kappa = 2$

$I''_{k0}$  - počáteční rázový zkratový proud

Max. okamžitá síla na jednotku délky vodiče podle ČSN 33 3040

$$f = 2 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot 10^{-7} \frac{I_{km}^2}{a} \quad (\text{N / m})$$

$k_1$  – činitel tvaru vodiče

$k_2$  – činitel uspořádání vodičů a  
fázového posunu proudů

$a$  – vzdálenost vodičů

### Tepelné účinky

Rozhodující zejména u volně uložených vodičů.

Dány akumulací tepla působením časové proměnného proudu po dobu trvání zkratu  $t_k$  (adiabatický děj).

Teplo vyvinuté ve vodičích

$$Q = \int_0^{t_k} R(\vartheta) \cdot i_k^2(t) dt \quad (\text{J})$$

*Ekvivalentní oteplovací proud* – konstantní hodnota vyvolávající stejné tepelné účinky jako časově proměnný proud

$$I_{ke} = \sqrt{\frac{1}{t_k} \int_0^{t_k} i_k^2(t) dt} \quad (\text{A})$$

Podle ČSN 33 3040 jako násobek  $I_k''$

$$I_{ke} = k_e I_k''$$

Doba trvání zkratu $t_k$ (s)	Činitel $k_e$		
	Zkrat na svorkách alternátoru	Zkrat v soustavě	
		vvn, vn	nn
pod 0,05	1,70	1,60	1,50
0,05 – 0,1	1,60	1,50	1,20
0,1 – 0,2	1,55	1,40	1,10
0,2 – 1,0	1,50	1,30	1,05
1,0 – 3,0	1,30	1,10	1,00
nad 3,0	1,15	1,00	1,00



## Vyvinuté teplo

$$Q = R(\vartheta) \cdot I_{ke}^2 t_k \quad (\text{J})$$

$$Q = \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_k} c \cdot V \cdot d\vartheta \quad (\text{J})$$

$c$  – měrná objemová tepelná kapacita  
( $\text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$ )

$V$  – objem vodiče ( $\text{m}^3$ )

## Odpor vodiče

$$R(\vartheta) = R_0 (1 + \alpha \cdot \Delta\vartheta)$$

$$R(\vartheta) = R_0 + R_0 \alpha \vartheta - R_0 \alpha 20$$

## Odtud

$$I_{ke}^2 t_k = \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_k} \frac{c \cdot V}{R_0 (1 - 20\alpha + \alpha\vartheta)} d\vartheta$$

$$I_{ke}^2 t_k = \left[ \frac{c \cdot V}{\alpha R_0} \ln(1 - 20\alpha + \alpha\vartheta) \right]_{\vartheta_1}^{\vartheta_k}$$

$$I_{ke}^2 t_k = \frac{c \cdot V}{\alpha R_0} \ln \frac{1 - 20\alpha + \alpha\vartheta_k}{1 - 20\alpha + \alpha\vartheta_1}$$

Je-li

$$V = A \cdot l$$

$$R_0 = \rho_{20} \frac{l}{A}$$

pak

$$I_{ke}^2 t_k = \frac{c \cdot A^2}{\alpha \rho_{20}} \ln \frac{1 - 20\alpha + \alpha \vartheta_k}{1 - 20\alpha + \alpha \vartheta_1}$$

Potřebný průřez pak bude

$$A = \frac{I_{ke} \sqrt{t_k}}{K} \quad (\text{mm}^2)$$

$$K = \frac{c}{\alpha \rho_{20}} \ln \frac{1 - 20\alpha + \alpha \vartheta_k}{1 - 20\alpha + \alpha \vartheta_1} \quad (\text{A} \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{mm}^{-2})$$

materiálová konstanta úměrná počáteční a  
koncové teplotě

