

Ekonomická optimalizace průřezu silových kabelů nn

Ing. Ivo Faltus, OEZ, s. r. o.

Úvod

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

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

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

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

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

Při koupi např. auta bude pro většinu zákazníků rozhodující nejen jeho pořizovací cena, ale také spotřeba pohonných hmot, která tvoří rozhodující část provozních nákladů. Zjednodušeně: zákazník se bude rozhodovat na základě celkové hospodárnosti, tedy minima celkových nákladů tvořených pořizovací cenou a provozními náklady. Ne jinak by tomu mělo být při návrhu elektrického vedení.

Ekonomická optimalizace průřezu kabelů

Při návrhu vedení, které bude významnou dobu zatěžováno proudem blížícím se výpočtovému proudu nebo cena elektrické energie bude vysoká (fotovoltaické elektrárny), je vhodné se zabývat hospodárností přenosu elektrické energie tímto vedením. Za hospo-

dárné vedení v tomto smyslu se považuje takové vedení, jehož průřezy vodičů jsou stanoveny na základě minimalizace celkových nákladů, tj. pořizovacích a provozních nákladů za ekonomickou životnost vedení. Vlastní metoda stanovení hospodárného průřezu se nazývá obvykle ekonomická optimalizace průřezu.

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

- ČSN 34 1610 Elektrotechnické předpisy ČSN. Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách,
- ČSN IEC 287-3-2 Elektrické kabely – Výpočet dovolených proudů – Část 3: Pracovní podmínky – Oddíl 2: Ekonomická optimalizace průřezu silových kabelů.

Pro ilustraci si uvedme základní vztahy ekonomické optimalizace průřezu vedení a předpoklady jejich platnosti, a to např. pro třífázové vedení:

Pořizovací náklady

Při ekonomické optimalizaci průřezu daného vedení se uvažuje:

- stejný způsob uložení vedení – v tom případě je možné uvažovat jen pořizovací náklady na kabel (úměrné jeho průřezu), a nemusí se uvažovat náklady spojené s jeho uložením (konstantní, nezávislé na průřezu); takto uvažované pořizovací náklady na vedení budou sice nižší než ve skutečnosti, ale na stanovení hospodárného průřezu vedení nemá neuvážování nákladů na jeho uložení vliv,
- stejný typ kabelu – s určitou přijatelnou nepřesností lze uvažovat cenu kabelu o délce 1 m vztahenou k 1 mm² průřezu fázového vodiče jako konstantní.

$$N_k = C_k \times S \times l \quad (\text{Kč})$$

N_k – pořizovací náklady na vedení, tzn. náklady na kabel (Kč),

C_k – cena kabelu na 1 m délky vztahovaná k 1 mm² průřezu fázového vodiče (Kč·m⁻¹·mm⁻²),

S – průřez jedné fáze vedení (mm²),

l – délka vedení (m).

Provozní náklady

Provozní náklady jsou dány budoucími náklady na elektrické ztráty ve vedení.

Náklady na ztráty v prvním roce:

$$N_{z1} = 3 \times 0,001 \times \rho_{45} \times \frac{l}{S} \times I_p^2 \times T \times C_w \quad (\text{Kč} \cdot \text{rok}^{-1})$$

ρ_{45} – měrný elektrický odpor vodičů vedení při 45 °C (Ω·mm²·m⁻¹),

I_p – výpočtový (maximální soudobý) proud tekoucí vedením v prvním roce (A),

T – doba plných ztrát za rok (h·rok⁻¹),

C_w – cena jedné kW·h elektrické energie (Kč·kW⁻¹·h⁻¹).

Měrný elektrický odpor ρ se uvažuje při 45 °C, protože dovolený zatěžovací proud vedení s optimalizovaným průřezem bude výrazně větší než výpočtový proud tekoucí tímto vedením. Nepřesnost proti skutečnosti ovlivňuje zanedbatelně stanovení hospodárného průřezu.

Doba plných ztrát T je čas, za který by ve sledovaném období jednoho roku způsobil výpočtový proud I_p stejné ztráty jako skutečně procházející, časově proměnný proud $I(t)$:

$$T = \int_0^{8760} \frac{I^2(t) \times dt}{I_p^2} \quad (\text{h} \cdot \text{rok}^{-1})$$

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

$$T = \frac{I_1^2 \times t_1 + I_2^2 \times t_2 + \dots + I_n^2 \times t_n}{I_p^2} \quad (\text{h} \cdot \text{rok}^{-1})$$

I_1, \dots, I_n – proudy konstantní velikosti procházející vedením po dobu t_1, \dots, t_n .

Aby bylo možné dávat do společného vztahu pořizovací náklady a provozní náklady v průběhu ekonomické životnosti vedení, je nutné je vyjádřit ekonomickými hodnotami, které se vztahují ke stejnému časovému bodu. Jako tento bod je vhodné volit datum provedení elektrického rozvodu a považovat jej za současnost. Budoucí náklady na ztráty elektrické energie ve vedení se potom přepočítají na jejich ekvivalentní současnou hodnotu pomocí diskontování.

Pokud se vezme dále v úvahu možný nárůst zatížení vedení a ceny elektrické energie, bude současná hodnota nákladů na ztrá-

ty, tedy provozních nákladů, za ekonomickou životnost vedení:

$$N_z = 3 \times 0,001 \times \rho_{45} \times \frac{l}{S} \times I_p^2 \times T \times C_w \times \frac{B}{1 + \frac{i}{100}} \quad (\text{Kč})$$

N_z – současná hodnota nákladů na ztráty (Kč),
 B – součinitel zahrnující nárůst zatížení, ceny el ektrické energie za dobu ekonomické životnosti vedení a diskontní sazbu,
 i – diskontní sazba (%).

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

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

$$r = \frac{(1 + \frac{a}{100})^2 \times (1 + \frac{b}{100})}{1 + \frac{i}{100}}$$

t_r – ekonomická životnost vedení (rok),
 a – roční nárůst zatížení (%·rok⁻¹),
 b – roční nárůst ceny elektrické energie (%·rok⁻¹).

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

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

Celkové náklady na vedení

$$N_c = N_k + N_z \quad (\text{Kč})$$

$$N_c = (C_k \times S \times l) + (0,003 \times \rho_{45} \times \frac{l}{S} \times I_p^2 \times T \times C_w \times \frac{B}{1 + \frac{i}{100}})$$

Hospodárny (optimální) průřez vodiče (paralelních vodičů) jedné fáze vedení

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

$$\frac{dN_c}{dS} = 0$$

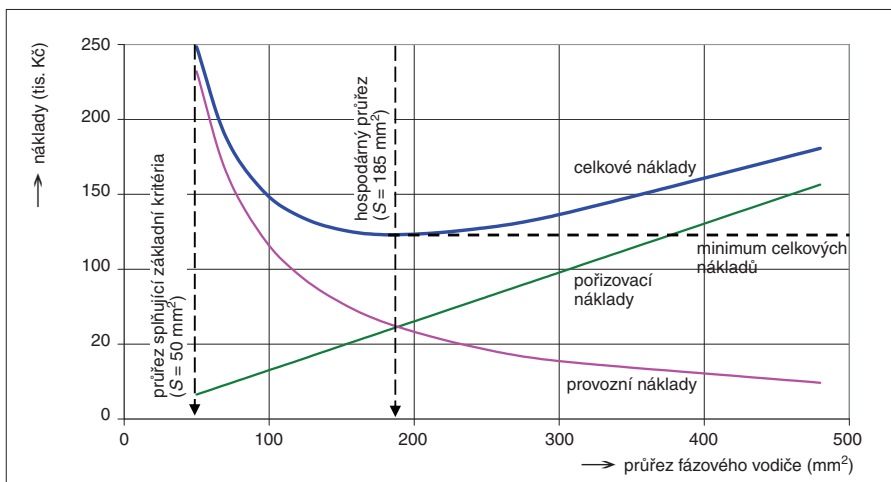
$$(C_k \times l) - (0,003 \times \rho_{45} \times l \times S_0^{-2} \times I_p^2 \times T \times C_w \times \frac{B}{1 + \frac{i}{100}}) = 0$$

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

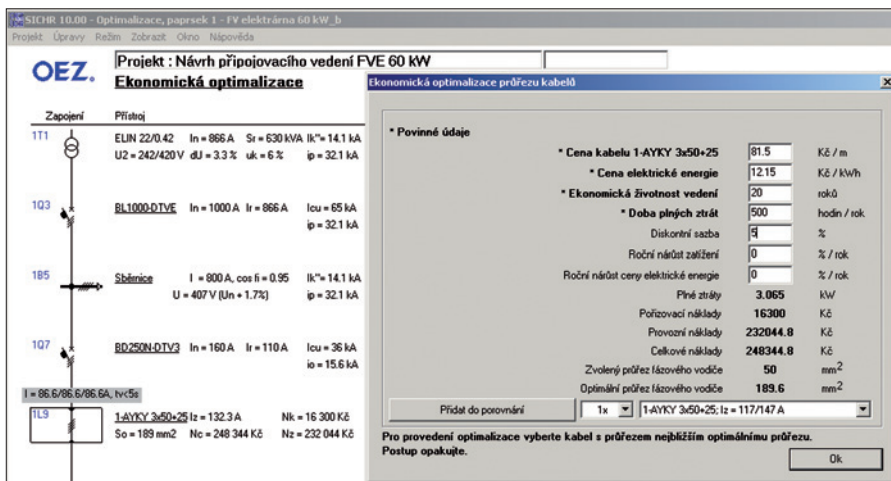
$$S_0 = 0,055 \times I_p \times \sqrt{\frac{C_w}{C_k}} \times \rho_{45} \times T \times \frac{B}{1 + \frac{i}{100}} \quad (\text{mm}^2)$$

K takto stanovenému hospodárnému (optimálnímu) průřezu se zvolí nejbližší normalizovaný průřez kabelu. Není výjimkou, že optimalizací průřezu se sníží celkové náklady na vedení o více než 50 %. Příklad závislosti nákladů na průřezu vedení je na obr. 1.

Pro usnadnění práce projektantů, energetiků, ale i dalších pracovníků byl výpočtový program Sichr verze 10 (obr. 2) rozšířen o možnost návrhu hospodárného vedení na základě ekonomické optimalizace průřezu použitých kabelů. V této souvislosti byl program rozšířen vedle stávajících režimů práce – selektivita, impedance a charakteristiky, o čtvrtý režim práce – optimalizace. Program



Obr. 1. Příklad závislosti nákladů na průřezu vedení



Obr. 2. Ekonomická optimalizace průřezu připojovacího vedení PV elektrárny pomocí programu Sichr

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

$$S_0 = 0,045 \times I_p \times \sqrt{\frac{C_w}{C_k}} \times \rho_{45} \times T \times \frac{B}{1 + \frac{i}{100}} \quad (\text{mm}^2)$$

obsahuje mimo jiné podrobnou nápovědu s řešenými příklady.

Program Sichr verze 10 lze bezplatně získat zasláním DVD Produkty a SW podpora (e-mail: dokumentace.cz@oez.com) nebo stažením z internetových stránek firmy OEZ: <http://www.oez.cz>