

Návrh vodičov vonkajšej elektrickej rozvodne VVN

¹Ondrej HIRKA, ²Stanislav ILENIN

¹ Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

¹ondrej.hirka@student.tuke.sk, ²stanislav.ilenin@tuke.sk

Abstrakt — Tento článok sa zaoberá návrhom vodičov vonkajšej elektrickej rozvodne VVN. V teoretickej časti tejto práce sú uvedené zásady pre dimenzovanie vodičov vonkajšej vzduchom izolovanej rozvodne VVN. Praktickú časť tvoria výsledky mechanického výpočtu návrhu vodičov vonkajšej elektrickej rozvodne a výsledky z CAD programu SECP. V závere sú vyhodnotené výsledky a porovnané obidva spôsoby návrhu.

Kľúčové slová — vonkajšia elektrická rozvodňa VVN, návrh vodičov, zaťaženie

I. ÚVOD

Elektrické stanice predstavujú neoddeliteľnú súčasť elektrizačnej sústavy. Pomocou nich sú prepojené siete rôznych napäťových a prúdových sústav a rovnako sa cez nich ovplyvňujú jednotlivé siete. Funkcia a význam jednotlivých elektrických staníc závisí od toho, kde a v akom mieste je zaradená do elektrizačnej sústavy.

Najväčší význam majú uzlové stanice v prenosovej sústave, pretože tieto stanice tvoria dôležité uzly sústavy, ktoré musia zabezpečiť spoľahlivú dodávku elektrickej energie. Dôležitosť stanice je jedným z aspektov pri stanovení požadovaného stupňa spoľahlivosti elektrickej stanice. Spoľahlivosť dodávky elektrickej energie je možné zabezpečiť vhodným výberom rozvodných a prenosových sietí a ich prepojením v elektrických staniaciach. S narastajúcim stupňom spoľahlivosti narastá aj cena elektrickej stanice. A teda najvýhodnejším riešením spoľahlivosti dodávky elektrickej energie bude také, pri ktorom sa berie do úvahy vzájomné zálohovanie osobitných jednoduchších staníc [1].

Vonkajšie elektrické rozvodne, vrátane ich prístrojov a vybavenia odolávajú nepriaznivým vplyvom počasia a klimatickým podmienkam v danom prostredí a lokalite. Ich prevádzková schopnosť a bezpečnosť sa nesmie znížiť v prípade búrok, dažďa, snehu, námrazy a ani pri extrémnych teplotných rozdieloch a intenzívnom slnečnom žiarení. Rovnako tak musia odolávať nečistotám, ktoré sa nachádzajú v ovzduší. Sú postavené na veľkej ploche vo voľnom priestranstve [2].

V elektrických rozvodniach vvn a zvn sa na prípojnice používajú hliníkové laná, keďže hliník je jedným z najrozšírenejších vodivých materiálov. Rovnako sa využíva aj kombinácia ocele a hliníka, takzvané oceľovo hliníkové laná AlFe (prierez väčší ako 350 mm² pri hlavných prípojniciach a 185 mm² pri pomocných prípojniciach), poprípade zväzkové vodiče s rozperkami (pri vyšších výkonoch) alebo rúrkové vodiče. Jednotlivé vodiče, resp. laná sa upevňujú na nosné konštrukcie pomocou izolátorov. Použitie samotných drôtov nie je výhodné, nakoľko laná sú pružnejšie, ohybnejšie a v samotnej prevádzke bezpečnejšie. Pri materiálovej chybe drôtu sa znehodnotí celý drôt, ale nemusí sa znehodnotiť celé lano. Preto sa jednotlivé drôty stáčajú do lán, kde vrstvy sú opačne točené a posledná vrstva je vždy pravotočivá [1].

II. ZÁSADY PRI NÁVRHU SILOVÝCH VODIČOV VONKAJŠÍCH ROZVODNÍ

Dimenzovanie vodičov sa robí tak, aby odolali tepelným a silovým účinkom pri normálnej prevádzke aj v poruchovom stave a pred účinkami prepätí. Teda určuje sa prierez jadier vodičov pre dané prevádzkové podmienky (usporiadanie vodičov, charakter zaťaženia a spôsob uloženia). Pri použití lanových vodičov sa kontrolujú ešte ťahy vo vodičoch, vzdialenosti od zeme, vzdialenosti medzi jednotlivými vodičmi, prípadne od iných zariadení.

Pri návrhu vodičov musíme rešpektovať aj rôzne požiadavky. Tieto požiadavky môžeme rozdeliť do nasledujúcich kategórií [1].

1. Návrh z hľadiska mechanických vlastností vedenia (zaťaženie vetrom, námrazou, účinky teplôt)
2. Návrh z hľadiska elektrických parametrov (menovité napätie, úbytky napätia, prúdové zaťaženie, straty korónou, a iné)

A. Dimenzovanie vodičov podľa účinkov skratových prúdov

Pri dimenzovaní vodičov podľa účinkov skratových prúdov berieme do úvahy to, že skratový prúd má podstatne vyššiu hodnotu ako ma prevádzkový prúd. Pri skratovom prúde sa vodič ohreje na vyššie teploty, ako sú dovelene v prevádzke. Preto je potrebné dimenzovať vodič tak, aby odolal ako tepelným, tak aj mechanickým účinkom skratových prúdov. V trojfázových striedavých systémoch sa musí rozlišovať medzi rôznymi typmi skratov. Skratové prúdy je možné počítat rôznymi metódami a rôznymi spôsobmi v závislosti od dostupných údajov a technických potrieb. IEC 60909-0 počíta charakteristické parametre skratového prúdu, ktoré sú potrebné pre návrh energetických systémov.

Z hľadiska tepelných účinkov skratových prúdov sa určuje minimálny prierez S_{min} , pri ktorom nenastane ohriatie vodiča nad jeho dovolenú teplotu pri skrate.

$$S_{min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{t_k}}{k} \quad (1)$$

kde :

S_{min} (mm²) - minimálny prierez vodiča

I_{th} (A) - ekvivalentný otepľovací skratový prúd

t_k (s) - čas trvania skratu

k - koeficient rešpektujúci teplotu (pred skratom a po skrate) a vlastnosti materiálu vodiča

Ak prechádza elektrický prúd dvoma vodičmi, tak sa vytvára silové pôsobenie medzi týmito dvoma vodičmi. Podľa smeru toku prúdu sa vodiče odpudzujú alebo priťahujú. Pri inštaláciách s pružnými vodičmi sú namáhania pri dvojfázových skratoch a trojfázových skratoch približne rovnaké. Dvojfázový skrat má zvyčajne za následok priblíženie sa vodičov. V prípade trojfázového skratu sa stredný vodič pohybuje len mierne z dôvodu jeho zotrvačnosti a striedavých obojsmerných síl, ktoré naň pôsobia. Výpočty sa vykonávajú na základe statickej ťahovej sily F_{st} pri minimálnej zimnej teplote, napr. -20°C a tiež na základe statickej ťahovej sily F_{st} pri maximálnej prevádzkovej teplote, napr. 60°C. Pre každú ťahovú silu sa musí brať do úvahy najhorší prípad pre účely návrhu.

B. Klimatické podmienky vplývajúce na vodiče

Zmena teploty a preťaženie vodičov pri námraze alebo vetre majú za následok zmenu mechanického napätia vo vodiči a rovnako tak aj zmenu priehybu vodiča. Výpočet mechanického napätia vo vodiči a maximálneho priehybu sa uskutočňuje pre najnepriaznivejšie klimatické podmienky, ktoré môžu nastať počas prevádzky. Vplyv klimatických podmienok pri mechanickom výpočte vedení sa uvažuje na základe dlhodobých skúseností a pozorovaní [3] [4].

Pri návrhu vodičov berieme do úvahy hlavne tieto klimatické podmienky :

- zaťaženie vetrom
- zaťaženie námrazou
- kombinované zaťaženie vetrom a námrazou
- extrémne zaťaženie vetrom
- vplyv teploty

Vietor spôsobuje zvýšené mechanické napätie vo vodiči. Zaťaženie A_C v N/m v dôsledku pôsobenia tlaku vetra na rozpätie L , aplikované na izolátor a vietor pod uhlom Ω na vodiče, je dané nasledujúcim výrazom [5]:

$$A_C = q_0 C_{xc} G_C G_L d \sin^2 \Omega \quad (2)$$

kde:

q_0 (N /m²) - dynamický referenčný tlak vetra

C_{xc} - koeficient odporu vodiča rovný 1,00 pre všeobecne uvažované vodiče a rýchlosti vetra. Ich hodnoty sa môžu použiť, ak sú odvodené z priamych meraní alebo testov v aerodynamickom tuneli.

G_C - kombinovaný faktor vetra, ktorý závisí od výšky "z" a kategórie terénu.

G_L - faktor rozpätia

d (m) - je priemer vodiča

Ω - uhol nábehu smeru vetra a rozpätia

Zaťaženie námrazou pozostáva zo všetkých kombinácií zmrznutej vody, ktorá sa priľne na komponenty prenosového vedenia, ako je mrazivý dážď, mokrý sneh atď. Norma IEC 60826 zahŕňa dva hlavné typy námrazy: zrážková námraza a námraza z oblačná mrakov.

Zaťaženie námrazou je náhodná premenná, ktorá sa obvykle vyjadruje buď ako hmotnosť na jednotku dĺžky vodiča g (N/m), alebo ako rovnomerná radiálna hrúbka t (mm) okolo vodičov a uzemňovacích drôtov. Avšak pre ľahké výpočty sa tieto prepočítavajú na ekvivalentnú radiálnu hrúbku ľadu (t) okolo vodičov s relatívnou hustotou δ [6].

$$g = 9,82 \cdot 10^{-3} \delta \pi t (d + \frac{t}{1000}) \quad (3)$$

kde

δ (kg/m³) - je hustota ľadu

t (mm) - je radiálna hrúbka ľadu, predpokladaná rovnomerne okolo vodiča

d (m) - je priemer vodiča

Pri kombinovanom zaťažení vetra a námrazy pôsobenie vetra na vodiče pokryté ľadovou vrstvou zahŕňa aspoň tri premenné: rýchlosť vetra, ktorá sa vyskytuje pri námraze, hmotnosť ľadu a tvar ľadu (vplyv koeficientu odporu).

V ideálnom prípade by mali byť štatistické údaje o rýchlosti vetra počas prítomnosti ľadu na vodiči použité na vytvorenie kombinovaného zaťaženia ľadu a vetra zodpovedajúceho zvolenej úrovni spoľahlivosti. Keďže podrobné údaje a pozorovania o hmotnosti ľadu, tvaru ľadu a koincidenčného vetra nie sú bežne dostupné, navrhuje sa kombinovať tieto premenné takým spôsobom, aby výsledné kombinácie zaťaženia mali rovnakú pravdepodobnosť výskytu alebo doby návratu T ako tie, ktoré boli prijaté pre každú úroveň spoľahlivosti. Kombinované zaťaženie vetra a námrazy A_{Ci} v N/m je dané [7]:

$$A_{Ci} = q_{0i} C_{XC} G_C G_L (d + 2t) \sin^2 \Omega \quad (4)$$

kde

q_{0i} - je dynamický referenčný tlak vetra pri námraze.

Pre extrémne zaťaženie vetrom platia rovnaké podmienky ako pri normálnom zaťažení vetrom s jediným rozdielom a to tým, že namiesto normálnej rýchlosti vetra rátame s extrémnou rýchlosťou vetra. Zaťaženie pri extrémnom vetre na vodič A_{Ce} v N/m [8] [9] :

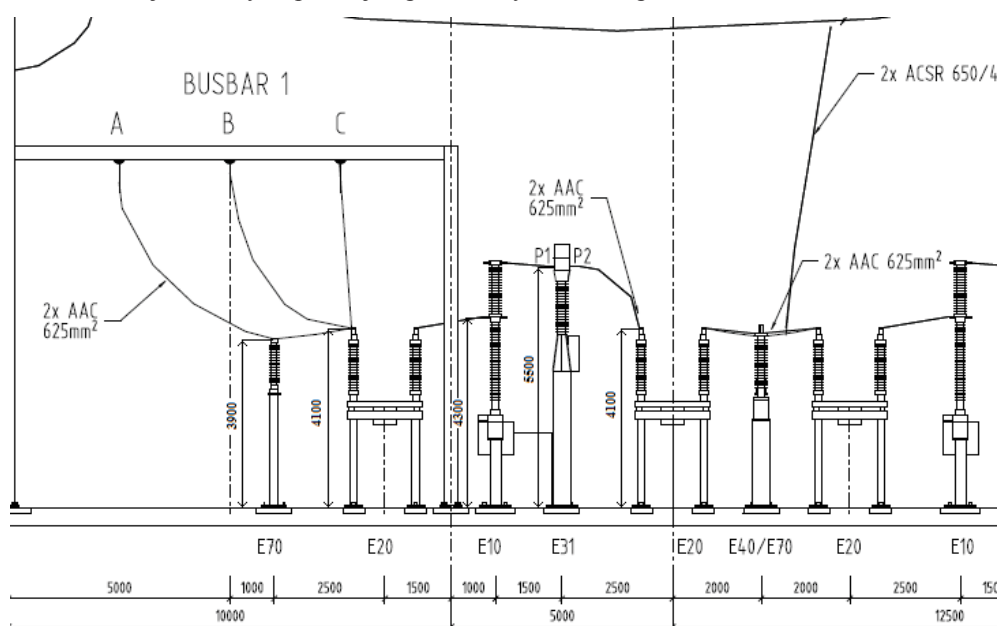
$$A_{Ce} = q_{0e} C_{XC} G_C G_L d \sin^2 \Omega \quad (5)$$

kde

q_{0e} - je dynamický referenčný tlak vetra pri extrémnom vetre.

III. POROVNANIE VÝSLEDKOV MANUÁLNEHO VÝPOČTU S VÝSLEDKAMI Z CAD PROGRAMU SECP

Pre porovnanie výsledkov manuálneho výpočtu a výsledkov z CAD programu SECP od firmy ABB bola zvolená vonkajšia elektrická stanica VVN. Jednotlivé výpočty boli realizované pre vodiče medzi jednotlivými prístrojmi pre časť vývodového poľa (Obr. 2).



Obr. 1 Časť počítaného úseku vývodového poľa VVN

Tabuľka 1
 Súhrnná tabuľka výsledkov CAD programu SECP

<i>rozpätie/ hodnoty</i>	E ₇₀ - E ₂₀	E ₂₀ - E ₁₀	E ₁₀ - E ₃₁	E ₃₁ - E ₂₀	E ₂₀ - E ₄₀
Short circuit current withstand calculation (Výpočet skratových pomerov)					
<i>S_{th} (A/m²)</i>	25995882,54				
<i>S_{thr} (A/m²)</i>	83632950,85				
Continuous current capacity calculation (Výpočet prúdovej zaťažiteľnosti)					
<i>I_{MAX} (A)</i>	8002,02				
Surface voltage (Intenzita el.poľa)					
<i>E_m (kV/cm)</i>	7,46	7,46	7,43	7,46	7,46
Short circuit force calculation (Výpočet skratovej sily)					
<i>Pri minimálnej teplote</i>					
<i>F_{t,d} (N)</i>	44,37	44,37	24,96	44,37	24,96
<i>F_{f,d} (N)</i>	7189,38	7189,38	6233,88	7189,38	6233,88
<i>Pri maximálnej teplote</i>					
<i>F_{t,d} (N)</i>	44,37	44,37	24,96	44,37	24,96
<i>F_{f,d} (N)</i>	7189,53	7189,53	6233,96	7189,53	6233,96
Load case calculation (Výpočet zaťaženi)					
Dead load (mŕtve zaťaženie)					
<i>A_c (N/m)</i>	33,98	33,98	33,98	33,98	33,98
Wind load (zaťaženie vetrom)					
<i>g (N/m)</i>	46,07	46,61	49,93	49,93	46,07
Ice load (zaťaženie námrazou)					
<i>A_i (N/m)</i>	23,66	23,66	23,66	23,66	23,66
Wind load during icing (kombinované zaťaženie vetrom a námrazou)					
<i>A_{wi} (N/m)</i>	9,90	10,02	10,62	10,62	9,90
Extreme wind load during (zaťaženie pri extrémnom vetre)					
<i>A_{we} (N/m)</i>	68,18	68,99	73,16	73,16	68,18

Tabuľka 2
 Súhrnná tabuľka výsledkov mechanického výpočtu

<i>rozpätie/ hodnoty</i>	E ₇₀ - E ₂₀	E ₂₀ - E ₁₀	E ₁₀ - E ₃₁	E ₃₁ - E ₂₀	E ₂₀ - E ₄₀
<i>Short circuit current withstand calculation (Výpočet skratových pomerov)</i>					
<i>I_{th} (A)</i>	32583,85				
<i>S_{th} (A/m²)</i>	26067082,69				
<i>S_{thr} (A/m²)</i>	83632950,85				
<i>Continuous current capacity calculation (Výpočet prúdovej zaťažiteľnosti)</i>					
<i>P_{sol} (W/m)</i>	14,65				
<i>P_{rad} (W/m)</i>	28,54				
<i>P_{conv}(W/m)</i>	900,65				
<i>R_T (Ω/m)</i>	5,70E-05				
<i>I_{MAX} (A)</i>	8011,13				
<i>Surface voltage (Intenzita el.poľa)</i>					
<i>E_m (kV/cm)</i>	7,47	7,46	7,44	7,46	7,47
<i>Short circuit force calculation (Výpočet skratovej sily)</i>					
<i>Pri minimálnej teplote</i>					
<i>F_{t,d} (N)</i>	44,37	44,37	24,95	44,37	44,37

F_{fd} (N)	7224,34	7224,34	6256,71	7224,34	6256,71
<i>Pri maximálnej teplote</i>					
F_{td} (N)	44,37	44,37	24,95	44,37	44,37
F_{fd} (N)	7224,58	7224,58	6256,89	7224,58	6256,89
Load case calculation (Výpočet zaťaženi)					
Dead load (mŕtve zaťaženie)					
A_c (N/m)	33,98	33,98	33,98	33,98	33,98
Wind load (zaťaženie vetrom)					
A_w (N/m)	44,24	44,76	47,46	47,46	44,24
Ice load (zaťaženie námrazou)					
g (N/m)	23,63	23,63	23,63	23,63	23,63
Wind load during icing (kombinované zaťaženie vetrom a námrazou)					
A_{wi} (N/m)	9,51	9,62	10,21	10,21	9,51
Extreme wind load during (zaťaženie pri extrémnom vetre)					
A_{we} (N/m)	65,47	66,24	70,25	70,25	65,47

IV. ZÁVER

Pri porovnaní výsledkov vyplýva, že pri výpočte skratových pomerov bol určený ekvivalentný otepľovací prúd I_{th} , ktorého hodnota je 35583,85 A. Z tejto hodnoty je vyrátaná prúdová hustota ekvivalentného otepľovacieho prúdu. Percentuálny rozdiel tejto hodnoty pri mechanickom výpočte a výpočte pomocou SECP je menší ako 0,3%. Percentuálny rozdiel pri výpočte prúdovej zaťažiteľnosti a intenzity elektrického poľa predstavuje 0,12%. Pri výpočte ťahovej sily počas skratu a po skrate je výsledná hodnota rozdielna, pretože v programe bola zadaná šírka rozpätia 2 m, pričom skutočná šírka je 1,5 m.

Výsledné hodnoty zaťaženia vetrom mechanickým výpočtom pre jednotlivé rozpätia sú uvedené v Tabuľke 2 a pri porovnaní výsledkov z programom SECP je percentuálny rozdiel od 3,96 % do 4,95%. Výsledky pri zaťažení námrazou sa zhodujú pri výpočtoch na desatinu presne. Pri porovnaní hodnôt pri kombinovanom zaťažení a námraze, rovnako tak aj pri zaťažení pri extrémnom vetre sa rozdiel pohybuje od 3,86 % do 3,99 %. Rozdiely medzi jednotlivými výsledkami môžu byť zapríčinené nepresným určením jednotlivých faktorov potrebných pri výpočtoch, prípadne zaokrúhľovaním na menší počet desatinných miest.

Program SECP je spoľahlivý a presný program na výpočet jednotlivých parametrov potrebných pri návrhu vodičov vonkajších elektrických rozvodní, keďže v porovnaní s matematickým výpočtom je najväčšia odchýlka len 4,95%. Preto je vhodné používať tento program, nakoľko zadávanie vstupných údajov a výpočet je jednoduchší a rýchlejší, ako by sa to malo počítať všetko matematicky. Teda ide hlavne o úsporu času a presnejší výsledok, keďže program má definovaný zdrojový kód na rozdiel od matematického výpočtu, kde môžu nastať chyby. Taktiež výhodou tohto programu je ukladanie viacerých projektov do databázy, a teda v prípade zmeny vstupných údajov, prípadne pri budúcom rozšírení elektrickej rozvodne je možné sa vrátiť k projektu a výpočet opakovať.

POĎAKOVANIE

Túto prácu podporila Vedecká grantová agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied grantom VEGA č. 1/0372/18

REFERENCIE

- [1] Janíček, F.; Arnold, A.; Šedivý, J.; Šulc, I.; Cerman, A.; Petrek, P. : Elektické stanice, 2012, STU v Bratislave, ISBN 978-80-227-3678-7
- [2] Ilenin, S.; Varga, L. : Elektrické inštalácie a stanice – časť ELEKTRICKÉ STANICE, 2014, TU v Košiciach
- [3] Ilenin, S.; Varga, L. : Elektrické inštalácie a stanice – časť ELEKTRICKÉ INŠTALÁCIE, 2012, TU v Košiciach
- [4] International standard IEC 60909, Short-circuit current calculation in three-phase a.c systems, Edition 2.0, 2016
- [5] International standard IEC 60865 – 1, Short circuit calculation – Calculation on effects- Part 1 : Definition and calculation methods, Edition 3.0, 2011, ABB
- [6] International standard IEC 60826, Overhead transmission line – Design criteria, Edition 4.0, 2017, ABB
- [7] International standard IEC 61936 – 1, Power installations exceeding 1 kV a.c. – Part 1: Common rules, Edition 2.0, 2010, ABB
- [8] International standard IEC 61597, Overhead electrical conductors - Calculation methods for stranded bare conductors, Edition 1.0, 1995, ABB
- [9] ABB : Switchgear manual