

Riešenie mechaniky vonkajšieho vedenia vysokého napätia

¹Peter KRIŠTOF, ²Lubomír BEŇA, ³Stanislav ILENIN

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická
Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

¹peter.kristof.2@student.tuke.sk, ²lubomir.bena@tuke.sk, ³stanislav.ilenin@tuke.sk

Abstrakt — Elektrizačná sústava ako súbor vzájomne prepojených a na sebe závislých zariadení, musí byť pre správnosť svojho fungovania navrhnutá tak, aby každá z jej častí pracovala v optimálnom stave a to aj pri zmene prevádzkových podmienok. Obzvlášť to platí pre vonkajšie elektrické vedenia, ktoré pri súčasnej úrovni technológie predstavujú jediný spôsob hromadného prenosu a distribúcie elektrickej energie v množstvách, s akými sa súčasný trh stretáva.

Kľúčové slová — Vonkajšie elektrické vedenia, mechanický výpočet, súmerné pole, nesúmerné pole, stavová rovnica

I. ÚVOD

Návrh vonkajšieho vedenia je proces, ktorý sa skladá z viacerých aktivít, vrátane samotného výpočtu mechanických vlastností vedenia. Výstupom týchto aktivít je súbor údajov (napríklad plánovanie trasy, zadefinovanie poveternostných podmienok), ktoré na to, aby mohli byť použité pri realizácii predmetného projektu, musia spĺňať podmienky a hodnoty definované príslušnými normami (napríklad STN EN 50 341-1 a STN EN 50 341-2-23).

V praxi sa projektant vonkajších vedení môže stretnúť pri návrhu vonkajších elektrických vedení (VEV) s dvoma prípadmi:

- návrh nového VEV,
- úprava existujúceho VEV.

V prípade návrhu nového vedenia, za predpokladu, že sú známe nároky na projektované elektrizačné vedenie (prenášaný výkon a teda prevedenie – jeden poťah alebo dva poťahy) je prvým krokom návrhu voľba trasy a rozmiestnenie stožiarov.

Pre návrh trasy je nutné vziať do úvahy niekoľko hľadísk napr.:

- ľahko prístupná trasa,
- možnosť ľahkého budúceho rozšírenia,
- pokiaľ možno najkratšia trasa,
- pokiaľ možno najkratšie križovanie iných vedení a komunikácií,
- atď.

V praxi je častokrát nemožné splniť všetky požiadavky, preto je nutné hľadať účelný a bezpečný kompromis.

Ďalším krokom je vytýčenie ochranných pásiem. Tento krok je obzvlášť dôležitý, ak trasa vedenia prechádza cez zalesnenú oblasť. Pre jednotlivé napäťové hladiny sú zadefinované ochranné pásma vymedzené zvislými rovinami vo vodorovnej vzdialenosti kolmo v oboch stranách od vedenia.

Po vytýčení trasy a podporných bodov navrhovaného vedenia nasleduje samotný výpočet mechaniky zaveseného vodiča. Ako prvé by mali byť zadefinované poveternostné podmienky, teda námrazová oblasť, ktorá sa nám pri návrhu prejaví vo forme dodatočného zaťaženia námrazou na vodičoch.

Príslušnosť predmetnej lokality k jednotlivým námrazovým oblastiam sa určí prostredníctvom mapy námrazových oblastí, ktorú je možné nájsť v norme STN EN 50341-2-23.

Pri výpočte priehybu a mechanického napätia vo vodiči je potrebné uvažovať s memou tiažou námrazy - q_2 (N.m⁻¹), ktorá taktiež vyplýva z príslušnosti k danej námrazovej oblasti.

Výškou vodiča h nad zemou pre dané rozpätie sa rozumie výška ťažiska vodiča nad zemou. V súmernom poli sa teda jedná o výšku vodiča nad zemou na oboch podporných bodoch zmenšenú o 2/3 priehybu vodiča pri teplote -5 °C bez prídavného zaťaženia.

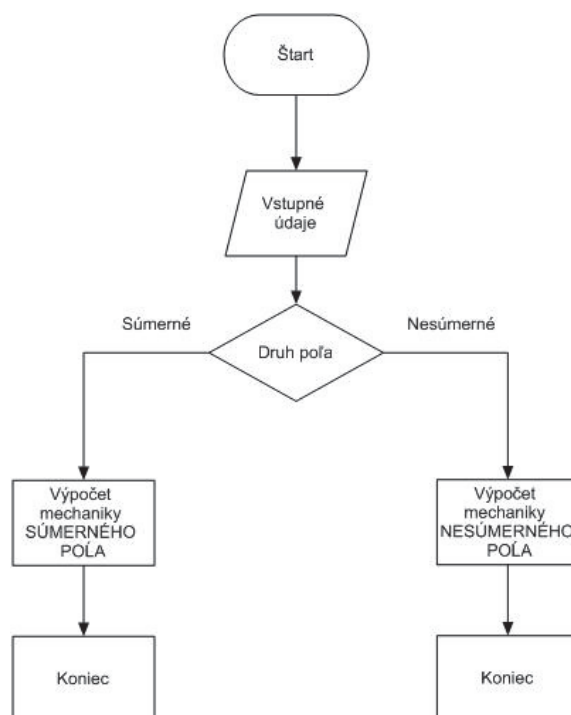
Ak sú už známe sily pôsobiace na vodiče a stožiare, ďalším dôležitým parametrom je výška zaveseného vodiča nad terénom. Z prevádzkových a bezpečnostných dôvodov sa pri návrhu sleduje minimálna výška vodiča.

Pri výskyte nedostatku, ktorý podmienene nespôsobuje degradáciu iných častí, je v prípade VEV možné a finančne výhodnejšie nahradiť len poškodenú časť vedenia (jedná sa teda úpravu existujúceho vedenia). Napríklad ak obhliadka vedenia odhalí popraskaný betónový stožiar, je možné ináč vyhovujúce vodiče vzdušného elektrického vedenia preložiť na nový stožiar.

S úpravou existujúceho vedenia sa spája problém s identifikáciou prvkov VEV - chýbajúce štítky s dimenziami stožiarov resp. absencia pôvodnej dokumentácie, ktorá by uvádzala podľa akých noriem bolo vedenie navrhované.

II. NÁVRH VEDENIA VN S VYUŽITÍM SOFTVÉROVÝCH PROSTRIEDKOV

V tejto kapitole je uvedený stručný popis navrhovaného výpočtového algoritmu pre riešenie mechaniky VEV. Program bol vytvorený v softvérovom prostredí MATLAB a jeho vstupom sú parametre použitého typu lana, veľkosť mechanického napätia (na ktorú je lano napnuté pri montáži) a hodnota referenčného zaťaženia námrazou na jednotku dĺžky podľa príslušnej námrazovej oblasti. Na Obr. 1 je znázornený algoritmus programu.



Obr. 1 Vývojový diagram funkcie programu na základe druhu riešeného poľa

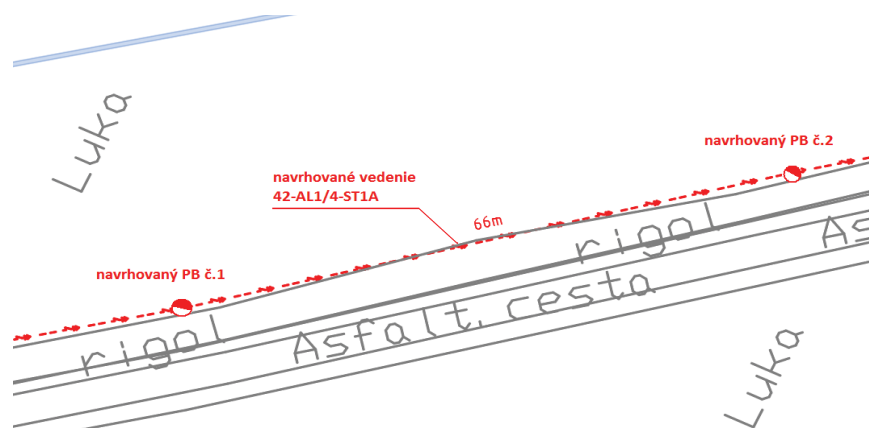
Po zadaní vstupných parametrov je potrebné zadať druh poľa. V zdrojovom *.m file* je to realizované prostredníctvom parametru „Sumernost_pola“, ktorý je ošetrený podmienkou *if*. V prípade, že tento parameter má hodnotu rovnú 1, tak program využije časť pre výpočet mechaniky súmerného poľa. Ak sa tento parameter nerovná 1, program využije časť kódu určenú pre výpočet mechaniky nesúmerného poľa.

III. VERIFIKÁCIA FUNKČNOSTI NAVRHOVANÉHO ALGORITMU NA REÁLNO M PRÍPADE

Pre účely verifikácie funkčnosti navrhovaného algoritmu budú uvedené výsledky riešenia mechaniky navrhovaného VEV na napäťovej hladine 22 kV. Tieto výsledky sú porovnané s výsledkami z referenčného výpočtového programu MEVY vyvinutého spoločnosťou Power System Management, s.r.o.

Predmetom úlohy je návrh 22 kV VN vzdušného vedenia slúžiaceho na napájanie transformačných staníc v chatovej osade pri obci Podolíne. Predpokladá sa, že vzdušné vedenie bude realizované lanom 42-AL1/4-ST 1A zaveseným na stožiaroch. V tejto úlohe je riešené jedno rozpätie z projektovaného VEV. Trasa navrhovaného vedenia je vedená po rovine, uvažuje sa teda súmerné pole. Obec Podolíne spadá v zmysle STN EN 50 341-2-23 do námrazovej oblasti I-3.

Vstupné parametre sú nasledovné: rozpätie medzi stožiarmi: $a = 66$ m; priemer vodiča: $d = 9$ mm; merná tiaž vodiča: $\gamma = 0,03394 \cdot 10^6$ N.m⁻³; mechanické napätie vodiča $\sigma_{H0} = 65$ MPa; hmotnosť vodiča na jednotku dĺžky: $q_1 = 0,17120$ kg.m⁻¹; závesná výška vodiča: $H = 10$ m; tiaž námrazku na jednotku dĺžky: $I_k = 15+0,481d$; koeficient teplotnej rozťažnosti vodiča: $\alpha = 18,6 \cdot 10^{-6}$ °C⁻¹; modul pružnosti vodiča: $E = 79000$ MPa



Obr. 2 Výrez z katastrálnej mapy s riešeným úsekom navrhovaného vedenia VN

Porovnanie vypočítaných hodnôt (MATLAB) spolu s referenčnými hodnotami (MEVY) je uvedené v nasledujúcich tabuľkách.

Tabuľka 1
 Montážna tabuľka pre klimatickú podmienku -5 °C a námraza

$\vartheta_0 = -5$ °C a námraza						
42-AL1/4-ST1A	σ_{H0} [MPa]	a [m]	f_m [m]	σ_B [MPa]	σ_H [MPa]	
	65 MPa	66 m	3,56	66,51	65	MATLAB
			3,56	66,52	65	MEVY

Tabuľka 2
 Montážna tabuľka pre klimatickú podmienku -30 °C

$\vartheta_0 = -30$ °C						
42-AL1/4-ST1A	σ_{H0} [MPa]	a [m]	f_m [m]	σ_B [MPa]	σ_H [MPa]	
	65 MPa	66 m	3,27	5,77	5,66	MATLAB
			3,26	5,77	5,66	MEVY

Tabuľka 3
 Montážna tabuľka pre klimatickú podmienku -20 °C

$\vartheta_0 = -20$ °C						
42-AL1/4-ST1A	σ_{H0} [MPa]	a [m]	f_m [m]	σ_B [MPa]	σ_H [MPa]	
	65 MPa	66 m	3,31	5,69	5,58	MATLAB
			3,31	5,69	5,58	MEVY

Tabuľka 4
 Montážna tabuľka pre klimatickú podmienku -10 °C

$\vartheta_0 = -10$ °C						
42-AL1/4-ST1A	σ_{H0} [MPa]	a [m]	f_m [m]	σ_B [MPa]	σ_H [MPa]	
	65 MPa	66 m	3,36	5,62	5,51	MATLAB
			3,36	5,62	5,51	MEVY

Tabuľka 5
 Montážna tabuľka pre klimatickú podmienku -5 °C

$\vartheta_0 = -5$ °C						
42-AL1/4-ST1A	σ_{H0} [MPa]	a [m]	f_m [m]	σ_B [MPa]	σ_H [MPa]	
	65 MPa	66 m	3,38	5,58	5,47	MATLAB
			3,38	5,59	5,47	MEVY

Tabuľka 6
 Montážna tabuľka pre klimatickú podmienku 0 °C

$\vartheta_0 = 0$ °C						
	σ_{H0} [MPa]	a [m]	f_m [m]	σ_B [MPa]	σ_H [MPa]	

42-AL1/4-ST 1A	65 MPa	66 m	3,4	5,55	5,43	MATLAB
			3,4	5,55	5,43	MEVY

Tabuľka 7
 Montážna tabuľka pre klimatickú podmienku 10 °C

$\vartheta_0 = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$						
42-AL1/4-ST 1A	σ_{H0} [MPa]	a [m]	f_m [m]	σ_B [MPa]	σ_H [MPa]	
	65 MPa	66 m	3,45	5,48	5,36	MATLAB
			3,45	5,48	5,36	MEVY

Tabuľka 8
 Montážna tabuľka pre klimatickú podmienku 20 °C

$\vartheta_0 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$						
42-AL1/4-ST 1A	σ_{H0} [MPa]	a [m]	f_m [m]	σ_B [MPa]	σ_H [MPa]	
	65 MPa	66 m	3,49	5,42	5,3	MATLAB
			3,49	5,42	5,3	MEVY

Tabuľka 9
 Montážna tabuľka pre klimatickú podmienku 30 °C

$\vartheta_0 = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$						
42-AL1/4-ST 1A	σ_{H0} [MPa]	a [m]	f_m [m]	σ_B [MPa]	σ_H [MPa]	
	65 MPa	66 m	3,53	5,35	5,23	MATLAB
			3,53	5,35	5,23	MEVY

Tabuľka 10
 Montážna tabuľka pre klimatickú podmienku 40 °C

$\vartheta_0 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$						
42-AL1/4-ST 1A	σ_{H0} [MPa]	a [m]	f_m [m]	σ_B [MPa]	σ_H [MPa]	
	65 MPa	66 m	3,57	5,29	5,17	MATLAB
			3,57	5,29	5,17	MEVY

Z výsledkov vidieť, že najnepriaznivejší klimatický stav je 40 °C, kedy priehyb dosiahol hodnotu $f_m = 3,57$ m. Podľa normy je minimálna dovolená výška vodiča vo voľnom teréne 5,6 m. Pri voľbe stožiarov svetlej výšky 8 metrov by bola splnená normatívna požiadavka na najmenšiu výšku vodiča nad zemou, keďže s maximálnym priehybom $f_m = 3,57$ m by bola hodnota minimálnej výšky nad zemou 6,43 m.

Výpočítaná hodnota kritickej teploty je $\vartheta_{krit} = 35,699\text{ }^{\circ}\text{C}$ a hodnota kritického rozpätia $a_{krit} = 16,2257$ m.

Na základe uvedených výsledkov v tabuľke 1 až tabuľke 10 je možné prehlásiť, že navrhovaný algoritmus dáva výsledky vo veľmi dobrej zhode so softvérovým prostriedkom MEVY. Riešený príklad preukazuje jasne možnosť použitia navrhovaného programu pre praktické účely návrhu VEV.

IV. ZÁVER

Predkladaný článok sa zaoberá problematikou riešenia mechaniky vonkajších elektrických vedení. Uvádza návrh algoritmu vhodného na riešenie mechanických pomerov vo fáze projekcie nového vedenia ako aj v prípadoch úpravy existujúcich vedení. Správnosť výpočtu navrhovaného algoritmu navrhnutého v softvérovom prostredí MATLAB bola verifikovaná porovnaním so softvérovým prostriedkom MEVY (vyvinutým spoločnosťou PowerSystem Management s.r.o.).

Na základe uvedených výsledkov je možné prehlásiť, že navrhovaný algoritmus dáva výsledky vo veľmi dobrej zhode so softvérovým prostriedkom MEVY. Riešený príklad preukazuje jasne možnosť použitia navrhovaného programu pre praktické účely návrhu VEV. Zároveň navrhovaný algoritmus tvorí dobrý základ pre tvorbu učebnej pomôcky pre študentov zaoberajúcich sa problematikou návrhu VEV.

V. POĎAKOVANIE

Tento článok bol vypracovaný s podporou Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied grantom VEGA č. 1/0372/18.