

Dušan Medveď, Martin Kanálik

Riešenie usporiadania elektromagnetického poľa v okolí elektrických silových vedení

Generovanie elektromagnetických polí je podmienené časovo premenlivým pohybom elektrického náboja. Elektromagnetické polia sú do okolia vyžarované zariadením, ktoré pracuje s elektrickým prúdom a napätím. Poznatky o rozložení elektromagnetických polí sú dôležité pre posudzovanie možných zdravotných rizík pri interakcii s človekom. S narastajúcim trendom využívania elektrickej energie súvisí aj zvyšovanie prenášaných výkonov silovými vedeniami a teda aj vyššia úroveň elektromagnetických polí. S ohľadom na túto skutočnosť, je poznanie úrovni elektromagnetických polí a ich vplyv na ľudský organizmus stále aktuálne.

Kľúčové slová: elektromagnetické pole, softvérové modelovanie, elektrické vedenie, ANSYS

I. ÚVOD

Veda o elektromagnetizme sa zaoberá štúdiom javov, ktoré sú následkom silového pôsobenia elektrických nábojov. Toto silové pôsobenie má dva aspekty: elektrický a magnetický. Keďže tieto dva javy sú neodmysliteľne späté a ich podstata je spoločná, nazývame ich elektromagnetizmus. V odbore fyziky a v technickej praxi zaujal elektromagnetizmus dôležité postavenie. Na jeho praktickom využití je postavená takmer celá dnešná, moderná spoločnosť. Elektrická energia je dnes najrozšírenejšia a najčistejšia forma energie využívaná človekom. Môžeme povedať, že civilizácia je podmienená mierou využitia javov, ktoré majú svoj pôvod v elektromagnetizme.

Elektrické sily majú aj oveľa hlbší význam, ako len využívanie elektrickej energie. Stavebné látky sveta, ako atómy a molekuly, sú viazané väzbami elektrického pôvodu. V neposlednom rade sa elektromagnetizmus podpísal aj na našej existencii, na biologickej úrovni. Nervová sústava človeka je založená na šírení elektrických signálov v neurónoch, čo predstavuje našu biologickú a psychickú aktivitu. Človek je v podstate veľký elektronický mechanizmus a teda je potrebné poznať okolité zariadenia, ktoré generujú elektrické alebo magnetické pole a môžu ovplyvniť zmeny v organizme človeka.

II. RIEŠENIE ROZLOŽENIA ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA V OKOLÍ 400 KV ELEKTRICKÝCH VEDENÍ

Najvyššia napäťová úroveň prenosovej sústavy na Slovensku je 400 kV a sú ňou prenášané najväčšie výkony. Z tohto dôvodu je predpoklad, že budú úrovne elektromagnetických polí v okolí týchto vedení najvyššie. Je preto dôležité poznať úrovne týchto polí kvôli možným negatívnym dopadom na človeka a životné prostredie.

Rozloženie magnetického poľa bolo riešené pre 400 kV jednosystémové vedenie v rôznom usporiadaní. Magnetické a elektrické polia sú porovnané v závislosti od vzdialenosti od zdroja. Na výpočet magnetickej indukcie a na modelovanie rozloženia bol použitý softvér ANSYS, prostredie mechanical APDL. Pri výpočte bol uvažovaný najnepriaznivejší stav: najnižšia dovolená výška pre vodiče 400 kV nad zemou, 8 m podľa normy STN50341-1 a zaťaženie vodičov prúdom 820 A na každú fázu. Hodnota tohto prúdu je priemerná hodnota letného a zimného limitného zaťaženia použitých vodičov. Pri simulácii sa uvažovalo s trojzväzkovým vodičom AlFe 450/52 s priemerom lana 29,31 mm. Jeho jednotlivé láná sú od seba vzdialené 40 cm.

Predpokladáme symetrické zaťaženie a fázový posun 120° . Uvažujeme, že všetky fázové vodiče majú rovnaký priehyb. Neberieme do úvahy magnetizáciu železného jadra samotných lán a pri magnetických poliach, ani vplyv zemniacich lán. To pri vzdialenostiach, kde určujeme magnetické polia, má zanedbateľný vplyv. Simulácia je riešená ako 2D úloha, a predstavuje kolmý rez vedením v mieste s najnižšou dovolenou výškou vodičov. Úloha je riešená pre jeden vybraný čas, t.j. ako statická úloha. Okolie – vzduch, považujeme za homogénne, lineárne prostredie.

A. Výber usporiadania vodičov

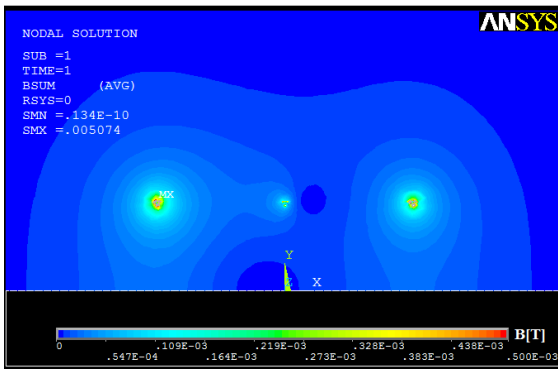
Pre jednosystémové 400 kV vedenia existuje niekoľko druhov stožiarov. V tomto príspevku sú porovnané magnetické a elektrické polia pre stožiare typu: mačka, kotvený stožiar a ohraňovaný stožiar. Usporiadanie fáz je zhodné pre všetky tri výpočty. Na Slovensku sa používajú prevažne kotvené stožiare, ktoré nahrádzajú portálové stožiare, stožiare mačka. Ohraňovaný stožiar sa u nás na 400 kV napäťovej úrovni používa len výnimočne. Z obrázkov a z usporiadania vodičov, je možné predpokladať rozdielne rozloženie polí. Pri usporiadaní vodičov v rovine je predpoklad, že magnetické pole bude klesať miernejšie, a polia jednotlivých fáz sa odrušia menej ako pri stožiaroch typu mačka, a ohraňovanom stožiaroch. Druhým predpokladom je, že pri stožiaroch typu „V“, sú všetky vodiče v minimálnej dovolenej výške 8 m a pri zvyšných dvoch stožiaroch je v tejto výške len jedna fáza, ostatné sú osadené vyššie.

III. POROVNANIE ROZLOŽENIA MAGNETICKÝCH POLÍ V OKOLÍ 400 KV VEDENÍ

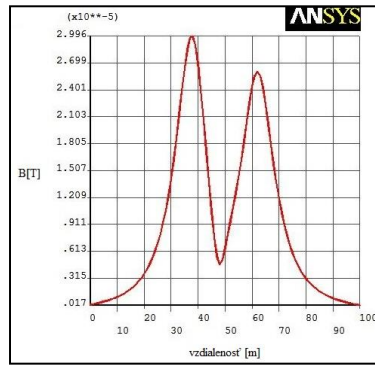
TABLE I

Tabuľka vstupných hodnôt napätia a prúdu

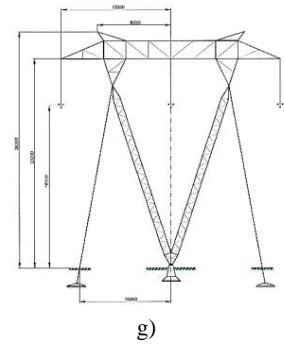
$t = 0,3 \cdot T$	$\varphi_0 = 0^\circ$	$\varphi_1 = -120^\circ$	$\varphi_2 = +120^\circ$
$U_m = 326,598 \text{ kV}$	$u_1 = 310,613 \text{ kV}$	$u_2 = -67,904 \text{ kV}$	$u_3 = -242,711 \text{ kV}$
$I_m = 820 \text{ A}$	$i_1 = 779,865 \text{ A}$	$i_2 = 170,486 \text{ A}$	$i_3 = -609,378 \text{ A}$



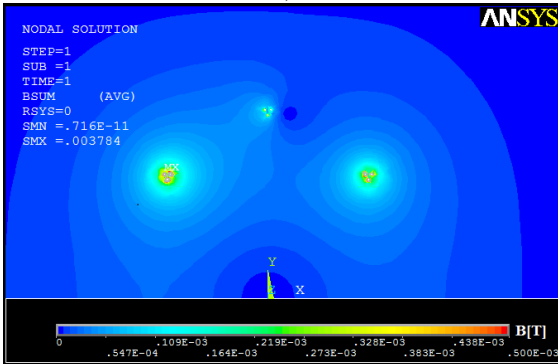
a)



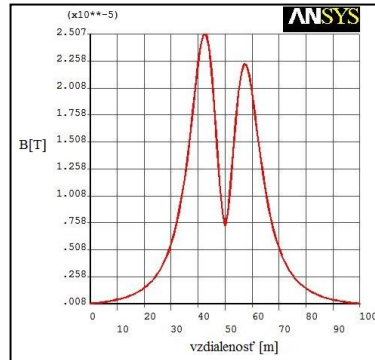
d)



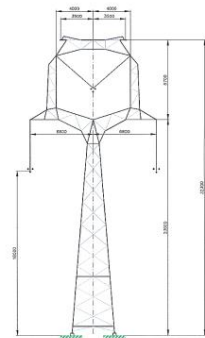
g)



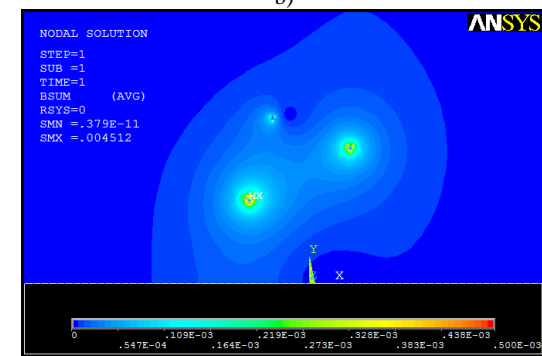
b)



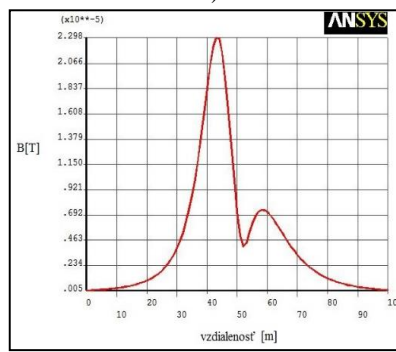
e)



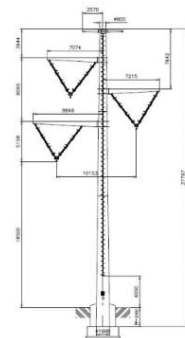
h)



c)



f)



i)

Rozloženie magnetickej indukcie B pre usporiadanie vodičov a) na stožiaroch v rovine; b) na stožiaroch typu mačka; c) na ohráňovanom stožiaroch

Priebeh magnetickej indukcie B pre usporiadanie vodičov d) na stožiaroch v rovine; e) na stožiaroch typu mačka; f) na ohráňovanom stožiaroch

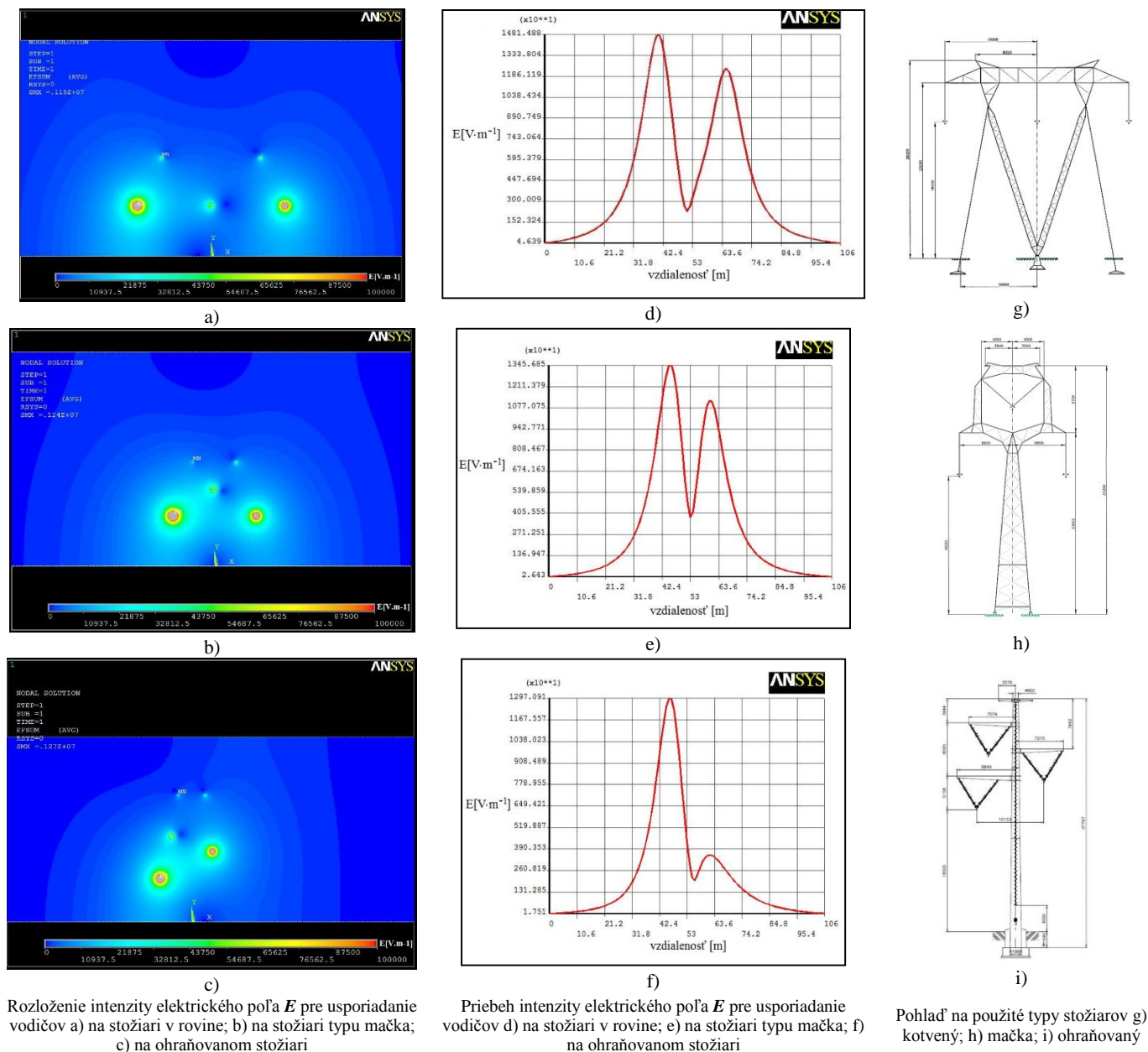
Pohľad na použité typy stožiarov g) kotvený; h) mačka; i) ohráňovaný

Figure 1.

IV. POROVNANIE ROZLOŽENIA ELEKTRICKÝCH POLÍ V OKOLÍ 400 KV VEDEŇÍ

Magnetické pole je jedna z dvoch zložiek elektromagnetického poľa, preto je nutné určiť aj rozloženie elektrického poľa. Simulácie elektrických polí boli vykonané v softvéri ANSYS Mechanical APDL. Taktiež pri výpočtoch rozloženia elektrického poľa predpokladáme najnižšiu možnú výšku 400 kV vodičov podľa normy STN-50341-1, čo predstavuje 8 m nad zemou. Elektrické polia boli simulované pre združené napätie 400 kV. Fázový posun medzi fázami bol uvažovaný +/- 120°. Pri simulácii elektrických polí bol uvažovaný aj vplyv zemiacich lán. Ostatné podmienky pre usporiadanie vodičov, čas a prostredie sú zhodné s podmienkami uvedenými pre výpočet magnetických polí. Postup modelovania a kroky simulácie sú

porovnateľné s postupom vykonaným pre magnetické polia. Zvlášť určíme rozloženie elektrického poľa pre každé usporiadanie vodičov. Zdrojom elektrického poľa pri simuláciách sú fázové napätia na každom vodiči. Amplitúdu fázového napätia prepočítame zo združeného napätia a za predpokladu sínusového priebehu napätia a fázového posunu určíme jednotlivé napätia pre vybraný čas $t = 0,3 \cdot T$. Elektrické pole je oproti magnetickému poľu ovplyvniteľné viac, preto je táto simulácia oproti reálnym poliam zjednodušená. Tento fakt môže spôsobiť odchýlky medzi skutočnými hodnotami v praxi a nasimulovanými hodnotami. V simuláciách predpokladáme, že vzduch je homogénny a je to izotropné prostredie s konštantnou permitivitou. V porovnaní s magnetickou permeabilitou, je permitivita, teda aj elektrické vlastnosti prostredia a ich interakcia s elektrickým poľom, viac ovplyvnená vlhkosťou – zložením vzduchu.



Rozloženie intenzity elektrického poľa E pre usporiadanie vodičov a) na stožiaroch v rovine; b) na stožiaroch typu mačka; c) na ohráňovanom stožiaroch
 Priebiehy intenzity elektrického poľa E pre usporiadanie vodičov d) na stožiaroch v rovine; e) na stožiaroch typu mačka; f) na ohráňovanom stožiaroch
 Pohľad na použité typy stožiarov g) kotvený; h) mačka; i) ohráňovaný

Figure 2.

TABLE II

Tabuľka vzdialeností s vyhovujúcimi hodnotami intenzity elektrického poľa E

Usporiadanie vodičov	Úroveň E pre trvalú expozíciu dosiahnutú vo vzdialenosti [m]	
	Zľava	Sprava
vodiče v rovine	23	21
stožiar typu mačka	17	16
ohráňovaný stožiar	15	0

Vzdialenosti, v ktorých sú dosiahnuté dovolené hodnoty, sú uvedené v tabuľke Tab. 2. Hodnoty intenzity elektrického poľa nižšie ako 5000 V·m⁻¹ sa vyskytujú aj priamo pod vodičmi, kde sa polia jednotlivých fáz odrušia. Táto simulácia bola riešená ako statická v čase $t = 0,3 \cdot T$. Rozloženie elektrického, ale aj magnetického poľa sa v čase periodicky mení a hranice poľa s dovolenou hodnotou sa teda v čase mierne posúvajú.

V. ZÁVER

Z uvedených výsledkov simulácií vyplýva, že z pohľadu posúdenia vplyvu elektrických polí je najvhodnejšie použiť ohráňovaný stožiar, ktorý je nasledovaný stožiarom typu mačka a nakoniec kotveným stožiarom. Výhodou ohráňovaného stožiara je fakt, že len jeden najnižší vodič sa nachádza vo výške 8 m nad zemou. Z troch porovnávaných usporiadaní fázových vodičov je preto tento typ pre kritérium elektromagnetických polí najvhodnejší. Pri tomto stožiaroch sú na strane, kde sa nachádza len jeden vodič viditeľne nižšie hodnoty intenzity oproti zvyšným dvom stožiarom. Z tejto simulácie môžeme zhrnúť, že pre posúdenie vplyvu elektromagnetických polí je dôležitejšie preverovať hodnotu elektrických polí.

Rozloženie elektrického poľa bolo riešené pre napätovú úroveň vedenia 400 kV, ktorá je bežnou hodnotou. Magnetické pole v okolí vodičov bolo riešené pre dovolenú hodnotu prúdu, ktorá sa však

v prevádzke nevyskytuje často. Hodnoty z riešenia magnetického poľa môžu byť z tohto dôvodu „predimenzované“. Ochranné pásmo pre 400 kV je 25 m od krajného vodiča. Pri zaťažení vedení prúdom 820 A však nie sú dosiahnuté úrovne magnetických polí, ktoré prekračujú limity pre trvalú expozíciu. Intenzita elektrického poľa v ochrannom pásme podľa simulácie presahuje požadovanú hodnotu. Tieto polia nemajú z krátkodobého hľadiska negatívne vplyvy. Vplyvy elektromagnetických polí z dlhodobého hľadiska, pri 50 Hz, ešte nie sú úplne známe, preto je prevencia dôležitá. Pri zaťažovaní vedení vyššími prúdmi, ako bolo uvažované a po zhodnotení uvedených výsledkov simulácií, neodporúča sa dlhodobý výskyt osôb v blízkosti týchto vedení a pod vedeniami. V týchto miestach sú pomerne vysoké úrovne elektrických aj magnetických polí, ktoré podľa niektorých zdrojov majú nepriaznivý vplyv na zdravie človeka, aj keď neprekračujú dovolenú hodnotu.

ACKNOWLEDGMENT

Túto prácu podporila Vedecká grantová agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied grantom VEGA č. 1/0132/15.

REFERENCES

- [1] A. Tirpák, „*Elektromagnetizmus*“, 1.vyd. Bratislava, 1999. 710 s. ISBN 80-88780-26-8.

- [2] P. Gontkovič, „*Riešenie rozloženia elektromagnetického poľa v okolí elektroenergetických zariadení*“, (Solution of electromagnetic field distribution close to electric power devices). Diplomová práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2015.
- [3] P. Gontkovič, D. Medveď, „*Modelovanie elektromagnetických polí v okolí elektrických vedení*“, In: Electrical Engineering and Informatics VI: Proceedings of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice, s. 168-172, Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2015, ISBN 978-80-553-2178-3.
- [4] J. Dědková, J. Kríž, „*Modelování elektromagnetických polí (MMEM)*“, Brno: VUT Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií 2012, ISBN 978-80-214-4401-0.
- [5] Vyhláška č. 534/2007 Zb. Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky zo 16. augusta 2007 o podrobnostiach o požiadavkách na zdroje elektromagnetického žiarenia a na limity expozície obyvateľov elektromagnetickému žiareniu v životnom prostredí.
- [6] D. Medveď, J. Šurin, „*Modelovanie elektromagnetických polí v okolí stožiarov vln a zvn*“, In: Electrical Engineering and Informatics 3: proceeding of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice: FEI TU, 2012 S. 740-744. - ISBN 978-80-553-0890-6.

ADDRESSES OF AUTHORS

Martin Kanálik, Technical University of Košice, Department of Electric Power Engineering, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovak Republic, Martin.Kanalik@tuke.sk
 Dušan Medveď, Technical University of Košice, Department of Electric Power Engineering, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovak Republic, Dusan.Medved@tuke.sk