

Dušan Medveď

Elektromagnetické polia okolo elektrických vedení

Tento príspevok sa zaoberá porovnaním elektromagnetických polí okolo 400 kV elektrických vedení rôznych energetických stožiarov. Generovanie elektromagnetických polí je podmienené časovo premenlivým pohybom elektrického náboja. Elektromagnetické pole je emitované do okolia zariadeniami, ktoré pracujú s elektrickým prúdom a napätím. Výpočet elektromagnetických polí je dôležitý pre posúdenie možných zdravotných rizík v interakcii človeka. Rastúci trend vo využívaní elektrickej energie je tiež spojený so zvýšením prenášaného výkonu a tým aj vyššou úrovňou elektromagnetických polí. S ohľadom na to je pochopenie úrovni elektromagnetických polí a ich vplyvu na ľudské telo stále relevantné. Simulácie boli realizované v softvéri ANSYS.

Kľúčové slová: elektromagnetické pole, simulácie, modelovanie, elektrické vedenia, ANSYS

This paper deals with the comparison of electromagnetic fields around 400 kV power lines of different power pylons. The generation of electromagnetic fields is conditioned by the time-varying motion of an electric charge. The electromagnetic field is emitted to the environment by devices that work with electric current and voltage. The calculation of electromagnetic fields is important for the assessment of possible health risks in human interaction. The growing trend in the use of electricity is also associated with an increase in transmitted power and thus a higher level of electromagnetic fields. With this in mind, understanding the levels of electromagnetic fields and their effects on the human body is still relevant. The simulations were performed in ANSYS software.

(Electromagnetic fields around electric power lines)

Keywords: electromagnetic field, simulations, modeling, power lines, ANSYS

I. ÚVOD

Najvyššia napät'ová úroveň prenosovej sústavy na Slovensku je 400 kV a slúži pri prenose najvyšších výkonov. Z tohto dôvodu budú hladiny elektromagnetického poľa v okolí týchto vedení najvyššie. Preto je dôležité poznať úroveň týchto polí kvôli možným negatívnym vplyvom na ľudí a životné prostredie [7].

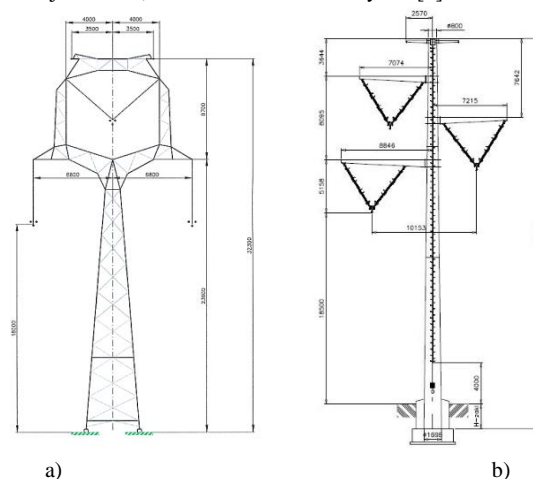
Rozloženie magnetického poľa bolo riešené pre 400 kV jednosystémové elektrické vedenie v rôznom usporiadaní. Magnetické a elektrické polia boli porovnávané v závislosti od vzdialenosti. Na výpočet a modelovanie rozloženia magnetickej indukcie bol použitý softvér ANSYS, prostredie APDL. Pri výpočte bola zvážená najnepriaznivejšia podmienka: najnižšia prípustná výška pre 400 kV vodičov nad zemou, 8 m podľa STN EN 50341-1 (33 3300): 12-2013 a zaťaženie vodiča 820 A na fázu. Tento prúd je priemernou hodnotou letného a zimného limitného zaťaženia použitých vodičov. Simulácia použila trojvodičový zväzkový vodič AIFe 450/52 s priemerom 29,31 mm. Jeho jednotlivé vodiče sú od seba vzdialené 40 cm [4], [5].

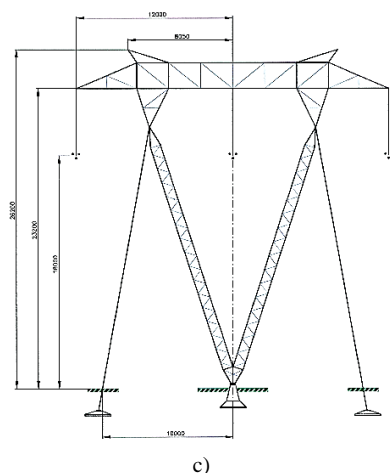
Predpokladali sme symetrické zaťaženie a fázový posun 120°. Predpokladali sme, že všetky fázové vodiče majú rovnaký priehyb. Nebrali sme do úvahy magnetizáciu železného jadra samotných vodičov a vplyv uzemňovacích lán v magnetických poliach. To má zanedbateľný vplyv na vzdialenosti, kde určujeme magnetické polia. Simulácia bola vyriešená ako 2D problém a predstavuje kolmý prierez elektrického vedenia v bode s najnižšou prípustnou výškou vodiča. Problém bol vyriešený pre jeden zvolený čas, t.j. ako statický problém. Okolité prostredie (vzduch) sme považovali za homogénne, lineárne [2].

II. VÝBER USPORIADANIA VODIČOV

Existuje niekoľko typov stožiarov pre jednosystémové elektrické vedenia 400 kV. Tento príspevok porovnáva magnetické a elektrické

polia pre stožiare typu: „mačka“, „kotvený stožiar“ a „ohraňovaný stožiar“ (na záver sú tiež doplnené údaje/výsledky ďalších dvoch typov veží: „donau“ a „súdok“). Fázové usporiadanie je pre všetky tri výpočty totožné. Na Slovensku sa používajú hlavne „kotvené stožiare“, ktoré nahrádzajú „portálové stožiare“ a „stožiare typu mačka“. „Ohraňované stožiare“ sa používajú len zriedka na úrovni napätia 400 kV. Z obrázkov a z usporiadania vodičov je možné predpokladať rôzne rozloženie polí. Pri usporiadaní vodičov v rovnakej výške sa predpokladalo, že magnetické pole sa zníži miernejšie a polia jednotlivých fáz budú menej tlmené ako pri stožiaroch typu „mačka“ a ohraňovanom stožiaroch. Druhým predpokladom je, že pre stožiar kotevného typu (stožiar „V“) sú všetky vodiče v minimálnej povolenej výške 8 m a pre ostatné dva stožiare je v tejto výške iba jedna fáza, ostatné sú umiestnené vyššie [2].





Obr. 1. Pohľad spredu na stožiare typu a) mačka b) ohraňovaný c) kotevný

III. POROVNANIE VÝSLEDKOV SIMULÁCIÍ

TABUĽKA I

Porovnanie maximálnych hodnôt E a B pre simulácie uvedené v tomto príspevku

Maximálne hodnoty intenzity el. poľa E a magnetickej indukcie B získané pri simuláciách					
Usporiadanie	Kotvený	Mačka	Ohraňovaný	Súdok	Donau
Int. el. poľa E [$V \cdot m^{-1}$]	14815	13457	12971	10908	10736
Magn. ind. B [T]	$3.0 \cdot 10^{-5}$	$2.51 \cdot 10^{-5}$	$2.29 \cdot 10^{-5}$	$2.84 \cdot 10^{-5}$	$3.13 \cdot 10^{-5}$
Miesto výskytu hodnoty	Pod krajným ľavým vodičom	Pod krajným ľavým vodičom	Pod krajným ľavým vodičom	Pod krajným pravým vodičom	Medzi ľavými spodnými vodičmi

TABUĽKA II

Porovnanie intenzity elektrického poľa vo vybraných vzdialenostiach

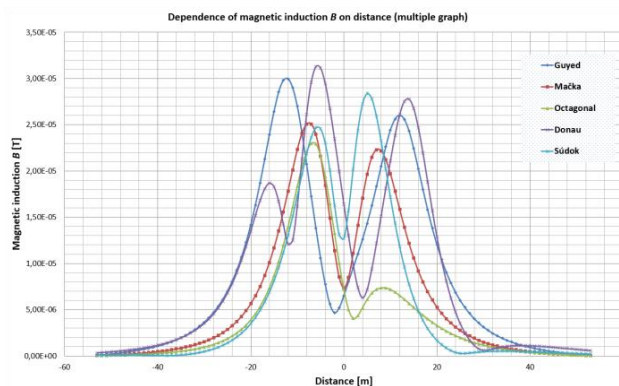
Porovnanie E vo vzdialenosti od krajných vodičov					
Vzdialenosť [m]	Hodnoty intenzity el. poľa E [$V \cdot m^{-1}$]				
	Kotvený	Mačka	Ohraňovaný	Donau	Súdok
5	8547.4	7975	3546.8	6346.4	5571.3
10	4311.7	4030.6	2820.1	2275.7	1994
20	1200.2	1124.4	1154.7	100.21	96.202
30	372.25	370.75	436.4	159.91	148.4
40	53.925	102.63	145.51	104.76	108.06
Druhá časť tabuľky predstavuje ľavú stranu okolia					
-5	10493	9540.6	9094.9	6440.3	5207
-10	5274.1	4696.2	4204.3	3394.2	2329.8
-20	1446.8	1250.8	970.05	1026.4	356.72
-30	445.17	402.91	287.9	395.13	22.353
-40	64.328	91.964	80.735	164.02	47.098

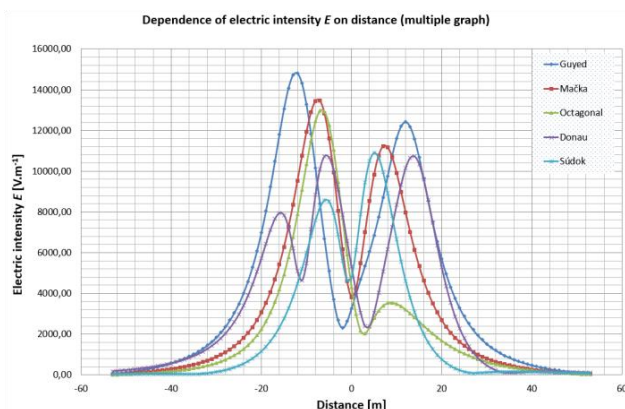
TABUĽKA III

Porovnanie magnetickej indukcie vo vybraných vzdialenostiach

Porovnanie B vo vzdialenosti od krajných vodičov					
Vzdialenosť [m]	Hodnoty magnetickej indukcie B [T]				
	Kotvený	Mačka	Ohraňovaný	Donau	Súdok
5	$1.80 \cdot 10^{-5}$	$1.78 \cdot 10^{-5}$	$7.35 \cdot 10^{-6}$	$1.57 \cdot 10^{-5}$	$1.51 \cdot 10^{-5}$
10	$9.05 \cdot 10^{-6}$	$8.70 \cdot 10^{-6}$	$5.67 \cdot 10^{-6}$	$4.73 \cdot 10^{-6}$	$6.90 \cdot 10^{-6}$
20	$2.44 \cdot 10^{-6}$	$2.22 \cdot 10^{-6}$	$2.18 \cdot 10^{-6}$	$9.80 \cdot 10^{-7}$	$1.16 \cdot 10^{-6}$
30	$7.10 \cdot 10^{-7}$	$6.65 \cdot 10^{-7}$	$7.54 \cdot 10^{-7}$	$9.75 \cdot 10^{-7}$	$7.15 \cdot 10^{-8}$
40	$9.92 \cdot 10^{-8}$	$1.71 \cdot 10^{-7}$	$2.31 \cdot 10^{-7}$	$5.47 \cdot 10^{-7}$	$1.08 \cdot 10^{-7}$
Druhá časť tabuľky predstavuje ľavú stranu okolia					
-5	$2.13 \cdot 10^{-5}$	$1.58 \cdot 10^{-5}$	$1.61 \cdot 10^{-5}$	$1.52 \cdot 10^{-5}$	$1.43 \cdot 10^{-5}$
-10	$1.07 \cdot 10^{-5}$	$7.98 \cdot 10^{-6}$	$7.37 \cdot 10^{-6}$	$7.81 \cdot 10^{-6}$	$4.91 \cdot 10^{-6}$
-20	$2.82 \cdot 10^{-6}$	$2.14 \cdot 10^{-6}$	$1.62 \cdot 10^{-6}$	$2.19 \cdot 10^{-6}$	$2.79 \cdot 10^{-7}$
-30	$8.18 \cdot 10^{-7}$	$6.57 \cdot 10^{-7}$	$4.49 \cdot 10^{-7}$	$7.86 \cdot 10^{-7}$	$5.25 \cdot 10^{-7}$
-40	$1.14 \cdot 10^{-7}$	$1.71 \cdot 10^{-7}$	$1.18 \cdot 10^{-7}$	$3.12 \cdot 10^{-7}$	$3.55 \cdot 10^{-7}$

V tabuľkách Tab. 1 a Tab. 2 sú porovnané simulačné hodnoty pre jedno- a dvojsystémové elektrické vedenia. Tabuľka 1 uvádza maximálne hodnoty intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie, ku ktorým došlo počas simulácií. Je možné oceniť, že maximá sú umiestnené pod vonkajším vodičom s najvyšším okamžitým napätím pre intenzitu elektrického poľa E a najvyšším prúdom pre magnetickej indukciu B . Poloha týchto maxím sa bude periodicky meniť z jedného vonkajšieho vodiča do druhého pozdĺž s rôznym prúdom a napätím. Frekvencia tejto zmeny bude 50 Hz. V usporiadaní typu „Donau“ je maximum umiestnené pod a medzi vodičmi systému, kde sú na dolných vodičoch najvyššie hodnoty okamžitého napätia U a prúdu I . Elektrické polia dosiahli vyššiu úroveň pod jednosystémovými vedeniami. Hodnoty magnetickej indukcie boli porovnateľné pre jednosmerné aj dvojsystémové vedenia a líšia sa iba mierne od $2,29$ do 10^{-5} T pre usporiadanie „osemhranného“ typu až po $3,13 \cdot 10^{-5}$ T pre stožiar typu „Donau“. Miesta výskytu maxím sú pre E a B približne rovnaké, pretože simulácie pre tieto veličiny boli spustené oddelene pre magnetickej indukciu a potom pre intenzitu elektrického poľa. Pokiaľ ide o oddelenú simuláciu, nebolo potrebné brať do úvahy fázový posun medzi prúdom a napätím.

Obr. 2. Charakteristiky magnetickej indukcie B pre všetky uvedené stožiare



Obr. 3. Charakteristiky elektrickej intenzity E pre všetky uvedené stožiare

Hodnoty E a B vo vybraných vzdialenostiach od vonkajších vodičov a 1,7 m nad zemou sú uvedené v Tab. 1, Tab. 2 a Tab. 3. Je vidieť, že okrem rôznej veľkosti maximálnych hodnôt sa rýchlosť ich poklesu líši v závislosti od vzdialenosti.

Na obr. 2 a obr. 3 sú charakteristiky intenzity elektrického poľa E a magnetickej indukcie B pre všetky uskutočnené simulácie.

IV. ZÁVER

Z uvedených výsledkov simulácií vyplýva, že z pohľadu posúdenia vplyvu elektrických polí je najvhodnejšie použiť ohranovaný stožiar, ktorý je nasledovaný stožiarom typu mačka a nakoniec kotveným stožiarom. Výhodou ohranovaného 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 stožiaru sú na strane, kde sa nachádza len jeden vodič viditeľne nižšie hodnoty intenzity oproti zvyšným dvom stožiarom. Z tejto simulácie môžeme zhodnotiť, že pre posúdenie vplyvu elektromagnetických polí je dôležitejšie preverovať hodnotu elektrických polí.

Rozloženie elektrického poľa bolo riešené pre napäťovú 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.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore Agentúry na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-19-0576 a Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR a SAV podporených grantom VEGA 1/0757/21 a VEGA 1/0435/19.

LITERATÚRA

- [1] A. Tirpak, "Elektromagnetismus", 1.vyd. Bratislava, 1999, pp 710. ISBN 80-88780-26-8.
- [2] J. Dedkova, J. Kriz, "Modelování elektromagnetických polí (MEM)", Brno: VUT Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií 2012, ISBN 978-80-214-4401-0.
- [3] 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.
- [4] D. Medved, J. Surin, "Modelovanie elektromagnetických polí v okolí stožiarov vvn a zvn", In: El. Eng. and Inf. 3: proceeding of the Faculty of El. Eng. and Inf. of the Technical University of Košice: FEI TU, 2012, pp. 740-744. ISBN 978-80-553-0890-6.
- [5] P. Gontkovic, D. Medved, "Modelovanie elektromagnetických polí v okolí elektrických vedení", In: El. Eng. and Inf. 6: proceedings of the Faculty of El. Eng. and Inf. of the Technical University of Košice. Košice: FEI TU, 2015, pp. 168-172. ISBN 978-80-553-2178-3.
- [6] R. Cimbala, J. Kurimsky, M. Rajnak, K. Paulovicova, M. Timko, P. Kopcansky, M. Kolcun, M. Kosterec, S. Bucko, M. Kurimska, "Magnetic fluid droplet deformation in electrostatic field", In: Journal of Electrostatics, Volume 88, 1 August 2017, pp 55-59, ISSN: 0304-3886, DOI: 10.1016/j.elstat.2017.01.025.
- [7] Z. Conka, M. Kolcun, G. Morva, "Utilizing of phase shift transformer for increasing of total transfer capacity", In: Acta Polytechnica Hungarica, Volume 13, Issue 5, 2016, pp 27-37, ISSN: 1785-8860.
- [8] J. Hajek, D. Rot, J. Jirinec, "Distortion in Induction-Hardened Cylindrical Part", In: Defect and Diffusion Forum, Vol. 395, Aug. 2019, pp 30-44, DOI: 10.4028/www.scientific.net/DDF.395.30, ISSN: 1662-9507.
- [9] D. Rot, J. Kozeny, S. Jirinec, J. Jirinec, A. Podhracky, I. Pozynek, "Induction melting of aluminium oxide in the cold crucible", In: 18th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE) 2017, pp 1-4, DOI: 10.1109/EPE.2017.7967281.
- [10] J. Jirinec, D. Rot, "Measuring System for Recuperation Units", In: Journal of nuclear engineering and radiation science, Volume: 5, Issue: 3, DOI: 10.1115/1.4043103, ISSN 2332-8975.
- [11] D. Rot, J. Jirinec, J. Kozeny, A. Podhracky, J. Hajek, S. Jirinec, "Induction system for hardening of small parts", In Proceedings of the 2018 19th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). Piscataway: IEEE, 2018, p. 277-282. ISBN: 978-1-5386-4612-0, ISSN: 2376-5623.
- [12] Z. Eleschova, B. Cintula, V. Volcko, A. Belan, J. Bendik, M. Cenky, "The Influence of Smart Grids on a Large Synchronous Generators Operation", In: Electric Power Engineering (EPE), pp 43-48. DOI: 10.1109/EPE.2018.8395948.
- [13] R. Cimbala, J. Kiraly, M. German-Sobek, S. Bucko, J. Kurimsky, J. Dzmura, "Polarization Phenomena in Magnetic Liquids", Chemicke listy 109, No. 2 (2015), 117-124. ISSN 2336-7202.
- [14] K. Nohac, M. Tesarova, L. Nohacova, J. Veleba, V. Majer, "Utilization of Events Measured by WAMS-BIOZE-Detector for System Voltage Stability Evaluation", In: IFAC Workshop on Control of Transmission and Distribution Smart Grids (CTDSG), Volume: 49, Issue: 27, pp 364-369, ISSN 2405-8963, DOI: 10.1115/1.4043103.
- [15] D. Kapral, P. Bracinik, M. Roch, M. Hoger, "Optimization of distribution network operation based on data from smart metering systems", Electrical Engineering, Vol. 99, Issue 4, Springer, New York, USA, 2017, December, pp: 1417-1428, ISSN 0948-7921.

ADRESY AUTOROV

doc. Ing. Dušan Medved, PhD., Technická Univerzita Košice, elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, Dusan.Medved@tuke.sk