

Ján Zbojovský, Alexander Mészáros, Dušan Medveď, Michal Kolcun, Iraida Kolcunová,
Marek Pavlík

Modelovanie vplyvu tieniacich materiálov na rozloženie elektromagnetického poľa

Príspevok sa venuje problematike elektromagnetických polí, ich účinkom na biologický organizmus, a samotnému modelovaniu rozloženia elektromagnetického poľa. Na modelovanie bol použitý program Ansys, konkrétne programové prostredie Ansys Workbench.

Kľúčové slová: príspevok; ANSYS, elektromagnetické pole, modelovanie elektromagnetických polí, tienenie, účinky elektromagnetických polí.

This paper deals with problematic of electromagnetic fields and effect on biological organism. The distribution of electromagnetic field was modelling in program Ansys Workbench.

Keywords: ANSYS, electromagnetic field, modeling of electromagnetic field, shielding, effect of electromagnetic field

ÚVOD

V súčasnosti je ľudstvo neustále vystavené elektromagnetickému žiareniu. Toto elektromagnetické žiarenie pozostáva ako z prírodnej radiácie, tak aj z umelo vytvorených elektromagnetických polí, ktoré sú produkované buď zámerne, alebo ako vedľajší účinok pri prevádzke elektrických zariadení. Vzhľadom k neustále narastajúcemu počtu zdrojov žiarenia je problematika elektromagnetických polí, konkrétne účinkov na biologický organizmus v súčasnosti značne aktuálna. Elektromagnetické polia sú v celom svojom frekvenčnom rozsahu biologicky aktívne čo znamená, že interagujú so živou hmotou. V súčasnosti boli prijaté štandardy ohľadom expozície elektromagnetických polí pričom tieto štandardy vychádzajú zo smerníc určených Medzinárodnou komisiou pre ochranu pred ne-ionizujúcim žiarením (INCIRP). Účinky elektromagnetických polí na živé organizmy boli a aj sú predmetom mnohých výskumov [1]. Elektrické zariadenia musia spĺňať určité limity a musia byť elektromagneticky kompatibilné, aby mohli byť používané v praxi. Elektromagnetickú kompatibilitu je možné definovať ako schopnosť súčasnej správnej funkcie (čiže koexistencie) zariadení alebo systémov – elektrických aj biologických – nachádzajúcich sa v spoločnom elektromagnetickom prostredí bez závažného nežiaduceho ovplyvňovania ich normálnych funkcií. Elektrické systémy musia byť odolné proti pôsobeniu ostatných systémov a nesmú pri svojej činnosti ovplyvňovať normálne fungovanie iných systémov a zariadení. Elektromagnetické rušenie môže spôsobiť vážne problémy, a to je potrebné zohľadniť pri návrhu nových elektrických zariadení [2], [3], [4], [5], [6].

CHARAKTERISTIKA ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA

Elektromagnetické pole sa môže charakterizovať ako fyzikálne pole, v ktorom pôsobia elektrické a magnetické sily v priestore, pričom sa skladá z dvoch navzájom prepojených polí. Vektory elektrického a magnetického poľa sú na seba kolmé. Elektromagnetické polia sú buď stacionárne – časovo nepremenné, alebo nestacionárne – časovo premenné [1], [8].

Je ich možné popísať Maxwellovými rovnicami:

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (2)$$

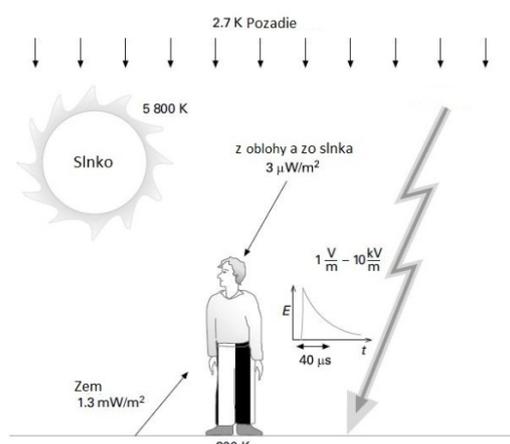
Doplňujúce vzťahy pre samotné riešenie:

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad \nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \quad (3)$$

Pre magnetický vektorový potenciál platí:

$$\frac{1}{\mu_r \cdot \mu_0} \left(\frac{\partial^2 \mathbf{A}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{A}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{A}}{\partial z^2} \right) = -\mathbf{J}_z + j \cdot \omega \cdot \gamma \cdot \mathbf{A} \quad (4)$$

Zdroje elektromagnetického poľa sa delia na prírodné a umelé. Prírodné elektromagnetické prostredie pochádza z pozemských a mimozemských zdrojov ako napríklad radiácia z vesmíru a slnka alebo od elektrických výbojov v zemskej atmosfére. Umelo vytvorené elektromagnetické polia sa šíria od zdrojov ako elektrické vedenia, telekomunikačné a rádio-televízne zariadenia a mnoho ďalších ako elektrické motory, železničná doprava, zvaracie zariadenia a iné.



Obr. 1. Pozemské a mimozemské zdroje vysokofrekvenčného žiarenia.

Účinky elektromagnetických polí sa prejavujú ako merateľné zmeny vyvolané určitým podnetom alebo zmenou v prostredí, pričom tieto nemusia nevyhnutne viesť k poškodeniu zdravia kvôli určitej

schopnosti organizmu adaptovať sa rôznym zmenám. K poškodeniu môže dôjsť, ak organizmus je dlhšiu dobu vystavený pôsobeniu škodlivého faktora. Biologický účinok elektromagnetického poľa závisí od niekoľkých objektívnych a subjektívnych parametrov:

Z fyzikálnych parametrov poľa (objektívne parametre) sú to predovšetkým:

- použitý rozsah frekvencií,
- intenzita elektromagnetického poľa,
- doba pôsobenia (ožiarenia).

Výsledok interakcie závisí aj od fyzikálno - chemických vlastností organizmu (subjektívne parametre), a to od:

- rozmerov,
- hmotnosti,
- charakteru povrchu (odevu),
- hrúbky vrstiev (koža - tukové vrstvy - svaly),
- obsahu vody,
- okamžitého stavu organizmu (zdravotný aj psychický),
- prípadného súčasného pôsobenia iných záťažových, či stresových faktorov [3].

Účinky elektromagnetických polí sa delia na tepelné a netepelné. Tepelné účinky vznikajú vtedy, ak množstvo absorbovanej energie v biologickom organizme spôsobí vzostup teploty presahujúci termoregulačné schopnosti organizmu. Závisia v prvom rade od frekvencie, t.j. platí, že s rastúcou frekvenciou sa zvyšujú tepelné účinky na organizmus, a tiež od obsahu vody v tkanive. Orgány zvlášť citlivé na zvýšenie teploty sú očná šošovka, mozog a semenníky. Pretože sa očná šošovka ťažko zbavuje tepla, môže už nevelká záťaž vysokofrekvenčným žiarením vyvolať jej zákal [3]. Netepelné účinky súvisia s dlhodobým pôsobením slabých polí. Ich účinok stúpa pri opakovanom ožiarení pomerne nízkymi intenzitami, najmä pri vystavení impulznému poľu, pri ktorom je celková vyžiarená energia pomerne malá, ale okamžitá amplitúda veľká. Dlhodobé pôsobenie elektromagnetických polí s malou hustotou výkonu sa prejaví predovšetkým na stave centrálnej nervovej sústavy. Prejavuje sa subjektívnymi ťažkosťami astenického typu ako napríklad pocit ochablosti, vyčerpanosti, ľahostajnosti, zvýšená únava, poruchy spánku, pokles koncentrácie - pozornosti, útlm intelektuálnych funkcií, zhoršenie pamäti, bolesti hlavy, emotívna labilita, znížená potencia [1],[3],[8], [9],[14].

V nasledujúcej tabuľke sú uvedené akčné hodnoty pre elektrické, magnetické a elektromagnetické polia podľa vyhlášky 534/2007 Z.z.[10].

Tabuľka 1
Akčné hodnoty podľa vyhlášky 534/2007 Z.z.

Frekvenčný rozsah	Intenzita elektrického poľa, E (V/m)	Intenzita magnetického poľa, H (A/m)	Magnetická indukcia, B (μT)
0 – 1 Hz	—	$3,2 \times 10^4$	4×10^4
1 – 8 Hz	10000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$3,2 \times 10^4/f^2$
8 – 25 Hz	10000	$4000/f$	$5000/f$
0,025 – 0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$
0,8 – 3 kHz	$250/f$	5	6,25
3 – 150 kHz	87	5	6,25
0,15 – 1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$
1 – 10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$
10 – 400 MHz	28	0,073	0,092

400 – 2000 MHz	$1,375 \times f^{1/2}$	$0,0037 \times f^{1/2}$	$0,0046 \times f^{1/2}$
2 – 300 GHz	61	0,16	0,2

Jedným zo základných spôsobov ochrany pred účinkami elektromagnetických polí je ich tienenie. Je ním možné obmedziť jednak vzájomné ovplyvňovanie zariadení, jednak expozíciu obyvateľstva [11].

Účinnosť tienenia SE sa vyjadri podľa:

$$SE = 20 \log \frac{|E_1|}{|E_2|} (dB) \quad (5)$$

$$SE = 20 \log \frac{|H_1|}{|H_2|} (dB) \quad (6)$$

kde E_1 , H_1 predstavuje intenzitu elektrického a magnetického poľa dopadajúceho na tieniacu prepážku (bariéru), E_2 , H_2 predstavuje intenzitu elektrického a magnetického poľa za tieniacou bariérou [11].

V nasledujúcej tabuľke je uvedené rozdelenie tieniacich zábran (bariér) podľa účinnosti tienenia.

Tabuľka 2
Rozdelenie tieniacich bariér podľa SE [10]

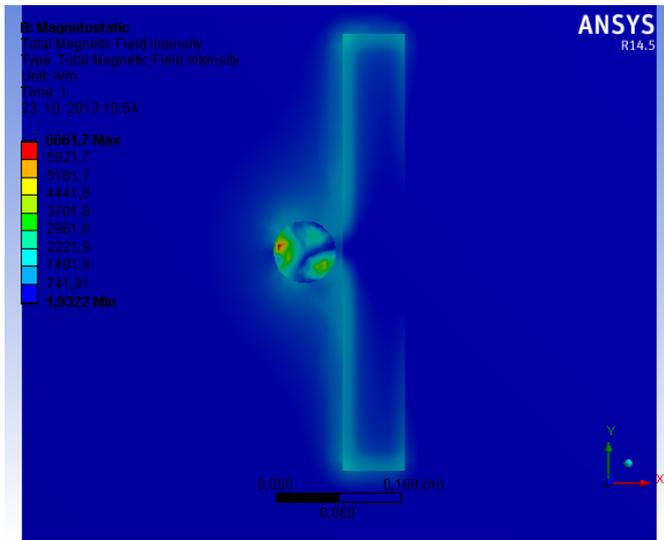
Katégoria	SE (dB)
Nedostatočné tienenie	0-10
Tienenie pre minimálne požiadavky	10-30
Tienenie dostačujúce pre väčšinu bežných požiadaviek	30-60
Veľmi dobré tienenie	60-90
Tienenie veľmi vysokej kvality	90-120

MODELOVANIE ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA

Pre riešenie elektromagnetických polí sú k dispozícii analytické a numerické metódy. Pri numerickom riešení elektromagnetického poľa sa vychádza z Maxwellových rovníc, ktoré sú doplnené o určité materiálové konštanty. V súčasnosti sa využívajú počítačové programy využívajúce metódu konečných prvkov. Metóda konečných prvkov je numerická metóda, ktorá transformuje systém obyčajných alebo parciálnych diferenciálnych rovníc, ktoré opisujú danú úlohu, na systém algebrických rovníc, ktoré sa dajú riešiť na počítači. Diferenciálne rovnice sú zostavené pre neznámu funkciu riešeného poľa. Riešením rovníc je táto funkcia splňujúca počiatkové a okrajové podmienky riešenia. Pri riešení sa pre neznámu funkciu poľa zvolí vhodná náhradná funkcia, splňujúca počiatkové a okrajové podmienky. Metóda konečných prvkov sa používa v oblastiach, kde sa počíta pole, uzly a uzlové potenciály [7],[11],[12],[13].

Modelovanie bolo realizované v programovom prostredí Ansys Workbench. Ako zdroj bol zvolený materiál o priemere 5 cm a dĺžke 50 cm s nastaveným prúdom 800 A, napätím 400 V pri teplote 20 °C a frekvencii 50 Hz. Sledovala sa účinnosť tienenia pri zmene permeability tieniaceho materiálu a pri zmene jeho hrúbky. Okolie predstavuje vzduch. Meracie sondy boli umiestnené vo výške 18,125-

18,958cm nad zdrojom v mieste dopadu na tieniaci materiál a v mieste za tieniacim materiálom vo výške 18,321-18,974 cm.



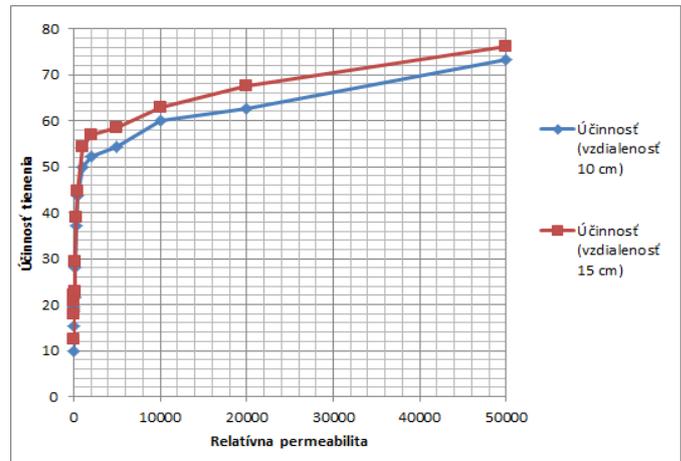
Obr. 2. Rozloženie mag. poľa a pohltenie tieniacim materiálom pri nastavenej permeabilite 1

5000	786,415	0,925	58,590
10000	785,850	0,568	62,819
20000	785,720	0,325	67,667
50000	785,523	0,124	76,034

Tabuľka 5

Účinnosť tienenia a intenzita el. poľa pri hrúbke materiálu 10 a 15cm

Hrúbka materiálu (cm)	Intenzita pred bariérou (V/m)	Intenzita v mieste tieného priestoru (V/m)	Účinnosť tienenia (dB)
10	825,700	8,725	39,521
15	825,324	5,341	43,780



Obr. 3. Vývoj účinnosti tienenia pri zmene parametrov.

Tabuľka 3

Účinnosť tienenia a intenzita mag. poľa pri hrúbke materiálu 10cm

Relatívna permeabilita materiálu [-]	Intenzita pred bariérou (A/m)	Intenzita v mieste tieného priestoru (A/m)	Účinnosť tienenia (dB)
1	785,325	250,656	9,919
5	785,725	135,235	15,283
10	785,533	92,658	18,565
20	785,124	88,235	18,985
50	784,852	82,725	19,543
100	785,753	65,742	21,548
200	785,245	30,583	28,190
300	785,561	10,871	37,178
500	786,142	5,165	43,648
1000	785,481	2,503	49,933
2000	784,724	1,897	52,332
5000	786,515	1,521	54,271
10000	785,075	0,778	60,078
20000	785,362	0,579	62,647
50000	785,273	0,171	73,240

Tabuľka 4

Účinnosť tienenia a intenzita mag. poľa pri hrúbke materiálu 15cm

Relatívna permeabilita materiálu [-]	Intenzita pred bariérou (A/m)	Intenzita v mieste tieného priestoru (A/m)	Účinnosť tienenia (dB)
1	785,625	188,356	12,404
5	785,834	98,235	18,061
10	785,533	72,324	20,717
20	785,124	65,458	21,579
50	784,863	62,364	21,997
100	785,753	55,742	22,982
200	785,255	26,478	29,442
300	785,761	8,871	38,946
500	786,242	4,529	44,791
1000	785,581	1,503	54,364
2000	784,785	1,125	56,871

ZÁVER

Uvedený príspevok je venovaný problematike hodnotenia účinnosti tienenia pri zmene vybraných parametrov tieniaceho materiálu, konkrétne relatívnej permeability. Intenzita elektromagnetického poľa pred bariérou mala premenlivé hodnoty z dôvodu určitého rozptylu pri umiestnení sond. Prostredníctvom simulácie bolo overené, že účinnosť tienenia sa postupne zlepšovala pri zvyšovaní relatívnej permeability. Výška materiálu bola 50cm, hrúbka bola v prvom prípade 10 cm a v druhom prípade 15 cm. Najlepšia účinnosť bola dosiahnutá pri permeabilite 50000 a hrúbke tieniaceho materiálu 15 cm a to 76,034 dB, a rovnako aj pre elektrickú zložku, a to 43,780 dB. Účinnosť tienenia závisí tiež aj od umiestnenia sond, pretože intenzita poľa je rôzna pozdĺž bariéry ako v mieste dopadu, tak aj za bariérou. Pre budúcnosť sa ďalej odporúča meranie intenzity vo viacerých bodoch a následné vyhodnotenie účinnosti tienenia.

POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Ochrana obyvateľstva Slovenskej republiky pred účinkami elektromagnetického poľa, s kódom ITMS:

26220220145, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku.
Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

Ing. Ján Zbojovský, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, jan.zbojovsky@tuke.sk

doc. Ing. Alexander Mészáros, PhD., Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, alexander.meszaros@tuke.sk

Ing. Dušan Medved', PhD., Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, dušan.medved@tuke.sk

Dr. h.c. prof. Ing. Michal Kolcun, PhD., Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, michal.kolcun@tuke.sk

prof. Ing. Iraidá Kolcunová, PhD., Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, iraida.kolcunova@tuke.sk

Ing. Marek Pavlík, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, marek.pavlik@tuke.sk

LITERATÚRA

- [1] P. Vecchia, et al, Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100kHz to 300GHz). INCIRP 16/2009
- [2] M. Kmec, M. Hvizdoš, Skúšky digitálnych ochrán prístrojov Omicron CMC, In: Electrical Engineering and Informatics 3. Proceeding of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice, Košice: FEI TU, 2012. s. 705-710. ISBN 978-80-553-0890-6.
- [3] K. Marton, L. Tomčo, R. Cimbala, J. Király, I. Rajňák, M. Timko, P. Kopčanský, I. Kolcunová, J. Kurimský, M. German-Sobek, Magnetic fluid in ionizing electric field, In: Journal of Electrostatics, Volume 71, Issue 3, June 2013, ISSN 0304-3886, Pages 467-470.
- [4] A. Mészáros, Elektrotechika a problémy životného prostredia, Košice, KEE FEI TU, 2009. 304 s., ISBN 978-80-553-0175-4.
- [5] B. Dolník, Elektromagnetické rušenie - vyžarovanie harmonických prúdov jednofázových zariadení, In: EE časopis. Roč. 11, č. 1 (2005), s. 22-24. - ISSN 13352547
- [6] M. Rajňák, J. Kurimský, B. Dolník, K. Marton, L. Tomčo, et al., Dielectric response of transformer oil based ferrofluid in low frequency range, In: Journal of Applied Physics. Vol. 114, no. 3 (2013), p. 34313-1-34313-6. - ISSN 0021-8979
- [7] B. Dolník, J. Macko, Modelovanie elektrického poľa v izolácii vn elektrických točivých strojov, In: Starnutie elektroizolačných systémov. Roč. 6, č. 2 (2011), s. 9-12. - ISSN 1337-0103
- [8] J. Macháč, K. Novotný, Z. Škvor, J. Vokurka, Numerické metody v elektromagnetickém poli, ČVUT Praha, 2007. 72s., ISBN 978-80-01-03753-9.
- [9] S. Celozzi, R. Araneo, G. Lovat, Electromagnetic Shielding, Electrical Engineering Department La Sapienza University Rome, Italy, IEEE Press.
- [10] Vyhláška ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky, Zbierka zákonov č. 534/2007
- [11] E. Únal, A. Gökçen, Y. Kutlu, Effective Electromagnetic Shielding, In: IEEE Microwave magazine, 1527-3342, 2006, s. 48 – 54.
- [12] D. Medved', Modeling of Electromagnetic Fields Close to the Very High Voltage and Extra High Voltage Poles, In: Elektroenergetika, Vol.5, No. 2, 2012. ISSN 1337-6756, s. 17-19
- [13] V. Ivančo, K. Kubín, K. Kostolný, Metóda konečných prvkov I. Technická univerzita v Košiciach, Elfa, 1994, 80 s., ISBN 80-96731-4-0
- [14] J. Džmura, Macroscopic particles in direct and alternating electric field, In: Przegląd Elektrotechniczny Konferencje. Vol. 5, no. 3 (2007), p. 78-80. - ISSN 1731-6103

ADRESY AUTOROV