

Ján Zbojovský

Modelovanie elektromagnetických polí

Abstrakt. Príspevok pojednáva o modelovaní rozloženia elektromagnetického poľa vo frekvenčnom rozsahu od 1,5 do 5 GHz. Je zameraný na prenikanie elektromagnetického poľa cez určité stavebné materiály použité ako tienenie, v tomto prípade cez „tehlu“ hrúbky 5 a 10 cm, pričom je vypočítaná účinnosť tienenia daného materiálu. Model je vytvorený vo výpočtovom programe Ansys HFSS.

Kľúčové slová: Elektromagnetické pole, Ansys HFSS, tehla, tienenie, účinnosť tienenia

Abstract. The paper deals with the modeling of electromagnetic field distribution in the frequency range from 1.5 to 5 GHz. It is aimed at the penetration of the electromagnetic field through certain building materials used as shielding, in this case through a "brick" of thickness 5 and 10 cm, while the shielding efficiency of the given material is calculated. The model is created in the Ansys HFSS calculation program

Keywords: electromagnetic field, Ansys HFSS, brick, shielding, shielding efficiency

I. ÚVOD

Problematika vplyvu elektromagnetického poľa na živé organizmy je v súčasnosti dobre známa. Od začiatku 20. storočia dochádza k rozmachu zdrojov a následnému nárastu expozície elektromagnetického poľa na ľudský organizmus. V súčasnosti je každý vystavený pôsobeniu elektromagnetického poľa produkovaného buď zámerne (telekomunikácie, letecká technika, medicínske aplikácie a pod.), alebo ako vedľajší produkt pri prevádzke elektronických zariadení.

Na základe doteraz realizovaných vedeckých výskumov je preukázané, že pôsobenie elektromagnetického poľa môže ovplyvniť správnu funkčnosť zariadení alebo mať nepriaznivé účinky na ľudský organizmus z čoho vyplýva, že je vhodné sa proti nežiaducim účinkom chrániť napríklad tienením. Elektrické systémy musia byť odolné voči vzájomnému rušeniu, čo musí byť braté do úvahy už pri samotnom návrhu a vývoji týchto zariadení.

V tomto príspevku je prostredníctvom simulácie analyzovaná účinnosť tienenia stavebného materiálu, konkrétne „pálená tehla“ pri frekvenčnom rozsahu od 1,5 do 5 GHz s krokom 0,01 GHz. Následne je porovnaná účinnosť tienenia na vybraných frekvenciách používaných v telekomunikačnej oblasti.

II. ELEKTROMAGNETICKÉ POLE

Elektromagnetické pole je fyzikálne pole, ktorého miera pôsobenia zodpovedá miere pôsobenia elektrickej a magnetickej sily v priestore. [1][2]

Je popísané Maxwellovými rovnicami:

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

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

$$\operatorname{div} \mathbf{D} = \rho \quad \operatorname{div} \mathbf{D} = \rho \quad (3)$$

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H} \quad \mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E} \quad (4)$$

Účinky elektromagnetických polí na ľudský organizmus boli a sú publikované v mnohých vedeckých štúdiách. Sú to určité merateľné zmeny pričom nemusia nevyhnutne viesť k poškodeniu zdravia kvôli určitej schopnosti organizmu adaptovať sa na zmeny. K nežiaducim účinkom môže dôjsť, ak je organizmus dlhšiu dobu vystavený pôsobeniu škodlivého faktora. [3][4] [5] [6] Ako už bolo spomenuté, jedným zo základných spôsobov ochrany pred nežiaducimi účinkami je tienenie. Účinnosť tienenia je možné vyjadriť podľa nasledujúcich vzťahov:

$$SE = |E_1| - |E_2| \quad (5)$$

$$SE = |H_1| - |H_2| \quad (6)$$

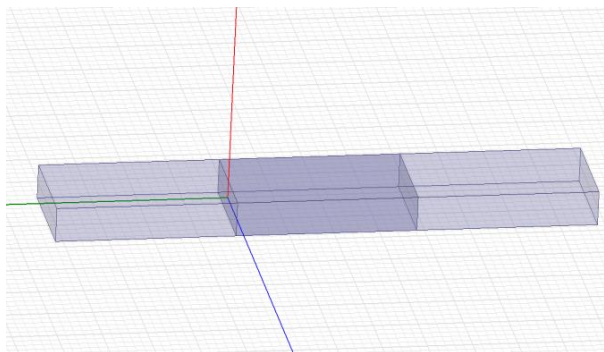
$$SE = |V_1| - |V_2| \quad (7)$$

$$SE = |P_1| - |P_2| \quad (8)$$

Kde E_1 , H_1 predstavuje intenzitu elektrického /magnetického poľa dopadajúceho na tieniacu bariéru, E_2 , H_2 predstavuje intenzitu v určitom bode tieneného priestoru, V_1 napätie vlny elektromagnetického poľa dopadajúceho na tieniacu bariéru, V_2 napätie vlny elektromagnetického poľa v určitom bode tieneného priestoru, P_1 výkon elektromagnetického poľa dopadajúceho na tieniacu bariéru a P_2 výkon elektromagnetického poľa v určitom bode tieneného priestoru. [7]

III. MODELOVANIE ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA

Frekvenčne závislé simulácie elektromagnetického poľa sú vykonané v programe Ansys HFSS (High frequency structural simulator) Model je tvorený vlnovodom so vstupným a výstupným portom v strede ktorého je umiestnený tieniaci materiál. Výkon na vstupnom porte je 1 W, frekvenčný rozsah je v rozmedzí od 1,5 GHz do 5 GHz, s krokom 0,01 GHz. Rozmery vlnovodu sú určené výpočtom pre daný frekvenčný rozsah. Konvergencia bola vykonaná na 6 krokov. Na nasledujúcom obrázku je znázornený model vlnovodu.



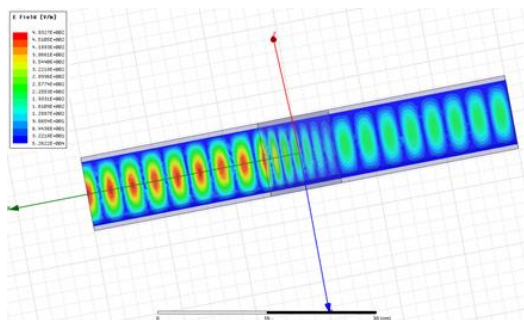
Obr. 1. Model vlnovodu vytvorený v programe HFSS

V nasledujúcej tabuľke sú popísané parametre okolia a skúmaného (tieniaceho) materiálu, konkrétne pálenej tehly. Teplota okolia bola nastavená na 20°C.

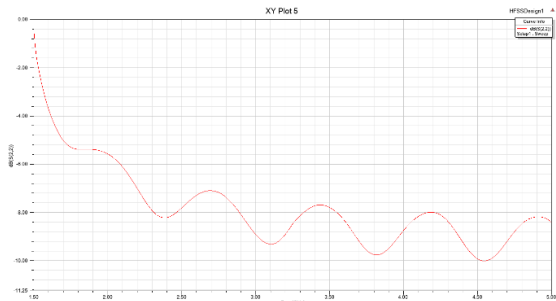
TABUĽKA I
Parametre výpočtového prostredia

Materiál	Relatívna permitivita	Relatívna permeabilita	Elektrická vodivosť [S/m]
Vzduch	1,0006	1,0000004	0
Tehla	5,04	1	0,15

Na nasledujúcich obrázkoch je zobrazený priebeh elektromagnetickej vlny pre materiál „tehla“ hrúbky 5 a 10 cm.

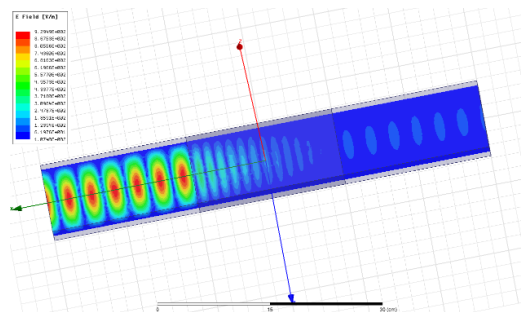


Obr. 2. Priebeh elektromagnetickej vlny (tieniaci materiál tehla hrúbky 5 cm)



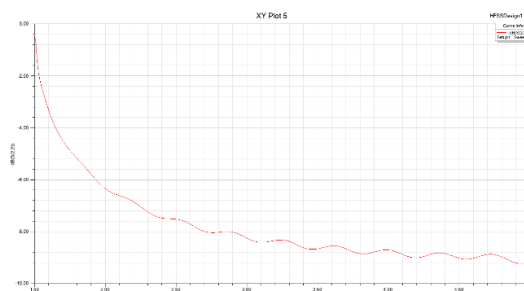
Obr. 3. Priebeh S parametra (tieniaci materiál tehla hrúbky 5 cm)

Priemerná hodnota účinnosti tienenia predstavuje 0,233 dB.

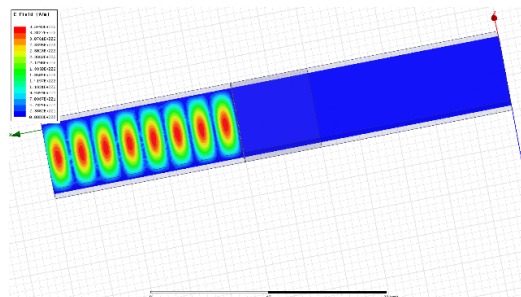


Obr.4. Priebeh elektromagnetickej vlny (tieniaci materiál tehla hrúbky 10 cm)

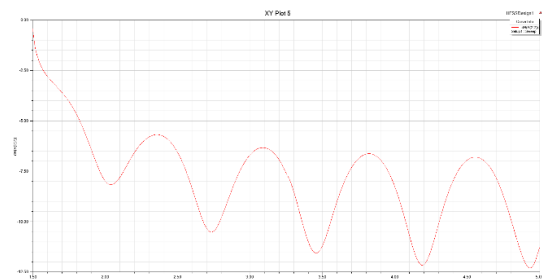
Obr. 5. Priebeh S parametra (tieniaci materiál tehla hrúbky 10 cm)



Priemerná hodnota účinnosti tienenia pre materiál tehla hrúbky 10 cm predstavuje 0,2494 dB, čo predstavuje len mierne zvýšenú účinnosť oproti tehle hrúbky 5 cm. Pre zvýšenie účinnosti tienenia bola na materiál „tehla“ hrúbky 10cm aplikovaná 1 mm vrstva materiálu z kovovej mriežky.



Obr. 6. Priebeh elektromagnetickej vlny (tieniaci materiál tehla 10cm+ 1mm vrstva kovovej mriežky).



Obr. 4. Priebeh S parametra (tieniaci materiál tehla hrúbky 10 cm + 1 mm kovová vrstva)

Priemerná hodnota účinnosti tienenia pre túto kombináciu predstavuje 29,3245dB.

V nasledujúcom kroku boli porovnané účinnosti tienenia pre najpoužívanejšie frekvencie do 5 GHz (tab. 2). V tab. 3 sú uvedené vypočítané hodnoty účinnosti tienenia.

TABUĽKA II
Frekvencie pre porovnanie účinnosti tienenia

Frekvencia [GHz]	Využitie
1,8	Mobilné siete (2G)
2,1	Mobilné siete (3G)
2,4	WiFi
2,6	Mobilné siete (LTE)
5	WiFi

TABUĽKA III
Účinnosť tienenia pre dané frekvencie

Frekvencia [GHz]	Tieniaci materiál	Účinnosť tienenia [dB]
1,8	Tehla 5cm	0,8993
	Tehla 10cm	0,5831
	Tehla 10cm+1mm vrstva železa	14,6559
2,1	Tehla 5cm	0,1765
	Tehla 10cm	0,1565
	Tehla 10cm+1mm vrstva železa	21,1063
2,4	Tehla 5cm	0,2037
	Tehla 10cm	0,2258
	Tehla 10cm+1mm vrstva železa	25,7572
2,6	Tehla 5cm	0,3566
	Tehla 10cm	0,2777
	Tehla 10cm+1mm vrstva železa	28,3642
5	Tehla 5cm	1,1238
	Tehla 10cm	3,5522
	Tehla 10cm+1mm vrstva železa	21,2241

IV. DISKUSIA A ZÁVER

Príspevok je zameraný na určenie účinnosti tienenia stavebného materiálu, konkrétne pálenej tehly prostredníctvom počítačového modelovania. To bolo dosiahnuté simuláciou elektromagnetického poľa v programe Ansys HFSS na základe vytvoreného modelu vlnovodu. Frekvenčný rozsah bol nastavený od 1,5 do 5 GHz s krokom 0,01 GHz. Priemerná hodnota účinnosti tienenia pálenej tehly s hrúbkou 5 cm predstavuje 0,233 dB, pre hrúbku 10 cm účinnosť tienenia predstavuje 0,2494 dB. Následne bolo vykonané porovnanie účinnosti tienenia pre frekvencie využívané v telekomunikačnej oblasti. Pre frekvenciu 1,8 GHz najlepšiu hodnotu účinnosti tienenia dosiahol materiál „tehla“ s hrúbkou 5cm a to 0,8993 dB, pre frekvenciu 2,1 GHz to bola tehla s hrúbkou 5 cm a to 0,1765 dB. Pre frekvenciu 2,4 GHz bola najlepšia účinnosť tienenia pri hrúbke 10 cm a to 0,2258 dB, pri frekvencii 2,6 GHz bola pri hrúbke 5cm a to 0,3566 dB. Pre frekvenciu 5 GHz vykazovala vyššiu účinnosť tehla s hrúbkou 5 cm, konkrétne 1,1238 dB. Účinnosť tienenia stavebných materiálov je vo

všeobecnosti malá. Preto je potrebné za účelom zvyšovania účinnosti tienenia hľadať rôzne kombinácie týchto materiálov. V našom prípade bola vybraná kombinácia tehla + 1 mm vrstva kovovej mriežky. Priemerná hodnota účinnosti tienenia narástla na 29,3245dB a v prípade porovnávaných frekvencií bola najvyššia pri 2,6 GHz, konkrétne 28,3642 dB.

POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie v rámci projektu VEGA 2/0011/20 a Agentúrou na podporu vedy a výskumu v rámci projektov APVV 18/0160, APVV-17-0372.

LITERATÚRA

- [1] Y. Yoshino, I. Shota, K. Michihiko, T. Masao, "Assessment of human exposure to electromagnetic field from an intra-body communication device using intermediate frequency electric field", International Symposium on Electromagnetic Compatibility(EMC EUROPE), 2012, Rome, pp.1-4, ISBN: 978-1-4673-0718-5.
- [2] I. Cuinas, M. Sánchez García, "Permittivity and Conductivity Measurements of Building Materials at 5.8 GHz and 41.5 GHz", Wireless Personal Communications 20, 2002, pp. 93-100, ISSN 0929-6212.
- [3] D. Bambynek, A. Jakubas, P. Jablonski, "Examination of the possibilities to shield the electromagnetic field by selected polymer composites," Przegľad Elektrotechniczny, Vol. 2017, No. 01, pp. 121-124, ISSN 0033-2097.
- [4] T. T. Chien, B. T. M. Tu, T. N. Do, "Improvement of shielding for electromagnetic compatibility," 2016 International Conference on Electronics, Information, and Communications (ICEIC), Da Nang, 2016, pp. 1-4. doi: 10.1109/ELINFOCOM.2016.7562954
- [5] A. Rusiecki, "Calculation and measurement of shielding effectiveness of slotted enclosure with built in conductive stirrer", Przegľad Elektrotechniczny (Electrical Review), Vol. 88 (2012), No. 5a, pp. 263-266, ISSN 0033-2097.
- [6] IEEE Guide--Adoption of IEC/TR 61000-3-7:2008, „Electromagnetic compatibility (EMC)--Limits--Assessment of emission limits for the connection of fluctuating installations to MV, HV and EHV power systems“ IEEE Std 1453.1-2012 (Adoption of IEC/TR 61000-3-7:2008) , pp 78, E-ISBN:978-0-7381-7285-9.
- [7] P. VECCHIA, et al, "Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences" (100 kHz to 300 GHz), INCIRP 16/2009

ADRESY AUTOROV

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