

Ján Zbojovský, Irida Kolcunová, Samuel Krásnohorský

Možnosti zvýšenia účinnosti tienenia elektromagnetických polí aplikáciou tieniacich náterov

Práca sa zaoberá hodnotením účinnosti tienenia rôznych typov náterov, ktoré môžu byť kombinované s bežne dostupnými stavebnými materiálmi. Podstatnú časť práce predstavuje vykonanie rôznych pokusov a experimentov o vytvorenie neprofesionálneho tieniaceho experimentálneho náteru, ktorý by bolo možné použiť ako náhradu za profesionálne tieniace nátery, ktoré sú bežne k dispozícii na trhu. Meranie je vykonávané vo frekvenčnom pásme 0,9 – 7 GHz.

Kľúčové slová: elektromagnetické pole, tienenie EM polí, účinnosť tienenia, tieniace nátery

The paper deals with the evaluation of shielding effectiveness of different types of paints, which can be combined with commonly available building materials. A substantial part of the work involves performing various experiments and experiments on the creation of a non-professional shield experimental paint that could be used as a substitute for the professional shielding paints that are commonly available on the market. The measurement is performed in the frequency range 0.9 - 7 GHz. **(Possibilities of increasing the effectiveness of electromagnetic field shielding by application of shielding paints)**

Keywords: electromagnetic field, shielding of EM fields, shielding effectiveness, shielding paints

I. ÚVOD

Elektromagnetické polia boli po prvýkrát objavené v 19. storočí, kedy vedci prišli na spôsob reprodukcie elektrických oblúkov s narastajúcou vzdialenosťou a pritom neboli použité žiadne spojenia či vodiče. Týmto objavom sa naskytila možnosť skúmania komunikácie na väčšie vzdialenosti pomocou rádio vysielačov a položili sa prvé základy bezdrôtovej komunikácie. V súčasnej dobe je pojem elektromagnetické pole, často označované aj skratkou ako EM pole rozšírený a známy pojem aj pre širokú verejnosť, ktorá sa predovšetkým zaujíma o jeho možné účinky na ľudský organizmus. Je to spôsobené tým, že elektromagnetické pole sa skladá zo zložky elektrickej, kde všetky elektricky nabité častice disponujú elektrickým poľom a zložky magnetickej v prípade, že sa nabité častice pohybujú. Vzhľadom na výsledky vykonaných štúdií, kde boli dokázané neblahé účinky na ľudský organizmus následne vznikla potreba zníženia intenzity takýchto elektromagnetických polí pomocou rôznych druhov tienenia, kde sa začali tieniť samotné zariadenia, ktoré vyžarovali elektromagnetické pole a neskôr nastala potreba tienenia aj samotných miestností v ktorých sa dané zariadenia nachádzali, prípadne s nimi susedili a preto je tienenia možné rozdeliť na tienenie vysielačových a prijímačových emisií elektromagnetických polí v závislosti od frekvencie. Tienenie EM poľa predstavuje zábranu alebo odpor pred preniknutím elektromagnetického poľa a existuje celý rad možností ako tieniť vysielačové aj prijímačové elektromagnetické pole ako napríklad využitie mechanických zariadení ako sú EMI tesnenia, ktoré slúžia predovšetkým na ochranu elektronických zariadení alebo využitie rôznych vysoko vodivých materiálov ako sú špeciálne vodivé farby (nátery) s použitím uzemňovacích sústav pre zvýšenie účinnosti, ktoré fungujú ako menšie faradayove klietky na ochranu pred únikom elektromagnetických polí alebo ako ochrana voči bezdrôtovým útokom. Možnosti vyhotovenia rôznych tieniacich náterov sú preto úlohou, ktorou sa táto práca zaoberá. Sleduje sa zmena účinnosti tienenia kombináciou rôznych materiálov až po praktické vyhotovenie experimentálneho náteru, kde sa skúmajú jeho vlastnosti a schopnosti odhliadnuť elektromagnetické žiarenie v špeciálnej bezodrazovej komore s použitím sústavy antén a jeho potenciálne využitie v praxi v porovnaní

s už zaužívanými a overenými profesionálnymi farbami, ktoré vznikli práve za účelom vyriešenia tejto problematiky [1][2][3].

II. TIENENIE A MERANIE ÚČINNOSTI TIENENIA

Definícia tienenia použitého materiálu predstavuje vytvorenie zábrany voči preniknutiu elektromagnetického poľa do priestoru, kedy je prítomnosť EM poľa nežiadaná. Možnosť tienenia je v súčasnosti využívaná pre celú radu rôznych predovšetkým technických zariadení v rôznych oblastiach nielen zamestnania, ale aj v domácnosti. Ako príklad je možné uviesť kryty mobilných telefónov, WI-FI routre a iné bezdrôtové zariadenia, tienenie internetových káblov proti rušeniu, tienenie lekárskeho zariadení v zdravotných strediskách a prípadne aj tienenie rôznych komunikačných alebo elektronických zariadení [1].

Medzi overené základné možnosti tienenia je možné zaradiť predovšetkým kovové materiály v rôznych formách ako sú steny, alebo kovové mreže. Vo všetkých prípadoch sa jedná o možnosť ponechať tienenie bez uzemnenia alebo celý tieniaci systém uzemniť. Tieto varianty kovových tieniacich materiálov je možné vidieť predovšetkým pri výrobe samotných krytov elektrických zariadení a ako príklad je možné uviesť mobilné telefóny, kde kryty chránia človeka pred EM poľami vysokých frekvencií. Pokiaľ je cieľom dosiahnuť uspokojivé výsledky tienenia elektromagnetického žiarenia (resp. rušenia) je potrebné zvoliť najvhodnejší materiál a spôsob tienenia pre danú situáciu [4][5].

Účinnosť tienenia SE (Shielding Effectiveness) je možné popísať pomocou vzťahov [5]:

$$SE = A + R \text{ [dB]} \quad (1)$$

Kde A je absorpcia EM poľa a R je odraz EM žiarenia.

$$SE = 20 \cdot \log \left| \frac{H_1}{H_2} \right| = 20 \cdot \log \left| \frac{E_1}{E_2} \right| \text{ [dB]} \quad (2)$$

H_2 je intenzita magnetického poľa v určitom bode tieniaceho priestoru, H_1 je intenzita magnetického poľa dopadajúceho na tieniacu bariéru, E_2 je intenzita elektrického poľa v určitom bode tieniaceho

priestoru a E_1 je intenzita elektrického poľa dopadajúceho na tieniacu bariéru [6][7]

$$SE = 20 \cdot \log \left| \frac{H_1}{H_2} \right| = 20 \cdot \log \left| \frac{E_1}{E_2} \right| \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

Kde hodnota P_1 v decibeloch predstavuje výkon signálu EM poľa vysielaného na zábranu a hodnota P_2 rovnako jednotkách decibelov predstavuje hodnotu výkonu za priestorom zábrany, ktorú materiál nedokázal odtníť [8].

III. EXPERIMENTÁLNE VYHODNOTENIE MOŽNOSTÍ TIENENIA

Vo všetkých prípadoch merania (nenatreté a rovnako aj natreté materiály) bolo použité rovnaké nastavenie vysielacej aj prijímacej antény (výška, rovnováha) a rovnaká vzdialenosť medzi anténami dve metre, kde vo vzdialenosti 1m medzi nimi bola umiestnená meraná vzorka. V prípade vysielacej antény bol použitý typ RF spin DRH18-E a v prípade prijímacej antény typ RS HF907. Antény je možné vidieť na obrázku 1.



Obr. 1. Známenie nastavenia použitých antén

Vo všetkých prípadoch merania boli taktiež použité rovnaké meracie prístroje a program Agilent I/O slúžiaci na automatické vykonanie merania pomocou počítača (notebooku) pre prednastavené hodnoty frekvencie, ktorý zásadnou mierou prispel nielen k urýchleniu vykonania všetkých experimentov, ale aj k presnosti dosiahnutých výsledkov merania. Ako zdroj signálu pre vysieláciu antény bol použitý generátor typu Agilent MXG Analog Signal Generator s použitím výkonu 17,88 dBm a na prijímanie a vyhodnotenie výsledkov slúžilo zariadenie typu Agilent Technologies MXE EM Receiver, ktoré bolo prepojené s prijímacou anténou a pred každým meraním bolo vykonané meranie referenčných hodnôt prenosu medzi anténami pre všetky frekvencie od 900 do 7000 MHz.

A. Materiál Sololit

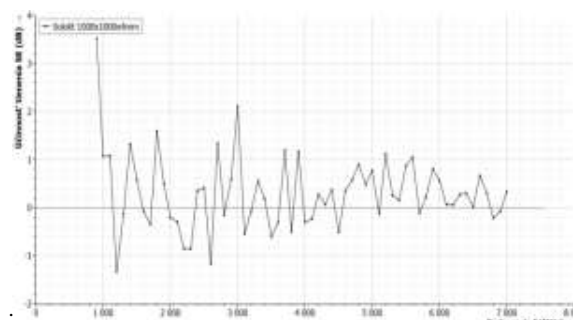
Medzi sústavu antén bola vložená drevená vzorka typu Sololit s rozmermi 1000x1000x4mm a bolo vykonané meranie. V tabuľkách sa nachádzajú špecifické frekvencie LTE, internetu a bezdrôtových zariadení doplnené o vyššie frekvencie.

TABUĽKA I

Namerané a vypočítané hodnoty z merania bez použitia tieniaceho náteru pre materiál Sololit

Frekvencia f (MHz)	Referenčná hodnota výkonu prijatého signálu (dBm)	Priemerná hodnota výkonu prijatého signálu po tienení (dBm)	Účinnosť tienenia SE (dB)
900	-13,2117	-16,7361	3,5243
1100	-13,2117	-14,2856	1,0739
1800	-15,8398	-17,4296	1,5899
1900	-16,0334	-16,5362	0,5028
2100	-17,8676	-17,5662	-0,3014
2400	-17,3782	-17,7289	0,3507
2600	-20,0195	-18,8472	-1,1723
4000	-24,6216	-24,3191	-0,3025
5000	-29,7374	-30,5096	0,7722
6000	-31,1677	-31,7274	0,5597

Veľká väčšina zistení nedosahovala vysokých hodnôt okrem frekvencie 900 MHz, kde hodnota účinnosti tienenia dosiahla 3,52 dB. V ostatných prípadoch je možné konštatovať, že samotný sololit nemá žiadne tieniace schopnosti proti prenikaniu EM poľa. Grafické znázornenie závislosti účinnosti tienenia materiálu Sololit od nárastu frekvencie je vykreslené na obrázku Obr. 2



Obr. 2 Grafická závislosť zistenej účinnosti tienenia sololitovej vzorky bez náteru od narastajúcej frekvencie f (MHz)

B. Materiál sololit s náterom HSF 74

Rovnako ako v prípade meraní čistých (nenatretých) materiálov bola použitá rovnaká sústava antén a vzdialenosť 2m medzi nimi. Namerané a vypočítané výsledky s použitím dosky sololit s týmto náterom sa nachádzajú v tabuľke 2.

TABUĽKA II

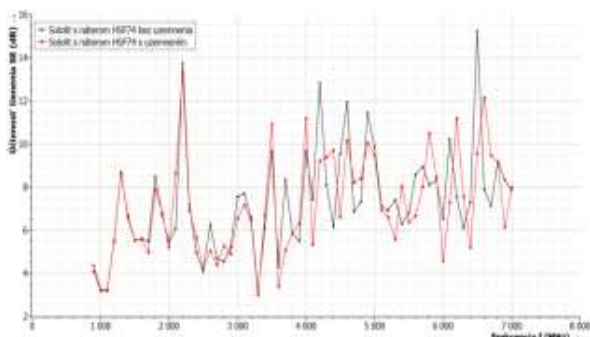
Namerané a vypočítané hodnoty z meraní účinnosti tienenia pre materiál sololit s použitím náteru HSF 74

Frekvencia f (MHz)	Účinnosť tienenia SE (dB)*	Účinnosť tienenia SE (dB)**
900	4,3479	4,0884
1100	3,2286	3,1990
1800	8,4873	7,8624
1900	6,6749	6,8049
2100	6,0763	8,6402
2400	4,9658	5,6597
2600	6,2671	5,0481
4000	9,6702	11,1778
5000	9,8250	9,4834
6000	6,5287	4,5859

* bez uzemnenia, ** s uzemnením

Zo zistených výsledkov merania je možné pozorovať postupné zvyšovanie účinnosti tienenia s narastajúcou frekvenciou avšak

rovnako ako v predchádzajúcich meraniach s určitým oscilačným charakterom, kde pri špecifických frekvenciách účinnosť tienenia značne klesne pri každom z vykonaných meraní (bez ako aj s použitím náteru). Merania boli vykonané s uzemnenou a neuzemnenou doskou, na ktorú bol aplikovaný náter. V prípade meraní bez použitého uzemnenia, ako aj s jeho využitím sa nevyskytol po následnom porovnaní značný rozdiel v náraste účinnosti tienenia. Naopak v prípade uzemnenia pri niektorých frekvenciách účinnosť tienenia klesla voči meraniu bez uzemnenia meraného objektu avšak sa dosiahla stabilnejšia závislosť účinnosti voči narastajúcej frekvencii. Najvyššie hodnoty účinnosti boli dosiahnuté bez použitia uzemnenia pri frekvenciách 2200 MHz (13,731 dB) a 6500 MHz (15,232 dB). Táto charakteristika náteru predkladá možnosť odtienenia mobilného 4G LTE internetu s použitím frekvencie 2100 MHz (z dostupných 800MHz, 1800MHz, 1900MHz a 2100MHz). Závislosť tienenia náteru HSF74 na doske sololit voči narastajúcej frekvencii je znázornená na obrázku 3.



Obr. 3 Grafická závislosť zistenej účinnosti tienenia vzorky Sololit s náterom HSF74 od narastajúcej frekvencie f (MHz)

C. Kombinácia vodivého náteru R762 a experimentálneho prášku

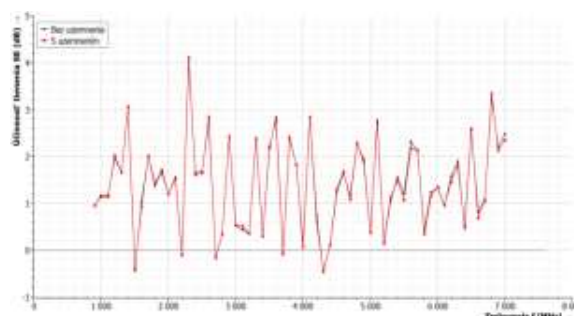
Predmetom experimentu je zistiť nakoľko vieme vylepšiť tieniace schopnosti vodivého náteru R762 pridaním experimentálneho prášku s rozdielnou hmotnosťou, vytvoreného v spolupráci s univerzitou UPJŠ v Košiciach. Vodivý náter R 762 slúži predovšetkým k docieleniu zvýšenej elektrickej vodivosti pred pokladaním vodivých podlahových krytín. V prípade vykonávania experimentu je použitý ako elektricky vodivé médium, ktoré má slúžiť k účelu kombinácie s dodatočnou prímiesou. Vodivý náter sa skladá z disperzie syntetickej živice na báze polyakrylátu.

TABUEKA III

Tabuľka hodnôt z meraní účinnosti tienenia pre materiál sololit s použitím vodivého náteru s prímiesou experimentálneho prášku 5g

Frekvencia f (MHz)	Účinnosť tienenia SE (dB)*	Účinnosť tienenia SE (dB)**
900	0,9418	0,9658
1100	1,1779	1,1470
1800	1,3823	1,4348
1900	1,6714	1,7217
2100	1,5597	1,5298
2400	1,6632	1,6124
2600	2,7714	2,8513
4000	0,1536	0,0702
5000	0,3661	0,3851
6000	1,3393	1,3586

V prípade frekvencie 2300 MHz sa dosiahla hodnota účinnosti SE až 4,029 dB pri variante bez uzemnenia a hodnota účinnosti tienenia SE až 4,112 dB pri variante s použitím uzemnenia. Najväčší rozptyl hodnôt účinnosti tienenia bol zaznamenaný v strede celkového meraného rozsahu frekvencií (od 2200 do 4300MHz) a teda v tejto frekvenčnej oblasti je citlivosť tieniaceho materiálu na zmenu frekvencie vyššia ako je to v prípade frekvencií mimo spomínanej oblasti, kde je závislosť účinnosti tienenia na použítu frekvenciu značne nižšia a teda priebeh je stabilnejší. V prípade použitia prášku s hmotnostným podielom 5g nie je možné pozorovať značné rozdiely vo výsledných hodnotách účinnosti vzhľadom na uzemnenie a teda hodnoty sú v oboch variantoch takmer totožné, avšak medzi výhody uzemnenia je stále možné zaradiť ochrannú funkciu, kedy uzemnenie spôsobuje vyrovnanie potenciálu a teda znižuje povrchové napätie, ktoré vzniká na povrchu náteru prechodom elektromagnetického žiarenia. Keďže sa zvýšením hmotnostného podielu prášku dosiahlo zlepšenie účinnosti tienenia SE, tak za účelom experimentu bol zvýšený podiel prášku vo vodivom nátere na 15g.



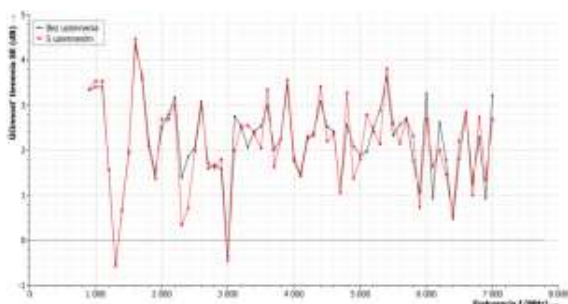
Obr. 4 Grafická závislosť zistenej účinnosti tienenia vzorky sololit s vodivým náterom a prímiesou prášku 5g od narastajúcej frekvencie f (MHz)

TABUEKA IV

Tabuľka hodnôt z meraní účinnosti tienenia pre materiál sololit s použitím vodivého náteru s prímiesou prášku 15g (* bez uzemnenia, ** s uzemnením)

Frekvencia f (MHz)	Účinnosť tienenia SE (dB)*	Účinnosť tienenia SE (dB)**
900	3,3265	3,3498
1100	3,4024	3,5298
1800	2,2118	2,0958
1900	1,4814	1,3677
2100	2,7915	2,6857
2400	1,8513	0,7165
2600	3,0768	2,9751
4000	1,7644	1,8454
5000	1,8783	1,8043
6000	3,2600	2,6855

Vykonané merania s použitím dosky sololit s kombinovaným náterom poukázali na skutočnosť, že ani značné zvýšenie testovaného prášku vo vodivom nátere nepôsobí jednoznačné zvýšenie účinnosti tienenia a teda zvýšenie tieniacej schopnosti meraného objektu. V prípade použitia hmotnostného podielu prášku 5g a 15g sa dosiahli najvyššie hodnoty v oblasti frekvencií do 3 GHz, kde pri frekvencii 1,6 GHz bola dosiahnutá najvyššia nameraná hodnota účinnosti tienenia do 4,47 dB. V porovnaní s meraným profesionálnym náterom HSF 74, vodivý náter vylepšený o prímies experimentálneho prášku nedosahoval ani približné hodnoty účinnosti tienenia.



Obr. 5 Grafická závislosť zistenej účinnosti tienenia vzorky sololít s vodivým náterom a prímiesou prášku 15g od narastajúcej frekvencie f (MHz)

D. Kombinácia vodivého náteru a feritového prášku

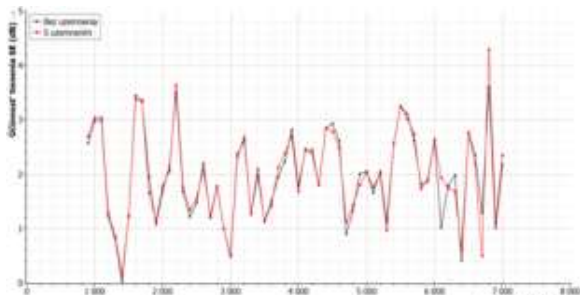
Vzhľadom skutočnosť, že ferit je možné otestovať aj na schopnosť tienenia šírenia elektromagnetických polí v kombinácii s vodivým náterom R 762 a preto na účely experimentu bolo niekoľko kusov feritových jadier rozdrvených na prášok a 15g feritového prášku bolo vmiešaných do vodivého náteru R762 a natretých na dosku sololít.

TABUĽKA V

Tabuľka hodnôt útlmu a účinnosti tienenia pre materiál sololít s použitím vodivého náteru s prímiesou feritového prášku 15g (* bez uzemnenia, ** s uzemnením)

Frekvencia f (MHz)	Účinnosť tienenia SE (dB)*	Účinnosť tienenia SE (dB)**
900	2,5674	2,6930
1100	2,9796	3,0355
1800	1,9458	1,6542
1900	1,0780	1,1459
2100	2,1444	2,0610
2400	1,2143	1,3467
2600	2,1987	2,0885
4000	1,7704	1,6849
5000	2,0542	2,0203
6000	2,6170	2,6429

Výsledky meraní dosky sololít s použitím feritového prášku poukazujú na skutočnosť, že feritový prášok vykazuje určité tieniace schopnosti porovnateľné s meraným experimentálnym práškom. Najvyššie hodnoty zistenej účinnosti tienenia boli namerané vo frekvenčnom rozsahu do 3 GHz a oblasti nad 6 GHz. Potenciál lepšieho využitia feritového prášku spočíva vo vylepšení drvenia feritových jadier na čo možno najmenejší prášok a v použití inej metódy pre kombináciu materiálov ako napríklad použitý vodivý náter, kde klasické miešanie nepredstavuje vhodnú voľbu.



Obr. 6 Grafická závislosť zistenej účinnosti tienenia vzorky sololít s vodivým náterom a prímiesou feritového prášku 15g od narastajúcej frekvencie f (MHz)

IV. ZÁVER

Z celkových dosiahnutých výsledkov meraní možností tienenia kombinovaných materiálov je možné tvrdiť, že ani jedna z možností experimentálnych náterov nedosahuje kvalít profesionálneho náteru HSF 74 použitého na rôzne druhy drevených materiálov ako je sololít (HDF).

V prípade vplyvu podielu experimentálneho prášku vo vodivom nátere je pravdepodobné, že ani ďalšie zvýšenie podielu prášku v nátere by neprineslo zvýšenie tieniacej schopnosti a teda hmotnostný podiel prášku neprispieva výraznou mierou k celkovej schopnosti prášku odčistiť elektromagnetické pole, kde ale v prípade využitia feritového prášku je možné dosiahnuť lepších hodnôt účinnosti tienenia pri vylepšení spôsobu jeho prípravy a naniesenia na materiál. V prípade aplikácie prášku je potrebné zdôrazniť, že táto bola pravdepodobne nevhodná. Pre ďalšie smerovanie výskumu by bolo vhodné, ak by vmiešavanie prášku v nátere bolo intenzívnejšie a časovo dlhohodnejšie, aby náter sa mohol lepšie zhomogenizovať.

POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla vďaka podpore projektu FEI-2017-42 : Výskum vplyvu kombinácie tieniacich a stavebných materiálov na rozloženie elektromagnetického poľa. 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.

LITERATÚRA

- [1] B. Shen, et al, „Strong flexible polymer/graphene composite films with 3D saw-tooth folding for enhanced and tunable electromagnetic shielding“ [Online]. [cit. 9.3.2017]. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008622316310089>.
- [2] Public Health. Electromagnetic fields. [Online]. [cit. 11.4.2017]. Dostupné na internete: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman
- [3] EE 299-2006 Standard, Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures, EMC Society, New York 2006, p.39
- [4] I. Kenar, et. al., „Electromagnetic Pollution Awareness Scale,“ Int J Edu Sci 2013, 5(3): 173-177(2013). Dumplupinar University Kutahya.
- [5] Lin S.Ch. a kol. Electromagnetic interference shielding performance of waterborne polyurethane composites filled with silver nanoparticles deposited on functionalized graphene. [Online]. [cit. 9.3.2017+]. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433216310716>
- [6] D. Medveď, O. Hirka, Investigation of Electromagnetic Fields in Residential Areas. In: Acta Electrotechnica et Informatica. Roč. 17, č.3 (2017), s. 48-52. - ISSN 1335-8243
- [7] F. Paulis, et. al., „Design of Homogeneous and Composite Materials From Shielding Effectiveness Specification,“ IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol.56, No.2, 2014, s.343-351, ISSN: 0018-9375K.
- [8] D. Medveď, Modeling and Measuring of Electromagnetic Field around the 22 kV Overhead Lines. In: Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky. Vol. 4, No. 6A (2016), s. 64-69. - ISSN 1338-9432.

ADRESY AUTOROV

Ján Zbojovský, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky,
Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, jan.zbojovsky@tuke.sk
Iraida Kolcunová, Technická Univerzita Košice, elektroenergetiky, Mäsiarska
74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, iraida.kolcunova@tuke.sk
Samuel Krásnohorský, Technická Univerzita Košice, elektroenergetiky,
Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika,
samuel.krasnohorsky@student.tuke.sk