

Alexander Mészáros, Ján Zbojovský, Peter Kurimský, Zoltán Lendvai

Meranie intenzity elektromagnetického poľa a určenie účinnosti tienenia vybraných materiálov pri frekvenčnom rozsahu od 500 MHz – 5 GHz

Príspevok sa venuje meraniu intenzity elektromagnetického poľa v bezodrazovej komore a hodnoteniu účinnosti tienenia vybraných materiálov, pri zvolenom frekvenčnom rozsahu.

Kľúčové slová: elektromagnetické pole, meranie, účinnosť tienenia

This paper deals with measuring of electromagnetic fields in anechoic chamber. The shielding effectiveness of some materials was calculated in frequency range from 500 MHz – 5 GHz. (**Measuring the intensity of the electromagnetic field, and determining the shielding effectiveness of selected materials for the frequency range from 500 MHz - 5 GHz**)

Keywords: electromagnetic field, measuring of electromagnetic field, shielding effectiveness

I. ÚVOD

Elektromagnetické polia sa nachádzajú všade okolo nás a vyhnúť sa ich pôsobeniu je v súčasnej dobe takmer nemožné. Priamo úmerne s časom narastá počet ich zdrojov a hustota vyžiarenej energie vzrástla miliónkrát v porovnaní s úrovňou prírodného pozadia. Preto je nevyhnutné skúmať, riešiť a analyzovať vplyv elektromagnetických polí na ich okolie.

Za zdroje elektromagnetických polí je možné považovať v podstate všetko vodivé, čím prechádza elektrický prúd ako napríklad elektrické vedenia, transformátory, rôzne elektrické spotrebiče, či elektrické inštalácie v bytoch. Každý deň sme vystavovaní pôsobeniu elektromagnetických polí z týchto zdrojov, ktoré ich generujú a všetky tieto faktory môžu negatívne vplyvať nielen na ľudský organizmus ale aj na rôzne iné elektrické zariadenia.

Využitie elektromagnetických polí má samozrejme aj svoju kladnú stránku. V súčasnosti sa stretávame s ich využívaním takmer v každej oblasti života modernej spoločnosti (telekomunikácie, zdravotníctvo, výskum a podobne) v aplikáciách, ktoré majú obrovský význam. Vzhľadom na neustále narastajúci počet zdrojov žiarenia je problematika elektromagnetických polí, konkrétne ich 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.

Bolí prijaté štandardy ohľadom expozície elektromagnetickým poliam, pričom tieto štandardy vychádzajú zo smerníc určených Medzinárodnou komisiou pre ochranu pred neionizujúcim žiarením (INCIRP). Účinky elektromagnetických polí na živé organizmy boli a aj sú predmetom mnohých výskumov [1].

Elektrické zariadenia musia spĺňať určité limity vyžarovania a musia byť tiež 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].

II. 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.

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:

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

III. TIENENIE ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA

Tienenie je možné definovať ako schopnosť materiálu brániť prenikaniu elektromagnetického poľa. V súčasnosti využívajú tienenie rôzne druhy zariadení, od mobilných telefónov, mobilných staníc, WiFi zariadení, internetu až cez rôzne lekárske zariadenia a pod.

Účinnosť tienenia SE sa vyjadří podľa [6]:

$$SE = 20 \log \frac{1}{|K_S|} = 20 \log \frac{|H_1|}{|H_2|} = 20 \log \frac{|E_1|}{|E_2|} \quad [\text{dB}] \quad (4)$$

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.

Účinnosť tienenia je možné vypočítať aj podľa nasledujúcich vzťahov v prípade, že hodnota vysielaného signálu je nastavená v logaritmickej jednotkách:

$$SE = |E_{1log}| - |E_{2log}| \text{ [dB]} \quad (5)$$

$$SE = |H_{1log}| - |H_{2log}| \text{ [dB]} \quad (6)$$

$$SE = |V_{1log}| - |V_{2log}| \text{ [dB]} \quad (7)$$

$$SE = P_{1log} - P_{2log} \text{ [dB]} \quad (8)$$

pričom V_2 predstavuje hodnotu napätia elektromagnetického poľa v určitom bode tieneného priestoru, V_1 predstavuje napätie vlny elektromagnetického poľa dopadajúceho na tieniacu bariéru alebo stenu, P_2 je výkon elektromagnetického poľa v určitom bode tieneného priestoru, P_1 je výkon elektromagnetického poľa dopadajúceho na tieniacu bariéru alebo stenu [7], [8], [9].

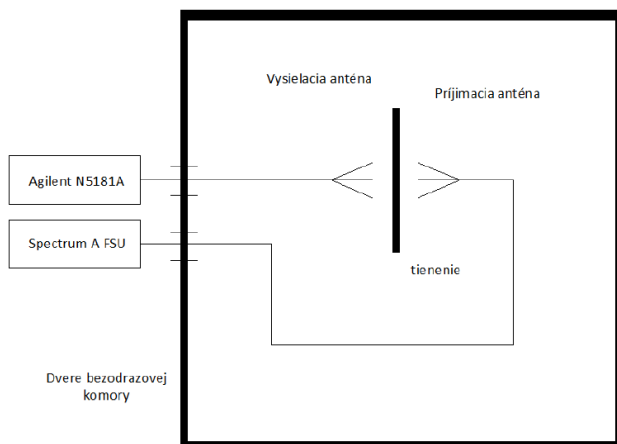
V nasledujúcej tabuľke je uvedené rozdelenie tieniacich zábran (bariér) podľa účinnosti tienenia.

Tabuľka 1
Rozdelenie tieniacich bariér podľa SE [6]

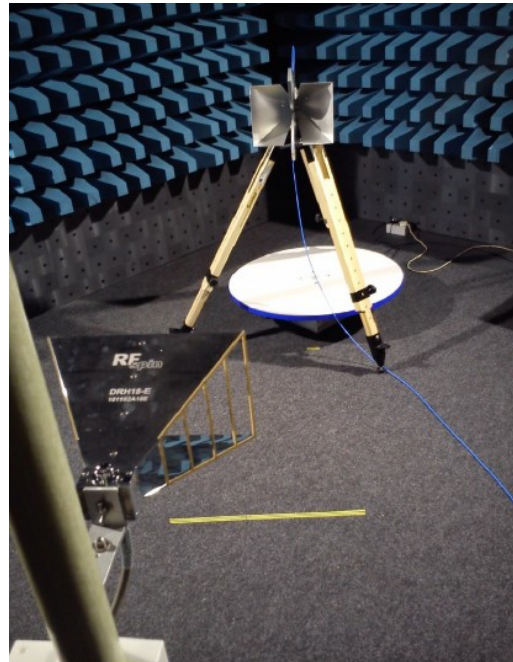
Katégoria	SE (dB)
Nedostatočné tienenie	0-10
Tienenie pre minimálne požiadavky	10-30
Tienenie dostačujúce pre väčšinu bežných požiadaviek	30-60
Veľmi dobré tienenie	60-90
Tienenie veľmi vysokej kvality	90-120

IV. REALIZÁCIA MERANIA ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA

Blokový diagram pre účely merania je zobrazený na Obr. 1 a samotné pracovisko na Obr. 2. Toto pracovisko pozostáva z generátora impulzov Agilent N5181A, spektrálneho analyzátoru Agilent N9038A MXE EMI, prijímacej antény R&S HF907 a z vysielacej antény RF Spin LPP-0230.

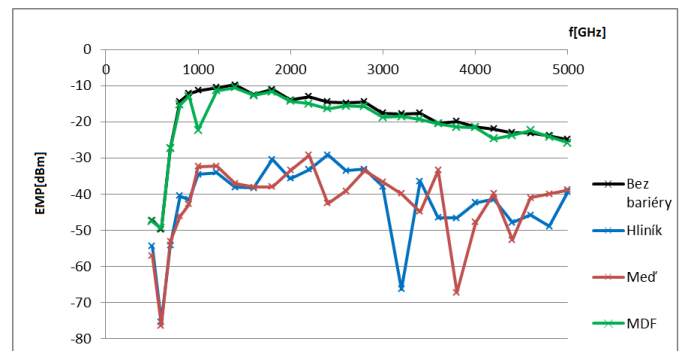


Obr. 1. Blokový diagram pre účely merania tienenia

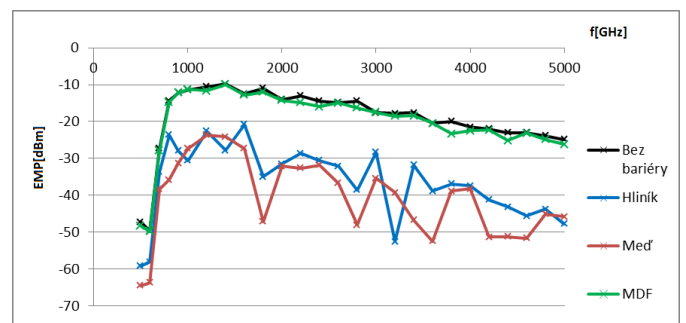


Obr. 2. Pracovisko pre účely merania

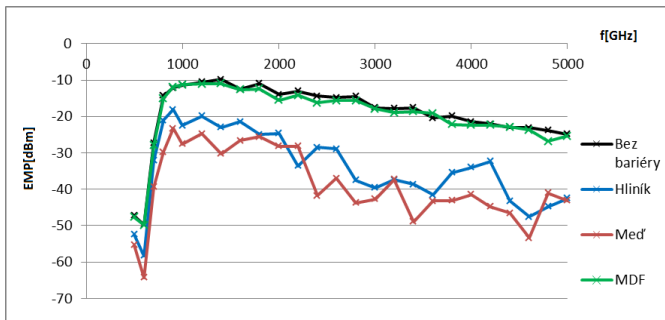
Z nameraných hodnôt sú na obrázkoch 3. až 12. znázornené závislosti tlmenia elektromagnetického poľa od zmeny frekvencie, parametrom kriviek je vplyv vybraných tieniacich materiálov. Frekvencia sa menila v rozsahu od 500 MHz do 5 GHz pričom pre jednotlivé frekvencie sa menila vzdialenosť tieniaceho materiálu od zdroja elektromagnetického poľa.



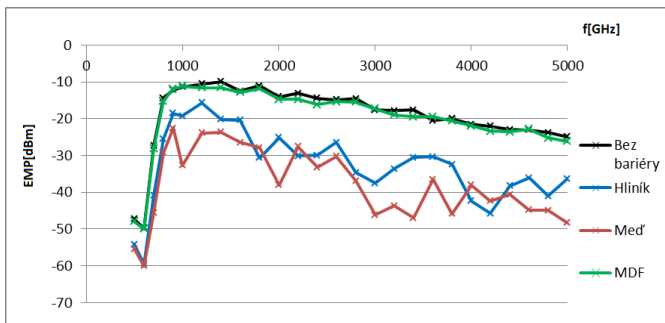
Obr. 3. Závislosť intenzity elektromagnetického poľa od frekvencie pri vzdialenosti 0cm od vysielacej antény **označenie osí?**



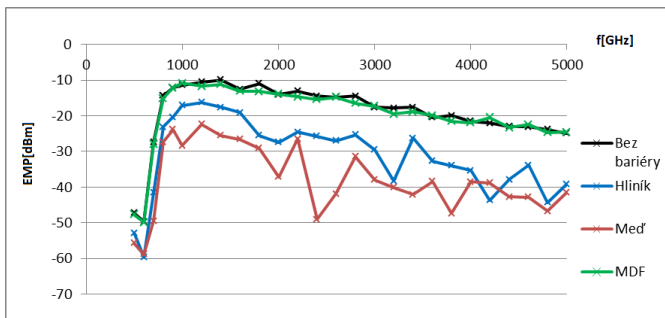
Obr. 4. Závislosť intenzity elektromagnetického poľa od frekvencie pri vzdialenosti 20cm od vysielacej antény



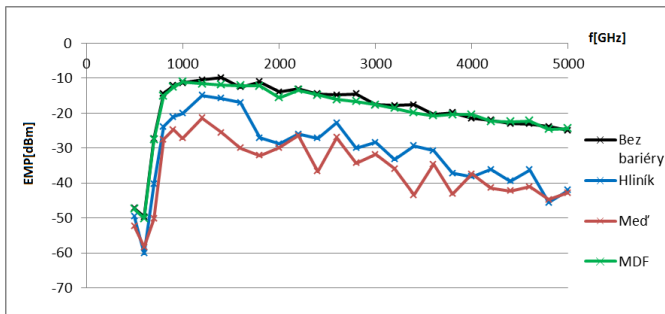
Obr. 5. Závislosť intenzity elektromagnetického poľa od frekvencie pri vzdialenosti 40cm od vysielačnej antény



Obr. 6. Závislosť intenzity elektromagnetického poľa od frekvencie pri vzdialenosti 60cm od vysielačnej antény



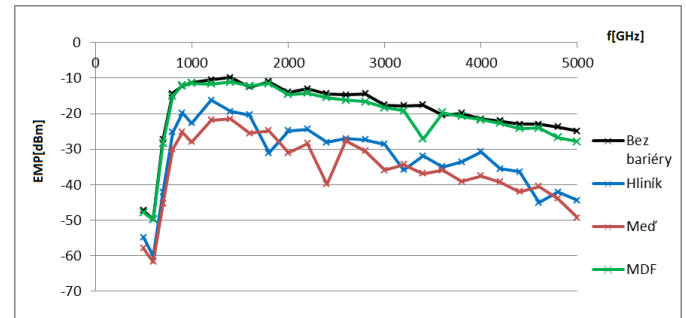
Obr. 7. Závislosť intenzity elektromagnetického poľa od frekvencie pri vzdialenosti 80cm od vysielačnej antény



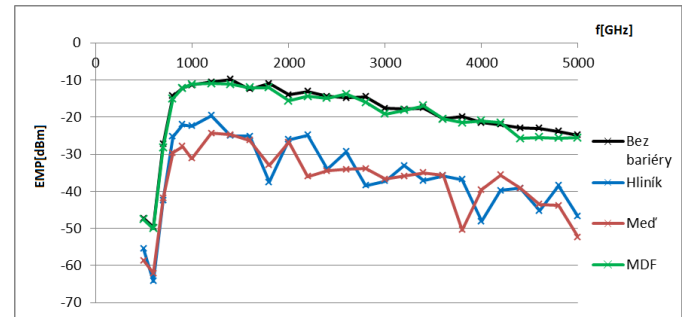
Obr. 8. Závislosť intenzity elektromagnetického poľa od frekvencie pri vzdialenosti 100cm od vysielačnej antény

Pri zvýšení vzdialenosti bariéry od vysielačnej antény, materiály už nedosiahli takú výraznú tieniacu účinnosť ako pri umiestnení bariéry v bezprostrednej blízkosti vysielačnej antény. Napriek tomu medený a hliníkový plech dosiahol v celom vysokofrekvenčnom pásme lepšie

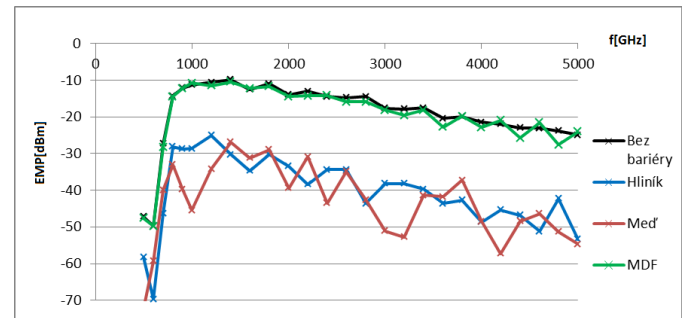
výsledky účinnosti tienenia ako MDF doska. MDF doska nedosiahla výraznú tieniacu účinnosť. Dôvodom je to, že tieniacu účinnosť materiálu závisí okrem iných od vodivosti a od permeability daného tieniaceho materiálu.



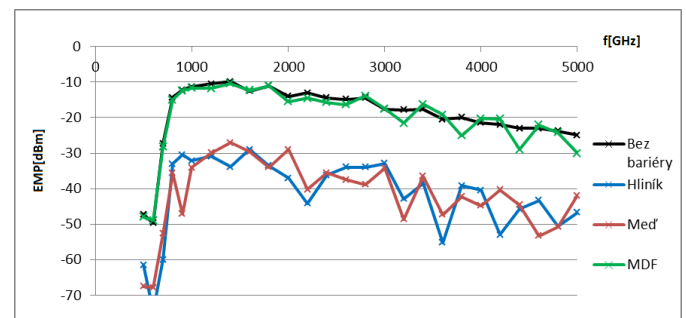
Obr. 9. Závislosť intenzity elektromagnetického poľa od frekvencie pri vzdialenosti 120cm od vysielačnej antény



Obr. 10. Závislosť intenzity elektromagnetického poľa od frekvencie pri vzdialenosti 140cm od vysielačnej antény



Obr. 11. Závislosť intenzity elektromagnetického poľa od frekvencie pri vzdialenosti 160cm od vysielačnej antény



Obr. 12. Závislosť intenzity elektromagnetického poľa od frekvencie pri vzdialenosti 180cm od vysielačnej antény

Z grafického vyhodnotenia vyplýva, že čím bližšie boli umiestnené jednotlivé materiály k vysielacej alebo k prijímacej anténe, tým lepšie výsledky účinnosti tienenia boli dosiahnuté. Najhoršiu tieniacu účinnosť dosiahli jednotlivé materiály pri vzdialenosti 100 cm od antény.

V nasledujúcej tabuľke sú uvedené vypočítané účinnosti tienenia pre jednotlivé frekvencie.

Tabuľka 2
Vypočítané hodnoty účinnosti tienenia

Frekvencia [MHz]	Účinnosť tienenia [dBm]		
	Pomedený plech	Hliníkový plech	MDF doska
500	12,419	8,013	0,514
600	13,519	14,218	0,04
700	18,317	16,068	0,728
800	18,085	12,588	0,658
900	18,701	12,691	0,069
1000	20,091	13,655	0,956
1200	15,331	10,958	0,931
1400	16,802	15,272	1,07
1600	16,269	12,112	0,032
1800	21,06	19,608	0,947
2000	18,517	15,479	0,883
2200	17,563	17,723	1,372
2400	24,419	15,95	1,07
2600	19,797	14,743	0,673
2800	22,908	19,794	1,383
3000	21,21	16,167	0,297
3200	22,949	23,308	1,315
3400	24,674	16,437	1,705
3600	19,485	18,585	0,2
3800	25,533	17,568	1,747
4000	19,71	18,259	0,165
4200	21,079	19,398	0,077
4400	22,055	18,817	1,617
4600	22,78	19,921	0,063
4800	21,433	20,373	1,64
5000	20,988	18,926	1,114

Pre každú frekvenciu boli vypočítané účinnosti tienenia pri určitých vzdialenostiach (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160 a 180 cm od vysielacej antény) a následne z výsledkov účinnosti tienenia bol vypočítaný aritmetický priemer účinnosti tienenia pre jednotlivé materiály..

V. ZÁVER

Uvedený príspevok je venovaný meraniu intenzity elektromagnetického poľa v bezdrazovej komore a hodnoteniu účinnosti tienenia materiálov typu MDF doska, pomedený plech a hliníkový plech. Účinnosť tienenia jednotlivých materiálov jednoznačne súvisí s frekvenciou poľa. Najvyššie hodnoty účinnosti tienenia dosahuje pomedený plech a najnižšie hodnoty dosahuje MDF doska. Z výsledkov je možné konštatovať, že med' dosahuje najvyššiu tieniacu účinnosť s pomedzi uvedených frekvencií pri 3800MHz. Hliníkový plech dosahuje maximálnu účinnosť tienenia pri frekvencii 3200MHz. MDF doska v celom frekvenčnom pásme dosahuje výrazne nižšie hodnoty účinnosti tienenia ako pomedený plech alebo hliníkový

plech, pretože tieniaca účinnosť materiálov závisí hlavne od vodivosti a permeability daného tieniaceho materiálu. Najvyššiu tieniacu účinnosť dosiahla MDF doska pri frekvencii 1000MHz.

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.

LITERATÚRA

- [1] P. Vecchia, et al, Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100kHz to 300GHz). INCIRP 16/2009
- [2] J. Kurimský, B. Dolník, M. Kolcun, "Unipolar characteristics of ZnO ceramics", Journal of Electrostatics. Roč. 71, č. 3 (2013), p. 418-421., ISSN 0304-3886.
- [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, Journal of Electrostatics, Volume 71, Issue 3, June 2013, ISSN 0304-3886, Pages 467-470.
- [4] B. Dolník, Elektromagnetické rušenie - vyžarovanie harmonických prúdov jednofázových zariadení, In: EE časopis. Roč. 11, č. 1 (2005), s. 22-24. - ISSN 13352547
- [5] Vyhláška ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky, Zbierka zákonov č. 534/2007
- [6] S. Celozzi, R. Araneo, G. Lovat, Electromagnetic Shielding, Electrical Engineering Department La Sapienza University Rome, Italy, IEEE Press.
- [7] IEEE 299-2006 Standard, Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures, EMC Society, New York 2006, p.39.
- [8] E. Ůnal, A. Gökçen, Y. Kutlu, Effective Electromagnetic Shielding, IEEE Microwave magazine, 1527-3342, 2006, s. 48 – 54.
- [9] A. Rusiecki, Calculation and measurement of shielding effectiveness of slotted enclosure with built-in conductive stirrer, Przeglad Elektrotechniczny (Electrical Review), R. 88 (2012), nr. 5a, 263-266
- [10] Z. Lendvai, " Vplyv nehomogénnych materiálov na šírenie elektromagnetických polí: Diplomová práca", Košice: TU FEI, 2013. 51 s.

ADRESY AUTOROV

doc. Ing. Alexander Mészáros, PhD., Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Másiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, alexander.meszaros@tuke.sk
 Ing. Ján Zbojovský, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Másiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, jan.zbojovsky@tuke.sk
 Ing. Peter kurimský, PCC Slovakia s.r.o. Košice, Slovenská Republika pkurimsky@pccslovakia.sk
 Bc. Zoltán Lendvai Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Másiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, zoltan.lendvai@student.tuke.sk