

Taras Kapraľ, Irida Kolcunová, Marek Pavlík, Bystrík Dolník

Porovnanie manuálneho a automatizovaného merania účinnosti tienenia elektromagnetického poľa

V posledných rokoch tohto tisícročia sa verejnosť čoraz viac zaujíma o vplyv elektromagnetického poľa na zdravie človeka. Množstvo zdrojov elektromagnetického žiarenia neustále narastá. Preto sa otvára otázka ako sa tomuto žiareniu brániť. Účinnosť tienenia elektromagnetického poľa je charakteristickým znakom kvality tieniaceho materiálu. Tento príspevok je zameraný na meranie účinnosti tienenia elektromagnetického poľa. Zároveň popisuje vytvorený softvér pre účely tohto merania. V závere sa príspevok venuje porovnaniu manuálneho a automatizovaného spôsobu merania z pohľadu presnosti nameraných dát a z pohľadu doby merania.

Kľúčové slová: automatizácia merania, účinnosť tienenia, elektromagnetické pole

In recent years of the millennium, the public are increasingly interested about the impact of electromagnetic field on human health. The number of electromagnetic radiation sources is steadily increasing. Therefore it raises the question as to electromagnetic radiation defend. Shielding effectiveness of the electromagnetic field is characteristic of the quality of the shielding material. This article is focused on the measuring of shielding effectiveness measuring of electromagnetic fields. It also describes the created software for the purpose of this measurement. At the end of article is comparison of manual and automated method for measuring in terms of accuracy measurement data and time of measuring. **(Comparison of manual and automated measurement of electromagnetic field shielding effectiveness)**

Keywords: automation of measurement, shielding effectiveness, electromagnetic field

I. ÚVOD

Donedávna bolo nebezpečné, z pohľadu vplyvu elektromagnetického poľa na človeka zväčša vonkajšie pracovné prostredie. V súčasnosti je už aj vo vnútornom prostredí značné množstvo zariadení vyžarujúcich elektromagnetické pole. V posledných desaťročiach bol zaznamenaný enormný nárast bezdrôtových technológií, ktoré sú v súčasnosti práve tou najväčšou skupinou zdrojov elektromagnetického poľa. Približne dve tretiny času trávia ľudia v budovách, či už pracovne, alebo len oddychujú. Je potrebné si uvedomiť, že nebezpečné prostredie z hľadiska vplyvu elektromagnetického poľa na človeka nie je už len vonkajšie, ale aj vnútorné.

II. ÚČINKY ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA

Elektromagnetické polia (EMP) je možné rozdeliť na neionizujúce a ionizujúce. Ich deliaca frekvencia je 3.10^{15} Hz. Ionizujúcimi účinkami EMP sa v tejto práci nebudeme zaoberať nakoľko ide o veľmi obsírnú problematiku. Neionizujúce účinky EM polí môžeme rozdeliť na tepelné a netepelné. Tepelné účinky (hypertermia) sú závislé od frekvencie. So zvyšujúcou sa frekvenciou sa zvyšujú tepelné účinky na organizmus. Pri vysokých frekvenciách preto môže dochádzať k tepelnému preťažovaniu orgánov. Táto vlastnosť elektromagnetického vlnenia sa využíva pri ohreve jedla v mikrovlnných rúrach. Netepelné účinky sú charakterizované prevažne ich indukčným vplyvom pri dlhodobom ožarovaní malým výkonom. Má to vplyv najmä na nervovú sústavu, kde sa menia biologické vlastnosti bunkových membrán [1].

V dnešnej dobe sa vplyvu neionizujúceho elektromagnetického (EM) žiarenia venujú najmä Svetová zdravotnícka organizácia (WHO) a Medzinárodná komisia pre ochranu pred neionizujúcim žiarením (ICNIRP). Podľa hodnotení svetovej zdravotníckej organizácie

doteraz nebola zistená priama korelácia medzi vysokofrekvenčnými EM žiaričmi a zdravotnými problémami obyvateľstva. V rámci niekoľkých výskumov, ktoré skúmali výskyt zhubných nádorov v určitej geografickej oblasti, nebolo dokázané, že ochorenia mali spoločný pôvod, keďže ich symptómy a priebeh sa výrazne líšili. S určitosťou však je možné povedať, že EM vlnenie, najmä z mobilných telefónov, má tepelné účinky na ľudský organizmus. Najviac sa to prejavuje pri telefonovaní, kde je možné infračervenou kamerou sledovať ohrev časti hlavy, ktorá je najbližšie k mobilnému telefónu [1][2].

Aj keď priame účinky zariadení, ako je bezdrôtový (WiFi) smerovač, Bluetooth vysielače mobilných telefónov a im podobných zariadení využívajúcich vysoké frekvencie neboli dokázané, je prirodzené chrániť sa proti ich účinkom. Jedným z dôvodov je aj fakt, že týchto zariadení v prostredí človeka je väčšinou viacero a ich počet sa stále zvyšuje. Človek pracuje v prostredí, kde prudko narastá úroveň elektromagnetického smogu. Už aj prehustená sieť elektrických rozvodov v miestnosti môže zvyšovať hodnoty elektromagnetického poľa, najmä intenzity elektrického poľa E .

Pri zariadeniach, ktorých účelom nie je šíriť EM vlnenie pre potreby prenosu dát, ale ide skôr o vedľajšie prejavy, je možné zvoliť vhodný materiál krytia, čo zníži úroveň vyžarovania do prostredia. Rovnako je možné využiť tienenie aj pri zariadeniach, ktorých primárnou úlohou je šíriť informácie prostredníctvom EM vln a síce tým, že sa zamedzí prístupu EM vln tak, kde to nie je potrebné, niekedy dokonca až vysoko nežiaduce.

Dôležité je taktiež poznamenať, že tieniť EM polia je potrebné aj v miestach, kde pracujú elektronické zariadenia, ktorých presnosť a správna funkcia môže byť znížená v značnej miere najmä kvôli pôsobeniu týchto „parazitných“ EM polí. Na to, aby sa zaistili isté štandardy prevádzky žiaričov, slúži elektromagnetická kompatibilita EMC, ktorá je definovaná, ako „schopnosť zariadenia alebo systému uspokojivo fungovať v danom elektromagnetickom prostredí bez

vytvárania neprípustného elektromagnetického rušenia pre čokoľvek v tomto prostredí“ [3].

III. TIENENIE ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA

Charakteristickou veličinou, ktorá pojednáva o tieniacom účinku voči elektromagnetickému poľu je účinnosť tienenia SE . Na základe hodnoty účinnosti tienenia sa tieniace materiály kategorizujú. V Tabuľke I je zobrazená kategorizácia tieniacich materiálov na základe hodnoty SE .

TABUĽKA I
Kategorizácia materiálov na základe hodnoty SE [3]

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
Vysokokvalitné tienenie	90-120

Účinnosť tienenia je možné definovať na základe vzťahu[4][5]:

$$SE = 20 \cdot \log \frac{|H_1|}{|H_2|} = 20 \cdot \log \frac{|E_1|}{|E_2|} \text{ [dB]} \quad (3)$$

Kde E_2 je intenzita elektrického poľa v určitom bode tieneného priestoru, E_1 je intenzita elektrického poľa dopadajúceho na tieniacu bariéru alebo stenu, H_2 je intenzita magnetického poľa v určitom bode tieneného priestoru, H_1 je intenzita magnetického poľa dopadajúceho na tieniacu bariéru alebo stenu. Účinnosť tienenia je možné vypočítať aj podľa vzťahov (4-7) v prípade, že hodnota vysielaného signálu je nastavená v logaritmickej jednotkách.

$$SE = |E_1| - |E_2| \text{ [dB]} \quad (4)$$

$$SE = |H_1| - |H_2| \text{ [dB]} \quad (5)$$

$$SE = |V_1| - |V_2| \text{ [dB]} \quad (6)$$

$$SE = P_1 - P_2 \text{ [dB]} \quad (7)$$

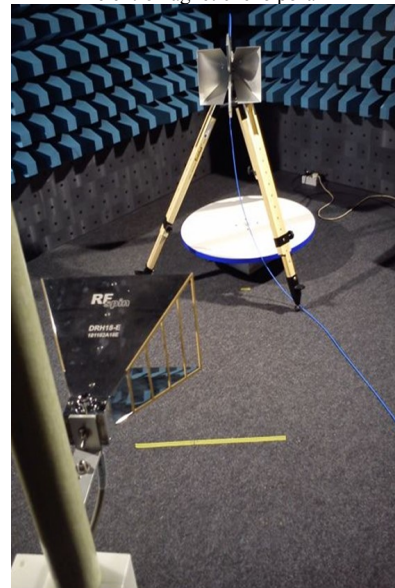
pričom V_2 je napätie vlny elektromagnetického poľa v určitom bode tieneného priestoru, V_1 je napätie vlny elektromagnetického poľa dopadajúceho na tieniacu bariéru alebo stenu, P_2 je výkon elektromagnetického poľa v určitom bode tieneného priestoru, P_1 je výkon elektromagnetického poľa dopadajúceho na tieniacu bariéru alebo stenu.

IV. AUTOMATIZÁCIA MERANIA ÚČINNOSTI TIENENIA ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA

Pracovisko pre účely merania účinnosti tienenia elektromagnetického poľa je zobrazené na Obr.1 a Obr.2. Pracovisko tvorí vonkajšia a vnútorná časť. Vonkajšiu časť meracieho pracoviska tvorí notebook, generátor impulzov Agilent N5181A a spektrálny analyzátor Agilent N9038A MXE EMI. Vnútrnú časť tvoria antény RF spin DRH18-E a R&S HF907. Vnútrná časť je od vonkajšej oddelená bezodrazovou komorou. Tieniaci materiál je umiestnený vo vnútri komory medzi anténami, pričom jedna z antén je vysielacia (pripojená ku generátoru impulzov) a druhá je prijímacia (pripojená ku spektrálnemu analyzátoru).



Obr. 1. Vonkajšia časť pracoviska pre účely merania účinnosti tienenia elektromagnetického poľa



Obr. 2. Vnútrná časť pracoviska pre účely merania účinnosti tienenia elektromagnetického poľa

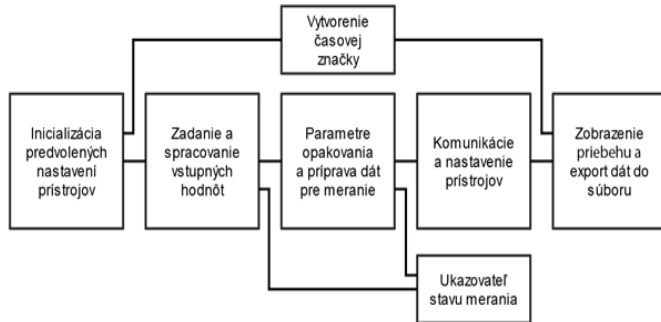
Meranie účinnosti tienenia prebieha v dvoch krokoch. Prvým krokom je meranie elektromagnetického poľa bez tienenia a druhým krokom je meranie elektromagnetického poľa s tienením. Na základe vzťahu (7) sa vypočíta účinnosť tienenia SE . Pre urýchlenie procesu merania SE bol vytvorený softvér, ktorý zautomatizoval toto meranie. Tento softvér bol vytvorená tak, aby nebola potrebná žiadna manuálna činnosť človeka, okrem výmeny tieniaceho materiálu a zapnutia merania.

Automatizácia merania SE bola vytvorená v prostredí programu Keysight VEE od spoločnosti HP. Technické riešenie automatizovaného merania je založené na jednoduchej myšlienke ovládania obidvoch prístrojov zúčastňujúcich sa na meraní. V princípe je potrebné opakovať tú istú manuálnu činnosť v slučke, ktorá najskôr pošle riadiace inštrukcie na generátor impulzov a potom inštrukcie súvisiace s meraním vysielaného signálu na spektrálny analyzátor. Základným stavebným prvkom každého programu je blok reprezentujúci konkrétne fyzické zariadenie, operáciu, funkciu, premennú a podobne. Každý blok je schopný interakcie s prostredím, a teda ostatnými blokmi pomocou kontaktov (pinov) zo všetkých jeho štyroch strán (Obr. 3). Každá strana bloku predstavuje iný typ interakcie. Z ľavej strany sú privedené vstupné dáta do bloku, pravá strana umožňuje výstup blokom spracovaných dát. Presné fungovanie automatizovaného merania je možné analyzovať na vývojovej verzii programu v programe Keysight VEE. Tento rozbor poskytuje skôr vysvetlenie logiky fungovania a prepojenia jednotlivých blokov. Pre zreteľnejšie pochopenie fungovania bola vytvorená logická schéma

(Obr. 4) rozdeľujúca program do funkčných celkov podľa ich funkcie a krokov, ktoré vykonávajú. Program sa vykonáva zľava – doprava.



Obr. 3. Popis kontaktov bloku vo vývojom prostredí Keysight VEE



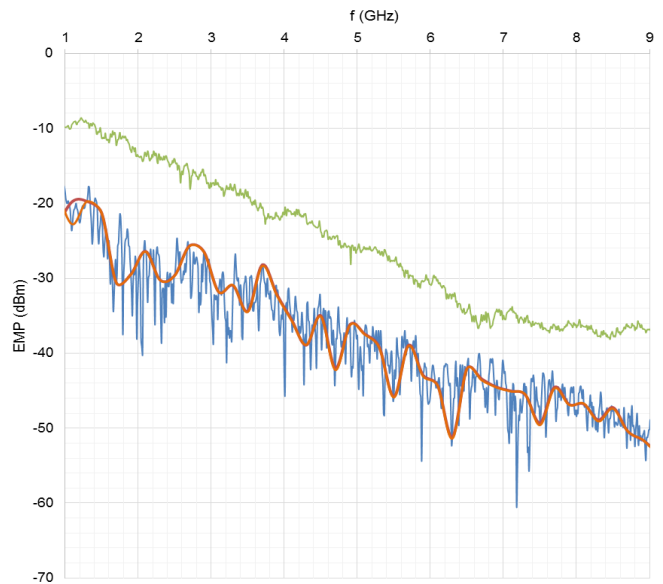
Obr. 4. Logická schéma automatizovaného merania

V. POROVNANIE AUTOMATIZOVANÉHO A MANUÁLNEHO MERANIA ÚČINNOSTI TIENENIA

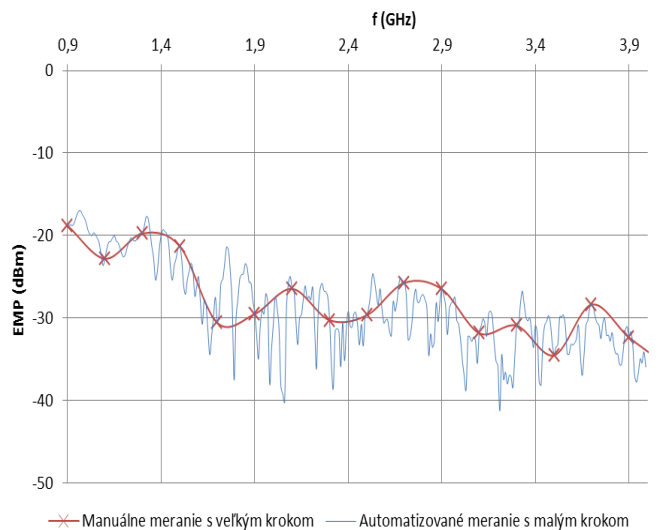
Pre porovnanie manuálneho a automatizovaného merania účinnosti tienenia bol zvolený ako tieniaci materiál doska cuprexit. Meranie prebiehalo vo frekvenčnej oblasti od 1 GHz do 9 GHz. Pre porovnanie bolo vykonané meranie automatické aj manuálne.

Porovnanie výsledkov je zobrazené na Obr.4, kde je zobrazená závislosť elektromagnetického poľa na frekvencii, pre manuálny a automatizovaný spôsob merania. Zelená krivka predstavuje priebeh elektromagnetického poľa bez bariéry. Modrá krivka predstavuje priebeh elektromagnetického poľa s bariérou v prípade automatizovaného merania a oranžová krivka predstavuje priebeh elektromagnetického poľa s bariérou v prípade manuálneho merania. Pre lepšiu predstavu, na Obr.5 je zobrazený detail z výsledkov prezentujúcich na Obr.4. Obr.5 poukazuje na to, že aj v prípade automatizovaného merania aj manuálneho merania sa krivky pretínajú v tých istých bodoch. Rozdiel je len v tom, že pri manuálnom meraní bolo podstatne menej meracích bodov a preto krivka manuálneho merania (oranžová krivka) nekopíruje krivku automatizovaného merania (modrá krivka).

Z časového hľadiska je možné vidieť (Tabuľka II), že automatizované meranie vykonalo meranie omnoho rýchlejšie. Meranie manuálnym spôsobom trvalo približne 60 minút, pričom automatizované meranie pri tých istých podmienkach vykonalo meranie za 2 minúty. Čas automatizovaného merania závisí od počtu bodov, no v každom prípade automatizované meranie prebehne podstatne rýchlejšie. Navyše, ak je program navrhnutý správne, vylučuje sa aj chyba ľudského faktora. Pravdepodobnosť chyby ľudského faktora je vysoká, keďže počas merania sa dookola opakujú jednotlivé kroky: nastavenie frekvencie na generátore impulzov, nastavenie rozsahu na spektrálnom analyzátoře, odčítanie hodnoty pri sledovanej frekvencii.



Obr. 4. Závislosť intenzity elektromagnetického poľa pre frekvenčné pásmo od 1 GHz do 9 GHz pre manuálny a automatizovaný spôsob merania



Obr. 5. Závislosť intenzity elektromagnetického poľa od frekvencie – ukážka pre porovnanie manuálneho a automatizovaného spôsobu merania

TABUĽKA II

Porovnanie dĺžky merania v prípade manuálneho a automatizovaného merania

Počet bodov merania	Manuálne meranie (min)	Automatizované meranie (min)
80	60	2
2400	1800 (30 hod)	60
10 000	6400 (5 dní)	240

VI. ZÁVER

Tento príspevok pojednáva o meraní účinnosti tienenia elektromagnetického poľa SE. V príspevku je taktiež porovnávané manuálne a automatizované meranie účinnosti tienenia SE. Z výsledkov vyplýva, že rozdiely v meraní nenastali, avšak výrazne sa skrátilo trvanie merania – manuálne meranie trvalo približne 30-krát taký čas ako automatizované meranie. Meraným objektom bola doska cuprexit a sledovaný frekvenčný rozsah od 1 GHz do 9 GHz. Tento

softvér bol vytvorená v prostredí programu Keysight VEE od spoločnosti HP.

Z výsledkov merania je možné usúdiť, že navrhnutý softvér je vhodná pre meranie účinnosti tienenia. Softvér je navrhnutý komplexne a preto je možné v ňom nastaviť akýkoľvek frekvenčný rozsah, akýkoľvek frekvenčný krok a tiež oneskorenie prepínania medzi dvoma krokmi. Hlavným prínosom navrhovaného softvéru je podstatné skrátenie doby merania, pričom presnosť zostala rovnaká. Zároveň sa vylučujú chyby spôsobené manipuláciou a nepravým odčítaním hodnôt na prístrojoch.

V budúcnosti by bolo vhodné preprogramovať softvér tak, aby zopakoval celé meranie koľkokrát je potrebné. V súčasnosti ak je potrebné meranie opakovať, musí sa program zakaždým znova nastaviť.

POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla na základe podpory vedeckej grantovej agentúry VEGA MŠVVaŠ SR a SAV č. projektu 1/0132/15 Výskum prieniku vysokofrekvenčného elektromagnetického poľa cez stavebné ekologické materiály.

LITERATÚRA

- [1] J.C. Lin, "Children's cognitive function and cell-phone electromagnetic fields, Antennas and Propagation Magazine," IEEE , Chicago, IL, USA, 2005. vol.47, no.6, 118-120s., ISSN 1045-9243.

- [2] S. Sivani, and D. Sudarsanam, "Impacts of radio-frequency electromagnetic field (RF-EMF) from cell phone towers and wireless devices on biosystem and ecosystem – a review," In: *Biology and Medicine*, 4 (4), s. 202–216, 2012, ISSN 0974-8369.
- [3] 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), 78s, 2012, E-ISBN : 978-0-7381-7285-9.
- [4] L. Ping, Ch. Gui, and L. Yun-Liang, Effects of reinforced concrete walls on transmission of EM wave in WLAN, Proceedings of the ICMMT 2008, International Conference on Microwave and Milimeter wave Technology, Vol.2 (2008), 519-522
- [5] IEEE Standart, Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures, EMC Society, New York 2006, p.39.

ADRESY AUTOROV

Taras Kapraľ, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, taras@kapral.sk
 Irida Kolcunová, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, Irida.Kolcunova@tuke.sk
 Marek Pavlík, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, Marek.Pavlik@tuke.sk
 Bystrík Dolník, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, Bystrik.Dolnik@tuke.sk