

Marek Pavlík, Dušan Medveď, Martin Kanálik, Ján Zbojovský, Peter Kurimský

Meranie tieniacej schopnosti proti elektromagnetickému poľu materiálu betón

Predkladaný príspevok sa zaoberá výskumom v oblasti tieniacej schopnosti stavebného objektu. Skúmaným materiálom bola betónová stena, ktorú je možné považovať za stavebný materiál. Hrúbka betónovej steny bola 15 cm. Výskum bol zameraný na meranie tieniacej schopnosti betónu vo frekvenčnej oblasti od 1 GHz do 9 GHz. V tomto frekvenčnom pásme sú obsiahnuté všetky moderné frekvencie – „mobilné aj wifi frekvencie“. Na meranie bola použitá porovnávacia metóda podľa IEEE 299-2006. Celý výskum prebiehal v bezodrazovej komore kvôli zamedzeniu vonkajším vplyvom. Z výsledkom vyplýva, že so zvyšujúcou sa frekvenciou rastie tieniaca schopnosť materiálu betón.

Kľúčové slová: účinnosť tienenia, elektromagnetické pole, tienenie

The submitted contribution deals with research in the field of shadow building capability. The material studied was a concrete wall, which can be regarded as a building material. The thickness of the concrete wall was 15 cm. Research was focused on measuring the shielding ability of concrete in the frequency range from 1 GHz to 9 GHz. In this frequency band are included all the modern frequencies - "mobile and wifi frequencies". The comparison method according to IEEE 299-2006 was used for the measurement. The whole research was conducted in non-reflection chamber to prevent external influences. As a result, the shading capacity of concrete increases with an increasing frequency. **(Measurement of shielding ability against electromagnetic field of concrete)**

Keywords: shielding effectiveness, electromagnetic field, shielding

I. ÚVOD

V posledných rokoch viedol dynamický rozvoj techniky k nesmiernemu nárastu umelého elektromagnetického žiarenia a spôsobil tak elektromagnetické znečistenie životného prostredia, ktoré môže bez problémov konkurovať všetkým jeho ostatným formám. Súčasné znečistenie prostredia elektromagnetickým žiarením podľa poznatkov mnohých vedcov spôsobuje nielen závažné biochemické zmeny a trvalý stres centrálného nervového systému, ale aj poruchy mozgovej činnosti či iné psychické vady. Mimoriadne jemné, telom vytvárané elektrické a magnetické prúdy a signál, s ktorými pracuje mozog a nervový systém, sú pre elektromagnetické znečisťovanie životného prostredia prekryvané, narušované a chybné riadené [1][2].

Elektromagnetické vlnenie alebo elektromagnetická vlna je lokálne vzniknutá zmena elektromagnetického poľa, periodický dej, pri ktorom dochádza k priestorovej a časovej zmene vektora intenzity elektrického poľa a súčasne vektora magnetickej indukcie. V praxi sa vyskytuje nielen pri prenose rozhlasového či televízneho signálu, ale aj vo forme svetla. Zdrojom elektromagnetického vlnenia je kmitajúci elektromagnetický oscilátor. Jeho vlastnosti môže mať určité elektronické zariadenie, ale vlastnosti oscilátora má aj elektrická iskra alebo atóm látky [2][3].

II. ELEKTROMAGNETICKÉ POLE A JEHO ÚČINKY

Elektromagnetické vlnenie alebo elektromagnetická vlna je lokálne vzniknutá zmena elektromagnetického poľa, periodický dej, pri ktorom dochádza k priestorovej a časovej zmene vektora intenzity elektrického poľa a súčasne vektora magnetickej indukcie. V praxi sa vyskytuje nielen pri prenose rozhlasového či televízneho signálu, ale aj vo forme svetla. Zdrojom elektromagnetického vlnenia je kmitajúci elektromagnetický oscilátor. Jeho vlastnosti môže mať určité

elektronické zariadenie, ale vlastnosti oscilátora má aj elektrická iskra alebo atóm látky.

Len veľmi úzka časť elektromagnetického spektra je dostupná nášmu zraku zložky EM vln elektrické a magnetické zložky sú všade okolo nás, ktoré nie je možné voľným okom vidieť, ani cítiť, ale môžu na človeka pôsobiť. Účinky daných interakcií môžu byť u každého iné, avšak citliví ľudia sa sťažujú na nasledovné symptómy: bolesť hlavy, vysoký krvný tlak, pocit ospalosti a nevoľnosti, búšenie srdca, dráždivosť v očiach, mierne chvenie v končatinách atď. Rôzne zdroje EMP a elektromagnetické (EM) vln, vrátane tých ktoré nepresahujú stanovené povolené hranice môžu viesť k potenciálnym biologickým škodlivým efektom a môžu mať negatívne vplyvy na organizmus, predovšetkým na mozgovú a nervovú sústavu, ktoré sú riadene a pracujú v tele pomocou elektromagnetických signálov veľmi nízkej intenzity. Dané komunikačné systémy môžu byť poškodené a stresované práve vygenerovaním EMP okolitých elektrických zariadeniach, vedeniach a spotrebičov [2].

Okrem týchto symptómov nežiaduce umelo vytvorené EMP vážne môžu narušiť aj komunikáciu a diferenciáciu buniek ako aj syntézu bielkovín. Nežiaduce EMP môže poškodzovať funkciu regulačných obvodov ľudského organizmu, a tým pádom môže viesť k blokovaniu energie podobne ako poškodzuje hospodárenie s energiou. Dlhodobou poškodzuje imunitný systém, a tým pripravuje živnú pôdu pre akútne chronické ochorenia. Jednotlivé zložky EMP okolo nás je možné zmerať s citlivým a vhodným prístrojom.

III. OCHRANA PRE ÚČINKAMI ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA

Pre účinkami elektromagnetického poľa je možné sa brániť dvojakým spôsobom. Alebo sa zamerať na zníženie intenzity elektromagnetického poľa, alebo na zvýšenie ochrany proti nemu. V životnom prostredí sa zväčša nachádzajú zdroje

elektromagnetického poľa, ktorých intenzitu človek nedokáže ovplyvniť – wifi vysielacie, mobilné telefóny a pod. Preto do úvahy pripadá druhá možnosť - zvýšenie ochrany proti účinkom elektromagnetického poľa [1][3].

Aj keď priame účinky zariadení, ako je bezdrôtový (wifi) smerovač, bluetooth vysielacie mobilných telefónov a im podobných zariadení využívajúcich vysoké frekvencie neboli dokázané, je prirodzené chrániť sa proti týmto účinkom. Jedným z dôvodov je aj fakt, že väčšinou je týchto zariadení stále viac a ich počet sa zvyšuje. Pracuje sa v prostredí, kde prudko narastá úroveň elektromagnetického (EM) 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 sa môže využiť tienenie aj pri zariadeniach, ktorých primárnou úlohou je šíriť informácie prostredníctvom EM vln a síce tým, že sa zamedzí tomu, aby sa vlnenie dostávalo do priestorov, kde to nie je potrebné, niekedy dokonca až vysoko nežiaduce [5][6].

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. Nato, 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“. Systémy a zariadenia majú byť elektromagneticky kompatibilné a musia spĺňať nasledovné kritéria:[2]

- nezapríčiňujú interferenciu z ostatnými zariadeniami a systémami
- nie sú citlivé na elektromagnetické emisie iných zariadení a systémov
- nespôsobujú interferenciu samých so sebou

Schopnosť zariadení odolávať rušivým vonkajším vplyvom sa môže nazývať aj EMS. Je to v podstate ten istý proces chránenia, ibaže sa nechráni prostredie od objektu, ale objekt od prostredia. Častejšie sa však využíva pojem EMC pre obidva typy pôsobenia, resp. krytia.

Ukazovateľom tieniacej schopnosti materiálu, krytu popri prípade stavebného materiálu je účinnosť tienenia SE . Tab.1 zobrazuje kategórie tieniacich materiálov a k tomu prislúchajúcu účinnosť tienenia elektromagnetického poľa.

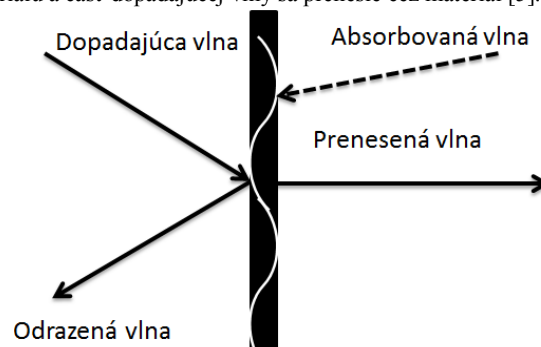
TABULKA I

Kategorizácia tieniacich materiálov z pohľadu účinnosti tienenia

Kategória	SE (dB)
Nedostatočné tienenie	0-10
Tienenie pre minimálne požiadavky	10-30
Tienenie dostačujúce pre väčšinu bežných požiadavkou	30-60
Veľmi dobré tienenie	60-90
Vysoko kvalitné tienenie	90-120

IV. ROZBOR URČENIA ÚČINNOSTI TIENENIA

Účinnosť tienenia je definovaná ako súčet odrazu a absorpcie elektromagnetického poľa. Pri dopade elektromagnetickej vlny (Obr.1) sa časť dopadajúcej vlny odrazí, časť sa absorbuje vo vnútri materiálu a časť dopadajúcej vlny sa preniesie cez materiál [5].



Obr. 1. Dopad elektromagnetickej vlny na materiál
Účinnosť tienenia SE je teda definovaná vzťahom (1):[4][5]

$$SE = 20 \log \frac{E_{dop}}{E_{pr}} \quad (1)$$

pričom E_{dop} je energia dopadajúcej vlny elektromagnetického poľa a E_{pr} je energia prenesenej vlny elektromagnetického poľa.

Pri určení SE je možné použiť meraciu porovnávaciu metódu popísanú v IEEE Standarde 299-2006. Meracie pracovisko pozostávalo z nasledovných komponentov:

- Signálový generátor Aligent N518A
- Sprektrálny analyzátor Agilent N9038A MXE EMI
- Vysielacia anténa RF spin DRH18-E
- Prijímacia anténa Rohde & Schwarz HF 907
- Tieniaci materiál - betón

Vzhľadom na to, že bol nastavený na generátore impulzov výkon, výsledná účinnosť tienenia bola vypočítaná na základe (2):[6][7]

$$SE = P_1 - P_2 \quad (2)$$

pričom P_2 je výkon elektromagnetického poľa v určitom bode tieneneho priestoru, P_1 je výkon elektromagnetického poľa dopadajúceho na tieniacu bariéru alebo stenu.

Kalibrácia pracoviska bola vykonaná na základe rádiokomunikačnej rovnici, ktorá je definovaná nasledovne:

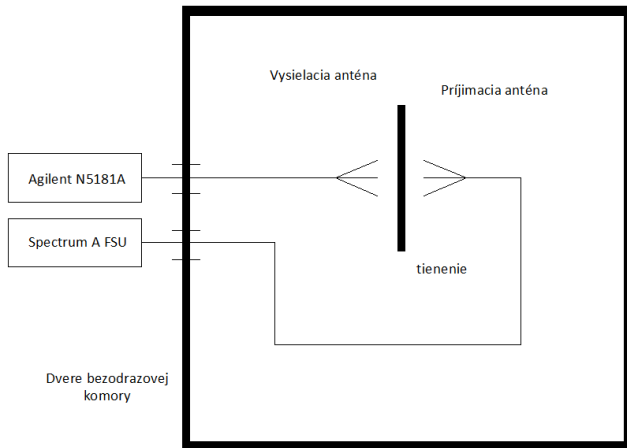
$$P_p = P_v - L_0 + G_v + G_p \quad (3)$$

pričom platí, že P_p je prijímaný výkon, P_v je vysielaný výkon, L_0 sú straty voľným priestorom, G_v je zisk vysielanej antény a G_p je zisk prijímacej antény. Straty voľným priestorom L_0 sú dané ako:[8][9]

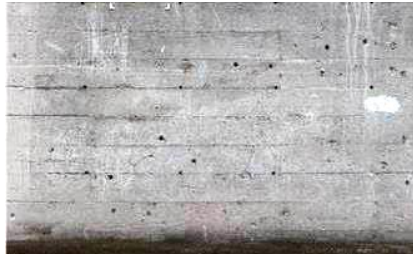
$$L_0 = 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) \quad (4)$$

pričom R je vzdialenosť antény, λ je vlnová dĺžka.

Na Obr.2 je zobrazená bloková schéma merania SE v bezodrazovej komore. Meranie pozostáva z dvoch samostatných meraní – meranie s tienením a bez tienenia. Obe merania boli opakované 15-krát. Výsledné hodnoty boli spriemerované. Pohľad na meraný objekt je zobrazený na Obr.3.



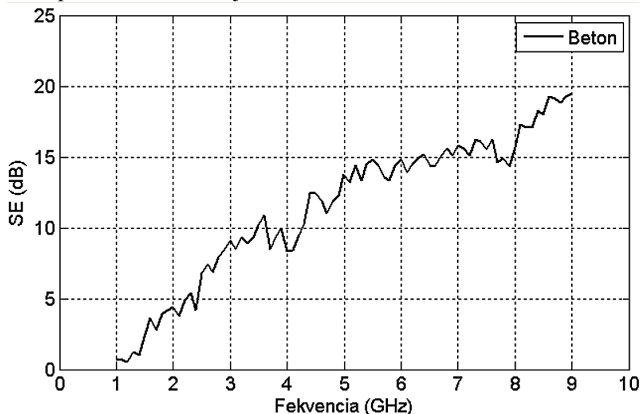
Obr. 2. Meranie účinnosti tienenia SE



Obr. 3. Meraný objekt – betónová stena

V. VÝSLEDKY MERANIA

Meraným objektom bol materiál betón, ktorý sa bežne používa pri stavebných prácach. Meranie bolo vykonané vo frekvenčnej oblasti od 1 GHz do 9 GHz. Závislosť SE vo frekvenčnej oblasti od 1 GHz do 9 GHz pre materiál betón je zobrazená na Obr.4



Obr. 4. Závislosť SE vo frekvenčnom rozsahu od 1 GHz do 9 GHz pre materiál betón

Z výsledkov vyplýva, že účinnosť tienenia so stúpajúcou frekvenciou rastie. V tomto frekvenčnom pásme sú obsiahnuté všetky moderné frekvencie – „mobilné aj wifi frekvencie“. V oblasti „mobilných a wifi frekvencií“ dosahuje účinnosť tienenia hodnoty od 1 dB do 14 dB. Maximálna hodnota účinnosti tienenia je pri najvyššej frekvencii 9 GHz. Hodnotami sa účinnosť tienenia betónu približuje hodnotám tehly porotherm s hrúbkou 38 mm.

VI. ZÁVER

Súčasným trendom sú bezpochyby bezdrôtové technológie, mobilné zariadenia, wi-fi a pod. Týmto trendom sa zvyšuje počet zariadení produkovaných elektrosmog. Táto „neviditeľná hrozba“

vplyva na živé organizmy i keď jednoznačný vplyv elektromagnetického poľa na živé organizmy nebol doposiaľ jasne preukázaný. Tento trend zvyšujúceho sa počtu týchto zariadení bude pravdepodobne ďalej pokračovať. Verejnosť sa preto čoraz viac informuje o možnostiach ochrany pre týmto elektromagnetickým poľom. Život bez mobilných a wifi zariadení si súčasná verejnosť nevie predstaviť a preto nie je možné redukovať počet týchto zariadení. Jedinou možnou ochranou pred elektromagnetickým poľom je použitie tieniacich materiálov – napríklad stavebnými materiálmi a budovami. Človek prežíva v budovách dve tretiny svojho života a má teda prístupné prirodzené tienenie.

Tento príspevok sa zaoberá meraním tieniacej schopnosti betónu, ktorý sa bežne používa v stavebnom priemysle pri stavbách. Výskum bol zameraný na meranie tieniacej schopnosti betónu vo frekvenčnej oblasti od 1 GHz do 9 GHz. V tomto frekvenčnom pásme sú obsiahnuté všetky moderné frekvencie – „mobilné aj wifi frekvencie“. Na meranie bola použitá porovnávacia metóda podľa IEEE 299-2006. Z výsledkom vyplýva, že so zvyšujúcou sa frekvenciou rastie tieniacia schopnosť materiálu betón. V oblasti „mobilných a wifi frekvencií“ dosahuje účinnosť tienenia hodnoty od 1 dB do 14 dB.

Príspevok poukazuje na tieniacu schopnosť materiálu betón. Na základe Tab.1 je možné betón zaradiť medzi nedostatočné tienenie až tienenie pre minimálne požiadavky. Vhodnou kombináciou betónu a tieniacich náterov je možné zvýšiť tieniacu schopnosť budov až na veľmi dobré tienenie.

POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla vďaka podpore udeľovania grantov FEI č. FEI-2015-6 Vplyv elektromagnetického poľa na vlastnosti materiálov.

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.

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.



Európska únia
Európsky fond regionálneho rozvoja



Operačný program
VÝSKUM A VÝVOJ



Agentúra
Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR
pre štrukturálne fondy EÚ

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

LITERATÚRA

- [1] A. Tirpák, *Elektromagnetizmus*, Polygrafia SAV, Bratislava 1999, 720 s. ISBN 80-88780-26-8.
- [2] H. König a P. Erlacher, *Neviditeľná hrozba*, Elektromagnetická pole kolem nás, HEL 2001, Brno, 156 s. ISBN 80-86167-15-1.
- [3] B. Dolník, *Elektromagnetická kompatibilita*, eľfa s.r.o., 2013, str. 13, ISBN 978-80-8086-221-3.
- [4] IEEE Standard 299-2006, Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures, EMC Society, New York 2006, p.39.
- [5] S. Ladan et al., “Electromagnetic shielding analysis of buildings under power lines hit by lightning,” *Lightning Protection (ICLP)*, 2016 33rd International Conference on, 25-30 Sept. 2016, Estoril, Portugal, ISBN: 978-1-5090-5843-3.

- [6] P. Xiao et al., "A Hybrid Method for Calculating the Coupling to PCB Inside a Nested Shielding Enclosure Based on Electromagnetic Topology," *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, Vol. 58, Issue: 6, Dec. 2016, pp. 1701 – 1709, DOI: 10.1109/TEMC.2016.2588505.
- [7] W. Ming and C. Ming, "Modeling for electromagnetic pulse shielding effectiveness in time domain," *Environmental Electromagnetics (CEEM)*, 2015 7th Asia-Pacific Conference on, 4-7 Nov. 2015, Hangzhou, China, DOI: 10.1109/CEEM.2015.7368659.
- [8] M. Čechová a I. Vyšín, *Teórie elektromagnetického pole*, Olomouc: Vydavatelství Univerzity Palackého, 1998. P.38–39. ISBN 80-7067-805-4.
- [9] V. Klener a kol., *Principy a praxe radiační ochrany*, SÚJB, Praha 2000, ISBN 80-238-3703-6.
- Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, marek.pavlik@tuke.sk
Dušan Medved', Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, dušan.medved@tuke.sk
Martin Kanálik, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, martin.kanalik@tuke.sk
Ján Zbojovský, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, jan.zbojovsky@tuke.sk
Peter Kurimský, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, peter.kurimsky@tuke.sk

ADRESY AUTOROV

Marek Pavlik, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky,