

Bystrík Dolník, Lukáš Kruželák, Michal Špes, Maroš Anderák

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach

Tienenie elektromagnetických polí

Abstrakt. V SR sa za posledné roky zvýšilo pokrytie signálom mobilných operátorov, budujú sa nové a výkonnejšie vysielače, prechádza sa na nové formy vysielania televízneho vysielania z klasického analógového na vysielanie DVB-T, ktoré má pulzujúci charakter. V príspevku sa pojednáva o tienení elektromagnetických polí a o možnosti použitia sond blízkeho poľa na detekciu zdrojov rušenia a na merania účinnosti tienenia materiálov.

Abstract. In recent years, the SR signal coverage of mobile operators has increased. New and more powerful transmitters were built, new forms of television from the classic analogue to DVB-T were introduced. The paper discusses the shielding of electromagnetic fields and the possibility of using near-field probes to detect sources of interference and to measure the effectiveness of shielding materials. (**The shielding of electromagnetic fields**).

Kľúčové slová: elektromagnetické pole, tienenie, emisia žiarenia, interferencia.

Keywords: electromagnetic field, shielding, emission, interference.

Úvod

Elektrická energia umožnila všestranný rozvoj ľudskej spoločnosti. S rozvojom vedy a techniky došlo k vývoju nových, zložitých zariadení, či už pre potreby ťažkého strojárstva alebo pre dennodenné použitie. Hybnou silou bola koncentrácia zariadení do menšieho priestoru a objavy v oblasti výkonovej elektroniky. Okrem dobrých vlastností týchto zariadení existujú i negatívne. Patrí sem „ovplyvňovanie“ ostatných zariadení rušením. Medzi spôsoby eliminácie rušenia patrí tienenie. Na druhej strane nebol ľudský organizmus doteraz vystavený vplyvu toľkých elektrických a magnetických polí, čo bolo podnetom pre mnohé výskumy, ktoré sa touto problematikou začali zaoberať. Taktiež sa stretávame s novým pojmom elektrosmog, ktorým sa označuje znečistenie prostredia elektromagnetickými (EM) poliami [1], [2].

Elektromagnetické polia

Prenos prúdu vo vodičoch sa uskutočňuje dvojakým spôsobom. Prvý spôsob predstavuje usmerný pohyb voľných nosičov náboja (elektrónov alebo iónov) v dôsledku čoho vzniká v jeho okolí EM pole. Elektrické pole vzniká ako dôsledok rozdielu potenciálov medzi dvoma elektrickými pólmami. Veľkosť napätia medzi dvoma pólmami je tým väčšia, čím je silnejšie elektrické pole medzi nimi. Pri elektrickom poli je potrebné spomenúť aj intenzitu elektrického poľa, ktorá vyjadruje veľkosť a smer elektrického poľa. Je definovaná ako elektrická sila pôsobiaca na teleso s kladným jednotkovým elektrickým nábojom. Označuje sa E a udáva sa v jednotkách V/m [1].

Magnetické pole vzniká v okolí permanentných magnetov a vo vodičoch, ktorými preteká prúd. Veľkosť magnetického poľa je priamo úmerná veľkosti prenášaného prúdu. Intenzita magnetického poľa je vektorová veličina popisujúca mieru silových účinkov magnetického poľa. Označuje sa H a udáva sa v jednotkách T (Tesla) [1].

EM pole si môžeme predstaviť ako zmenu elektrického a magnetického poľa v čase, ktoré sa v priestore šíri prostredníctvom EM vln [1]. Frekvencia EM vln môže byť ľubovoľná a podľa nej môžeme EM polia rozdeliť na:

- nízkofrekvenčné žiarenie (0 Hz – 30 MHz),
- vysokofrekvenčné žiarenie (10 MHz – 3 PHz),
- ionizujúce žiarenie (3 PHz - 3 EHz).

Energia častíc je priamo úmerná rýchlosti akou sa častice pohybujú. Obidve tieto zložky sa podieľajú na vzniku

elektrosmogu. EM polia nedokáže človek vnímať svojimi zmyslami, preto je potrebné ich merať. Na trhu existuje mnoho špeciálnych prístrojov, pomocou ktorých možno zmerať expozíciu žiarenia, napr. zariadením ME 3030B, NF 32D a mnohé iné.

Problematika EM polí je dôležitá z hľadiska prenosu a výmeny informácií, životného prostredia a v konečnom dôsledku má vplyv i na naše zdravie. Mnohí si dnes nevedia predstaviť život bez novodobých výtvarných vedy a techniky. Dvadsiate a dvadsiate prvé storočie nám ukázalo ako rýchlo môže nastať pokrok v každom odvetví priemyslu a národného hospodárstva. Celý svet sa stáva prepojený v reálnom čase z akéhokoľvek miesta, lety do vesmíru a túžba dosiahnuť nemožné predstavuje motor, ktorý ženie ľudstvo vpred. Ale s ďalším pokrokom rastie i pravdepodobnosť toho, že budeme vystavený novému problému, ktorý ohrozí zdravie každého z nás. Ľudské telo pracuje na princípoch popísaných fyzikálnymi zákonmi. V prípade akýchkoľvek zmien dochádza k ovplyvneniu organizmu človeka.

Problematike EMP sa začína venovať zvýšená pozornosť vo vyspelých krajinách, na čo reagujú aj výrobcovia elektrotechnických zariadení. Limity expozície žiarením sú udávané normami vydané ICNIRP a absorpcia EMP ľudským telom SAR [1], [2], [6].

Zdroje elektromagnetických polí

EMR pochádza z rôznych zdrojov, ktoré sú výsledkom činností a práce človeka. S vplyvom EMP sa stretávame dennodenne. Tieto zariadenie zabezpečujú komfort, výmenu informácií, efektívnu výrobu a mnohé iné. Takéto zdroje sa nachádzajú v našich domovoch, v továrňach, dopravných prostriedkoch, zdrojoch elektrickej energie, základňových a transformačných stanicách. Zdroje elektrosmogu možno rozdeliť na:

- 1) Nízkofrekvenčné zdroje žiarenia: vedenie vysokého napätia, trakčné vedenie, domové rozvody, rozvodne, transformátory a trafostanice, motory, reproduktory a slúchadlá, osvetlenie a žiarovky, podlahové kúrenie, veterné elektrárne, spotrebiče v domácnosti.
- 2) Vysokofrekvenčné zdroje žiarenia: prechodové systémy, doprava, magnetická rezonancia, ultrazvukové zdravotnícke zariadenia [1], [2].

Tienenie elektromagnetických polí

Tienenie EMP má dva základné ciele:

- obmedzenie expozície vyžarovania,
- obmedzenie vplyvu vonkajšieho rušenia.

Špeciálne tienené priestory sú využívané pre potreby zisťovania elektromagnetickej kompatibility (EMK). Tienenie predstavuje bariéru, ktorá bráni prechodu EMP. Vo všeobecnosti sa na tienenie používajú kovové materiály (plochy) vo forme kovových stien, drôtených mreží, drôtených tkanín, ktoré môžu byť uzemnené alebo neuzemnené. Tieto materiály sa používajú napr. na výrobu krytov elektrických zariadení. Pri eliminácii EMR je dôležité vedieť, že na dosiahnutie uspokojivých výsledkov treba zvoliť vhodný tieniaci materiál i spôsob tienenia. Ak to okolnosti umožňujú v prípade dobrého uzemnenia možno „odrušiť“ nízkofrekvenčné polia. Úroveň radiácie sa so zväčšujúcou vzdialenosťou výrazne líšia.

V súčasnosti existuje viacero druhov tieniacich materiálov, ktoré sú vhodné pre určité frekvencie. Na zaistenie maximálneho účinku tienenia je potrebné, aby pre zvolené priestory alebo elektrotechnické zariadenie bolo zaručené tienenie vo všetkých smeroch. Tienenie sa odporúča predovšetkým na vonkajšej strane zariadenia. Kvalita tienenia je úzko spojená s najslabším článkom, ktorý je použitý pre potreby tienenia a jeho kontrola môže byť urobená pomocou smerovej antény. Pri tieniacich materiáloch hrá dôležitú úlohu uzemnenie vzhľadom na to, že väčšina tieniacich materiálov je elektricky vodivá. Tienenie nízkofrekvenčných magnetických polí a striedavého prúdu je veľmi zložitá a vyžaduje použitie špeciálnych materiálov. Ako tieniace materiály možno použiť antimagnetické fólie, tieniace tkaniny, siete a pletivá, tieniace nátery, filtre. Zaručený spôsob ako sa chrániť pred vplyvom magnetických polí je predĺžiť vzdialenosť od zdroja.

Meranie účinnosti tienenia

Úroveň tlmenia tieniaceho materiálu voči EM žiareniu a jeho kvalita sa udáva dvoma rôznymi spôsobmi: percentuálne alebo logaritmicke (pomocou jednotky dB). Ak je úroveň tienenia udaná v decibeloch (dB), potom kvalitu tieniaceho materiálu možno klasifikovať nasledovne:

- 10 dB zníženie EMR 10-násobne,
- 20 dB zníženie EMR 100-násobne,
- 30 dB zníženie EMR 1000-násobne.

Pri dopade EM vlny na prekážku sa časť energie EM vlny odrazí späť do priestoru, časť energie EM vlny sa pohltí samotným materiálom a časť energie EM vlny preniká. Účinnosť tienenia, ktoré predstavuje prekážku pre elektrické pole možno vyjadriť

$$a_s = 20 \cdot \log \left| \frac{\vec{E}_i}{\vec{E}_t} \right| \quad (1)$$

Magnetickú zložku EM poľa možno vyjadriť zo vzťahu, pomocou ktorého môžeme vypočítať účinnosť tienenia

$$a_s = 20 \cdot \log \left| \frac{\vec{H}_i}{\vec{H}_t} \right| \quad (2)$$

Uvedené účinnosti tienenia nie sú identické! Prechodom vlnenia cez tieniaci materiál dochádza k utlmeniu jej energie. Veľkosť „tlmenia“ udáva faktor tlmenia $e^{-\alpha \delta}$, kde α je činiteľ tlmenia materiálu tienenia, δ predstavuje hĺbku vniku do materiálu. Tieto materiálové činitele možno vyjadriť pomocou matematických vzorcov

$$\alpha = \frac{1}{\delta}, \quad (3)$$

$$\delta = \frac{1}{\mu \pi f \sigma}, \quad (4)$$

kde:

σ - konduktivita

f - frekvencia

μ - permeabilita bariéry

Účinnosť tienenia možno zapísať i v tvare

$$a_s = a_{sr} + a_{sa} + a_{smr}, \quad (5)$$

kde:

a_{sr} - účinnosť tienenia odrazom od materiálu na rozhraniach,

a_{sa} - účinnosť tienenia absorpciou,

a_{smr} - účinnosť tienenia mnohonásobným odrazom a prechodom cez prvé rozhranie [1], [2].

Vplyv elektromagnetických polí na organizmus

Expozičné limity boli určené medzinárodnou komisiou pre neionizujúce žiarenie (ICNIRP), ktorá bola prijatá vo viac ako 80-tich krajinách. Tieto normy majú za úlohu udržať expozíciu EMP na určitej hodnote. V súčasnosti existuje veľa navrhovaných národných a medzinárodných štandardov, čo vedie k snahám o ich harmonizáciu. Biologické limity sa odlišujú od limitov oficiálnej osobnej bezpečnosti.

V roku 2000 bol prijatý limit 0,1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ pre vysoko modulovaný impulzný signál, ktorý je používaný v GSM stanicach. Meracie zariadenia, ktoré merajú celé spektrum žiarenia sú označené pod názvom broadband. Prehľad najčastejšie používaných biologických limitov, ktoré sú stanovené komisiou ICIRP sú:

- 450 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ pre 900 MHz,
- 900 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ pre 1800 MHz.

Z uvedených limitov si môžeme všimnúť, že limity sú frekvenčne závislé. Účinky mikrovlnného žiarenia môžeme klasifikovať ako:

- tepelné (radiačné),
- biologické (neradiačné).

Javy, ktoré sú spojené s mikrovlnným ohrevom sú:

- ohrev z vnútra von,
- ohrev vnútorných orgánov.

Impulzné žiarenie EMP pôsobí nepriaznivo na organizmus z dôvodu pulzácie poľa. Pulzácia je spôsobená v dôsledku skladania jednotlivých impulzov, ktoré nasledujú po sebe v pevných ale aj v pohyblivých časových intervaloch.

V publikácii Modern bioelectricity Mario A. popisuje ako vplyv zmeny EM polí môže ovplyvniť činnosť telesných systémov a najmä nervový, imunitný, cievny, reprodukčný, endokrinný systém, vrátane srdcového svalu. Tkanivo je ovplyvnené pôsobením typu poľa, ktorému bolo vystavené. Dnešné znalosti ohľadom biologických a psychologických účinkov sa pohybuje na dost' vysokej úrovni už pri účinkoch rádiovfrekvenčného žiarenia nízkej intenzity sa zistilo že:

1. ovplyvňujú prirodzené procesy na zemi;
2. aktívne dokážu udržať alebo zničiť život, čo je zapríčinené impulzným žiarením.

Zvýšená hladina elektrosmogu spôsobuje zdravotné problémy, medzi ktoré najčastejšie patrí:

- chronické bolesti hlavy,
- chronická vyčerpanosť a únava,
- poruchy spánku,
- poruchy srdcového rytmu,
- poruchy koncentrácie a pamäte,
- depresie,
- výkyvy krvného tlaku.

Vlastnosti jednotlivých typov žiarenia ovplyvňujú tvorbu melatonínu v tele [1], [2].

Antény ako vysielacie elektromagnetického poľa

Elektromagnetickú vlnu v dostatočnej vzdialenosti od zdroja môžeme považovať za rovinnú. Toto vlnenie je vždy kolmé na smer šírenia a skladá sa z elektrickej a magnetickej zložky. Tieto dve zložky sú na seba vždy kolmé a majú v každom bode priestoru rovnakú fázu [3].

V akomkoľvek okamihu je amplitúda intenzity elektrického poľa (E) a intenzitu magnetického poľa (H) viazaná vzťahom

$$\frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}, \quad (6)$$

kde:

μ - permeabilita prostredia,
 ϵ - permitivita prostredia.

Rýchlosť šírenia EM vlnenia je daná

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}. \quad (7)$$

Pri prechode rádiovéj vlny do iného prostredia dochádza k zmene rýchlosti vlny

$$\lambda_1 = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\mu\epsilon}}. \quad (8)$$

kde:

λ_0 - vlnová dĺžka vo voľnom priestore.

Hustotu toku energie S prenášanej za sekundu cez jednotku plochy kolmú na smer šírenia poľa vo vzdialenosti r od zdroja, za predpokladu, že vyžarovaná energia sa prerozdeľuje rovnomerne v priestore, možno vypočítať [3]

$$S = \frac{P}{\sqrt{4\pi r^2}}. \quad (9)$$

kde:

P – výkon vyžiarený zdrojom.

Smerové vyžarovacie systavy antén sa používajú v praxi. Stupeň smerovosti sa určuje za pomoci činiteľa smerovosti vzhľadom ku zdroju žiarenia, ktorý udáva stupeň sústredenia vyžarovanej energie v určitom smere. Smerovosť antény zodpovedá k -násobnému zväčšeniu výkonu vyžarovania voči nesmerovej anténe. Zväčšením vzdialenosti r od žiariča klesá intenzita EM poľa v bode, v ktorom dochádza k prijímaniu signálu. Tento pokles je spôsobený v dôsledku rozptylu a útlmu – pohltitím rádiových vln [3]. V skutočnosti anténa vyžaruje signál, ktorého vlny majú guľový tvar. Zmena intenzity a smeru elektrickej zložky EM poľa je sprevádzaná zmenou polarizácie EM vlnenia za jednu polperiódu. Polarizáciu môžeme rozdeliť na tri druhy: lineárna, kruhová a eliptická. EM vlnenie je ovplyvnené vlastnosťami prostredia. Tieto charakteristiky z hľadiska šírenia EM vln sú

- merná elektrická vodivosť,
- dielektrická konštanta ϵ ,
- permeabilita μ .

Anténa je súbor zariadení pomocou, ktorých sa vysokofrekvenčná energia odovzdáva do okolitého prostredia. Antény môžeme rozdeliť do dvoch základných skupín:

- antény so stojatou vlnou,
- antény s postupnou vlnou.

V praxi sa antény rozdeľujú podľa jednotlivých frekvenčných pásiem v ktorých sa používajú. Účinnosť antény udáva pomer celkovej ekonomickej prevádzky vysielateľa k maximálnej vyžiarenej energii vzhľadom na privedený výkon, ktorým anténa disponuje. Celková účinnosť je definovaná pomocou pomeru výkonov

$$\eta = \frac{P_z}{P_a}. \quad (10)$$

kde:

P_z – celkový vyžiarený výkon,

P_a – príkon do antény.

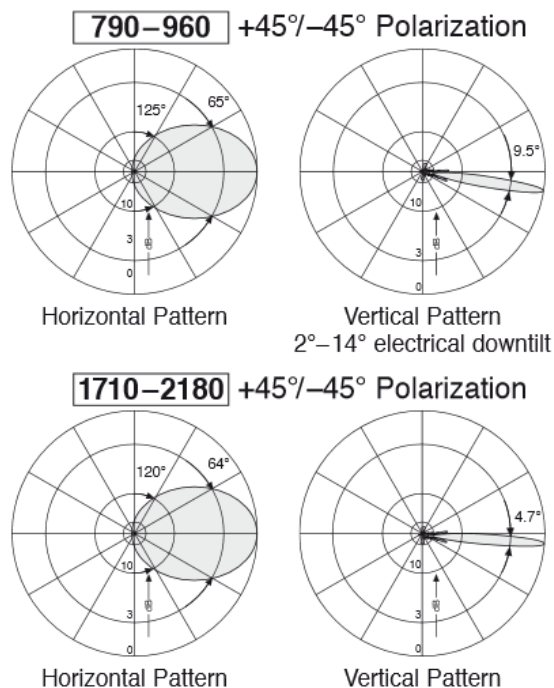
Charakteristické vlastnosti antény sú dané jej vlastnosťami, ktoré je potrebné poznať

- charakteristická impedancia,
- smerové vlastnosti,
- ochrana proti rušeniu.

Najväčší dosah a sila signálu vyžarovaná anténou sa nachádza v priamočiarej rovine. Anténa v horizontálnej rovine vyžaruje pod uhlom 60° až 120° . Ak postavíme antény do rovnostranného trojuholníka dostaneme úplné pokrytie, čiže antény budú vyžarovať pod uhlom 360° . Vo vertikálnom smere sa antény stavajú kolmo k zemi s určitým sklonom dolu v úrovni asi $5^\circ - 9^\circ$ [2], [3], [6].

Uvádzaním zariadení do experimentálnej alebo normálne prevádzky musí prevádzkovateľ alebo vlastníak prijať opatrenia na zabránenie škodlivého rušenia. Takéto škodlivé rušenia sa musia v krátkom čase eliminovať. Problematikou rušenia sa zaoberá zberka zákonov SR 610/2003 v časti § 68 kde sa uvádza:

1. Sieť a zariadenia sa zriaďujú a prevádzkujú tak, aby sa predchádzalo škodlivému rušeniu.
2. EM rušenie vznikajúce pri prevádzke elektrických a elektronických zariadení, ktoré obsahujú elektrické alebo elektronické súčiastky, nesmie prekročiť úroveň nad ktorou zariadenia nemôžu pracovať v súlade s ich určením.
3. Zariadenia musia byť skonštruované tak, aby mali primeranú vlastnú odolnosť proti EM rušeniu, ktorá im umožní byť v prevádzke v súlade s ich určením.
4. Ak dôjde k škodlivému rušeniu alebo k rušeniu, ktoré bráni prevádzke zariadenia v súlade s jeho určením, podnik alebo užívateľ zariadenia, ktoré spôsobuje rušenie, je povinný bezodkladne urobiť účinné ochranné opatrenia alebo ukončiť prevádzkovanie zariadenia. Ak to nie je možné alebo ak je hospodárnejšie, alebo účelnejšie urobiť ochranné opatrenia na rušenom zariadení, urobí ich podnik. Náklady na odstránenie rušenia uhrádza podnik alebo užívateľ, ktorého zariadenie spôsobuje rušenie.
5. Za rušenie sa považuje aj znemožnenie prevádzky spôsobené EM tienením alebo odrazmi EM vln od stavieb, ktoré boli zhotovené po uvedení vedenia do prevádzky [4].



Obr.1 Smerový diagram dvojpásovej antény Katherin s typovým označením 80010485v01 [2], [4], [6].

Snímače elektromagnetických polí

Súčasná doba nám poskytuje široké množstvo zariadení, ktoré slúžia na selektívne chránenie prevádzok, skladov, obytných a verejných priestorov pred nežiaducimi vplyvmi. Tieto zariadenia môžu identifikovať osoby a stav v akomkoľvek okamihu, pričom tieto zariadenia pracujú so širokým spektrom EMP [1]. Takéto zariadenia majú buď externý zdroj energie (obyčajne v obchodných centrách a letiskách sú na to využívané „brány“, ktoré sú tvorené na jednej strane umiestneným vysielačom a na druhej strane prijímačom), alebo majú vlastný zdroj s malým čipom, v ktorom je zabudovaná anténa. Tieto technológie sú využívané napr. ako

- 1) Bezpečnostné brány EAS (Electronic Article Surveillance). Tieto zariadenia sa rozdeľujú na dve hlavné skupiny:
 - Akustomagnetické
 - Rádiofrekvenčné
- 2) Bezkontaktné karty a čipy RFID, ktoré umožňujú:
 - Identifikáciu tovaru
 - Označovanie zvierat
 - Bezhotovostné platby
 - Mýtné služby
 - Náramky
 - Mobilné telefóny s identifikáciou platiteľa
- 3) Detektory kovov
- 4) Celotelové skenery

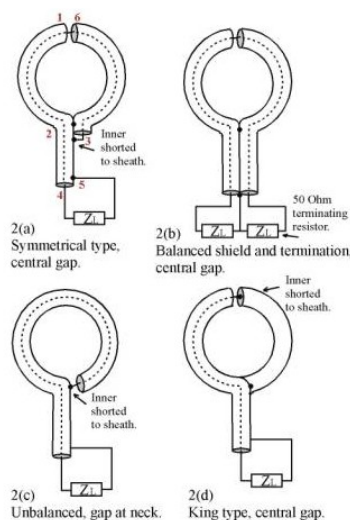
Sondy elektromagnetických polí

Komerčne dostupné sondy alebo vyrobené sondy sa používajú na diagnostické práce EMC. Sondy na meranie magnetických polí sa vyrábajú v tvare slučky s vlastným elektrostatickým tienením. Sondy sa mierne líšia v konfigurácii a v ich charakteristikách. Obsahujú tienenú slučku, ktorých tvar je odvodený z antén používaných pre rádiovú komunikáciu a zameriavanie. Magnetické pole prechádza cez slučku sondy a generuje napätie, ktoré je ovplyvnené Faradayovým zákonom, ktorý hovorí o tom, že indukované napätie je priamo úmerné rýchlosti zmeny

magnetického toku cez vytvorenú slučku. Pri nízkych frekvenciách je napätie indukované priamo vo vnútornej slučke vodiča. Pri vysokej frekvencii sa indukuje napätie vo vonkajšom plášti slučky a to sa realizuje cez medzeru plášťa. Prenosová schopnosť je daná rôznym typom sond. Sondy majú vlastnú rezonančnú frekvenciu, ktorej zdrojom je indukčnosť slučky a parazitná kapacita medzi stredným vodičom a vonkajším pláštom. Čím menší je priemer slučky, tým väčšia je vlastná rezonančná frekvencia. Táto frekvencia je do značnej miery ovplyvnená konštrukciou koaxiálneho kábla.

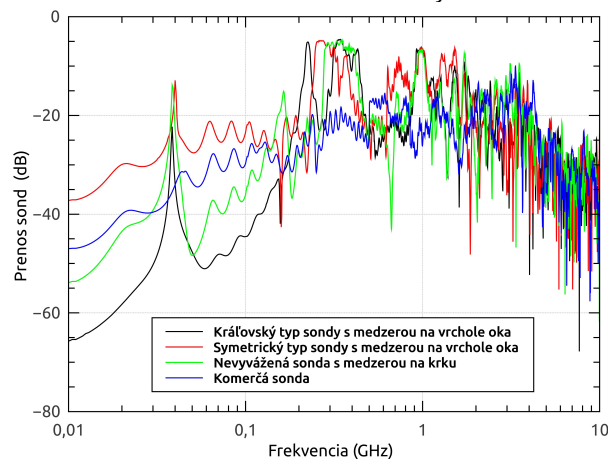


Obr.2 Rôzne typy sond používané na meranie EMC.



Obr.3 Príklad konštrukcie sond [1], [2], [5].

Na obr. 4 je zobrazený prenos štyroch sond, ktoré boli použité v experimente. Z toho tri sondy boli skonštruované: kráľovský typ sondy s medzerou na vrchole oka, symetrický typ sondy s medzerou na vrchole oka a nevyvážená sonda s medzerou na krku. Štvrtá sonda bola vyrobená komerčne.



Obr. 4 Prenos sond na meranie magnetického poľa.

Záver

V SR sa za posledné roky posilnilo pokrytie signálom mobilných operátorov. Budujú sa stále nové a výkonnejšie vysielacie, prechádza sa na nové formy vysielania. Boli sme svedkami prechodu televízneho a rádiového vysielania z klasického analógového na vysielanie DVB-T, ktoré má pulzujúci charakter; a nie je tomu tak iba na Slovensku. Výkon vysielacích veží je limitovaný normami, treba si však uvedomiť, že v miestach kde „sú problémy s dostupnosťou signálu“, pracujú antény s vyšším výkonom. Nehnutelnosti v blízkosti zdrojov elektromagnetických polí rapídne strácajú svoju hodnotu a môžu sa stať až nepredajnými. V záujme svojho zdravia je potrebné získať hodnoty vyžarovania EMP v miestach, kde trávime najviac času.

Otázkou tienia sa tiež zaoberajú stavební inžinieri, čo sa prejavuje na stavebnej biológii budov. Pre ľudský organizmus sú obzvlášť nebezpečné pulzujúce vlny EMP. Mnoho ľudí nie je dostatočne informovaných o problematike EMP, pričom dobrovoľne (ale s určitou dohodou s prevádzkovateľom) si nechávajú osadiť na svoje obydlia zdroje EMP. V mestských oblastiach si môžeme všimnúť antény umiestnené na strechách výškových budov, v ktorých dennodenne pracujú a žijú ľudia.

Dnešný život a najmä život mladých ľudí je spojený s najnovšími výtvarkami vedy a techniky. Ako príklad možno spomenúť mobilný telefón, ktorého žiarenie je bežne vystavený náš mozog a tvorí pre niektorých ľudí neoddeliteľnú súčasť každodenného života; tento môže byť považovaný za ďalší karcinogén. Ďalším veľkým „znečisťovateľom“ je armáda a letecké spoločnosti, ktoré využívajú radary pre detekciu vzdušného priestoru [1], [2], [6], [7], [8].

Literatúra

- [1] Elektrosmog – Aktuality - info, limity, meranie, účinky, možnosti ochrany. In: Elektrosmog info. [cit. 5. jan. 2016]. Dostupné na internetovej stránke: <http://www.voxo.eu/elektrosmog>
- [2] Dolník, B.: Elektromagnetická kompatibilita, Technická univerzita v Košiciach, december 2013, 240 strán, elfa, s.r.o., ISBN 978-80-8086-221-3.

- [3] Palička, L., Novák, A., Kandra, B.: Úvod do elektrotechniky a radiokomunikačnej prevádzky pre poslucháčov fakulty PEDaS, Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky ekonomiky dopravy a spojov, Katedra dopravy., 2004, EDIS.
- [4] Zbierka zákonov č. 610/2003, z 3. decembra 2003 o elektrických komunikáciách.
- [5] Ediss, R.: Probing the Magnetic Field Probe. [cit. 5. jan. 2016]. Dostupné na internetovej stránke: http://www.compliance-club.com/archive/old_archive/030718.htm
- [6] Novák, P.: Elektrické teplo, Technická univerzita v Košiciach., 2010., 528 s., Equilibria, s.r.o., ISBN 978-80-89284-48-1.
- [7] Sendrei, L., Felix, M., Oravec, J., Marchevský, S.: Coexistence simulation of DVB-T/T2 and LTE800 in SEAMCAT. In: Acta Electrotechnica et Informatica, Vol. 15, No. 3, p. 32-38. 2015. DOI 10.15546/aei-2015-0026. ISSN 1338-3957.
- [8] Ruman, K., Rovenský, T., Pietriková, A.: Correlation between simulations and real measurements of microstrip filters based on LTCC in high frequency area. In: Acta Electrotechnica et Informatica, Vol. 15, No. 1, p. 24-28. 2015. DOI 10.15546/aei-2015-0004. ISSN 1338-3957.

Autori vyjadrujú poďakovanie Vedeckej grantovej agentúre Ministerstva školstva Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied v rámci projektu VEGA-1/0311/15 a VEGA-2/0141/16.

Autori: Bystrík Dolník, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: bystrik.dolnik@tuke.sk
 Lukáš Kruželák, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: lukas.kruzelak@tuke.sk
 Michal Špes, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: michal.spes@tuke.sk
 Maroš Anderák, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: maros.anderak@tuke.sk