

EXPOZÍCIA OBYVATEĽOV ELEKTROMAGNETICKÉMU POĽU A JEHO VPLYV NA ZDRAVOTNÍCKE IMPLANTÁTY A ELEKTRONICKÉ ZARIADENIA POUŽÍVANÉ V DOMÁCNOSTIACH

*Ing. Roman Ščehovič, Ing. Marián Felix
VÚS, n. o. Banská Bystrica*

Úvod

V posledných desaťročiach sme svedkami búrlivého rozvoja vysielačích sietí rôzneho druhu. Najväčší progres zaznamenali mobilné komunikačné siete, ktoré okrem hlasových služieb prinášajú najmä služby spojené s prístupom na internet. Keďže zo strany používateľov, ako aj zo strany regulačných a riadiacich orgánov neustále rastie dopyt po vysokorychlostnom prístupe dostupnom pre každého obyvateľa, mobilné siete musia zväčšovať svoju kapacitu, čo je možné realizovať novými technológiami a zahusťovaním vysielačích sietí.

Rozširovanie sietí však prináša aj negatívny účinok, a to v podobe vyššej miery ožiarenia obyvateľov, ktorí sa nachádzajú v blízkosti vysielačích stanovišť. S tým je spojené nebezpečenstvo negatívneho účinku elektromagnetického poľa na zdravie obyvateľov.

Touto problematikou sa zaoberá viacero štúdií, na základe ktorých boli vypracované rôzne predpisy a normatívne dokumenty s cieľom chrániť obyvateľov, ale aj pracovníkov pred vysokou expozíciou elektromagnetického poľa.

Na svetovej aj európskej úrovni boli prijaté dokumenty, ktoré špecifikujú maximálnu prijateľnú mieru ožiarenia obyvateľov. Na ich základe jednotlivé štáty prijali vlastné právne predpisy, do ktorých zakomponovali požiadavky na expozíciu svojich obyvateľov elektromagnetickému poľu.

Na Slovensku sa touto problematikou zaoberá najmä zákon č. 355/2007 Z. z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov a jeho vykonávacie predpisy:

- vyhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 534/2007 Z. z. o podrobnostiach o požiadavkách na zdroje elektromagnetického žiarenia a na limity expozície obyvateľov elektromagnetickému žiareniu v životnom prostredí (ďalej len „vyhláška“);
- nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 209/2016 Z. z. o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou elektromagnetickému poľu.

Z vyhlášky MZ SR č. 534/2007 Z. z. vyplýva, že objektivizácia, t. j. vyhodnocovanie expozície obyvateľstva elektromagnetickému poľu, sa vykonáva posúdením, meraním alebo výpočtom. Pritom sa musia využiť vedecky podložené normy, postupy a odporúčania. Získané hodnoty sa porovnávajú s tzv. akčnými hodnotami uvedenými v prílohe vyhlášky, ktoré v miestach, kde majú obyvatelia prístup, nesmú byť prekročené.

Spôsoby, postupy a metódy posudzovania, merania a výpočtu expozície obyvateľstva EMP sú rozpracované vo viacerých normách CENELEC, ktoré boli prijaté do sústavy STN.

V roku 2019 vydalo MZ SR Metodiku vyhodnocovania expozície obyvateľstva elektromagnetickému poľu, ktorá bola vypracovaná v súlade s vyššie uvedenými právnymi predpismi a súvisiacimi normami zaoberajúcimi sa touto problematikou.

Okrem expozície obyvateľstva má elektromagnetické pole vplyv aj na činnosť elektronických zariadení. Na rozdiel od vplyvu elektromagnetického poľa na obyvateľov je vplyv na elektronické zariadenia možné pozorovať okamžite, a to tým, že sa naruší jeho správna činnosť. Keďže v domácnostiach sa bežne používajú elektronické zariadenia rôzneho druhu, je potrebné pri zohľadňovaní úrovne expozície prihliadať aj na túto stránku potrieb obyvateľov.

1 Posudzovanie úrovne elektromagnetického poľa

Elektromagnetické pole (ďalej len „EMP“) pozostáva z dvoch zložiek – elektrickej a magnetickej, ktorých úroveň sa mení v čase. Rýchlosť tejto zmeny (rýchlosť kmitania elektricky nabitých častíc) je vyjadrená frekvenciou. So zmenou frekvencie sa mení aj vplyv elektromagnetického poľa na telo človeka a tiež aj na iné elektronické zariadenia nachádzajúce sa v elektromagnetickom poli.

Úroveň elektrickej alebo magnetickej zložky EMP je možné stanoviť výpočtom alebo meraním.

Hodnota stanovená výpočtom býva obvykle vyššia ako hodnota získaná meraním, pretože pri výpočte sa spravidla uvažuje s najnepriaznivejšími podmienkami, napr. s tým, že zdroj EMP pracuje s plným výkonom (v plnej prevádzke). Nevýhodou výpočtu je jeho zložitosť, preto pri jeho realizácii sa uvažuje so zjednodušenými podmienkami šírenia EMP (napr. šírenie elektromagnetických vln bez odrazov od okolitých objektov a len vo vzdialenom poli), čo v konečnom dôsledku nemusí viesť k výsledku, ktorý verne odráža skutočnosť.

Preto sa na stanovenie úrovne EMP v praxi častejšie využíva meranie. Meracia technika používaná pri tomto procese závisí od frekvencie meraného EMP. Pri frekvenciách do 30 MHz je potrebné merať osobitne magnetickú a elektrickú zložku EMP. Magnetická zložka sa meria pomocou indukcie vo vodiči, ktorá sa prejaví elektrickým prúdom prechádzajúcim vodičom nachádzajúcim sa v EMP. Elektrickú zložku možno stanoviť pomocou merania napätia vytvoreného na tomto vodiči. Pri frekvenciách EMP nad 30 MHz stačí merať len elektrickú zložku. Meranie sa vykonáva pomocou meracieho prijímača – spektrálneho analyzátoru, ktorý vyhodnocuje napätie na svorkách pripojenej meracej antény. Anténa je ladená (optimalizovaná na príjem EMP) len v určitom frekvenčnom pásme, tzv. pracovnom pásme antény.

EMP je obvykle tvorené viacerými zdrojmi s rôznymi frekvenciami. Zdroje, ktorých príspevok k celkovej úrovni EMP nie je zanedbateľný, sa nazývajú relevantné zdroje. V **tabuľke 1** sú uvedené najbežnejšie relevantné zdroje EMP, ich pracovné frekvenčné pásma a ich typické maximálne vyžiarované výkony.

Tabuľka 1: Bežné relevantné zdroje EMP

Pracovné frekvenčné pásmo	Typ služby – zdroj EMP	Maximálny vyžiarovaný výkon – EIRP [W]
88 – 108 MHz	VKV vysielajúce	100 000
174 – 240 MHz	T-DAB vysielajúce	50 000
470 – 691 MHz	DVB-T vysielajúce	50 000
830 – 860 MHz	LTE 800 MHz	4 000
920 – 950 MHz	GSM 900 MHz	8 000
1800 – 1880 MHz	GSM 1800 MHz	6 000
2100 – 2170 MHz	UMTS	3 000
2600 – 2700 MHz	LTE 2600	5 000
3500 – 3700 MHz	LTE 3700	5 000

Meranie a vyhodnotenie výslednej úrovne EMP je možné vykonať buď selektívne, alebo širokopásmovo.

Pri selektívnom meraní sa používajú viaceré antény tak, aby ich pracovné pásma sumárne pokryli celé spektrum meraného EMP. Meranie sa vykonáva samostatne na jednotlivých pracovných frekvenčných pásmach relevantných zdrojov EMP. Keďže selektívne meranie je dosť časovo náročné, odporúča sa vykonávať najmä v prípadoch, keď je predpoklad, že úroveň EMP bude v blízkosti limitných hodnôt.

Širokopásmové meranie sa vykonáva pomocou tzv. sondy a vyhodnocovacieho zariadenia. Sonda sa skladá zo snímačov, napríklad dipólov umiestnených v priestore tak, aby snímali intenzitu EMP v jednotlivých vzájomne kolmých rovinách a vytvorili tak všesmerovú vyžarovaciu charakteristiku. Vyhodnocovacie zariadenie výkonovo sčíta príspevky z jednotlivých snímačov a na displeji zobrazí celkovú intenzitu EMP v pracovnom frekvenčnom pásme sondy. Širokopásmové meranie je rýchle a dáva celkový pohľad na úroveň EMP.

2 Vplyv elektromagnetického poľa na činnosť elektronických zariadení

Požiadavky na odolnosť elektronických zariadení voči elektromagnetickému poľu sa rozdeľujú v závislosti od prostredia, v ktorom sa používajú. Existujú dve základné kategórie týchto požiadaviek, ktoré sú pokryté dvomi kmeňovými normami:

- EN 61000-6-1 pre priemyselné prostredia,
- EN 61000-6-3 pre obytné prostredia a prostredia ľahkého priemyslu.

Okrem týchto noriem existujú aj predmetové normy, ktoré definujú požiadavky na odolnosť zariadení v špecifických prostrediach, ako napr. železničná doprava, automobilová doprava, zdravotnícka technika atď.

Správna činnosť elektronických zariadení je výrobcom zaručovaná len v tých prostrediach, ktoré sú definované v príslušne definovaných normách. V **tabuľke 2** sú uvedené intenzity EMP, pri ktorých ešte musia zariadenia pracovať bez rušenia; sú uvedené aj ďalšie parametre signálu, používané pri meraní.

Tabuľka 2: Hodnoty intenzity EMP a ďalšie parametre pre zariadenia používané v domácnostiach

Zariadenie	Norma	Minimálna intenzita EMP	Ďalšie parametre EMP
TV, rádio, mobilný telefón a iné multi-mediálne zariadenia	EN 55035 EN 301 489-1	3 V/m	Frekvenčné pásmo 80 MHz – 6000 MHz. Modulácia AM 80% 1 kHz
Mikrovlnová rúra, chladnička a ďalšie zariadenia používané v domácnosti	EN 55014-2	3 V/m	Frekvenčné pásmo 80 MHz – 2700 MHz. Modulácia AM 80% 1 kHz
Osvetľovacie zariadenia	EN 61547	3 V/m	Frekvenčné pásmo 800 MHz – 1000 MHz. Modulácia AM 80% 1 kHz
Audiovizuálne zariadenia	EN 55103-2	3 V/m	Frekvenčné pásmo 80 MHz – 2700 MHz. Modulácia AM 80% 1 kHz
Všetky ostatné elektronické zariadenia používané v domácnosti	EN 61000-6-3	3 V/m	Frekvenčné pásmo 80 MHz – 2700 MHz. Modulácia AM 80% 1 kHz

3 Objektivizácia expozície obyvateľov EMP

Vyhláška Ministerstva zdravotníctva SR č. 534/2007 Z. z. definuje limitné hodnoty (vo vyhláške sú označované ako akčné hodnoty), ktoré v miestach voľného pohybu obyvateľstva nemôžu byť prekročené. Tieto hodnoty sú vyjadrené fyzikálnymi veličinami, ktoré je možné priamo merať dostupnými meracími prístrojmi.

Akčné hodnoty expozície pre elektrické, magnetické a elektromagnetické polia vyjadrené pomocou rôznych fyzikálnych veličín sú uvedené v **tabuľke 3**. Tieto hodnoty platia pre pole neporušené prítomnosťou osôb v posudzovanom priestore. Ak nie je uvedené inak, stanovené akčné hodnoty expozície sú udané v efektívnych hodnotách príslušných veličín. Z tabuľky 3 okrem iného vyplýva, že v určitých frekvenčných pásmach je akčná hodnota závislá od frekvencie EMP.

Tabuľka 3: Akčné hodnoty elektromagnetického poľa pre expozíciu obyvateľov (zdroj: Príloha k vyhláške MZ SR č. 534/2007 Z. z.)

Frekvenčný rozsah	Intenzita elektrického poľa E [V/m]	Intenzita magnetického poľa H [A/m]	Magnetická indukcia B [μ T]	Hustota toku výkonu ekvivalent. rovinatej vlny S_{eq} [W/m ²]
0 Hz až < 1 Hz		$3,2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	
1 až 8 Hz	10000	$3,2 \cdot 10^4/f^2$	$3,2 \cdot 10^4/f^2$	
0,025 kHz až < 0,8 kHz	10000	$4000/f$	$5000/f$	
0,8 kHz až < 3 kHz	$250/f$	5	6,25	
3 kHz až < 150 kHz	87	5	6,25	
0,15 MHz až < 1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$	
1 MHz až < 10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	

10 MHz až < 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 až < 2000 MHz	$1,375 \cdot f^{1/2}$	$0,0037 \cdot f^{1/2}$	$0,0046 \cdot f^{1/2}$	$f/200$
2 - 300 GHz	61	0,16	0,20	10

Zisťovanie skutočných hodnôt týchto veličín sa vykonáva priemerovaním nameraných hodnôt počas 6-minútového intervalu. Z toho vyplýva, že počas tejto doby okamžitá úroveň EMP môže akčnú hodnotu prekročiť, avšak v priemere počas 6 minút akčnú hodnotu presiahnuť nesmie. Ak je pole priestorovo silne nehomogénne, s akčnými hodnotami sa porovnáva priemerná intenzita poľa v oblasti zodpovedajúcej polohe srdca a hlavy exponovanej osoby, alebo sa na porovnanie s akčnou hodnotou použije hodnota intenzity poľa nameraná v geometrickom strede tejto oblasti.

4 Porovnanie požiadaviek na odolnosť elektronických zariadení s akčnými hodnotami EMP na expozíciu obyvateľov

Z porovnania tabuliek 2 a 3 vyplýva, že pravdepodobnosť rušenia elektronických zariadení je veľmi vysoká už pri úrovniach EMP vyšších ako 10 % akčnej hodnoty. Navyše je potrebné uvažovať s faktom, že v prípade elektronických zariadení sa posudzuje ich odolnosť na okamžitú maximálnu úroveň EMP.

Z tohto dôvodu sa vo vyhláške č. 534/2007 Z. z. uvádza, že ani **pri dodržaní stanovených akčných hodnôt expozície obyvateľov nemožno vylúčiť ovplyvnenie niektorých zariadení implantovaných do tela**, napr. kardiostimulátorov, protéz obsahujúcich feromagnetické materiály a pod. Keďže pri posudzovaní expozície EMP v trvalo obývaných priestoroch – bytoch nie je možné vylúčiť, že tam nebudú bývať osoby s takýmito elektronickými zariadeniami, malo by sa pri posudzovaní expozície v týchto miestach prihliadať na túto skutočnosť a zabezpečiť, aby intenzita EMP nepresahovala hodnoty uvedené v tabuľke 2.

Táto požiadavka vychádza z hodnôt nameraných na reálnych inštaláciách základňových staníc (ďalej len „ZS“). Napr. v prípade jedného merania pri ZS bola vo vzdialenosti cca 11 m od ZS v smere hlavného laloku antény pri širokopásmovom meraní nameraná hodnota (pri 6-minútovom priemerovaní) 11 V/m. Pri selektívnom meraní, ktorým sa získa maximálna možná intenzita poľa, bola nameraná celková intenzita EMP (sumárne na všetkých frekvenciách, na ktorých vysielajú relevantné zdroje) 26 V/m. Takáto intenzita poľa vysoko prekračuje požiadavky na odolnosť elektronických zariadení podľa tabuľky 2.

Pri inštalácii ZS sa počíta s tým, že hlavný vyžarovací lalok antén nezasahuje bezprostredne do okolitých budov. To znamená, že minimálna vzdialenosť budov od antén v smere ich hlavného laloku sa v praxi pohybuje vo vzdialenosti viac ako 40 m, čo je asi štvornásobná vzdialenosť hranice zhody (vzdialenosti od ZS, kde sú dosiahnuté akčné hodnoty). Takto je zabezpečené, že intenzita EMP pred budovami v priemere nepresiahne 3 – 4 V/m. V týchto miestach je v podstate zabezpečené, že nebude dochádzať k rušeniu elektronických zariadení.

V určitých prípadoch sa však môže stať, že táto vzdialenosť je menšia. V praxi sme sa stretli s prípadom, keď byt na najvyššom poschodí budovy bol umiestnený v hlavom laloku antény vo vzdialenosti 13 m. Pravdepodobnosť rušenia elektronických zariadení v tomto byte je vysoká, aj keď akčné hodnoty intenzity EMP neboli prekročené. Táto situácia nevznikla v dôsledku chybného návrhu operátora ZS, pretože posudzovaná ZS bola umiestnená v danom mieste (na streche vedľajšej budovy) ešte pred výstavbou bytového domu. V tom čase v smere hlavného laloku antén ZS neboli žiadne miesta s trvalým pobytom obyvateľov. V takýchto prípadoch, keď v bezprostrednej blízkosti zamýšľanej stavby bytového domu sa nachádza ZS alebo iný relevantný zdroj EMP, by bolo vhodné, aby súčasťou povolenia na výstavbu obytných budov bola aj štúdia o úrovni expozície obyvateľov bytových jednotiek.

5 Vplyv EMP od vnútorných zdrojov na elektronické zariadenia

V bytoch sa používajú aj elektronické zariadenia, ktoré využívajú na svoju činnosť rádiové vlnenie. Vytvárajú tak elektromagnetické pole, ktoré svojou intenzitou môže ovplyvniť iné elektronické zariadenia. V **tabuľke 4** sú uvedené možné zdroje EMP v bytoch a ich minimálna vzdialenosť od ostatných elektronických zariadení určená tak, aby sa vylúčilo ovplyvnenie ich činnosti.

Tabuľka 4: Zdroje EMP v bytoch a ich vplyv na ostatné elektronické zariadenia

Zariadenie	Pracovné frekvenčné pásmo	Vzdialenosť, kde je intenzita EMP ≤ 3 V/m
Wifi smerovač	2,4 – 2,4835 GHz	0,6 m
	5,15 – 5,35 GHz	0,8 m
	5,47– 5.725 GHz	1,8 m
Mikrovlnová rúra	2,48 – 2,52 GHz	2 m
Mobilný telefón*	GSM 880 – 915 MHz	2,5 m
	GSM 1710 – 1785 MHz	1,8 m
	LTE 832 – 862 MHz	0,9 m
	UMTS 2100 MHz	0,9 m

* Uvedené vzdialenosti sú maximálne. V praxi mobilné telefóny pracujú s menším výkonom, v závislosti od vzdialenosti k ZS.

Samostatnou kapitolou je **ovplyvňovanie zdravotníckych (telových) implantátov**. Z hľadiska odolnosti voči EMP platí pre tieto zariadenia niekoľko noriem, napr.:

- ISO 14117:2019 pre kardiostimulátory, implantovateľné defibrilátory a srdcové resynchronizačné zariadenia (testuje sa odolnosť voči frekvenciám v pásme do 3000 MHz),
- EN 301 489-29 pre ultranízkovýkonové aktívne zdravotnícke implantáty (ULP-AMI), periférne ultranízkovýkonové aktívne zdravotnícke implantáty (ULP-AMI-P), ultranízkovýkonové zariadenia nosené na tele (ULP-BWD), ultranízkovýkonové aktívne zdravotnícke zariadenia (ULP-AMD) a periférne ultranízkovýkonové aktívne zdravotnícke zariadenia (ULP-AMD-P) pracujúce v pásme 401 - 402 MHz a 405 - 406 MHz (testuje sa odolnosť voči frekvenciám v pásme 80 - 6000 MHz),
- EN 301 489-31 V2.1.1 (2016-11) pre ultranízkovýkonové aktívne zdravotnícke implantáty (ULP-AMI) a periférne ultranízkovýkonové aktívne zdravotnícke implantáty (ULP-AMI-P) pracujúce v pásme 9 - 315 kHz (testuje sa odolnosť voči frekvenciám v pásme 80 - 6000 MHz),
- EN 301 489-35 v.2.1.1 (2016-12) pre ultranízkovýkonové aktívne zdravotnícke implantáty (ULP-AMI) pracujúce v pásme 2483,5 - 2500 MHz (testuje sa odolnosť voči frekvenciám v pásme 80 - 6000 MHz).

V uvedených normách EN sa uvádza, že pre komunikačné spojenia nesúvisiace so životnými funkciami musia zariadenia pracovať bez narušenia pri intenzite EMP do 3 V/m a pre komunikačné spojenia súvisiace so životnými funkciami do 10 V/m.

Ďalším systémom, ktorý sa používa v domácnostiach a môže byť rušený mobilnými telefónmi, je **káblové televízia** (káblové distribučné systémy). Káblová televízia využíva na prenos signálu aj frekvencie, ktoré sú pridelené v súčasnosti mobilným službám, napr. LTE 800. Pre odolnosť zariadení káblovej televízie voči EMP platí norma STN EN 50083-2, podľa ktorej musia byť aktívne prvky odolné až do intenzity EMP 125 dB μ V/m, t. j. cca 1,8 V/m. Pasívne prvky (vrátane káblov) musia spĺňať požiadavky na tlmenie tienením podľa čl. 5.5 uvedenej normy (napr. 75 dB pre pásmo 470 - 1000 MHz pre triedu zariadení A), ale zároveň musia byť v pásme 790 - 862 MHz (ktoré sa využíva pre mobilné služby) odolné voči intenzite EMP do 120 dB μ V/m, t. j. 1 V/m. Problém môže nastať aj v prípade prijímacieho zariadenia. Pri meraní odolnosti prijímačov káblovej televízie (televízory a settopboxy) požiadavka na odolnosť **vo využívanom kanáli** je podľa normy STN EN 55020 len do 1 V/m. To znamená, že prijímač káblovej televízie je ešte citlivejší na intenzitu EMP ako aktívne zariadenia káblovej televízie.

Záver

Záverom je možné konštatovať, že problematika intenzity EMP v miestach trvalého pobytu obyvateľov (bytov, domov a pod.) nie je len záležitosť expozície obyvateľov EMP, ale i využívania zdravotníckych implantátov a bezproblémového používania elektronických zariadení v bytoch. Aj vyhláška MZ SR č. 534/2007 Z. z., ktorá stanovuje požiadavky na zdroje elektromagnetického žiarenia a na limity **expozície obyvateľov** elektromagnetickému žiareniu v životnom prostredí, v bode 3.2.2 svojej prílohy uvádza, že „ani pri dodržaní stanovených akčných hodnôt expozície **nemožno vylúčiť ovplyvnenie niektorých zariadení implantovaných do tela**, napr. kardiostimulátorov, protéz obsahujúcich feromagnetické materiály a podobne“.