VPLYV ELEKTROMAGNETICKÉHO ŽIARENIA MOBILNÝCH TELEFÓNOV NA ĽUDSKÝ ORGANIZMUS

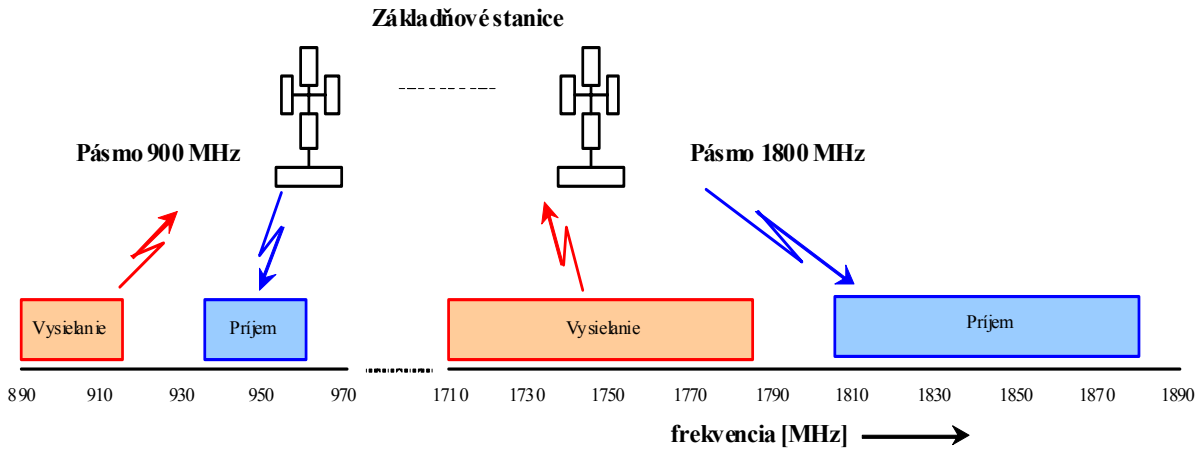
Zdeněk MATOUŠEK[1], Mikuláš ŠOSTRONEK[2], Jozef JAKUB[3]

Abstrakt: V článku je popísaný postup merania a spôsob vyhodnocovania elektromagnetického žiarenia mobilných telefónov. Je tu uvedené základné zapojenie meracieho pracoviska a výsledky merania vyžarovania náhodne vybraných typov mobilných telefónov rôznych výrobcov a ich možný vplyv na ľudský organizmus. Merania boli vykonané v útlmovej komore katedry elektroniky Akadémie ozbrojených síl gen. M. R. Štefánika v Liptovskom Mikuláši.

ÚVOD

Využívanie mobilných telefónov (MT) sa stalo neoddeliteľnou súčasťou každodenného života ľudí. Ich masové používanie v Európe sa spája s rozvojom digitálnych sietí mobilných telefónov GSM (Global System for Mobile Communications) na začiatku 90. rokov 20. storočia [1]. Od tejto doby bolo vykonané značné množstvo výskumov zameraných na analýzu vplyvu vyžarovania MT na ľudský organizmus. Najväčšie nebezpečenstvo možných negatívnych vplyvov na zdravie ľudí vychádza zo skutočnosti, že princíp činnosti MT je založený na vyžarovaní elektromagnetickej energie (elmge). Tento fakt ešte zvýrazňuje skutočnosť, že pri štandardnom telefonovaní je MT umiestnený v blízkosti hlavy, čo v konečnom dôsledku vedie k prenikaniu väčšiny vyžarovanej elmge do mozgu telefonujúceho.

V súčasnej dobe sa v rámci digitálnych sietí GSM využívajú dve frekvenčné pásma. Z historického pohľadu sa začalo najskôr využívať pásmo 900 MHz (vysielanie dát 890 až 915 MHz, príjem dát 935 až 960 MHz). Jeho kapacita však s narastajúcim počtom užívateľov MT nepostačovala, preto sa pristúpilo v prevádzke sietí GSM aj k využitiu pásma 1800 MHz (vysielanie dát 1710 až 1785 MHz, príjem dát 1805 až 1880 MHz) [2]. Základný princíp činnosti MT v sieti GSM je uvedený na obr. 1.



Obr. 1 Základný princíp činnosti MT v sieti GSM

[1] **doc. Ing. Zdeněk MATOUŠEK, PhD.,** Katedra elektroniky, AOS gen. M. R. Štefánika v Liptovskom Mikuláši, 031 01 Liptovský Mikuláš, fax: 044/552 49 59, tel: 0960 423 885, e_mail: Zdenek.Matousek@aos.sk.

[2] **Ing. Mikuláš ŠOSTRONEK, PhD.**, Katedra elektroniky, AOS gen. M. R. Štefánika v Liptovskom Mikuláši, 031 01 Liptovský Mikuláš, fax: 044/552 49 59 tel: 0960 423 244, e_mail: Mikulas.Sostronek@aos.sk.

[3] **doc. Ing. Jozef JAKUB, PhD.,** Katedra elektroniky, AOS gen. M. R. Štefánika v Liptovskom Mikuláši, 031 01 Liptovský Mikuláš, fax: 044/552 49 59, tel: 0960 423 051, e_mail: Jozef. Jakub@aos.sk.

1. OCHRANA OBYVATEĽOV PRED ÚČINKAMI ELEKTROMAGNETICKÉHO ŽIARENIA

Pre posúdenie škodlivosti elektromagnetického žiarenia (elmgž) elektronických zariadení na ľudský organizmus sú spracované zodpovedajúce STN, ktoré určujú hodnoty expozície pre obyvateľov resp. zamestnancov týmto žiarením a stanovujú najvyššie prípustné hodnoty ožiarenia, ako základného preventívneho opatrenia proti poškodeniu ich zdravia. Za základný dokument pre oblasť vysokých frekvencií elmgž (10 kHz až 300 GHz) prijatý Európskou úniou (EÚ) je možné považovať Európsku normu ENV 50166-2, ktorú spracovala Európska komisia pre normalizáciu v elektrotechnike (CENELEC) v roku 1995 [3]. Odporúčania tejto normy boli overované a postupne prijímané v jednotlivých štátoch EÚ.

V nadväznosti na vyššie uvedenú normu sú riešené otázky elmgž elektronických zariadení pre Slovenskú republiku v nasledujúcej legislatíve:

- Zákon č. 355/2007 Z. z., o ochrane, podpore a rozvoji zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov,
- Nariadenie vlády SR č. 329/2006 Z. z., o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou elektromagnetickému poľu,
- Vyhláška MZ SR č. 534/2007 Z. z., o podrobnostiach o požiadavkách na zdroje elmgž a na limity expozície obyvateľov elmgž v životnom prostredí.

Na základe vyššie uvedenej legislatívy je možné stanoviť tzv. akčné hodnoty nepretržitej expozície pre elektromagnetické polia vytvárané vyžarovaním MT. Pre obyvateľov SR sú to nasledujúce veličiny a ich akčné hodnoty:

1. Intenzita elektrického poľa E, ktorej akčné hodnoty E_A sa pre frekvenčné pásmo 400 MHz až < 2000 MHz určia zo vzťahu [4]

$$E_A = 1{,}375\sqrt{f_{MHz}} \quad \text{[V/m]}, \tag{1}$$

kde: f_{MHz} je frekvencia nosnej vyžarovanej elmge [MHz].

Pre vyžarovanie MT v pásme 900 MHz je hodnota E_A = 41,25 V/m a pre 1800 MHz je E_A = 58,33 V/m.

2. Intenzita magnetického poľa H, ktorej akčné hodnoty H_A sa pre frekvenčné pásmo 400 MHz až < 2000 MHz určia zo vzťahu [4]

$$H_A = 0{,}0037\sqrt{f_{MHz}} \quad \text{[A/m]}. \tag{2}$$

Pre vyžarovanie MT v pásme 900 MHz je hodnota H_A = 0,111 A/m a pre 1800 MHz je H_A = 0,157 A/m.

3. Magnetická indukcia B, ktorej akčné hodnoty B_A sa pre frekvenčné pásmo 400 MHz až < 2000 MHz určia zo vzťahu [4]

$$B_A = 0{,}0046\sqrt{f_{MHz}} \quad [\mu\text{T}]. \tag{3}$$

Pre vyžarovanie MT v pásme 900 MHz je hodnota B_A = 0,138 μT a pre 1800 MHz je B_A = 0,195 μT.

4. Hustota toku výkonu ekvivalentnej rovinnej vlny S_{eq}, ktorej akčné hodnoty S_{Aeq} sa pre frekvenčné pásmo 400 MHz až < 2000 MHz určia zo vzťahu [4]

$$S_{Aeq} = \frac{f_{MHz}}{200} \quad [\mathrm{W/m^2}]. \tag{4}$$

Pre vyžarovanie MT v pásme 900 MHz je hodnota S_{Aeq} = 4,5 W/m^2 a pre 1800 MHz je S_{Aeq} = 9,0 W/m^2.

Vyššie uvedené veličiny elektromagnetické poľa sú vzájomne ekvivalentné (pre frekvencie nosnej f > 10 MHz stačí vyhodnotiť jeden z nich) a ich akčné hodnoty sú pre potreby vyhodnocovania expozičnej doby vztiahnuté k **6 minútovému intervalu.**

V Európskej norme ENV 50166-2 je definovaná ďalšia veličina, pomocou ktorej je možné hodnotiť vyžarovanie elektronických zariadení vo frekvenčnom pásme 10 kHz až 300 GHz. Jedná sa o tzv. **„špecifickú mieru absorpcie“** označovanú SAR (Specific Absorption Rate). SAR je definovaná ako časová derivácia prírastkov energie (dW) absorbovaných v prírastkoch hmotnosti (dm) obsiahnutých v objeme (dV) o mernej hustote ρ vzťahom [3]

$$SAR = \frac{d}{dt}\left[\frac{dW}{dm}\right] = \left[\frac{dW}{\rho.dV}\right] \quad [\mathrm{W/kg}]. \tag{5}$$

Pomocou intenzity elektrického poľa E je možné pre frekvencie nosnej vyžarovanej elmge $f > 10$ MHz vyjadriť SAR vzťahom [5]

$$SAR = E^2 \frac{\sigma}{\rho} \quad [\mathrm{W/kg}], \tag{6}$$

kde: σ je vodivosť prostredia v ktorom sa elmge šíri [S/m],

ρ je merná hustota prostredia v ktorom sa elmge šíri [kg/m^3].

Pre používanie mobilných telekomunikačných zariadení (teda aj MT) je podľa Európskej normy ENV 50166-2 odporúčaná maximálna hodnota SAR na 2 W/kg, pričom sa všetky hodnoty SAR musia spriemerovať za ľubovoľný 6 minútový interval.

Ďalšou dôležitou skutočnosťou, ktorú je nutné pri používaní MT brať do úvahy je hĺbka vniknutia d elmge do tkaniva hlavy používateľa. Pre jej stanovenie platí vzťah [6]

$$d = \frac{1}{\omega\sqrt{\frac{\varepsilon_H \mu_0}{2}}\sqrt{\left[\sqrt{1+\left(\frac{\sigma_H}{\varepsilon_H \omega}\right)^2} - 1\right]}} \quad [\mathrm{m}], \tag{7}$$

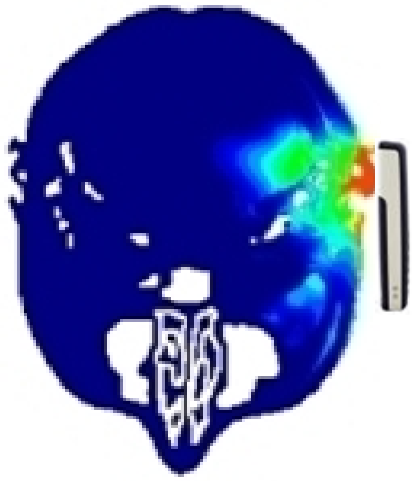
kde: $\omega = 2\pi f$ je uhlová frekvencia nosnej vyžarovanej elmge [Hz],

$\varepsilon_H = \varepsilon_0.\varepsilon_r = 8{,}854.10^{-12}.\varepsilon_r$ je permitivita tkaniva hlavy [F/m], pričom pre pásmo 900 MHz je ε_r = 41,5 a pre pásmo 1800 MHz je ε_r = 40,0 [5],

σ_H je vodivosť tkaniva hlavy, pričom pre pásmo 900 MHz je σ_H = 0,97 S/m a pre pásmo 1800 MHz je σ_H = 1,40 S/m [5],

$\mu_0 = 4\pi.10^{-7}$ je permeabilita vákua [H/m].

Podľa (7) je hĺbka vniku pre pásmo 900 MHz d = 3,62 cm a pre pásmo 1800 MHz je d = 2,43 cm. Rozloženie intenzity elektrického poľa E elmgž MT v tkanive ľudskej hlavy je znázornené na obr. 2.

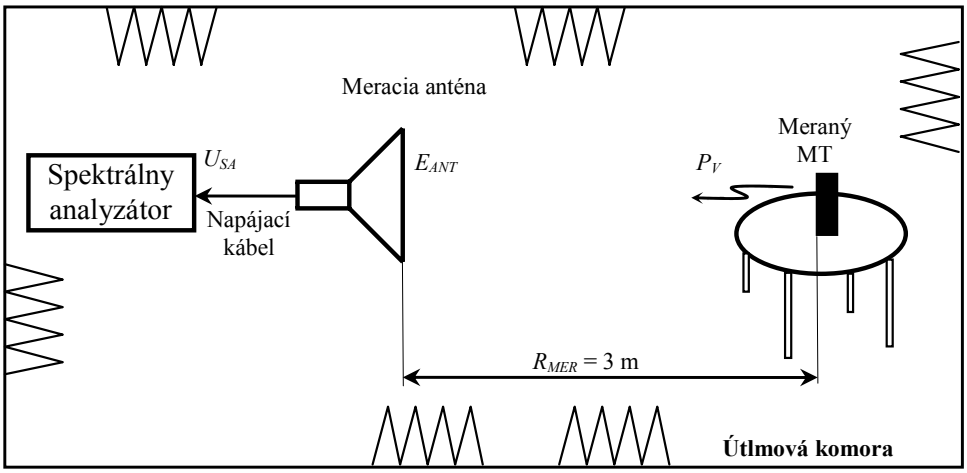


Obr. 2 Rozloženie intenzity elektrického poľa E elmgž MT v tkanive ľudskej hlavy

2. MERANIE VYŽAROVANIA MOBILNÝCH TELEFÓNOV

Prenos dát medzi mobilnými telefónmi a základňovými stanicami (podľa obr. 1) sa uskutočňuje pomocou rádiových komunikačných kanálov, ktoré sú z hľadiska využívaných výkonov adaptované. V praxi to znamená, že vyžarovaný výkon P_V MT sa mení podľa kvality momentálne využívaného rádiového komunikačného kanálu. Čím sú podmienky pre šírenie elmge daným kanálom lepšie, tým je vyžiarený výkon mobilných telefónov nižší a naopak.

Aby sa vyžiarený výkon mobilných telefónov blížil k ich maximálnym hodnotám, bolo vykonané meranie vyžarovania MT v útlmovej komore katedry elektroniky Akadémie ozbrojených síl gen. M. R. Štefánika v Liptovskom Mikuláši, kde je signál základňových staníc veľmi slabý. Tým boli vytvorené podmienky na to, aby jednotlivé MT vyžarovali signál s maximálnym výkonom. Merania vyžarovania MT boli vykonané na náhodne vybranej vzorke desiatich typov MT od rôznych výrobcov podľa zapojenia pracoviska uvedeného na obr. 3.



Obr. 3 Zapojenie pracoviska na meranie vyžarovania MT

Pri meraní vyžarovania MT bolo vyhodnocovaná stredná hodnota napätia na vstupe spektrálneho analyzátora U_{SA} [dB], ktorá bola vybudená vplyvom vyžarovania jednotlivých MT. Z tohto napätia bola stanovená hodnota intenzity elektrického poľa $E_{ANT[dB]}$ v mieste meracej antény na základe vzťahu

$$E_{ANT[dB]} = U_{SA} + AF + L_K \quad \text{[dB]}, \tag{8}$$

kde: AF je anténový faktor meracej antény [dB/m], (pre pásmo 900 MHz je jeho hodnota 32,33 dB/m a pre pásmo 1800 MHz je 39,26 dB/m), L_K je útlm napájacieho kábla [dB], (pre pásmo 900 MHz je jeho hodnota 5,5 dB a pre pásmo 1800 MHz je 2,1 dB).

Prepočet intenzity elektrického poľa $E_{ANT[dB]}$ v mieste meracej antény na intenzitu elektrického poľa E_{ANT} vyjadrenú vo V/m sa vykoná podľa vzťahu

$$E_{ANT} = 10^{\frac{E_{ANT[dB]}}{20}} \quad \text{[V/m]}. \tag{9}$$

Nakoľko sa pri štandardnom telefonovaní prikladajú MT tesne k uchu a s ohľadom na hĺbku vniknutia d elmge do tkaniva hlavy používateľa stanovenú podľa vzťahu (7), je nutné prepočítať hodnotu intenzity elektrického poľa E_{ANT} do obslužnej vzdialenosti R_{OBSL} = 5 cm. Pre stanovenie hodnoty intenzity elektrického poľa E_{OBSL} vo vzdialenosti 5 cm od MT platí vzťah:

$$E_{OBSL} = E_{ANT} \frac{R_{MER}}{R_{OBSL}} \quad \text{[V/m]}. \tag{10}$$

Na základe hodnôt intenzity elektrického poľa E_{OBSL} a akčných hodnôt intenzity elektrického poľa E_A (pre pásmo 900 MHz resp. 1800 MHz) sa určí maximálna expozičná doba T_{EXP} zo vzťahu:

$$T_{EXP} = \frac{6E_A}{E_{OBSL}} \quad \text{[min.]}. \tag{11}$$

Maximálna expozičná doba T_{EXP} je medzná hodnota času, po ktorú nebude vplyvom telefonovania MT prekročený povolený limit expozície elektromagnetickým poľom. Výsledky nameraných a vypočítaných hodnôt jednotlivých veličín nutných pre vyhodnotenie možných vplyvov vyžarovania meraných MT pre pásmo 900 MHz a 1800 MHz sú uvedené v tab. 1 resp. tab. 2.

Tab. 1 Výsledky nameraných a vypočítaných hodnôt veličín pre pásmo 900 MHz

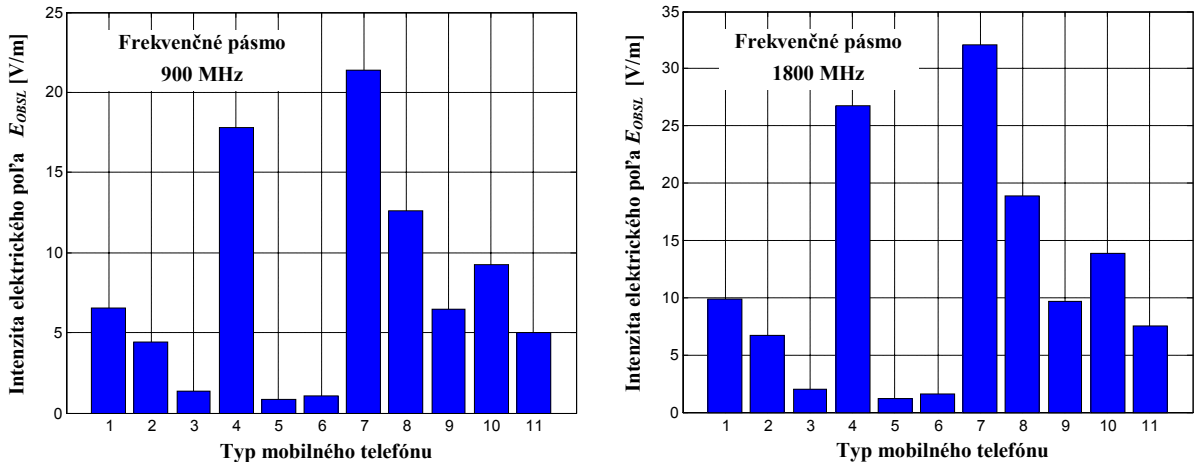
Veličina	Typ mobilného telefónu										
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10	ϕ (11)
U_{SA} [dB]	-57,1	-60,4	-70,9	-48,4	-75,2	-72,9	-46,8	-51,4	-57,2	-54,1	-59,4
E_{OBSL} [V/m]	6,556	4,453	1,328	17,819	0,812	1,058	21,363	12,579	6,451	9,218	4,985
T_{EXP} [min.]	37,75	55,58	186,4	13,89	304,75	233,85	11,59	19,67	38,36	26,85	49,65

Tab. 2 Výsledky nameraných a vypočítaných hodnôt veličín pre pásmo 1800 MHz

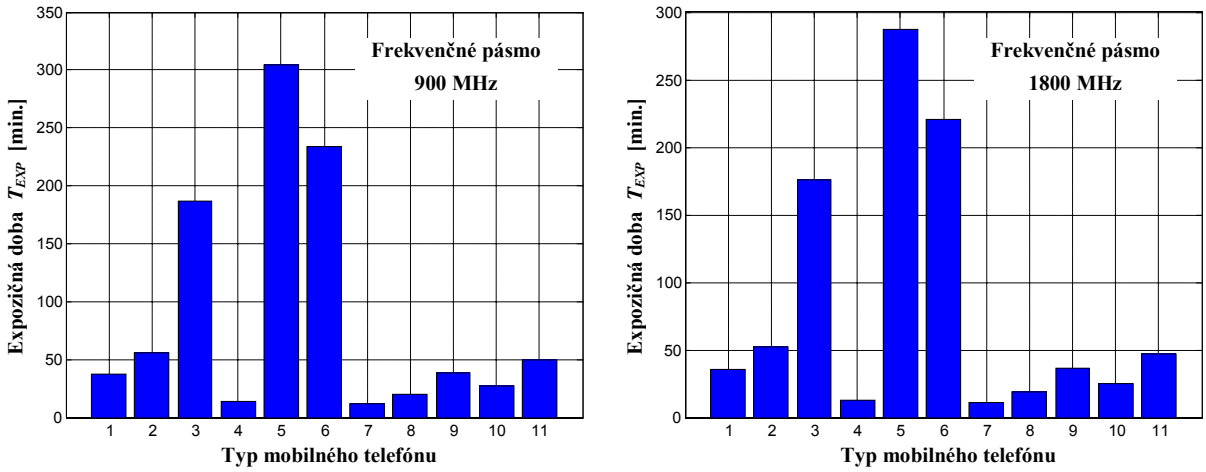
Veličina	Typ mobilného telefónu										
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10	ϕ (11)
U_{SA} [dB]	-57,1	-60,4	-70,9	-48,4	-75,2	-72,9	-46,8	-51,4	-57,2	-54,1	-59,4
E_{OBSL} [V/m]	9,844	6,686	1,994	26,76	1,219	1,589	32,074	18,887	9,686	13,840	7,484
T_{MEP} [min.]	35,55	52,35	175,55	13,08	287,0	220,2	10,91	18,53	36,13	25,29	46,76

Poznámka: MT č. 1 – Sony Ericsson K-530i, MT č. 2 – Nokia 3510, MT č. 3 – Siemens C-75, MT č. 4 – Nokia 6300, MT č. 5 – Nokia 1650, MT č. 6 – Nokia 6020, MT č. 7 – Alcatel one touch 311, MT č. 8 – Sony Ericsson K-750i, MT č. 9 – Nokia 6070, MT č. 10 – Sony Ericsson T-230.

Grafické vyjadrenia nameraných hodnôt intenzity elektrického poľa E_{OBSL} a maximálnej expozičnej doby T_{EXP} pre jednotlivé typy MT sú uvedené na obrázkoch 4 resp. 5.



Obr. 4 Grafické vyjadrenie hodnôt intenzity elektrického poľa E_{OBSL} meraných typov MT



Obr. 5 Grafické vyjadrenie hodnôt maxim. expozičnej doby T_{EXP} meraných typov MT

Poznámka: Pod číslom 11 je v grafoch jednotlivých veličín uvedená priemerná hodnota danej veličiny vypočítaná z hodnôt zodpovedajúcich typom MT pod číslom 1 ÷ 10.

V zmysle vzťahu (6) bolo možné na základe maximálnej hodnoty intenzity elektrického poľa E_{OBSL} z tabuľky 1 a 2 stanoviť maximálnu hodnotu SAR pre merané MT. Táto hodnota zodpovedá vyžarovaniu typu MT č. 7. Pre pásmo 900 MHz je SAR = 0,442 a pre pásmo 1800 MHz je SAR = 1,44.

3. VPLYV VYŽAROVANIA MOBILNÝCH TELEFÓNOV NA ĽUSKÝ ORGANIZMUS

Súčasný spôsob života ľudskej populácie spolu s rozvojom zodpovedajúcich technológií priniesol rapídny nárast využívania MT v bežnom živote. Predovšetkým u mladých ľudí a osôb vykonávajúcich manažérske funkcie sa prejavuje fakt, že títo telefonujú MT častejšie a dlhšie, čím sa vo zvýšenej miere vystavujú účinkom ich elmgž.

Vzhľadom na dobu masového využívania MT nebolo do súčasnej doby možné vykonať dlhodobú (viacročnú) analýzu vplyvu žiarenia MT, ktoré by potvrdili alebo vyvrátili jeho priamy účinok na vznik konkrétnych chorobných zmien v ľudskom tele. Výsledky niektorých štúdií, sledujúcich ale len relatívne krátkodobé pôsobenie elmgž na živé organizmy, však naznačujú isté zdravotné riziká vyplývajúce z používania MT. Z klinických symptómov sa môžu prejavovať napr. pocity tepla v oblasti ucha, bolesti hlavy, hmlisté videnie, poruchy činnosti autonómneho nervového systému atď. [7].

Od roku 2002 sú napr. známe výsledky štúdie subjektívnych symptómov vykonanej na skupine 161 respondentov v závislosti od dĺžky a počtu hovorov vykonaných MT v pásme 900 MHz a 1800 MHz [8]. Na základe výsledkov uvedenej štúdie je možné konštatovať, že užívatelia MT si počas hovoru častejšie sťažovali na únavu, pocity dyskomfortu (pocit nepohodlia) a tepla v uchu. Niektoré symptómy sa častejšie prejavovali s rastúcou dĺžkou a počtom uskutočnených hovorov. Pre pásmo 1800 MHz bol oproti pásmu 900 MHz vyhodnotený zvýšený výskyt zhoršenia koncentrácie a bolesti hlavy. Vybrané výsledky tejto štúdie sú uvedené v tab. 3 [7].

Tab. 3 Vybrané výsledky štúdie subjektívnych symptómov užívateľov MT

Symptómy	Pásmo MT [MHz]		Dĺžka jedného hovoru		Počet hovorov /deň	
	900 [%]	1800 [%]	menej ako 2 min. [%]	viac ako 2 min. [%]	menej ako 2 hovory [%]	viac ako 2 hovory [%]
Bolesti hlavy	9,2	20,8	18,1	10,7	12,0	14,2
Poruchy koncentrácie	16,6	45,8	22,7	26,7	28,0	21,4
Únava	46,2	70,8	54,5	55,3	56,0	53,5
Pocity dyskomfortu	24,0	20,8	0	30,3	10,0	46,4
Pocit tepla v uchu	53,7	58,3	36,3	64,3	42,0	78,6

Obdobný výskum bol uskutočnený na vzorke viac ako 10 000 respondentov z Nórska a Švédska, pričom u najviac zúčastnených sa vyskytli rôzne pocity tepla v uchu (55 %), bolesti hlavy (10 %) a závrate (8 %) [7].

Od roku 2000 sa na oddelení klinického pracovného lekárstva a toxikológie ÚVN v Ružomberku vykonáva výskum vplyvu elmgž na autonómny nervový systém. Na základe jeho doterajších výsledkov je možné konštatovať, že elmgž MT priamo nevyvoláva vznik špecifických ochorení. Je však pravdepodobné, že sa elmgž MT môže v rôznej miere spolupodieľať na poruchách činnosti autonómneho nervového systému a tým nepriamo vyvolať vznik rôznych nešpecifických ochorení podľa individuálnej vnímavosti každého človeka [7].

ZÁVER

Z vyššie uvedených hodnôt úrovne vyžarovania meraných MT vyplýva, že všetkých 10 meraných MT vyhovuje z hľadiska *SAR* limitnej hodnote stanovenej Európskou normou ENV 50166-2 pre pásmo 900 MHz aj 1800 MHz. Nakoľko táto norma platí pre všetkých výrobcov MT, musia ich výrobky tejto norme vyhovovať. Podľa údajov výrobcov MT uvedených napr. v [9] tejto norme v skutočnosti aj vyhovujú.

Cez tento fakt je však nutné konštatovať, že u takmer všetkých meraných MT bola po cca 50 minútach hovoru prekročená povolená hodnota expozície elektromagnetickým poľom (pri dvoch typoch už po 11 až 14 minútach). Na základe tohto faktu je možné predpokladať, že pri uskutočňovaní takýchto dlhých hovorov sa prejaví negatívny vplyv vyžarovania MT na ľudský organizmus a to hlavne v oblasti vniknutia elmge do tkaniva hlavy jeho používateľa.

Na základe uvedených skutočností je vhodné pri používaní MT dodržiavať nasledujúce zásady:

- minimalizovať komunikáciu MT na dobu nevyhnutne nutnú (rádovo niekoľko minút),
- pri dlhšom telefonovaní MT, s ohľadom na hĺbku vniknutia elmge do tkaniva hlavy, meniť polohu MT z ľavej strany hlavy na pravú a opačne,
- pri dlhšom telefonovaní MT využívať tzv. „Hands-free set“ alebo náhlavnú súpravu „Bluetooth“,
- neprikladať MT tesne na ucho, ale oddialiť ho niekoľko centimetrov od ucha,
- na telefonovanie využívať MT s nižšou hodnotou SAR,
- pokiaľ je to možné, minimalizovať použitie MT v priestoroch so slabým signálom (výťah, automobil, električka ...), kedy dochádza u MT k adaptívnemu zvýšeniu ich vyžarovaného výkonu P_V,
- minimalizovať používanie MT u detí, tehotných žien a ľudí s kardiostimulátorom.

POUŽITÁ LITERATÚRA

[1] OLBERT, M.: *Mobilná komunikácia*, [Referát], Banská Bystrica, 2005, uverejnené na IA: http://www.tahaky-referaty.sk/SAR---vyzarovanie-mobilnych-telefonov/1511/&i9

[2] DOBOŠ, Ľ.: *Mobilné rádiové siete*, Žilinská univerzita, Žilina, 2002, 312 s., ISBN 80-7100-936-9

[3] CELENEC: Expozícia EMP v pásmu vysokých kmitočtů (10 kHz – 300 GHz), Bruxelles, CELENEC, 1995, 44 s.

[4] VYHLÁŠKA Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 534 zo dňa 16.8.2007, In: *Zbierka zákonov čiastka 224/2007*, Bratislava, 2007, 5 s.

[5] D. L. MEANS, D. L. – CHAN, K. W.: *Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields.* Office of Engineering and Technology Federal Communications Commission, Washington (USA), 2001.

[6] GOEDBLOED, J.: *Electromagnetic Compatibility*, Prentice Hall, Hertfordshire (Netherlands), 1990, ISBN 0-13-249293-8.

[7] OSINA, O.: Mobilné telefóny, aktuálny problém súčasnosti, In *Nové poznatky v oblasti medicínskych vied a ošetrovateľstva,* Fakulta zdravotníctva Katolíckej univerzity, Ružomberok, 2006, 34 s., ISBN 80-8084-125-X

[8] SANTINY, R. a kol.: Symptoms Experienced by Users of Digital Cellular Phones: A Study of a French Engineering School. In *Electromagnetic Biology and Medicine,* No 21, 2002, pp. 81 – 88.

[9] Uverejnené na IA: http://www.sarvalues.com/eu-complete.html

Recenzent článku: doc. Ing. Ján OCHODNICKÝ, PhD., Katedra Elektroniky,
AOS gen. M. R. Štefánika, 031 01 Liptovský Mikuláš, dňa 3. 2. 2009.