PRINCÍPY OCHRANY ZDRAVIA PRI PRÁCI V ELEKTROMAGNETICKÝCH POLIACH

Oto Osina *)

ÚVOD

Umelé elektromagnetické polia (EMP) sú neoddeliteľnou súčasťou života modernej spoločnosti. Sú čoraz viac využívané v rôznych technológiách a zasahujú do života ľudí nielen pri práci, ale i v mimopracovnom čase. Dá sa konštatovať, že v súčasnosti je človek permanentne obklopený EMP rôznych frekvencií a intenzít. Z hľadiska životného prostredia je spleť umelých elektromagnetických polí niekedy označovaná i ako elektromagnetický smog. O tom, či a akým spôsobom EMP ovplyvňujú biologické systémy, hlavne zdravie človeka sa dlhodobo vedú rôzne odborné polemiky. Vo všeobecnosti sa stále jedná o riešenie pretrvávajúceho problému elektromagnetickej kompatibility, čiže únosnej vzájomnej koexistencie rôznych elektrických a elektronických zariadení v interakcii s rôznymi biologickými systémami, predovšetkým však s ľudským organizmom. V tejto súvislosti dochádza v posledných rokoch k mimoriadnemu rastu aktivít pri tvorbe príslušných technických a bezpečnostných noriem na ochranu zdravia, ktoré predstavujú základný nástroj zabezpečenia elektromagnetickej kompatibility. V roku 2006 boli v SR vydané 2 nariadenia vlády upravujúce túto problematiku, obe v súlade s platnou európskou legislatívou. Táto skutočnosť svedčí o tom, že EMP sú všeobecne považované za potenciálne nebezpečné a v záujme prevencie vzniku poškodení zdravia populácie vyžadujú regulačné opatrenia.

Názory na riziko ohrozenia zdravia EMP sa v poslednej dobe ustálili. Definovaním limitov pre populáciu a pracovné prostredie sa podľa súčasných a overených poznatkov vedy vytvorila určitá názorová rovnováha medzi potrebami technológií a ochranou ľudského zdravia. Dodržiavanie limitov najvyššieho prípustného ožiarenia v dostatočnej miere chráni človeka pred prípadným vznikom vážnejších zdravotných poškodení. I keď bola legislatívne vytvorená určitá hranica elektromagnetickej kompatibility, stále zostáva celý rad nedoriešených problémov, ktoré sú predmetom skúmania mnohých vedeckých inštitúcií. Súčasné poznatky je potrebné neustále overovať, prípadne revidovať a predovšetkým sledovať pôsobenie EMP v čase s cieľom odhaliť prípadné neskoršie následné účinky.

Základné princípy interakcie EMP a biologického systému

Ak chceme pochopiť vzájomné interakcie EMP a biologického systému, musíme najskôr poznať ich najdôležitejšie vlastnosti. Veľkosť šíriacej sa elektromagnetickej vlny, ako celku je označovaná ako intenzita alebo Pointingov vektor *S*. Jedná sa o výkon prenášaný elektromagnetickou vlnou cez jednotkovú plochu kolmú na smer šírenia vlny.[1] Jej jednotkou je $W.m^{-2}$ resp. $mW.cm^{-2}$ a jej hodnota klesá so vzdialenosťou od zdroja. Z pohľadu biologických efektov je intenzita poľa podstatnou veličinou. S rastúcou intenzitou rastie závažnosť aj biologických účinkov.

[1] Príloha č. 1 k nariadeniu vlády č. 329/2006 Z.z.

*) h. doc. MUDr. Oto OSINA, tel.: 044/438 23 48,483 25 05, mob.: 0905 358 238, E-mail: osina@uvn.sk,
primár klinického pracovného lekárstva,
Ústredná vojenská nemocnica Slovenského národného povstania Ružomberok

Rýchlosť šírenia elektromagnetických vĺn je závislá na vlastnostiach prostredia, z ktorých najdôležitejšie sú permitivita ε (univerzálna konštanta daného prostredia), permeabilita μ (priepustnosť), a konduktivita σ (vodivosť). Rýchlosť šírenia elektromagnetickej vlny vo vákuu a približne i vo vzduchu sa rovná rýchlosti svetla c, t. zn. 300 000 km.s^{-1} .[2]

Ďalším dôležitým parametrom elektromagnetického poľa je jeho frekvencia (t. zn. počet kmitov za 1 sekundu udávané v Hz). Frekvencia je kritériom pre rozdelenie elektromagnetických polí na frekvenčné pásma, ktoré majú z biologického hľadiska rôzne, odlišné vlastnosti.

Podľa rozloženia v priestore je možné EMP rozdeliť na homogénne - majúce rovnaké vlastnosti v celom priebehu a nehomogénne meniace sa v dôsledku zmien parametrov prostredia. EMP v blízkosti vodivých objektov (vrátane človeka) je nehomogénne a jeho meranie je pomerne zložité. Z tohto dôvodu sa pre účely meraní a stanovení najvyšších prípustných hodnôt ožiarenia používa hodnota izotropného – homogénneho poľa.

Bunková a orgánová štruktúra biologických systémov je z hľadiska šírenia elektromagnetických vĺn nehomogénnym prostredím, t. zn. parametre takéhoto prostredia sa menia v závislosti na množstve, druhu a funkčnosti buniek tvoriacich tkanivo alebo orgán. Konduktivita prostredia z hľadiska konečného biologického efektu zohráva významnú úlohu. Na rozhraniach medzi dvomi prostrediami s rozdielnou konduktivitou (kov – voda, vzduch – pokožka, svalové – tukové tkanivo, bunkové membrány a pod.) dochádza k fyzikálnym dejom, ktoré okrem vodivosti prostredia závisia od samotných vlastností prenikajúcich elektromagnetických vĺn predovšetkým frekvencie a intenzity. Vzrastajúca permitivita zmenšuje rýchlosť šírenia elektromagnetických vĺn a nehomogenita prostredia spôsobuje rôzne čiastkové odrazy.[3] Nehomogenita prostredia môže v dôsledku odrazov vo vysoko lokalizovaných oblastiach alebo malom objeme tkaniva vyvolať koncentráciu poľa so vznikom tzv. horúcich bodov (hot spot). V týchto miestach môže dôjsť k tepelnému poškodeniu tkaniva, ktoré je väčšie než by odpovedalo dopadajúcemu EMP.[4]

Po dopade elektromagnetickej vlny na biologický systém dochádza v rôznej miere k jej prieniku alebo odrazu, ktoré závisia na veľkosti systému a uhlovom postavení voči dopadajúcej vlne. V dopadovom prostredí môže byť odraz sprevádzaný vznikom povrchovej vlny šíriacej sa pozdĺž rozhrania. Povrchová vlna, pri dopade na živý organizmus, môže vyvolať podráždenie receptorov alebo nervového tkaniva, ktoré môže vyvolať podráždenie vyššej intenzity, než akú mala pôvodná, vyvolávajúca vlna. Tento efekt sa vysvetľuje vodivosťou neurónov, ktorá je podstatne vyššia ako vodivosť svalového alebo tukového tkaniva.

Z hľadiska rozmerov nehomogénneho biologického systému a vlnovej dĺžky dopadajúceho elektromagnetického poľa, môžu vzniknúť situácie, kedy teleso je väčšie ako vlnová dĺžka, zrovnateľné s vlnovou dĺžkou a menšie ako vlnová dĺžka.

V prvom prípade ak je vlnová dĺžka menšia ako rozmery telesa, dochádza na jednotlivých rozhraniach vo vnútri telesa k dopadu, odrazu, lomu a absorpcii vlnenia.

V prípade, že vlnová dĺžka je zrovnateľná s rozmermi telesa, dochádza k rezonančným javom a v poslednom prípade, keď vlnová dĺžka je väčšia ako rozmery telesa, vznikajú situácie podobné chovaniu sa telesa v statickom elektromagnetickom poli, kedy je efekt závislý hlavne na polarizácii vlny a vodivosti vonkajšieho prostredia.

Významným parametrom ovplyvňujúcim výsledný efekt EMP v biologickom systéme je doba expozície. Vzrastajúca dĺžka expozície, rastúca intenzita a frekvencia vedú k zvyšovaniu výskytu a závažnosti účinkov EMP na biologický systém.

Z hľadiska všeobecných biologických účinkov je možné účinky EMP rozdeliť na tepelné a netepelné. V tkanive absorbovaná elektromagnetická energia vyvoláva vzostup vnútornej teploty, zvýšenie pohybu iónov, vibráciu molekúl a súhlasnú rotáciu dipólových molekúl. Výsledným

---

[2] FEYNMAN, R. P.- LEIGHTON, R. B.- SANDS, M.: Feynmanove prednášky z fyziky 2. 2. vyd. ALFA, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, Bratislava, 1985.s. 496 s.

[3] VOKURKA, J.: Šíření elektromagnetických vln. In: Sborník přednášek: Elektromagnetická pole a biologické systémy. Praha: ČSVTS–FEL–ČVUT, 1980, 199 s.

[4] ĎATLOV, J.: Efekty ovlivňující specifickou míru absorpce energie elektromagnetické vlny v ozářených biologických objektech. Sborník přednášek: Elektromagnetická pole a biologické systémy. Praha: ČSVTS–FEL–ČVUT, 1980, 199 s.

efektom je rozrušenie chemických väzieb, nárast teploty s následnou denaturáciou bielkovín.[5] Tepelné účinky sú napr. využívané v činnosti mikrovlnných sušičiek dreva, mikrovlnných rúr kde intenzita EMP je viac ako 100 $mW.cm^{-2}$.

O netepelných účinkoch je možné uvažovať v prípadoch, keď po aplikácii nízkointenzitných EMP nedochádza k vzostupu teploty vo vnútri biologického systému vôbec alebo len v minimálnej nevýznamnej miere. Do tejto skupiny účinkov môžeme zaradiť stále diskutované alebo vysoko špecifické účinky ako sú napr. vizuálne vnemy – fosfény prejavujúce sa vnímaním blikania bieleho svetla, možný ale doposiaľ nejednoznačne overený pokles ochranných mechanizmov proti voľným radikálom v erytrocytoch a plazme, možné neurovegetatívne, hematologické a imunologické poruchy, poruchy permeability hematoencefalickej bariéry, poruchy srdcového rytmu a zmeny variability srdcovej frekvencie, funkčné poruchy autonómneho nervového systému, poruchy bunkových transportných mechanizmov, degeneratívne zmeny buniek sietnice a pod.

Princípy ochrany zdravia

Najdôležitejším princípom bezpečnosti a ochrany zdravia pri používaní rôznych zdrojov EMP je stanovenie najvyšších prípustných hodnôt ožiarenia. Ich určenie je výsledkom kompromisu medzi technickými požiadavkami a zabezpečením dostatočnej ochrany zdravia pracovníkov a obyvateľstva. V SR boli v r. 2006 vydané 2 nariadenia vlády upravujúce túto problematiku. Nariadenie vlády SR 325/2006 o podrobnostiach o požiadavkách na zdroje elektromagnetického poľa a na limity expozície obyvateľov elektromagnetickému poľu v životnom prostredí. Toto nariadenie určuje minimálne požiadavky na zdroje a vlastnosti EMP, účelom ktorých je ochrana zdravia obyvateľov v životnom prostredí pred účinkami EMP vo frekvenčnom rozmedzí 0Hz – 300GHz. Nariadenie vlády SR 329/2006 o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou elektromagnetickému poľu. V tomto nariadení sú ustanovené minimálne požiadavky na zaistenie bezpečnosti a ochrany zdravia zamestnancov exponovaných EMP s frekvenciou od 0Hz do 300GHz. Požiadavky stanovené týmto nariadením sa vzťahujú na nepriaznivé účinky krátkodobej expozície EMP na ľudský organizmus, ktoré sú spôsobené indukovanými, kontaktnými prúdmi a absorpciou energie. Netýkajú sa účinkov v dôsledku ich dlhodobého pôsobenia ani rizika alebo ohrozenia, ktoré môže vznikať pri kontakte s neizolovaným vodičom.

Tieto nariadenia sú prebrané zo smernice Európskeho parlamentu a Rady 2004/40/ES z 29. apríla 2004 a po ich vydaní v štátoch únie by mali platiť vo všetkých štátoch európskeho spoločenstva. Prijatie celosvetovo platných a jednotných noriem predstavuje značný problém predovšetkým z dôvodu, že doposiaľ nebola jednoznačne stanovená minimálna hranica vzniku negatívnych účinkov na ľudský organizmus alebo jeho orgánové subsystémy.

Vlastnému meraniu úrovne EMP na pracovisku alebo v životnom prostredí musí predchádzať posúdenie expozície. Toto je povinný vykonať v prípade pracovného prostredia zamestnávateľ, v prípade životného prostredia posúdenie a merania vykonávajú príslušné úrady verejného zdravotníctva.

Pri posudzovaní rizík expozície EMP na pracoviskách je potrebné vziať do úvahy frekvenčné spektrum, úroveň a typ expozície, jej trvanie, limitné a akčné hodnoty expozície, sekundárne účinky expozície napr. vymršťovanie voľne položených feromagnetických predmetov v statickom magnetickom poli, vzájomné spolupôsobenie polí z rôznych zdrojov a rôznych frekvencií, ovplyvňovanie automatickej signalizácie prítomnosti toxických látok, ovplyvňovanie lekárskych zariadení v dosahu zdroja (kardiostimulátory, elektronické snímače, teplomery a pod.), možnosť vzniku požiarov alebo samozapálenia elektroexplozívnych detonátorov a pod. Pri hodnotení rizika poškodení zdravia nesmú byť vynechané poznatky o zdravotnom stave a zložení

[5] ANDERSEN, B. J. – JOHANSEN, C. – PEDERSEN, F. G. – RASKMARK, P.: On the possible health effects related to GSM and DECT transmissions – a tutorial study. Aalborg University: Center for personkommunikation, Institute of electronic systems. 1.vyd. 1995, 60 s.

zamestnancov s dôrazom na osobitné skupiny medzi ktoré patria mladiství, ženy vo fertilnom veku, matky, osoby s oslabeným zdravotným stavom a iné.

Po posúdení a zmeraní expozície je potrebné prijať opatrenia na odstránenie alebo zníženie expozície, pričom v žiadnom prípade nesmú byť prekročené limitné hodnoty expozície[6], ktoré sú uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1 Limitné hodnoty expozície v pracovnom prostredí (musia byť splnené všetky podmienky)[6]

Frekvenčný rozsah	**Prúdová hustota pre hlavu a trup J ($mA.m^{-2}$)**	**Priemerná hodnota SAR pre celé telo ($W.kg^{-1}$)**	**Lokálna hodnota SAR (hlava a trup) ($W.kg^{-1}$)**	**Lokálna hodnota SAR (končatiny) ($W.kg^{-1}$)**	**Hustota toku výkonu S ($W.m^{-2}$)**
Do 1 Hz	40	–	–	–	–
1 Hz < 4 Hz	40/f	–	–	–	–
4 Hz < 1000 Hz	10	–	–	–	–
1000 Hz < 100 kHz	f/100	–	–	–	–
100 kHz < 10 MHz	f/100	0,4	10	20	–
10 MHz < 10 GHz	–	0,4	10	20	–
10 GHz < 300 GHz	–	–	–	–	50

Akčné hodnoty expozície sú veľkosti priamo merateľných parametrov – intenzity elektrického poľa (E), intenzity magnetického poľa (H), magnetickej indukcie (B) a výkonovej hustoty (S). Dodržiavanie akčných hodnôt expozície uvedených v tabuľke 2 zabezpečuje, že súčasne nebudú prekročené limitné expozičné hodnoty.

Tabuľka 2 Akčné hodnoty expozície v pracovnom prostredí

Frekvenčný rozsah	**Intenzita elektrického poľa E ($V.m^{-1}$)**	**Intenzita magnetického poľa H ($A.m^{-1}$)**	**Magnetická indukcia B (µT)**	**Hustota toku výkonu ekviv. rovinnej vlny S_{eq} ($W.m^{-2}$)**	**Kontaktný prúd I_c (mA)**	**Indukovaný prúd končatiny I_L (mA)**
0 Hz < 1Hz	–	$1,63x10^5$	$2x10^5$	–	1,0	–
1 Hz < 8 Hz	20 000	$1,63x10^5/f^2$	$2x10^5/f^2$	–	1,0	–
8 Hz < 25 Hz	20 000	$2x10^4/f$	$2,5x10^4/f$	–	1,0	–
25 Hz < 0,82 kHz	500/f	20/f	25/f	–	1,0	–
0,82 kHz < 2,5 kHz	610	24,4	30,7	–	1,0	–
2,5 kHz < 65 kHz	610	24,4	30,7	–	0,4 f	–
65 kHz < 100 kHz	610	1600/f	2000/f	–	0,4 f	–
0,1 MHz < 1 MHz	610	1,6/f	2/f	–	40	–
1 MHz < 10 MHz	610/f	1,6/f	2/f	–	40	–
10 MHz < 110 MHz	61	0,16	0,2	10	40	100
110 MHz < 400 MHz	61	0,16	0,2	10	–	–
400 MHz < 2 GHz	$3 f^{1/2}$	$0,008 f^{1/2}$	$0,01 f^{1/2}$	f/40	–	–
2 GHz < 300 GHz	137	0,36	0,45	50	–	–

[6] Nariadenie vlády SR 329/206 Z.z. o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou elektromagnetickému poľu

Zníženie expozície je možné docieliť prijatím ďalších opatrení ako sú napr. stavebné a priestorové usporiadanie pracovísk, zavedenie iných metód práce, používanie slabších polí, tienenie zdrojov EMP, obmedzenie dĺžky expozície alebo používanie účinných osobných ochranných pracovných pomôcok. Každé pracovisko, kde dochádza k prekračovaniu akčných hodnôt expozície musí byť zreteľne označené a na tieto pracoviská by mal byť obmedzený prístup iným osobám.

Ďalším, dôležitým princípom ochrany zdravia pred nepriaznivými účinkami EMP sú stále podceňované preventívne prehliadky osôb pracujúcich v prostredí s EMP. Tieto majú byť vykonávaní vždy ak pre zamestnancov exitujú riziká poškodenia zdravia z práce. V takýchto prípadoch by mali byť vykonávané vstupné vyšetrenia nových zamestnancov pred zaradením na rizikové pracovisko alebo zamestnancov, ktorí síce na pracovisku už pracovali , ale boli z iných dôvodov dlhšiu dobu práceneschopní alebo došlo k významnejšej zmene ich zdravotného stavu. Periodické preventívne vyšetrenia by sa mali vykonávať pravidelne v intervaloch, ktoré sú dané závažnosťou expozície a stanovené orgánmi na ochranu zdravia. Mimoriadne preventívne vyšetrenia sa vykonajú vždy, ak došlo k prekročeniu limitných hodnôt expozície, pričom je vždy potrebné vykonať nové posúdenie rizík expozície.

Všetky druhy vyšetrení musia byť komplexné a mali by byť vykonávané na pracoviskách klinického pracovného lekárstva a toxikológie. Cieľom týchto vyšetrení by malo byť zisťovanie absolútnych a relatívnych kontraindikácií na prácu v EMP. Medzi absolútne kontraindikácie zaradenia na rizikové pracovisko s výskytom EMP patria organické ochorenia centrálneho nervového systému, záchvatovité choroby migréna, epilepsia, narkolepsia, ťažké neurózy s poruchami činnosti autonómneho nervového systému, ťažké endokrinologické ochorenia, osoby s kardiostimulátormi a ženy s habituálnymi potratmi. Zaradenie osôb s relatívnymi kontraindikáciami by malo byť v súlade s typom elektromagnetického poľa na danom pracovisku. Medzi relatívne kontraindikácie zaraďujeme všetky ťažšie celkové choroby, dekompenzovanú a neliečenú hypertenziu, hypotenziu so sklonom ku kolapsom, ľahšie poruchy autonómneho nervového systému, neurotický syndróm, katarktu a anomálie v štruktúre šošovky, poruchy plodnosti u mužov alebo i žien.

ZÁVER

Vlastnosti EMP a ich použitie v mnohých oblastiach vedy, výskumu a denného života sú dôležitou a neoddeliteľnou súčasťou života dnešnej spoločnosti. Cieľom ich používania by mal byť všeobecný spoločenský prospech, smerujúci k rozvoju ďalších užitočných technológií a aplikácií. Na druhej strane ich neobmedzené používanie sledujúce komerčné ciele, môže viesť v krátkodobom alebo i dlhodobom horizonte k vzniku poškodení zdravia jednotlivcov, profesionálnych alebo iných spoločenských skupín. Z tohto pohľadu je vydanie vyššie ucedených nariadení vlády pozitívnym krokom.

Žiadne nariadenie však nie je možné uskutočniť bez zabezpečenia jeho vykonateľnosti a pochopenia jeho užitočnosti všetkými zainteresovanými stranami, v tomto prípade zamestnancami a zamestnávateľmi, orgánmi štátnej správy i samotnými občanmi. Pochopenie princípov ochrany a bezpečnosti zdravia pri práci s EMP je možné dosiahnuť jedine dlhodobou a nepretržitou výchovou na všetkých stupňoch škôl, informovaním a praktickým výcvikom zamestnancov, orgánov štátnej správy a pod. Cieľom týchto edukačných procesov by nemalo byť vytvorenie strašiaka zvaného elektromagnetické polia, ale pochopenie princípov ich pôsobenia a vytýčenie hraníc, kedy sa zdroj pokroku môže zmeniť na zdroj ohrozenia zdravia jednotlivcov i celých populačných skupín.