

BIOLOGICKÉ ÚČINKY ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA

BIOLOGICAL EFFECTS OF ELECTROMAGNETIC FIELD

Zuzana Cabanová

Elektrotechnická fakulta Žilinská univerzita v Žiline

Veľký diel, 010 26 Žilina, tel.: +421 41 513 2118, mail: cabanova@fel.utc.sk

Abstrakt O biologických účinkoch elektromagnetického poľa (EMP) sa momentálne neustále diskutuje a niektoré účinky (či už pozitívne alebo negatívne) nie sú ešte stále objasnené. Článok pojednáva o možných biologických vplyvoch a účinkoch EMP. Jednou z oblastí kde sa môže EMP využívať je medicína a biomedicínske aplikácie. Vo väčšine štátov sveta platia hygienické normy a limity, ktoré by mali byť dodržané pri jednotlivých aplikáciách EMP v technike i medicíne.

Summary Biological effects of electromagnetic field (EMF) are still under discussion. Some effects (negative and positive too) are not exactly clear. This paper is talking about possible biological effects and influences of EMF. One area of EMF applications is medicine and biomedical applications. The most countries of the world have own rules and limits, which have to be accepted in applications of EMF in technology and medicine too.

1. ÚVOD

Problematika pôsobenia elektromagnetického poľa na živé organizmy je už viac ako 40 rokov intenzívne skúmanou problematikou a stále neboli určené jednoznačné vplyvy a následky pôsobenia takéhoto poľa. Dokázanie negatívnych účinkov (rakovina, psychické poruchy, poškodenie orgánov, atď.) by malo dramatický dopad na súčasný život moderného človeka, ktorý je denne vystavovaný elektromagnetickým poľami rôznych intenzít z rôznych zdrojov. V súčasnosti sa vplyvom EMP na živé organizmy zaoberá hlavne Svetová zdravotnícka organizácia (WHO, World Health Organisation) a Medzinárodná komisia pre ochranu pred neionizujúcim žiarením (ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) stanovili, že elektrické zariadenia musia spĺňať určité limity, musia byť elektromagneticky kompatibilné, aby mohli byť používané v praxi bez ohrozenia zdravia človeka [1].

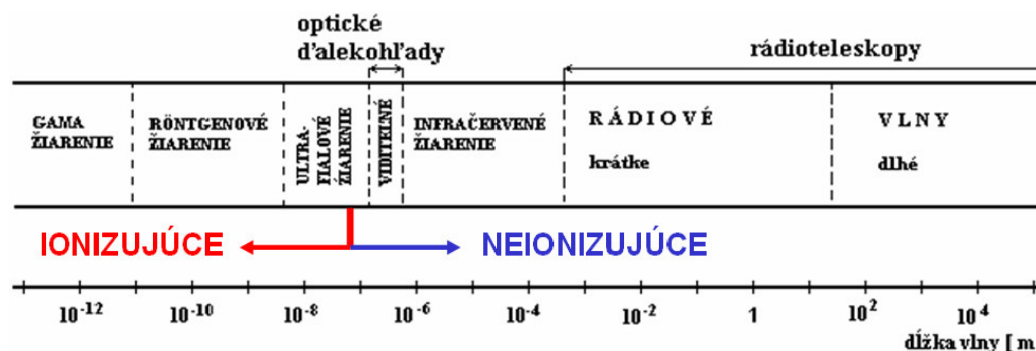
Experimentálne, aj rozsiahlymi štatistikami sa dokázalo, že EMP sú v celom svojom frekvenčnom rozsahu biologicky aktívne, teda interagujú so živou hmotou.

Okrem priaznivého pôsobenia sú však nepopierateľné aj ich negatívne, ba neraz aj zhubné vplyvy na živé organizmy.

Preto problematika EMP vo vzťahu k životnému prostrediu (ŽP) má pred sebou dve úlohy:

1. ako využívať tieto polia na zlepšenie životných podmienok obyvateľstva,
2. ako súčasne chrániť ľudí pred nepriaznivými účinkami týchto polí.

EMP delíme na neionizujúce a ionizujúce. (obr.1) Hraničnou frekvenciou je $3 \cdot 10^{15}$ Hz. Tento príspevok je zameraný na neionizujúce EMP v rozsahu $0 - 10^{15}$ Hz, teda časť žiarenia ultrafialového, viditeľné a infračervené žiarenie, mikrovlny, rádiové frekvencie a nízkofrekvenčné elektromagnetické polia [2].



Obr.1 Elektromagnetické spektrum
Fig. 1 Electromagnetic spectrum

2. ÚČINKY EMP NA BIOLOGICKÉ TKANIVO

Štúdium biologických účinkov EMP nie je jednoduché aj napriek tomu, že vedci venujú tejto problematike v celosvetovom meradle veľkú pozornosť, stále existuje veľa nejasností. Realizácia a vyhodnocovanie mnohých experimentov pre štúdium biologických účinkov elektromagnetického poľa je komplikovaná hlavne tým, že tieto experimenty nemôžu byť aplikované na ľudí. Preto nie vždy sa zistené účinky dajú jednoznačne prenášať do humánnej medicíny.

Biologický účinok EMP závisí od niekoľkých objektívnych a subjektívnych parametrov:

1. Z fyzikálnych parametrov poľa (objektívne parametre) sú to predovšetkým:

- použitý rozsah frekvencií,
 - intenzita EMP
 - doba pôsobenia (ožiarenia).
2. Výsledok interakcie závisí aj od fyzikálno-chemických vlastností organizmu (subjektívne parametre), najmä od:
- rozmerov,
 - hmotnosti,
 - charakteru povrchu (odevu),
 - hrúbky vrstiev (koža - tukové vrstvy - svaly),
 - obsahu vody,
 - okamžitého stavu organizmu (zdravotný aj psychický),
 - prípadného súčasného pôsobenia iných záťažových, či stresových faktorov.[2]

Veľkosť telom pohltenej energie EMP vzrastá priamoúmerne štvorcu lineárnych rozmerov tela. Rôzne pásma frekvencie pri tých istých parametroch vnútorného poľa dosahujú rozdiely v pohltení energie bioobjektami rôznych geometrických rozmerov niekedy aj viac rádov. [3]

Na základe dôležitosti pomeru rozmeru bioobjektu a dĺžky vlny je užitočné rozdeliť celé spektrum na tri oblasti :

- 1) **do frekvencie 30 MHz** - žiarenie s dĺžkou vlny podstatne väčšou než sú rozmery bioobjektu
- 2) **od frekvencie 10 000 MHz** - žiarenie s dĺžkou vlny podstatne menšou
- 3) **pásmo 30 – 10 000 MHz** - žiarenie s dĺžkou vlny porovnateľnou s rozmermi tela alebo určitej jeho časti V tejto oblasti je charakteristická existencia maxim absorpcie, pri ktorých telo akoby "vsávalo" pole a pohlcuje viac energie ako tej, ktorá prechádza jeho priečnym rezom. Každý biologický objekt má rezonančnú frekvenciu f_0 , pri ktorej nastáva maximum špecifickej absorpcie. (tab.1)

| Model | ¹ SAR [W.kg ⁻¹] | rezonančná frekvencia f_0 [MHz] |
|----------------|--|-----------------------------------|
| priemerný muž | 0,252 | 73,8 |
| Obézny muž | 0,12 | 72,9 |
| priemerná žena | 0,22 | 80,2 |
| 10-ročné dieťa | 0,341 | 93,7 |
| 5-ročné dieťa | 0,378 | 115,3 |
| 1-ročné dieťa | 0,325 | 173,6 |
| malý pes | 0,142 | 220,0 |
| morča | 0,499 | 575,6 |
| veľký potkan | 0,660 | 531,6 |
| stredný potkan | 0,749 | 637,3 |
| malý potkan | 1,06 | 910,2 |
| veľká myš | 1,4 | 1 663,0 |
| stredná myš | 1,47 | 1 803,9 |
| malá myš | 1,18 | 2 297,1 |

¹SAR[W.kg⁻¹] Specific Absorption Rate- merný absorbovaný výkon

Tab.1 Prehľad rezonančných frekvencií rôznych živočíchov

Table 1 Resonant frequency list of different animals

Živá hmota vykazuje hysterézu vyvolanú konečným časom, ktorý potrebuje na odpoveď. K tomu ešte pristupuje adaptácia, ktorá sa u neživých látok nevyskytuje. Pre živú hmotu je tiež charakteristická nestálosť všetkých vlastností a to jednak prirodzená, daná ich vývojom a životom alebo vyvolaná pôsobením vonkajších činiteľov. Živé organizmy nemajú špecifické receptory, ktoré by EMP dráždilo primárne.[4]

2.1 Interakcia s biologickým tkanivom

Interakcia EMP s biologickým tkanivom je založená na odozve častíc s nábojom (atómov a molekúl tkaniva) na vonkajšie EMP. Posunom alebo deformáciou týchto nabitých častíc z ich ustálenej polohy vznikajú elektrické dipóly, ktoré reagujú na vonkajšie EMP.

Interakciu neurčuje iba pôsobenie EMP, ale ovplyvňuje ju aj reakcia živého organizmu a jeho schopnosť adaptovať sa a kompenzovať vonkajšie vplyvy. Z fyzikálneho hľadiska určená predovšetkým permitivitou. (tab.2) Permeabilita biologického tkaniva je v podstate rovná permeabilite voľného priestoru, preto sú magnetické straty zanedbateľné. [3]

| Druh tkaniva | σ [$S \cdot m^{-1}$] | | | ϵ_r | | |
|--------------|-------------------------------|---------|--------|--------------|--------|-------|
| | 30 MHz | 100 MHz | 10 GHz | 30MHz | 100MHz | 10GHz |
| koža | 0,60 | 0,62 | 0,80 | 120 | 80 | 30 |
| tuk | 0,05 | 0,06 | 0,40 | 12 | 10 | 3,6 |
| sval | 0,80 | 0,90 | 6,00 | 100 | 70 | 41 |
| kostná dreň | 0,03 | 0,32 | 1,00 | 7 | 7 | 4,5 |
| krv | 1,10 | - | - | 140 | 73 | 51 |
| pečeň | 0,21 | 0,25 | 0,52 | 130 | 79 | 36 |
| mozog | 0,16 | 0,17 | 0,35 | 150 | 80 | - |
| slezina | 0,65 | 1,00 | - | 200 | 100 | - |

Tab.2 Hodnoty vodivosti σ a relatívnej permitivity biologických tkanív ϵ_r

Table 2 Conductivity σ and relative permittivity ϵ_r of biological tissues

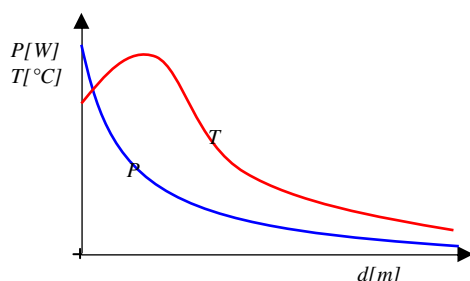
Komplexná permitivita závisí predovšetkým od frekvencie poľa f a do značnej miery od teploty tkaniva T . Závislosť na tlaku a na vektore intenzity elektrického poľa E je oproti tomu zanedbateľná.

Podľa dielektrických vlastností môžeme jednotlivé typy biologického tkaniva rozdeliť do dvoch základných skupín [3]:

a.) tkanivo s vysokým obsahom vody – napr. sval, koža, vnútorné orgány

b.) tkanivo s nízkym obsahom vody – napr. tuk, kosti

Biologické tkanivá majú spravidla niekoľko vrstiev (napr. koža, tuk, sval, kosť atď.), ktoré sa líšia nielen z biologického hľadiska, ale aj dielektrickými parametrami, čím sa mení charakter účinku elektromagnetických vln. Pri dopade elektromagnetickej vlny z voľného priestoru na povrch rovnomerého biologického tkaniva sa približne polovica výkonu odrazí naspäť a zvyšok prejde do tkaniva, kde sa v dôsledku vodivosti prostredia výkon postupujúcej vlny exponenciálne tlmí. (obr.2.)



Obr.2 Závislosť výkonu P elektromagnetickej vlny šíriacej sa do biologického tkaniva a tiež typický priebeh teploty T v hĺbke d pod povrchom tkaniva
Fig.2 Dependences of power P and temperature T in depth d under the cover of biological tissue

Na obr.2 je tiež znázornené typické rozloženie teploty T v rovnomerom tkanive. Pokles teploty pri povrchu vzniká chladením povrchu a to buď cirkulujúcim vzduchom alebo potením. Dôjde tak k vytvoreniu maxima teploty v určitej hĺbke pod povrchom a ďalej do hĺbky bude teplota exponenciálne klesať. Vypočítať teplotné rozloženie je však dosť komplikované pre existenciu plošných prechodov medzi jednotlivými vrstvami biologických tkanív. Niekedy môže dôjsť k rezonanciám elektromagnetickej energie v oblasti medzi dvoma prechodmi a tým ku vzniku horúcich miest, t.j. k prekročeniu povolenej teploty. K tomuto prekročeniu môže dôjsť, keď je hrúbka tkaniva porovnateľná s vlnovou dĺžkou, resp. jej polovicou a pod. [3]

V zásade rozoznávame dva druhy účinkov EMP:

1.tepelné - prejavujú sa pri veľkých intenzitách poľa,

2.netepelné -tzv. špecifické (prejavujú sa v ovplyvnení koloidnej štruktúry bunkového obsahu a elektrických vlastností bunky).

2.2 Tepelné účinky

Pri takých intenzitách a výkonových hustotách, pri ktorých absorpcia energie v bioobjekte spôsobí vzostup teploty (celkový alebo lokálny presahujúci termoregulačné schopnosti organizmu), dochádza reprodukovateľne k nepriaznivému pôsobeniu na biologický systém.

Pre hrubú orientáciu sa uvádza výkonová hustota $10mW \cdot cm^{-2}$ ($100 W \cdot m^{-2}$) ako úroveň, po prekročení ktorej sa prejavuje nešpecifický tepelný efekt - **hypertermia**.

Tepelné účinky závisia v prvom rade od frekvencie, t.j. platí, že s rastúcou frekvenciou sa zvyšujú tepelné účinky na organizmus. Tieto sú dané premenou žiarenia po absorpcii tkanivami na teplo. Čím je látka vodivejšia, tým rýchlejšie sa zohrieva (permitivita a súčiniteľ dielektrických strát sa označuje ako faktor zahriatia). Ak má látka vysoký faktor zahriatia, potom to má za následok malú hĺbku vniku mikrovln do príslušnej látky, pretože energia sa mení na teplo už v jej vonkajších vrstvách. Napr. u mäsa je hĺbka prieniku na každej strane približne 2,5 cm. Ak je látka hrubšia, potom sa zbytok zohrieva už iba vedením. [2]

Celkové množstvo absorbovanej energie v tkanive závisí od obsahu vody v tkanive, pretože obsah vody rozhoduje o jej elektrických vlastnostiach, ďalej od veľkosti exponovaného povrchu, ktorý je vystavený žiareniu a v neposlednom rade závisí od intenzity poľa. Ak je množstvo takto privádzaného tepla väčšie, než dokáže organizmus odvieť do okolitého prostredia, môže dôjsť k tepelnému preťaženiu niektorých orgánov. Orgány zvlášť citlivé na zvýšenie teploty sú: očná šošovka, mozog a semenníky. Pretože sa očná šošovka ťažko

zbavuje tepla, môže už veľká záťaž vysokofrekvenčným žiarením vyvolať jej zákal. [4] Účinok vysokofrekvenčného poľa (v blízkosti rozhlasových a televíznych vysielacov) sa prejaví zvýšením telesnej teploty. Pri krátkej dobe pôsobenia je najvyššia teplota na povrchu tela. Môžu vzniknúť až popáleniny. Pri dlhšej expozícii sa prehrievajú aj vnútorné orgány, môže dôjsť k ich poškodeniu, stúpa teplota krvi. Nebezpečné je miestne prehriatie, ktoré môže spôsobiť implantovaný kov. Ak intenzita poľa dosiahne hodnotu, pri ktorej už nepôsobí termoregulačná schopnosť organizmu, potom nastane prehriatie organizmu a smrť.

2.3 Netepelné účinky

Tieto efekty sú podmienené určitými elektrickými vlastnosťami biologických systémov. Netepelné účinky sú dávané do súvislosti s dlhodobým pôsobením slabých polí. Vysvetľujú sa elektromagnetickou indukciou, ktorou vznikajú v ožiarených tkanivách iónové prúdy. Ich vplyvom sa menia biologické vlastnosti bunecných membrán (ich permeabilita), kľudový a akčný potenciál - dráždivosť.

Význam indukčných javov pre vodivé časti organizmu rastie pri ožarovaní impulznými poliami. Maximum tohoto účinku sa prejavuje na centrálnom a autonómnom nervovom systéme, na kardiovaskulárnom systéme, na vylučovacom aparáte zažívacieho traktu a na endokrinnnej sústave. [2]

Netepelné účinky sú prevažne určené okamžitou amplitúdou nízko-frekvenčného žiarenia. Ich účinok stúpa pri opakovanom ožarení pomerne nízkymi intenzitami, najmä pri vystavení sa pulznému poľu, pri ktorom je celková vyžiarená energia pomerne malá, ale okamžitá amplitúda veľká. Vo vnímavosti jednotlivcov sú výrazné rozdiely.

Dlhodobé ožarovanie EMP s malou hustotou výkonu sa prejaví predovšetkým na stave centrálnej nervovej sústavy. Zmeny majú charakter subjektívnych ťažkostí astenického typu (telesná slabosť) ako sú napr.: pocit ochablosti, vyčerpanosti, ľahostajnosti, zvýšená únava, poruchy spánku, pokles koncentrácie - pozornosti), útlm intelektuálnych funkcií, zhoršenie pamäti, bolesti hlavy, emotívna labilita, znížená potencia.

Väčšina štúdií zaoberajúcich sa vplyvom elektromagnetického poľa na zdravie človeka sa zameriava na samotné elektromagnetické pole ako na faktor, ktorý môže zvyšovať riziko vzniku rakoviny. Podľa niektorých laboratórnych experimentov existuje určitá súvislosť medzi určitými druhmi nádorového ochorenia a expozíciou nízko-frekvenčným magnetickým poliám (jedná sa však o polia vysokých intenzít, ktoré sa pri bežných pracovných podmienkach nenachádzajú). Zdravotných dôsledkov expozície

elektromagnetickým poľom nízkych hodnôt nie sú ešte stále dostatočne objasnené. [9]

3. BIOMEDICÍNSKE APLIKÁCIE

Medzi významné lekárske a spoločenské problémy súčasnosti patrí aj hľadanie nových liečebných metód pre rôzne typy chorôb, ako je napr. liečba zhubných nádorov. Základné liečebné postupy v onkológii (rádioterapia, chemoterapia a chirurgia) sú už dobre známe a preto aj len malé zlepšenia týchto metód si vyžadujú množstvo času a investícií. Preto je nutné hľadať ďalšie liečebné metódy, ktoré buď samostatne alebo v kombinácii s niektorou z klasických metód umožnia zlepšiť klinické výsledky. Rozvoj technických vied významne podporuje vznik nových liečebných metód a i mikrovlnná technika nachádza v tomto smere nové zaujímavé uplatnenia. V tomto stručnom prehľade sa zameriam na liečebné metódy, ktoré využívajú tepelné účinky mikrovlnnej energie, kedy je EMP použité pre ohrev liečenej oblasti biologického tkaniva, alebo pre ohrev určitého implantovaného objektu. [3]

Mikrovlnná hypertermia

Hypertermia je liečebná metóda, pri ktorej sa umelo vyvolá zvýšenie teploty v tkanive bez ohľadu na vlastnú termoreguláciu organizmu. Využíva sa v terapii zhubných nádorov alebo pri zvýšení repopulačnej účinnosti kostnej drene, čo je možné využiť pri transplantáčnej terapii chorôb z ožiarenia.

Najčastejšie používaným teplotným rozmedzím je 41 až 45°C, pri ktorom sú nádorové bunky citlivejšie než normálne.

Najvýhodnejšia je aplikácia elektromagnetického vlnenia vysokofrekvenčného alebo veľmi vysokých frekvencií, či tepelných účinkov ultrazvuku. Vysokofrekvenčné prúdy nad 100 kHz už nemajú dráždivé ani elektrolytické účinky. Mechanizmus ich biologického efektu spočíva v premene absorbovanej energie na teplo. Voľba frekvencie umožňuje regulovať hĺbku ohrevu. To je veľmi dôležité z toho dôvodu, aby sa nepoškodilo zdravé tkanivo pod nádorom. Pri nižších kmitočtoch je hĺbka vniku do tkaniva väčšia. Napríklad pri 434 MHz je hĺbka ohrevu 3,5 - 4 cm, pri 2,5 GHz je hĺbka ohrevu 2,5 - 3 cm.

Hypertermia sa kombinuje s rádioterapiou (ožarovanie ionizujúcim žiarením). Sú publikované výrazne pozitívne výsledky (napr. pri aplikácii na liečenie ťažkých, až beznádejných nádorových ochorení došlo u 50 % pacientov k uzdraveniu, u 30 % k zlepšeniu stavu a v 12 % nedošlo k zmenám. EMŽ sa využíva aj v diatermii, pri ktorej sa definovaným spôsobom zavedie energia EMP do organizmu. [2]

Mikrovlnná diatermia

Využitie pri rehabilitáciách a fyzikálnej liečbe. Podobne ako pri hypertermii aj tu je účinok založený na princípe ohrevu biologického tkaniva avšak na teploty nižšie – spravidla len do 41°C. Využíva sa pre liečbu bolestí pri niektorých reumatických a degeneratívnych chorobách a tiež pre liečbu chronických zánetov resistantných na antibiotiká, kombinovanej liečbe neplodnosti u žien.

Mikrovlnná termokoagulácia

Ohrev tkaniva vyšší ako 45°C. Využitie v urológii napríklad mikrovlnná liečba prostaty, ktorá môže nahradiť komplikovanú operáciu.

Mikrovlnná angioplastika

Je príkladom využitia mikrovlnného zariadenia v kardiológii. Metódu využíva katéter zakončený balónikom a doplnený mikrovlnnou anténkou, ktorý sa zavedie do čiastočne alebo úplne zablokovanej cievy. Teplo získané mikrovlnnou energiou umožňuje bezpečnejšie odstrániť sklerotické pláty usadené na stenách ciev. Táto metóda je využívaná aj pre liečbu srdcových arytmií.

Mikrovlnný skalpel

Pri niektorých chirurgických zákrokoch býva jedným z problémov strata krvi pacienta. Konštrukcia mikrovlnného skalpela obsahuje špeciálny rezonátor, ktorý umožňuje vyžiariť energiu do operovaného tkaniva. V dôsledku absorpcie tejto energie sa povrchová vrstva tkaniva v reze ohrieva a vznikne tenká chrasta, ktorá znižuje krvácanie a tak aj stratu krvi operovaného pacienta.

Rastúce implantáty

V prípadoch keď sú deťom voperované umelé implantáty (náhrady kostí, kĺbov a pod.), musí sa operácia jeden alebo viac krát opakovať, aby sa implantát vymenil vždy za väčší ako dieťa rastie. Vďaka špeciálnej konštrukcii týchto implantátov je možné dosiahnuť zmeny rozmerov ohrevom tohoto implantátu priamo v tele pacienta. Pacient je tak ušetrený od zbytočných operácií. Táto metóda je zatiaľ v štádiu prvotného výskumu.

Ďalšie možnosti využitia mikrovln v medicíne

Okrem liečebných metód môže byť termoterapeutická súprava využitá i k ďalším lekárske účelom napr.:

- pre rýchlejšie rozmrazovanie biologického tkaniva po kryogénnych operáciách.
- podpora diagnostiky nádorov
- sú skúmané možnosti využitia celotelovej termoterapie pre liečbu AIDS, lebo vírus HIV je veľmi citlivý na zvýšenú teplotu

Mikrovlnné lekárske senzory

Rôzne typy senzorov na mikrovlnnej báze umožňujú realizovať snímače pre veľmi rôznorodé aplikácie. Na princípe Dopplerovho efektu možno realizovať mikrovlnné senzory pre meranie rýchlosti, alebo jej zmeny, eventuálne senzory pre zisťovanie pohybu v určitej oblasti. Iné typy senzorov umožňujú rýchle meranie vlhkosti a pod.

Mikrovlnná diagnostika

Spektrum mikrovlnných frekvencií je perspektívne aj pre lekársku mikrovlnnú diagnostiku. Základnými využívanými metodikami alebo ešte rozpracovanými sú tieto:

- Magnetická rezonancia

Magnetická rezonancia je dnes jednou z najvýznamnejších lekárske diagnostických metód.

- Mikrovlnná tomografia

Nová diagnostická metóda, ktorá sa ešte v praxi nevyužíva, ale niektoré svetové laboratória pracujú na jej rozvoji.

- Meranie permitivity biologického tkaniva

Niektoré špeciálne diagnostické problémy bude zrejme možné riešiť na báze merania komplexnej permitivity biologického tkaniva v diagnostikovanej oblasti.

- THz vlny

Horný okraj mikrovlnného pásma tvorí tzv. terahertzové vlny, na ktoré naväzuje oblasť infračervené žiarenie, majú k nim fyzikálne blízko a môžu byť využívané k veľmi zaujímavým diagnostickým/zobrazovacím aplikáciám. Týmto aplikáciám je v poslednej dobe venovaná veľká pozornosť (program EU "Terahertz Bridge")[3]

4. HYGIENICKÉ LIMITY

Nedostatočná objasnenosť účinkov EMP na človeka (predovšetkým netepelných efektov) sa prejavuje aj v pomerne veľkých rozdieloch v hygienických predpisoch jednotlivých krajín. Najprísnejšie hygienické predpisy sú vo východo-európskych krajinách, miernejšie sú americké a západoeurópske. Ťažkosť spočívajú najmä v extrapolácii výsledkov výskumu na človeka. Experimenty in vitro sú síce presvedčivým dôkazom o zásahu EMP do živých systémov, ale nemôžeme ich pochopiteľne priamo využívať pri stanovení hygienických limitov pre človeka. V súčasnosti nevieme definitívne posúdiť, aké úrovne a frekvencie EMP môžu byť považované za bezpečné z hľadiska dlhodobých zdravotných následkov a rizika rakoviny zvlášť a ako zaistiť ochranu profesionálov a verejnosti pred možným

hazardom. Najbezpečnejším limitom by bola "0" obmedzujúca expozíciu populácie opäť iba na prirodzené EMP. Túto požiadavku však nie je možné v civilizovanom svete realizovať.

Pri rozhodovaní treba posúdiť komplexne všetky faktory vrátane záťaže populácie aj ostatnými škodlivinami. Rozhodovanie o bezpečných úrovniach sa teda pohybuje v rozmedzí troch rádov.

V súčasnosti sa ochranou pred EMP zaoberá Vyhláška č.123/1993 Z.z. Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky z 20. apríla 1993 o ochrane zdravia pred nepriaznivými účinkami elektromagnetického poľa, ktorá však hodnotí ožiarenie pracovníkov, resp. obyvateľov elektromagnetickým poľom v pásmach vysokých (60 kHz – 300 MHz) a veľmi vysokých frekvencií (od 300 MHz vyššie). Touto vyhláškou sa ustanovujú hygienické požiadavky na prácu a pobyt v elektromagnetických poliach, na vývoj, konštrukciu, výrobu, dovoz, montáž, opravu, skúšanie, prevádzku a používanie generátorov vysokých a veľmi vysokých frekvencií a zariadení, ktoré takéto generátory obsahujú. Pre hodnotenie účinkov nízkofrekvenčných elektromagnetických polí s frekvenciou od 0 Hz do 10 kHz na ľudský organizmus od r. 2000, v SR platí norma STN P ENV 50166-1. (tab.3, tab.4) Ak sa vyhovie úrovniach poľa v tejto norme, automaticky sa zabezpečí súlad so základnými obmedzeniami hustoty indukovaného prúdu, a intenzity elektrického i magnetického poľa. [2]

| | Frekvencia elektromagnetického poľa [Hz] | | | | | |
|--|--|---------------------|--------------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Pracovníci B[T] | 0 - 0,1 | 0,1 - 0,23 | 0,23 - 1 | 1 - 4 | 4 - 1500 | 1500 - 10 ⁴ |
| | 2T ⁽¹⁾ | 1,4T ⁽²⁾ | 320/f mT | 320/f ² mT | 80/f mT (1,6mT pri 50Hz) | 0,053mT |
| ⁽¹⁾ 0,2 T pre 8 hodinový časovo vážený priemer, ⁽²⁾ 0,14 T pre 8 hodinový časovo vážený priemer (pri 0,1-1,5 Hz). | | | | | | |
| Obyvatelstvo B[T] | 0 - 0,1 | 0,1 - 1,15 | 1,15 - 1500 | 1500 - 10 ⁹ | | |
| | 0,04 T | 0,028 T | 32/f mT (0,64 mT pri 50 Hz) | 0,021 mT | | |

^(B[T]) Indukcia magnetického poľa

Tab.3 Norma STN P ENV 50166-1 pre celé telo
Table 3 Standard STN P ENV 50166-1 for all body

| | Frekvencia elektromagnetického poľa [Hz] | | | |
|----------------------|--|------------|-------------------------------|------------------------|
| Pracovníci B[T] | 0 - 0,1 | 0,1 - 0,36 | 0,36 - 1500 | 1500 - 10 ⁴ |
| | 5T | 3,5T | 1250/f mT (25 mT pri 50Hz) | 0,83mT |
| Obyvatelstvo B[T] | 0 - 0,1 | 0,1 - 1,15 | 1,15 - 1500 | 1500 - 10 ⁴ |
| | 100 mT | 71 mT | 500/f mT (10 mT pri 50Hz) | 0,33 mT |

Tab.4 Norma STN P ENV 50166-1 pre končatiny
Table 4 Standard STN P ENV 50166-1 for limbs

Medzinárodná komisia pre ochranu pred neionizujúcim žiarením (ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) stanovila nasledovné limity uvedené v tab.5, ktoré by mali spĺňať elektrické zariadenia, aby boli elektromagneticky kompatibilné.

| | Európska frekvencia siete | | Frekvencie mobilných staníc | | Frekvencia Mikrovlnných rúr |
|--------------|---------------------------|----------|-----------------------------|------------------|-----------------------------|
| | 50 Hz | 50Hz | 900MHz | 1,8GHz | 2,45 GHz |
| | EL.pole | Mag.pole | Výkon. hustota | Výkon. hustota | Výkon. hustota |
| | kV/m | μT | W/m ² | W/m ² | W/m ² |
| Obyvatelstvo | 5 | 100 | 4,5 | 9 | 10 |
| Pracovníci | 10 | 500 | 22,5 | 45 | 50 |

Tab.5 Zhrnutie ICNIRP expozičných noriem (Hodnoty v tabuľke sú udané pre expozíciu celého tela.)

Table 5 Summary of ICNIRP exposure standards (Values are for exposure of all body.)

5. ZÁVER

Elektromagnetické pole je súčasťou nášho života a je len na nás ako sa budeme pred ním chrániť a rozumne ho využívať. Biomedicína nachádza stále viac využití EMP, ale odporcovia tejto energie sa snažia dokázať že EMP je škodlivé. Bude treba vynaložiť ešte mnoho úsilia, aby sa dali jednoznačne potvrdiť niektoré biologické vplyvy EMP. Len roky bádania a pôsobenia EMP v tejto technicky vyspelej spoločnosti ukážu, aké účinky bude mať elektromagnetické pole na život.

LITERATÚRA

- [1] Tirpák,A.: Elektromagnetizmus, Polygrafia SAV, Bratislava 1999
- [2] www.tuke.sk/meszaros/ekologia/prednasky/P8.ppt
- [3] Vrba,J.: Lékařské aplikace mikrovlnné techniky, Vydavatelství ČVUT, Praha 2003
- [4] Cabanová Z.: Vyhodnotenie vplyvu EMP na živé organizmy, Diplomová práca, ŽU Žilina, 2004
- [5] Magazine - World Health Organization, Regional Office for Europe, Electromagnetic fields No. 32, 2002, pp. 4-6
- [6] 6th International Congress of the European Bioelectromagnetics Association 13-15 November 2003 Budapest, Hungary, Abstract book, pp. 45, 223, 233
- [7] Šajter V. a kol.: Biofyzika, biochémia a rádiológia, OSVETA Bratislava 2002
- [8] Kučera S.: Správa výskumnej úlohy „Vplyv elektromagnetického poľa na biosystémy“ - EF ŽU, Žilina 2003
- [9] Hygienická stanice hlavného mesta Prahy, Národní referenční laboratoř pro neionizující elektromagnetická pole a záření – Informace 1999