

**Informace č. 16/2009**  
**NRL pro neionizující elektromagnetická pole a záření**

**Elektromagnetické pole (0 Hz – 300 GHz) – stav k 1. lednu 2009**

V roce 1997 vyhlásila Světová zdravotnická organizace (WHO) výzkumný projekt, jehož úkolem bylo získat dostatek poznatků k definitivnímu rozhodnutí, zda kromě dvou zjištěných krátkodobých účinků expozice elektromagnetickému poli ve frekvenčním intervalu 0 Hz – 300 GHz (ohřívání tkáně těla a dráždění nervové soustavy) existují účinky jiné, například dlouhodobé, vyvolávající závažná onemocnění jako je rakovina, Alzheimerova nebo Parkinsonova choroba. Značné finanční prostředky uvolněné na tento výzkum způsobily, že počet výzkumných pracovníků zaměřených na toto téma se zmnohonásobil a prudce stoupl i počet publikací a zpráv věnovaných tématu „elektromagnetické pole a zdraví“. Soubor vědeckých poznatků o vlivu elektromagnetického pole na člověka se při tom rozšířil do té míry, že nejistoty, které mimo jiné vedly k více než stonásobným rozdílům ve standardech stanovených nebo praktikovaných v různých zemích světa, byly ve velké míře odstraněny. Hlavní otázky, které byly předmětem výzkumného projektu WHO a na které se podařilo během minulých deseti let najít odpověď, je možné shrnout do čtyř bodů:

- a) Závisejí zdravotní riziko z expozice elektromagnetickým vlnám na tom, jaká je jejich modulace (impulzní, amplitudová, frekvenční)?
- b) Způsobuje expozice člověka elektromagnetickým polím s intenzitou pod limity ICNIRP 1998, avšak působícím po dlouhou dobu, rakovinu nebo jiná závažná onemocnění jako je Alzheimerova nebo Parkinsonova choroba?
- c) Existují osoby přecitlivělé k působení elektromagnetického pole, jejichž zdraví poškozuje i expozice elektromagnetickému poli s intenzitou hluboko pod limity ICNIRP 1998 [1]? (Tato údajná vlastnost podobná alergii na chemické nebo biologické látky dostala název „elektromagnetická hypersenzitivita“.)
- d) Byla prokázána příčinná souvislost mezi výskytem akutní dětské leukémie a expozicí magnetickému poli u vedení vysokého napětí?

**Ad a)** Není sporu o tom, že tepelné účinky vysokofrekvenčního elektromagnetického pole závisejí jen na efektivních hodnotách jeho složek. Modulace tohoto pole by se mohla projevit tehdy, kdyby se při absorpci vysokofrekvenční energie v tkáni těla uplatnily nelineární procesy, které by dopadající vlnu zcela nebo částečně demodulovaly. V tkáni by se v takovém případě kromě vysokofrekvenčního proudu objevily i proudy (elektrická pole) s frekvencí modulace. Při nízké frekvenci by tyto proudy stejně jako kontaktní proudy dráždily nervovou soustavu, což by bylo nutné hodnotit paralelně s ohříváním tkáně. V roce 1999 uspořádala Světová zdravotnická organizace k tomuto tématu speciální seminář v Erice na Sicílii [2], kterého se účastnilo přibližně 200 odborníků z celého světa. Závěr z tohoto semináře vyzněl negativně: při intenzitách vysokofrekvenčního pole, které nepřekračují limity ICNIRP 1998 [1], nelze očekávat ani při absorpci jakýmkoli způsobem modulovaného elektromagnetického pole jiné účinky, než tepelné. Nejdrastičtější případem modulace elektromagnetické vlny je bezesporu sled velmi krátkých ostrých impulsů, běžně používaných v přehledových radarech. Takové impulsy způsobují při dostatečné intenzitě pole sluchový vjem (mikrovlnné „slyšení“). Počáteční interpretace, že slyšený zvuk dokazuje netepelné působení elektromagnetického pole, se však ukázala být mylnou: vnímaný zvuk vzniká v důsledku nepatrného zahřátí (nejvýše o několik desítek miliontin stupňů) mozku, které generuje zvukovou vlnu. Ta se dostane k zvukovým receptorům zevnitř.

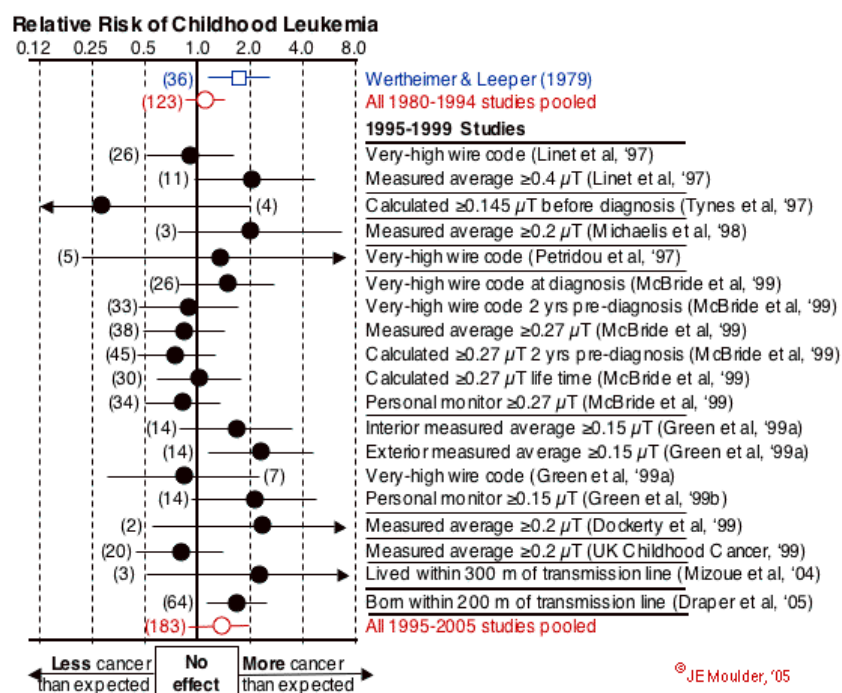
Důsledné zhodnocení možného vlivu modulace absorbovaného elektromagnetického záření publikovali v roce 2007 P. Valberg, E. Deventerová a M. Repacholi v článku [3] uveřejněném v prestižním časopise *Environmental Health Perspectives*. Obsah i záběr článku je širší, než by se dalo soudit z jeho nadpisu. Je v něm mimo jiné proveden mikrofyzikální teoretický rozbor působení elektromagnetického pole v tkáni na buněčné, molekulární a atomové úrovni, který se opírá se o obsah frekvenčních složek modulace. Ukazuje, že modulace nepřidává k tepelným účinkům pole žádné další specifické působení. Přeměna energie elektromagnetického vysokofrekvenčního záření v teplo zůstává jediným zjištěným potenciálně škodlivým vlivem absorpce vysokofrekvenční energie v tkáni těla. Praktický důsledek tohoto závěru se týká i hledání problematiky, která zůstala otevřená: nemá smysl studovat vždy znovu po zavedení nějaké nové technologie přenosu informací její potenciálně odlišná zdravotní rizika. Technologie GSM, UMTS, WiFi, digitální přenos informací atd. používají elektromagnetické vlny, jejichž vlastnosti jsou popsány Maxwellovými rovnicemi a její kvantové interakce s látkou, počítaje to živou tkáň, Schroedingerovou rovnicí. Často používaný argument, že není nic nebo málo známo o rizicích z expozice poli z nově zaváděných technologií používajících elektromagnetická pole, svědčí o neznalostech základů fyziky. Valberg et al poukazují ve svém článku také na to, že nezávislost působení vysokofrekvenčního pole na modulaci znamená, že i rizika z dlouhodobého působení vysokofrekvenčních polí emitovaných anténami základnových stanic na člověka je třeba hodnotit i podle skutečnosti, že vysílání rozhlasových stanic VKV a televize je v provozu déle než padesát let, aniž se zjistily jakékoli nepříznivé účinky šířených elektromagnetických vln. To se v článku explicitně konstatuje. Jakékoli dlouhodobé nepříznivé účinky slabých elektromagnetických vysokofrekvenčních polí lze proto bezpečně prohlásit za neexistující.

**Ad b)** Kvanta elektromagnetického pole s frekvencí do 300 GHz mají energii zhruba stokrát menší, než je energie tepelného pohybu molekul v živé tkáni. Z tohoto prostého důvodu nelze očekávat při absorpci vysokofrekvenční energie v tkáni těla jiné účinky, než tepelné: absorpce fotonu zvýší vnitřní energii molekuly (většinou jde o energii rotace molekuly, u větších molekul i o energii vibrační), ta však při srážce s jinou molekulou tuto energii ztratí. Přitom se buď zvýší rotační energie této další molekuly, nebo se srážka projeví zvýšením translační energie (rychlosti pohybu) této molekuly. Změny energie rotace, vibrace nebo pohybu molekuly způsobené absorpcí kvanta elektromagnetického pole jsou v porovnání s energií předávanou při srážkách molekul při tepelném pohybu velmi malé a v žádném případě nemohou vést ke změně struktury molekuly. Molekuly důležité pro životní funkce musí být totiž dostatečně robustní, aby se jejich struktura nezměnila ani při tepelných srážkách mezi molekulami, natož při absorpci alespoň stokrát méně energetických kvant elektromagnetického záření. Přes tuto jednoduchou bilanci opírající se o fundamentální zákony kvantové fyziky se mnoho výzkumů zaměřilo právě na hledání změn, které by po ozáření vysokofrekvenčním zářením narušily funkci důležitých molekul například přetrháním řetězců v molekulách DNA. Není přitom tak málo publikací, které takové nečekané objevy hlásily a hlásí. Poučným a současně smutným příkladem jsou publikace výzkumného týmu s názvem Reflex, který vedl profesor vídeňské lékařské univerzity F. Adlkofer. Autoři z této skupiny v roce 2005 [4] ohlásili, že se jim - v historii vůbec poprvé - podařilo dokázat poškození molekul DNA slabým elektromagnetickým polem s frekvencí a intenzitou používanou mobilními operátory, a na tomto objevu trvali i poté, co se nepodařilo tento výsledek nezávisle ověřit. Publikovali k tomu další práce se stejným výsledkem, poslední v roce 2008 [5]. Právě u této práce se však podařilo Dr. Lerchlovi z Brémské univerzity rozбором statistického rozložení jednotlivých pozorování ukázat [6], že publikované výsledky nemohou pocházet z experimentu. Laborantka, která následky působení pole na molekuly vyhodnocovala, se pak přiznala, že si výsledky vymyslela. I po roce 2008 tedy platí, že žádný

ověřený vědecký výsledek, který by dokazoval poškození molekuly v buňkách živé tkáně, neexistuje. Tepelné působení zůstává i po více než padesáti letech používání zařízení emitujících vysokofrekvenční pole jeho jediným zjištěným potenciálně škodlivým faktorem.

**Ad c)** Představa, že někteří lidé jsou přecitlivělí k expozici elektromagnetickému poli, vznikla před třiceti lety. Švédský profesor U. Bergqvist (viz přehledová práce [7]) se tím snažil vysvětlit potíže jako svědění kůže a vyrážky, které hlásili někteří pracovníci obsluhující počítačové monitory, zatímco naprostá většina jiných takové potíže neměla. Postupně se koncepce přecitlivělosti (hypersenzitivity) některých osob na elektromagnetické pole rozšířila i na pole generované jinými elektrickými zařízeními, počítaje v to vysílače všeho druhu a nízkofrekvenční domácí spotřebiče. Také soupis zdravotních potíží se rozšířil prakticky na všechna známá onemocnění (nespavost, bolení hlavy, závratě, únava, svědění kůže, ztráta chuti k jídlu, hučení v uších, zhoršení paměti a soustředění, Alzheimerova a Parkinsonova choroba, srdeční potíže, zažívací potíže, změny v aktivitě mozku a nervové soustavy, zánětlivé a alergické reakce, stresové reakce, genotoxické efekty, změny funkce imunitního systému a mnoho typů rakoviny počítaje v to dětskou leukémii atd.). Příčinný vztah mezi expozicí (zpravidla extrémně slabému) elektromagnetickému poli a zdravotními potížemi, které jeho působení přisuzovali nemocní lidé i výzkumníci, se sice přes velké úsilí a finanční zajištění nikdy nepodařilo dokázat, ale koncepce „alergie“ na elektromagnetické pole je stále živá. V některých státech Evropy se k hypersenzitivitě na elektromagnetické pole hlásí podle tvrzení jejich mluvčích až tři procenta populace. Požadavek, že se při stanovení standardů musí s jejich handicapem počítat, uznávají v řadě zemí i oficiální orgány. Potíž je v tom, že představa o hypersenzitivitě některých lidí k elektromagnetickému poli je mylná. Už déle než třicet let však nejen vede k plýtvání veřejnými penězi, ale, co je horší, vytváří podmínky pro psychogenní onemocnění lidí, citlivých nikoli k elektromagnetickému poli, nýbrž ke zprávám o jeho zhojném působení. Za celou dobu, co se provádějí výzkumy s lidmi, kteří se hlásí jako „elektro-hypersenzitivní“, se nepodařilo dokázat příčinnou souvislost jejich potíží s přítomností a intenzitou elektromagnetického pole, kterému jsou vystaveni. Mezinárodní seminář Světové zdravotnické organizace [8], který se konal v říjnu 2004 v Praze a účastnilo se ho 152 osob, v závěru jednoznačně deklaroval, že nebyla zjištěna příčinná souvislost mezi ohlašovanými potížemi a expozicí elektromagnetickému poli. Název elektromagnetická hypersenzitivita (EHS, Electromagnetic HyperSensitivity) byl proto nahrazen neutrálním názvem idiopatická environmentální nesnášenlivost (IEI, Idiopathic Environmental Intolerance). Jedním z důvodů, proč se tento výsledek ignoruje, je okolnost, že nebylo oficiálně vyhlášeno také vysvětlení ohlašovaných potíží. Přitom již v roce 1995 takové vysvětlení publikovali v přehledném článku [9] tři švédští profesori: jde o psychosomatický syndrom. Vysvětlení se ignorovalo a výzkumné práce bez jakýchkoli pozitivních výsledků pokračují i po pražském semináři [8] za finanční podpory jdoucí do desítek milionů euro. Snad se dá očekávat, že tuto situaci změní uskutečněný přímý experiment, sledující dráždění center v mozku metodou funkčního magnetického rezonančního zobrazování. Dr. M. Landgrebe a Dr. U. Frick ukázali touto metodou opravdu přesvědčivě [10], že fiktivní (tj. neexistující, ale nepravdivě ohlášené) elektromagnetické pole působí u osob, které se pokládají za hypersenzitivní, reálné podráždění té části mozku, která ohlašuje bolest nebo nepříjemný pocit. Za představou profesora Bergqvista je tím udělána definitivní tečka. Má to velký význam i pro léčbu onemocnění osob pokládajících se za hypersenzitivní, protože jejich potíže jsou reálné a často tak závažné, že se dostanou i do pracovní neschopnosti nebo se odstěhují z města do maríngotky v lese v domnění, že se tak zcela vyhnou expozici elektromagnetickému poli. Lze očekávat, že správná diagnóza povede i ke účinné terapii. V každém případě je možné konstatovat, že na otázku o existenci elektromagnetické hypersenzitivity byla dána jednoznačná a negativní odpověď.

**Ad d)** Také otázka, zda (nepárně) zvýšený výskyt dětské leukémie u dětí bydlících blízko vedení velmi vysokého napětí má příčinnou souvislost s expozicí nízkofrekvenčnímu (50 Hz, případně 60 Hz) magnetickému poli, je stará 30 let. Statistickou korelaci mezi těmito dvěma parametry ohlásili v roce N. Wertheimer a E. Leeper [11], a od té doby bylo provedeno na toto téma několik desítek nákladných epidemiologických studií. Na obr. 1 převzatém z přehledu profesora J. E. Mouldera [12] je soubor výsledků jednotlivých epidemiologických studií za dvě pětiletá období. Body ležící napravo od svislé čáry patří studiím, které našly statistickou korelaci ve směru zvýšeného výskytu tohoto onemocnění. Body ležící vlevo od dělicí svislé čáry znamenají korelaci v opačném směru – tedy ve směru menšího výskytu sledovaného onemocnění. V jazyce epidemiologických studií by bylo možné říci, že body vpravo od dělicí (neutrální) čáry ukazují na škodlivý účinek, body nalevo naopak ukazují na protektivní účinek tohoto pole vzhledem k onemocnění dětskou leukémií. Bodů napravo je skoro stejně jako nalevo, patří ovšem různým počtům případů a mají tedy různou váhu. Bod získaný metaanalýzou leží sice velmi blízko neutrální čáry, je však od ní vpravo a znamená tedy tendenci k zvýšenému výskytu sledovaného onemocnění. Podobné výsledky byly získány v metaanalýzách z pozdějších let. Z toho důvodu zařadila v roce 2002 Mezinárodní agentura pro boj s rakovinou nízkofrekvenční magnetické pole do skupiny 2B, tedy jako možný karcinogen.



Obr. 1 Soubor výsledků epidemiologických studií za dvě pětiletá období [12]

Epidemiologické studie nemohou dokázat příčinnou souvislost. Pokusy na zvířatech karcinogenní vliv nízkofrekvenčního magnetického pole nezjistily ani při řádově vyšších polích, než jaké se vyskytují u vedení vysokého napětí. Nepodařilo se také přes velké úsilí najít plausibilní mechanismus, kterým by slabé magnetické pole mohlo způsobit nebo podpořit vznik sledované nemoci. Epidemiologické studie zaměřené na jiné druhy rakovinných onemocnění podobnou korelaci nezjistily. Ve vědecké komunitě převládá nyní názor, že nacházená velmi slabá, byť signifikantní korelace mezi magnetickým polem v blízkosti vedení vysokého napětí a výskytem dětské leukémie je způsobena jevem označovaným i v češtině slovem „bias“, tedy nadržováním, nebo neodhaleným rušivým

vlivem („konfounderem“). V každém případě se konstatuje, že příčinná souvislost mezi slabým magnetickým nízkofrekvenčním polem a větším výskytem dětské leukémie nebyla prokázána.

Třicet let opakované představě o vlivu magnetického pole s indukcí rovnou 0,4 mikrotlesla, tedy s indukcí 250 krát menší než je současná referenční hodnota ICNIRP pro ostatní osoby (tato hodnota vychází z hodnocení epidemiologických studií), však zasadil nečekanou ránu výzkum, který provedl Dr. G. Draper [13]. Ten využil databázi s více než devíti tisíci případy dětské leukémie zaznamenaných v Británii, zjistil bydliště postižených dětí a hledal zvýšený výskyt nemocných v různých vzdálenostech od vzdušných vedení vysokého napětí. Zvýšení skutečně našel, ale bylo zjistitelné ještě v pásu vzdáleném 200 až 600 metrů od vedení. Nečekaný výsledek G. Draper sám komentoval tak, že v této vzdálenosti nemůže zvýšený výskyt dětské leukémie souviset s působením magnetického pole generovaného elektrickým proudem procházejícím dráty vedení vysokého napětí. Objevily se ihned nové spekulace, například vliv iontů, které z koronového výboje na drátech odnáší vítr do značné vzdálenosti. Je těžké si představit, jakým mechanismem by tyto ionty způsobovaly dětskou leukémii, ale jedno je jisté: magnetické pole od proudu v drátech vysokého napětí je v uvedené vzdálenosti menší než pozadí způsobené rozvodem elektrického proudu v bytech. A to je nezávislé na vzdálenosti od vedení vysokého napětí. Není třeba zdůrazňovat, že i tento třicetiletý omyl měl a má závažný ekonomický a politický dopad.

## **Závěr**

Teplo a indukované proudy zůstaly jedinými faktory, kterými elektromagnetické pole může poškodit zdraví. Kdy se toto zjištění projeví na celosvětové harmonizaci standardů, lze těžko předvídat. Zájmy zajistit pokračování výzkumných prací a často záměrně šířené poplašné zprávy o rakovině mozku z mobilu a o leukémii z drátů vysokého napětí mohou totiž uplatnění vědeckých poznatků výrazně zdržet, jak je známo i z jiných oborů. Co by se však zdržet nemělo, je nalezení odpovědi na otázku, jak při intenzivním a dobře placeném výzkumu mohly desítky let vydržet neodhaleny zcela evidentní a hodně drahé omyly.

## Literatura

- [1] International Commission on Non-Ionising Radiation Protection (ICNIRP): Guidelines on limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics Vol. 74, April 1998, No. 4, pp. 494 – 522
- [2] Mezinárodní seminář o biologických projevech pulzních radiofrekvenčních polí, jejich zdravotních důsledcích a standardech pro tato pole. Erice, Itálie, 21. - 27. listopadu 1999
- [3] Peter A. Valberg, T. Emilie van Deventer, and Michael H. Repacholi. Base Stations and Wireless Networks – Radiofrequency (RF) Exposures and Health Consequences. Environmental Health Perspectives Vol. 115 No 3, March 2007, pp. 416-423
- [4] Diem E, Schwarz C, Adlkofer F, Jahn O, Rudiger H. Non-thermal DNA breakage by mobile-phone radiation (1800MHz) in human fibroblasts and in transformed GFSH-R17 rat granulosa cells in vitro. *Mutat Res.* 583:178-183, 2005.
- [5] Schwarz C, Kratochvil E, Pilger A, Kuster N, Adlkofer F, Rüdiger HW (2008) Radiofrequency electromagnetic fields (UMTS, 1,950 MHz) induce genotoxic effects in vitro in human fibroblasts but not in lymphocytes. *Int Arch Occup Environ Health.* DOI 10.1007/s00420-008-0305-5
- [6] Alexander Lerchl: Comments on “Radiofrequency electromagnetic Fields (UMTS, 1,950 MHz) induce genotoxic effects in vitro in human fibroblasts but not in lymphocytes” by Schwarz et al. (*Int Arch Occup Environ Health* 2008: doi: 10.1007/s00420-008-0305-5). *Int Arch Occup Environ Health* DOI 10.1007/s00420-008-0323-3

- [7] Bergqvist U.; Vogel E. Possible health implications of subjective symptoms and electromagnetic fields. A report prepared by a European group of experts for the European Commission, DGV Arbete och Hälsa 19; 1997:19. Swedish National Institute for Working Life, Stockholm. ISBN 91-7045-438-8.
- [8] Electromagnetic Hypersensitivity. Proceedings International Workshop on EMF Hypersensitivity, Prague, Czech Republic. October 25 -27, 2004. World Health Organization, Ed.: Kjell Hanson Mild, Mike Repacholi, Emilie van Deventer, Paolo Ravazzani
- [9] Göthe C. L., Odont, C. M., Nilsson, C.G: The environmental somatisation syndrome. *Psychosomatics* 36: 1-11; 1995
- [10] *The Economist*, tištěné vydání 25. září 2008. Sham radiation can cause real pain. Předběžná zpráva o MRI experimentu. Michael Landgrebe and Ulrich Frick, University of Regensburg. Odborný článek těchto autorů je v tisku.
- [11] Wertheimer N, Leeper ED: Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am. J. Epidem.*, 109. No. 3: 273-284, 1979
- [12] John E. Moulder, Professor of Oncology, Medical College of Wisconsin. <http://www.mcw.edu/display/docid5175.htm>
- [13] Draper, G. *British Medical Journal*, June 4, 2005; vol 330: pp 1290-1295.

Zpracovali: Ing. Lukáš Jelínek, Ph.D., doc. RNDr. Luděk Pekárek, DrSc.  
v lednu 2009