

## **Pokračování doc. RNDr. Luděk Pekárek, DrSc.**

### **Doprovodný text k prezentaci na 21. konzultačním dnu v SZÚ**

#### **20. března 2008 – nařízení vlády č. 1/2008 Sb.**

**Obr. 1** Nařízení vlády č. 1/2008 Sb., o ochraně před neionizujícím zářením, vstoupí v platnost 30. dubna 2008. Nahradí nařízení vlády č. 480/2000 Sb. se stejným názvem. Změny v nejvyšších přípustných hodnotách se týkají nízkých frekvencí, od frekvence 300 Hz zůstaly limity beze změny. Národní referenční laboratoř pro neionizující elektromagnetická pole a záření (SZÚ, Centrum pracovního lékařství) uvítá náměty pro text metodického pokynu k novému nařízení vlády.

**Obr. 2** Oddíl nízkých frekvencí obsahuje obrázky č. 3 až č. 18:

**Obr. 3** Nejvyšší přípustné hodnoty jsou stanoveny (zelená křivka složená z úseček) pro hustotu elektrického proudu indukovaného v těle při expozici časově proměnnému magnetickému poli a elektrickému poli. Týkají se i expozice statickému magnetickému poli, protože při pohybu těla nebo jeho části ve statickém poli se rovněž indukuje v těle elektrický proud.

**Obr. 4** Intenzita proudů indukovaných změnou magnetického pole závisí nejen na intenzitě pole a rychlosti jeho změny, ale i na směru vektoru magnetického pole vzhledem k tělu. Je-li vektor magnetického pole kolmý k hrudi, má smyčka, kterou se indukovaný proud v těle uzavírá, největší plochu a hustota indukovaného proudu je největší.

**Obr. 5** Limity (nejvyšší přípustné hodnoty hustoty indukovaného proudu) pro zaměstnance (levá část horní plné zelené křivky označené písmenem J) nejsou pro interval 0 Hz až 300 Hz v nařízení vlády č. 1/2008 Sb. zatím stanoveny. V prosinci 2007 totiž Rada Evropy odložila datum povinné implementace Direktivy č. 40/2004/EC o čtyři roky, tedy na 30. duben 2012. Důvodem odložení byly námitky konsorcia výrobců lékařských diagnostických přístrojů na magnetické rezonanční zobrazování (MRI). K námitkám se připojilo i konsorcium uživatelů těchto přístrojů. Použití vyšší intenzity magnetického pole znamená vyšší rozlišovací schopnost těchto přístrojů a tím i časnější odhalení začínajícího karcinomu. Současné limity však takové zvýšení neumožňují. Tyto limity (ICNIRP 1998) byly stanoveny s velkým bezpečnostním koeficientem, a je málo pravděpodobné, že snížení rezervy obsažené v současném koeficientu povede k zdravotnímu riziku pro obsluhující personál. Tento názor podporuje i skutečnost, že ani v provozech, kde jsou zaměstnanci exponováni velmi silným střídavým magnetickým polím s frekvencí 50 Hz (případně 60 Hz), nebyly zaznamenány případy poškození zdraví. Vzhledem k rozhodnutí Rady Evropy odložit implementaci citované Direktivy EU jsou v novém nařízení vlády ponechány pro interval velmi nízkých frekvencí (vyznačený v grafu na obrázku č. 5 křížky) v platnosti jen limity pro ostatní osoby (obyvatelstvo). Odklad data implementace Direktivy EU má být využit k zjištění, jaké zvýšení limitu lze pokládat za bezpečné. Poznámka: Účinnost (fyziologické působení) indukovaného elektrického proudu závisí nejen na jeho intenzitě, ale i na frekvenci. Nejúčinnější je proud s frekvencí 50 Hz – 100 Hz. Odpovídá tomu frekvenční průběh nejvyšší přípustné hodnoty. Je v tomto případě aproximován třemi přímými úsečkami. Tvaru této aproximace se i ve vážných odborných diskusích říká necky.

**Obr. 6** Fotografie necky – pro informování mladé generace, která se s tímto zařízením na praní prádla již nesetkává.

**Obr. 7** Hranatý průběh frekvenční závislosti vyhovoval v situacích, kdy magnetické pole a tudíž i hustota proudu indukovaného v těle měly aspoň přibližně tvar sinusovky. Na obrázku

je sinusový průběh magnetické indukce zaznamenaný u výstupních kabelů slapské vodní elektrárny. Přípustná hodnota hustoty proudu indukovaného v těle je v tomto případě jednoznačně určena hodnotou, která se odečte v grafu (pro zaměstnance 10 miliampérů na čtvereční metr; jde ovšem v tomto případě o frekvenci z intervalu, pro který je zatím stanovení limitů odloženo).

Obr. 8 Časový průběh magnetické indukce u kabelu napájejícího tramvajovou trasu. Je velmi blízký sinusovému a má frekvenci 300 Hz, což je šestá harmonická, která ve stejnosměrném proudu zůstala po dvoucestném usměrnění třífázového proudu s frekvencí 50 Hz. I v tomto případě je možné s vyhovující přesností použít nejvyšší přípustnou hodnotu pro jednu frekvenci, tj. pro 300 Hz.

Obr. 9 Křivky na obrazovce digitálního osciloskopu, zaznamenané u transformátoru s přesyceným jádrem, mají průběh značně odlišný od sinusového. K dostatečně přesnému určení, zda není překročena nejvyšší přípustná hodnota pro hustotu indukovaného proudu, je tvar frekvenční závislosti ve tvaru necek nevhodný. I když se zachycený časový průběh rozloží do jednotlivých harmonických složek a z křivky na obr. 3 se určí, jak se amplitudy těchto složek změní po vážení frekvenční závislosti jejich fyziologického vlivu, není z nich možné určit časový průběh proudové hustoty modifikované touto závislostí. Tento průběh se totiž liší podle fáze sčítaných složek, a ta není amplitudovou závislostí na obr. 3 definována. Pro hygienické hodnocení průběhů silně odlišných od sinusových je nutné rozšířit frekvenční závislost o závislost fáze. Hranatý tvar křivky této závislosti se k tomu nehodí. K definování frekvenční závislosti fyziologické účinnosti elektrického indukovaného proudu nejen pro amplitudu, ale i pro fázi, je však možné využít experimenty C. F. Dalziera, který v druhé polovině dvacátého století uskutečnil velké množství měření fyziologické účinnosti nízkofrekvenčního proudu procházejícího tělem člověka vodivě spojeným se zdrojem konstantního proudu.

Obr. 10 Měření spočívalo v tom, že pokusná osoba držela v každé ruce kovovou elektrodu. Po zapnutí zdroje procházel tělem pokusné osoby poměrně silný elektrický proud známé intenzity a frekvence, a Dalzier zjišťoval, při jaké frekvenci a proudu se vyšetřovaná osoba ještě dokáže odtrhnout od elektrod a vymanit se tak ze svalové křeče, kterou proud procházející tělem způsoboval.

Obr. 11 Výsledky velkého počtu těchto experimentů, které všechny pokusné osoby ve zdraví přežily, shrnul Dalzier do grafu, na jehož vodorovné ose je vyznačena v logaritmické stupnici frekvence proudu, na svislé ose lineárně intenzita proudu, a jednotlivé hladké křivky patří vyznačenému procentu osob, které při dané frekvenci a intenzitě proudu právě ještě stačily překonat svalovou křeč a odtrhnout se od kontaktu s elektrodami, které držely v ruce. Horní křivka odpovídá situaci, při které se skoro nikomu nepodařilo vymanit z kontaktu - 99,5 % pokusů skončilo tak, že pokusná osoba musela počkat na vypnutí proudu. Dolní křivka patří situaci, při které se jen polovině procenta experimentujících osob nepodařilo z kontaktu s elektrodami vymanit. Ostatní křivky patří k situacím mezi oběma krajními. Srovnání s frekvenční závislostí přípustné hodnoty hustoty indukovaného proudu na obr. 3 dává tušit, že Dalzieova měření posloužila k definování této závislosti, i když k ní vedou i teoretické úvahy o mechanismu dráždění nervové soustavy elektrickým proudem ve tvaru impulsů. Pro kvantitativní srovnání je však třeba si všimnout, že Dalzier měřil proud procházející tělem a nikoli hustotu tohoto proudu.

Obr. 12 Křivka se zaoblenými rohy (horní pro zaměstnance, dolní pro ostatní osoby) odpovídá rozhodně lépe experimentálně zjištěné fyziologické účinnosti proudu na stimulování nervové soustavy, než aproximace třemi úsečkami. Kromě toho je možné ji vyjádřit jednoduchou

analytickou funkcí, která obsahuje i frekvenční závislost fáze. Ta je uvedena v komplexním tvaru v nařízení vlády č. 1/2008 Sb.

Obr. 13 Křížky je vyznačen interval frekvencí, pro které není u zaměstnanců zatím stanovena nejvyšší přípustná hodnota pro hustotu indukovaného proudu. Je pravděpodobné, že bude ve srovnání s vyznačenou křivkou vyšší.

Obr. 14 Časový průběh magnetického pole s maximem u 600 mikrottesla (modrá křivka s oblými maximy) byl zaznamenán u aparatury na magnetizaci součástí vyšetřovaných ultrafialovou defektoskopií. Impulsy s frekvencí 50 Hz vznikly působením tyristorového regulátoru proudu, který ořezává původně sinusový průběh. Křivka označená  $W_J$  s ostrými vrcholy nazvaná funkce překročení odpovídá hustotě proudu indukovaného v těle pracovníka, vztažené k nejvyšší přípustné hodnotě. Je-li funkce překročení v celém časovém intervalu v absolutní hodnotě menší než jedna, není nejvyšší přípustná hodnota překročena (pozastavení platnosti limitu pro zaměstnance neuvažujeme).

Obr. 15 Je naznačen způsob filtrace hustoty elektrického proudu indukovaného v těle exponované osoby. Filtraci je možné provést pomocí rozkladu časového průběhu do Fourierovy řady, vážením obou koeficientů (tj. koeficientů u sinu a u kosinu) funkcí fyziologické účinnosti, a sečtením nové takto vzniklé řady. Výhodnější však je použít filtrační integrál (integrální konvoluci) s integrálním jádrem  $K$ . Souvisí s komplexní závislostí fyziologické účinnosti na frekvenci, jejíž amplitudová část je znázorněna na obr. 12 a filtrovaná hustota proudu označena symbolem  $J_{mod}$ . Počítačový program na tuto filtraci je k dispozici v Národní referenční laboratoři. Ve vzorcích je symbolem  $E$  označena intenzita elektrického pole,  $U$  - napětí na proudové smyčce,  $l$  - délka smyčky. Výpočty se provádějí počítačovým programem a jejich výsledkem je průběh modifikované proudové hustoty  $J_{mod}$ , případně funkce překročení  $W_J$ .

Obr. 16 U aparatury na sváření natupo je velmi silné magnetické pole, které obsahuje ostré impulsy způsobené prudkými změnami elektrického odporu kontaktu mezi svařovanými díly.

Obr. 17 Vypočítaný průběh hustoty proudu  $J$  indukovaného v těle pracovníka obsluhy má velmi ostrá a četná maxima, která se objevují nepravidelně během periody. Po filtraci ostrá maxima zmizí a k hodnocení zůstává poměrně hladký průběh modifikované proudové hustoty  $J_{mod}$ .

Obr. 18 U nízkofrekvenčního indukovaného proudu se hodnotí maximum absolutní hodnoty modifikované proudové hustoty, které se vyskytne v sledovaném průběhu proudu.

Obr. 19 Ohlašuje oddíl vysokofrekvenčního elektromagnetického pole

Obr. 20 Skandály kolem vysílačů na televizní věži v Praze v Mahlerových sadech upadly už v zapomenutí. Stojí za připomenutí, že ministerstvo životního prostředí zakázalo po dostavění věže zahájit provoz těchto vysílačů, v podstatě pod tlakem občanských iniciativ, které uvěřily poplašným zprávám o tom, že vyzařované elektromagnetické pole způsobuje rakovinu. Po třech měsících vysílání do vodní zátěže (výkonovým elektronkám není zdrávo zahálet) tehdejší vláda zákaz vysílání zrušila, nařídila však snížit výkon jednotlivých vysílačů.

Obr. 21 Obavy z elektromagnetického záření antén mobilních operátorů, které nastoupily po odeznění skandálů kolem žižkovského vysílače, se nyní omezují na nevelký okruh občanů, kteří nechtějí vzít na vědomí, že výkony v anténách obsluhujících mobilní telefony jsou nízké a že v bytech pod anténami je elektromagnetické pole (přesněji hustota zářivého toku) řádově tisíckrát slabší, než je nejvyšší přípustná hodnota stanovená v nařízení vlády č. 1/2008 Sb.

Obr. 22 Nově nastoupily poplašné zprávy kolem radaru, o jehož umístění ve vojenském újezdu Brdy se jedná. V nich se opět objevila tvrzení o rakovině a jiných těžkých nemocech,

kteří vyvolá elektromagnetické záření emitované tímto radarem. Pravé důvody odmítání jsou ovšem politické a šíření obav o zdraví je jen zástupným problémem. Po získání dostatečně spolehlivých technických údajů o tomto radaru je jasné, že v žádných místech v úrovni terénu, počítaje v to vrcholy všech brdských kopců, nepřekročí vyzařované elektromagnetické pole ani malý zlomek přípustné hodnoty platné podle nařízení vlády č. 1/2008 Sb. pro ostatní osoby (obyvatelstvo).

Obr. 23 opakuje pro přehlednost nejvyšší přípustné hodnoty, které pro frekvence vyšší než 300 Hz zůstávají v platnosti beze změn.

Obr. 24 Hloubka pronikání rovinné elektromagnetické vlny do tkáně těla klesá s rostoucí frekvencí. Počínaje frekvencí 10 GHz (vlnová délka 0,03 metru) je hloubka pronikání menší než jeden milimetr, a pro frekvence vyšší než 10GHz se proto opouští hodnocení expozice podle měrného absorbovaného výkonu a hodnotí se již jen hustota zářivého toku dopadající elektromagnetické vlny.

Obr. 25 U referenčních hodnot pro snadno měřitelné veličiny se znovu vyskytují křivky ve tvaru necek. Působení vysokofrekvenčního pole se však od nízkofrekvenčního pole liší – počínaje frekvencí 10 MHz se uplatňuje již jen ohřev tkáně způsobený absorpcí vysokofrekvenčního výkonu. Není proto nutné zaoblovat rohy aproximace frekvenčních závislostí jednotlivých veličin. Stojí za připomenutí, že minima kolem frekvence 100 MHz aproximovaná tvarem necek souvisejí s tím, že rozměr těla člověka je blízký polovině délky vlny. To způsobuje, že člověk představuje pro vlny této délky (pracují na ní vysílače VKV/FM) lepší anténu, než pro vlny s menší i větší vlnovou délkou.

Obr. 26 Upozorňuje, že nejvyšší přípustné hodnoty pro expozici vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli jsou vlastně deklarovány pro dávku absorbované vysokofrekvenční energie v joulech na kilogram tkáně, která nesmí být překročena během kterýchkoli šesti minut. Měrný absorbovaný výkon (ve wattch na kilogram tkáně) může být překročen, pokud expozice nepřekročí během kterýchkoli šesti minut dávku uvedenou v obrázku. Pro frekvenci vyšší než 10 GHz se tato doba zkracuje a současně se přechází na hodnocení podle hustoty dopadajícího zářivého toku, přesněji podle hustoty energie dopadnuvší kdykoliv během stanovené doby (kratší v tomto případě než šest minut) na tělo člověka.

Obr. 27 Článek v prestižním časopise, jehož autory jsou americký profesor – fyzik P. Valberg, současná koordinátorka oddělení elektromagnetického pole a životního prostředí Světové zdravotnické organizace Dr. E. Deventerová, a Dr. M. Repacholi, koordinátor tohoto oddělení do roku 2006, je možné označit za jeden z nejzásadnějších příspěvků k hodnocení expozice člověka vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli, který byl publikován za posledních deset let.

Obr. 28 Abstrakt článku.

Obr. 29 List o faktech (Fact Sheet WHO) shrnující hlavní výsledky obsažené ve výše citovaném článku. Český překlad oficiálně schválený WHO je na webové adrese WHO a také na webu SZÚ. V tomto dokumentu a podrobněji v citovaném článku P. Valberga et al. Se mimo jiné konstatuje, že působení vysokofrekvenčního elektromagnetického pole spočívající v ohřívání tkáně těla je stejné v širokém intervalu frekvencí, takže již padesát let jsou lidé v blízkosti televizních a rozhlasových vysílačů vystaveni expozici vyšší než lidé ve větších vzdálenostech od těchto zařízení. Přitom epidemiologické studie neprokázaly zdraví škodlivé působení blízkých vysílačů. Toto konstatování činí často deklarovanou škodlivost expozice člověka slabým vysokofrekvenčním polím, která působí po velmi dlouhou dobu, dnes již krajně nepravděpodobnou.

Obr. 30 Oddíl optické záření – limity jsou stanoveny jen pro technické zdroje. V nařízení vlády č. 1/2008 Sb. zůstaly beze změny, jsou však jinak seřazeny příslušné vzorce a přidány přehledné tabulky. Z iniciativy některých států evropské unie připravuje Rada Evropy řadu opatření k omezení expozice osob ultrafialovému záření. Opatření mají být zaměřena na zdroje používané v soláriích. K dosažení efektu opálení kůže je nutné používat dávky, které překračují nejvyšší přípustné hodnoty stanovené ve Směrnici ICNIRP a v nařízení vlády č. 1/2008 Sb.

Obr. 31 Nejvyšší přípustné hodnoty pro expozici osob ultrafialovému záření jsou extrémně silně závislé na vlnové délce. U záření, které je monochromatické, se nejvyšší přípustná hodnota expozice v joulech na čtvereční metr přímo odečte z grafu. U nemonochromatického záření je nutné znát intenzitu spektrálního vyzařování zdroje a při hygienickém hodnocení ji vážít koeficientem spektrální účinnosti  $S_\lambda$ .

Obr. 32 Koeficient spektrální účinnosti ultrafialového záření  $S_\lambda$  má bohužel dvě definice. Nařízení vlády č. 1/2008 Sb. používá definici deklarovanou ve Směrnici ICNIRP z roku 1998 (stejnou definici používá i Direktiva Evropského parlamentu a Rady schválená v roce 2006). Stejně označovaný koeficient používaný v technických normách má dosti odlišný velmi zjednodušený průběh a jeho použití vede k vyšším efektivním hodnotám intenzity vyzařování.

Obr. 33 Dvě rozdílné definice koeficientu spektrální účinnosti s logaritmickým měřítkem na svislé ose grafu. Při hygienickém hodnocení je třeba dávat přednost koeficientu ICNIRP určenému s maximální přesností podle výsledků fyziologických měření, který je použit v nařízení vlády č. 1/2008 Sb.

Obr. 34. Nejvyšší přípustná dávka expozice osob ultrafialovému záření je vážených (efektivních)  $30 \text{ J/m}^2$  za směnu. K dosažení efektu opálení je nutná dávka podstatně vyšší. Veškerá omezení expozice optickému záření (i záření viditelnému a infračervenému) jsou stanovena pro technické zdroje. Ochrana před expozicí slunečnímu záření nebyla do závazných dokumentů zahrnuta, i když se o ní pro ochranu zdraví zaměstnanců při práci v terénu uvažovalo.

Státní zdravotní ústav, prezentováno na konzultačním dnu 20. března 2008

Zpracoval: Luděk Pekárek