



K hygienickému hodnocení počítačových monitorů

Velmi často se setkáváme s dotazy, zda elektromagnetické pole v okolí počítačových monitorů může nepříznivě působit na zdraví. K odpovědi na tyto dotazy je možné použít i naši současnou legislativu.

I. Úvod

Velmi často se setkáváme s dotazy, zda elektromagnetické pole v okolí počítačových monitorů může nepříznivě působit na zdraví. (Tazatelé používají často formulaci o vlivu záření těchto zdrojů, i když o záření vlastně nejde - nejkratší vlnová délka, která se může u monitorů vyskytnout, je rovná několika stům metrů; u monitorů jde tedy vždy o pole blízké zóny, v kterém elektrická a magnetická pole spolu nejsou svázána vlastnostmi známými z šíření elektromagnetických vln.) Přitom již v roce 1998, vydala Světová zdravotnická organizace (WHO) stanovisko, z kterého vyplývá, že případné zdravotní obtíže vyskytující se při práci s počítačovými monitory je nutné hledat jinde než v působení elektromagnetického pole, které v tomto případě představuje jen zlomek expozičních limitů uplatňovaných v národních i mezinárodních standardech (podrobněji viz. [1]).

Jelikož nařízení vlády č. 480/2000 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, platné od ledna 2001, stanoví hygienické limity i pro nízkofrekvenční elektrická a magnetická pole a pro statické magnetické pole, je možné k odpovědi na tyto dotazy použít i naši současnou legislativu.

II. Hygienické hodnocení nízkofrekvenčních polí

Přípustnost expozice člověka nízkofrekvenčním elektrickým a magnetickým polím s frekvencí do 100 kHz se v citovaném dokumentu posuzuje podle hustoty elektrických proudů, které tato pole v těle člověka vyvolají. V intervalu frekvencí od 100 kHz do 10 MHz přímý vliv indukovaných elektrických proudů v tkáni těla slábne a začíná uplatňovat i ohřev tkáně. Pro posouzení přípustnosti expozice je nutné v tomto intervalu frekvencí posuzovat oba vlivy současně. U elektrických a magnetických polí a záření s frekvencí vyšší než 10 MHz se při hygienickém hodnocení posuzuje již jen ohřev tkáně.

Nejvyšší frekvence, které se v okolí monitoru vyskytují, jsou vyššími harmonickými složkami Fourierova spektra časového průběhu magnetického pole ovládajícího vodorovný pohyb elektronového svazku po řádcích. Toto pole má pilový průběh a jeho základní frekvence leží mezi 16 kHz (televizní přijímač) a 100 kHz (počítačové monitory s vysokým rozlišením). I nejvyšší harmonické, které se v tomto poli vyskytují, mají frekvence nepřekračující 1 MHz.

Vzhledem k takto nízkým frekvencím je možné tepelný vliv elektromagnetického pole počítačových monitorů zanedbat oproti účinkům netepelným, tedy účinkům elektrických proudů indukovaných v těle.

Tyto indukované proudy jsou dominantně způsobeny magnetickým polem. Nízkofrekvenční elektrická pole jsou v tomto případě slabá a mají vysokou impedanci, takže se při indukování elektrických proudů v těle uplatňují při hygienickém hodnocení nepatrně. Totéž platí pro statické elektrické pole, které v monitoru slouží k urychlování elektronů.



Nejvyšší přípustná hustota indukovaného proudu pro hlavu a hrud' exponované osoby je pro frekvenční interval od 4 Hz do 1 kHz v citovaném nařízení vlády stanovena pro zaměstnance na $0,01 \text{ A/m}^2$, pro ostatní osoby (obyvatelstvo) na $0,002 \text{ A/m}^2$, tedy pětikrát níž. Pro vyšší frekvence je nejvyšší přípustná hodnota hustoty indukovaného elektrického proudu určena pro zaměstnance vztahem $f / 10^5$ (frekvence f je v hertzech, proudová hustota vyjde v ampérech na čtverečný metr), pro ostatní osoby (obyvatelstvo) je nejvyšší přípustná hodnota pětikrát nižší. Roste tedy v obou případech přímo úměrně frekvenci.

Kromě maximálních přípustných hodnot stanoví nařízení vlády referenční hodnoty pro přímo měřitelné veličiny - intenzitu elektrického a magnetického pole. Nejsou-li překročeny referenční hodnoty pro intenzity polí, je tím zajištěno, že není překročena ani nejvyšší přípustná hodnota stanovená pro hustotu proudů indukovaných v těle exponované osoby. Referenční hodnoty jsou stanoveny tak, aby při jejich dodržení nemohlo dojít k překročení nejvyšší přípustné hodnoty za žádných okolností, tedy ani při expozici celého těla homogennímu poli. V konkrétních situacích je zpravidla možné prokázat nepřekročení nejvyšší přípustné hodnoty i při poměrně značném překročení referenční hodnoty. Taková situace se zvláště často vyskytuje u nehomogenních polí, kdy je vyšší intenzitě pole vystavena jen malá část těla, což je právě případ počítačového monitoru.

Referenční hodnota pro zaměstnance a pro magnetické pole je v intervalu frekvencí 820 Hz - 65 kHz konstantní a rovna $30,7 \cdot 10^{-5} \text{ T}$, v intervalu frekvencí 65 kHz - 1MHz klesá a je určena vztahem $2 / f$. (Dosadí-li se frekvence f v hertzech, vyjde magnetická indukce v jednotkách tesla.) Pro ostatní osoby je referenční hodnota konstantní intervalu frekvencí 800 Hz - 150 kHz a rovná $6,25 \cdot 10^{-6} \text{ T}$, v intervalu frekvencí 150 kHz - 1MHz pak klesá a je rovná $0,92 / f$, kde f je frekvence v hertzech a výsledek opět v jednotkách tesla.

Účinek indukovaných elektrických proudů na tkáň těla (jde především o působení na nervovou soustavu) je okamžitý a proto v tomto případě nezáleží na době expozice.

To je podstatný rozdíl ve srovnání s hodnocením tepelného působení polí: teplota exponované tkáně roste pomalu a při hodnocení expozice se působení pole středuje za dobu šesti minut, po které se teplota tkáně při neměnění se expozici již nestoupá.

Biologické jevy vyvolané elektrickými proudy v těle, které sloužily k stanovení nejvyšších přípustných hodnot pro hustotu elektrických proudů s různou frekvencí, jsou uvedeny v [2] v tabulce č. 1.

III. Způsob měření

K hygienickému hodnocení pole v blízkosti monitoru jsme sledovali časový průběh napětí na výstupu kalibrované cívky s geometrickou plochou $0,01 \text{ m}^2$. Zvolený obsah plochy sondy souvisí se způsobem hygienického hodnocení expozice člověka proměnnému magnetickému poli: rozhodující hodnocená (dozimetrická) veličina je v tomto případě hustota indukovaného elektrického proudu v tkáni těla, a ta je při jinak stejných podmínkách úměrná průměru smyčky, kterou se elektrický proud indukovaný v těle proměnným magnetickým polem uzavírá. Při měření silně nehomogenního magnetického pole sondou s menšími rozměry se výsledek měření může od výsledku měření sondou s plochou rovnou 1 dm^2 značně lišit.



Snímací cívku jsme přikládali ke stěnám monitoru a časový průběh signálu jsme při posouvání sondy sledovali na obrazovce digitálního osciloskopu. V místě, kde byl signál maximální, se jeho časový průběh zaznamenal na disketu. K získání časového průběhu magnetické indukce a jí indukovaných proudových hustot jsme zaznamenaná data numericky vyhodnotili na počítači.

Abychom našli "nejhorší možný případ", přikládali jsme snímací sondu podle možnosti ke stěnám monitoru tak, aby se jí sonda dotýkala. Pro přepočet intenzity pole (magnetické indukce) na nenulovou vzdálenost od stěny přístroje - například na vzdálenost 5 cm, používanou pro hygienická hodnocení v podobných situacích nejčastěji - je možné použít zjištěný pokles intenzity pole s rostoucí vzdáleností. Ten byl ve všech případech velmi strmý - intenzita pole (magnetická indukce) klesla v pěti centimetrech od stěny nejméně na jednu třetinu hodnoty naměřené na stěně (ve vzdálenosti 12 cm byla intenzita pole ve všech měřených případech menší než jedna desetina jeho intenzity na stěně).

Měření bylo provedeno na mnoha monitorech různých značek. Ze všech monitorů jsme pak vybrali tři s odlišnou frekvencí řádkování, mezi nimi samozřejmě i monitor s vůbec nejvyšší naměřenou hodnotou magnetického pole.

IV. Výsledky měření

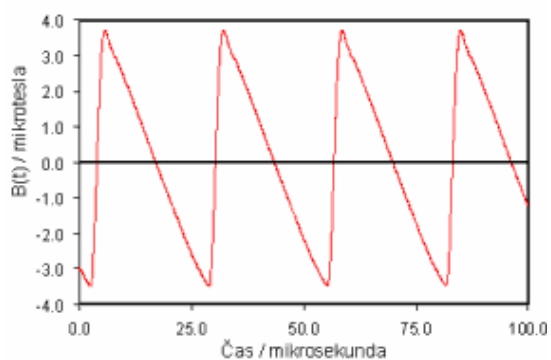
Téměř u všech měřených monitorů jsme nejvyšší hodnotu magnetické indukce nacházeli při položení cívky na horní (většinou mírně skloněnou nebo prohnutou) část monitoru. Vysokou hodnotu měl měřený signál i při vložení cívky pod spodní okraj monitoru, toto místo je však pro člověka prakticky nepřístupné a často je tak úzké, že se do něj nevejde ani měřicí sonda. Na zadní stěně monitoru a na jeho bočních stěnách byla amplituda signálu téměř vždy slabší než na horní stěně. Před předním sklem obrazovky byla intenzita magnetického pole nižší dokonce řádově. U bočních stran měřených monitorů a před obrazovkou bylo možné kromě signálu s frekvencí řádkování izolovat nakláněním a posouváním sondy i signál s frekvencí obnovování obrazu. Magnetické pole má v tomto případě nízkou frekvenci (nižší než 100 Hz, typická hodnota je kolem 70 Hz) a jeho hodnota je taková, že se ve výsledném hygienickém hodnocení prakticky neprojeví.

Na následujících obrázcích jsou uvedeny výsledky měření tří různých monitorů. Měření bylo prováděno vždy na horní části monitoru v místě nalezeného lokálního maxima magnetické indukce. Na obrázcích jsou uvedeny časové průběhy magnetické indukce a indukovaných proudových hustot a jejich frekvenční spektra.

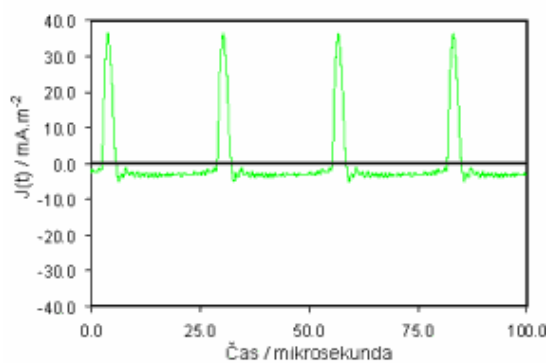
Indukované proudové hustoty byly vypočteny numericky z časového průběhu magnetické indukce a s uvážením proudové smyčky o velikosti přibližně obvodu hlavy, což je vzhledem k vysoké nehomogenitě pole největší možná reálná hodnota.

Monitor č.1

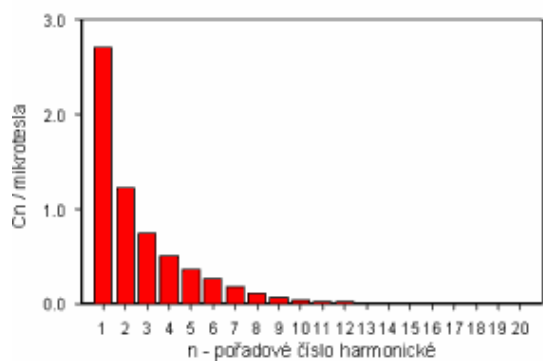
Časový průběh B



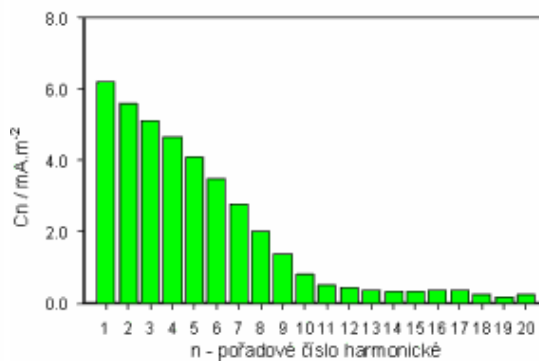
Časový průběh J(t)



Frekvenční spektrum B(t)

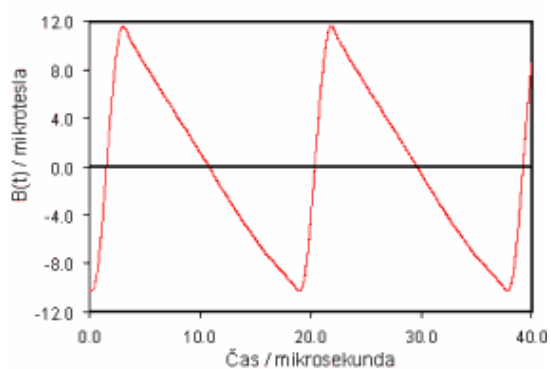


Frekvenční spektrum J(t)

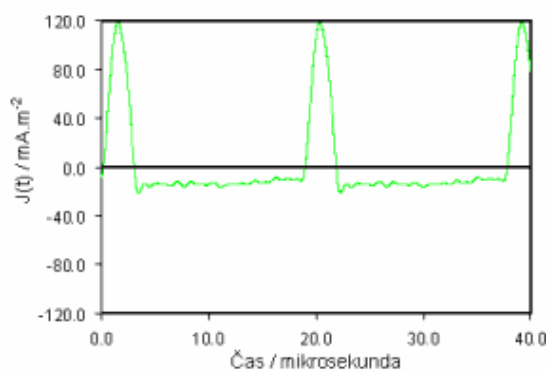


Monitor č.2

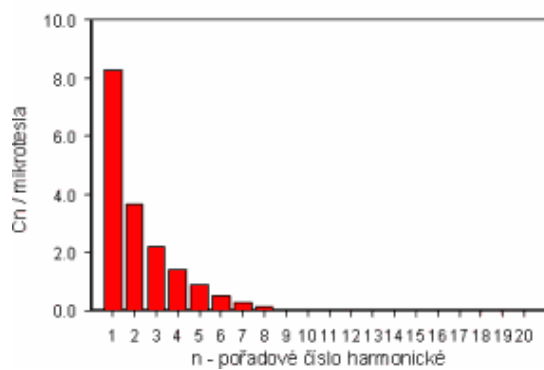
Časový průběh B



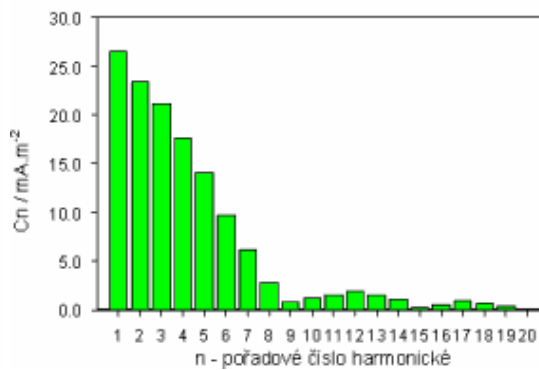
Časový průběh J(t)



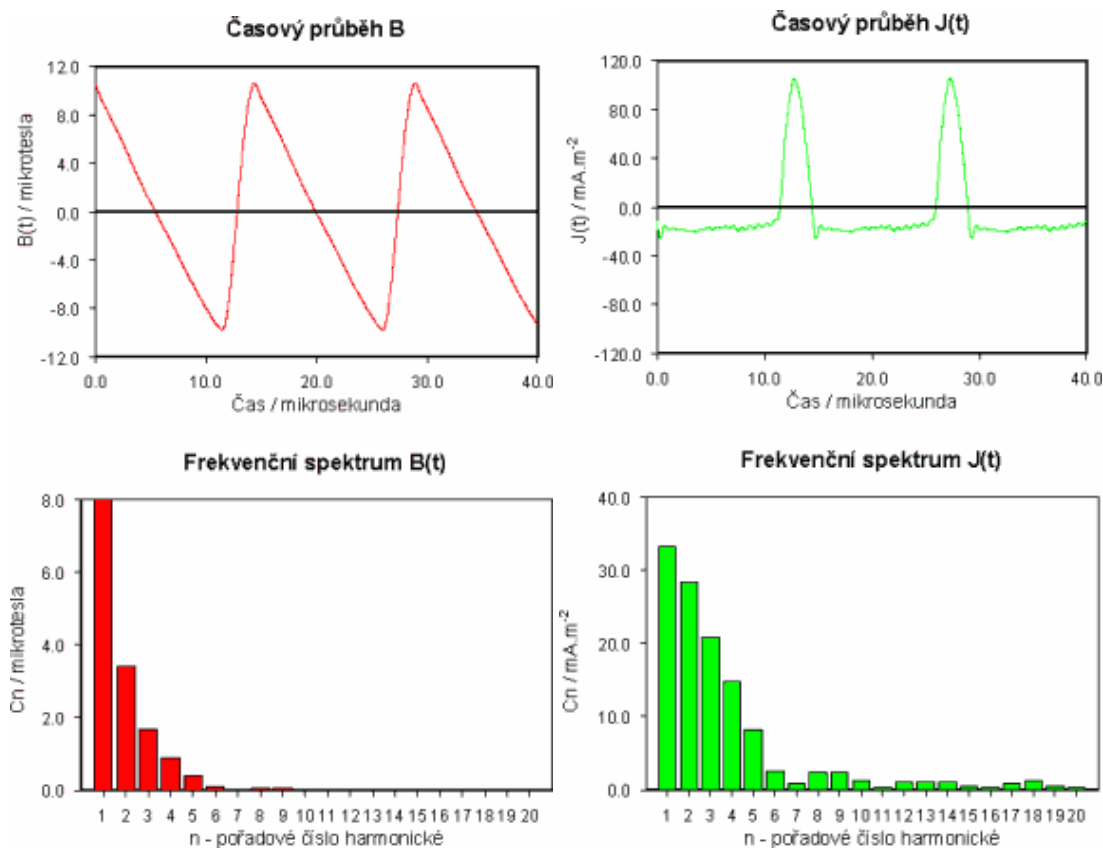
Frekvenční spektrum B(t)



Frekvenční spektrum J(t)



Monitor č.3



V. Srovnání s přípustnými hodnotami.

Z průběhů uvedených na obrázcích je vidět, že průběhy se silně liší od sinusových a není možné je přímo srovnávat s referenční či s maximální přípustnou hodnotou příslušející základní frekvenci, nýbrž je nutné započítat i vyšší harmonické frekvence, a to s váhou, odpovídající referenčním a maximálně přípustným hodnotám pro danou frekvenci. Výpočet byl uskutečněn počítačovým programem a je pro poměr efektivní hodnoty magnetické indukce respektive proudové hustoty k efektivní referenční respektive nejvyšší přípustné hodnotě pro zjištěný časový nesinusový průběh pro tři vybrané monitory uveden v následující tabulce.

Uvedené procentuální hodnoty jsou vztaženy k referenčním případně maximálním přípustným hodnotám pro zaměstnance. V případě ostatních osob jsou hodnoty 5krát vyšší.

Monitor	% z maximální přípustné hodnoty	% z referenční hodnoty
č. 1	2,65	16,58*
č. 2	7,29	57,28*
č. 3	6,12	50,88*



* To, že jsou procenta z referenčních hodnot v tomto případě podstatně větší než procenta z maximálních přípustných hodnot je způsobeno tím, že referenční hodnoty uvažují nejhorší možný případ, tj. expozici pole stejné intenzity na celé tělo. Pole monitoru ubývá však velmi rychle se vzdáleností a výsledek hodnocení podle referenčních hodnot neodpovídá dané situaci. O skutečné expozici rozhodují maximální přípustné hodnoty.

VI. Závěr

Jak je vidět z předchozího odstavce, není ani v přímém dotyku s horní částí monitoru (zde je magnetické pole nejvyšší) překročena maximální přípustná hodnota stanovená nařízením vlády č. 480/2000 Sb. pro zaměstnance i pro ostatní osoby (obyvatelstvo).

Lidé pracující u počítačových monitorů (případně rodiče dětí, které si s počítači hrají nebo se s nimi učí zacházet) a jiné osoby, které se vyskytují v blízkosti počítačů a sedí třeba blízko jejich bočních nebo zadních stran, se však zpravidla neptají, zda si škodí, položí-li si na zapnutý monitor hlavu. Většinou se obávají, že tak zvané vyzařování monitoru jim poškozuje zdraví, zdržují-li ve vzdálenostech několika desítek centimetrů a někdy i metrů od monitoru. V takových vzdálenostech od monitoru je však intenzita magnetického pole ještě řádově menší než v měřeném případě.

Z hlediska neionizujícího elektromagnetického pole není tedy třeba pobyt u monitorů jakkoli sledovat či snad omezovat. S tím souvisí i to, že používání jakýchkoli prostředků údajně omezujících "zařízení" monitorů (speciální zástěny, stínící štíty nebo zařízení "absorbující záření") je neopodstatněné.

Literatura:

[1] - Informace NRL č. 2/1999 ze stránek , která je spolu s dalšími informacemi týkajícími se problematiky hygienického hodnocení neionizujících elektromagnetických polí uvedena na internetových stránkách CPL.

[2] - Informace NRL č. 3 ze stránek

[3] - Video Display Units (VDUs) and Human HEALTH. World Health Organization Press Office, Fact Sheet No 201, July 1998