Věstník MZd ČR, částka 6/2009

V Praze dne 30.6.2009

Čj.: 29015/2009

METODICKÝ NÁVOD

k postupu podle §35 a §36 zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví, ve znění pozdějších předpisů, a nařízení vlády č. 1/2008 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením.

Ministerstvo zdravotnictví - hlavní hygienik České republiky vydává podle §80 odst. 1 písm. a) zákona č. 258/2000 Sb. tento

metodický návod

ke sjednocení postupu orgánů a zařízení ochrany veřejného zdraví při kontrole dodržování opatření uložených fyzickým a právnickým osobám v ochraně před neionizujícím zářením.

A) KONTROLA ORGÁNY OCHRANY VEŘEJNÉHO ZDRAVÍ

Podle §88 odst. 2 zákona č. 258/2000 Sb. jsou orgány ochrany veřejného zdraví oprávněny:

1) Vykonat státní zdravotní dozor v provozovně, jiné stavbě nebo zařízení, za účelem zjištění, jsou-li splněny požadavky upravené v §35 a §36 zákona č. 258/2000 Sb. a v nařízení vlády č. 1/2008 Sb. (dále jen „nařízení vlády“), požadovat předložení dokumentace potřebné k posouzení plnění citovaného zákona a nařízení vlády a, pokud byly prováděny výpočty nebo měření, zprávy o jejich výsledcích;

2) Vykonat státní zdravotní dozor v provozovně, jiné stavbě nebo zařízení, za účelem zjištění zda zde nedochází k překročení přípustných hodnot upravených citovaným nařízením vlády, seznámit se s příslušnou technickou dokumentací a s provozním řádem, pokud byl na daném stanovišti vydán; současně je oprávněn orgán ochrany veřejného zdraví uložit podle §84 odst. 1 písm. o) zákona č. 258/2000 Sb. určení a měření faktorů životních a pracovních podmínek ke zjištění, zda není ohroženo veřejné zdraví nebo určení příčiny poškození zdraví.

3) Uložit podle §92 zákona č. 258/2000 Sb., pokutu, pokud zjistí, že požadavky upravené v §35 a §36 zákona č. 258/2000 Sb. a v nařízení vlády nejsou plněny.

4) Plnit úkoly dotčeného správního úřadu podle §77 zákona č. 258/2000 Sb. při rozhodování ve věcech, které se dotýkají zájmů chráněných orgánem ochrany veřejného zdraví, a vydávat v těchto věcech stanoviska v souladu s §82 odst. 2 písm. j) zákona č. 258/2000 Sb.

B) POSUZOVÁNÍ EXPOZIČNÍCH SITUACÍ

I. Zásady platné pro celý frekvenční obor neionizujícího záření

1) Splnění nejvyšších přípustných hodnot je možné ověřit výpočtem nebo měřením, přičemž o formě rozhoduje provozovatel posuzovaného zařízení. Pokud se dokument poskytnutý provozovatelem jako doklad nepřekročení nejvyšších přípustných hodnot jeví orgánu ochrany veřejného zdraví jako nevěrohodný, je povinen takový doklad odmítnout s konkrétním a přezkoumatelným zdůvodněním této nevěrohodnosti a vyžádat nové vyhodnocení expoziční situace. Do doby vypracování nového dokumentu se pokládá dodržení nejvyšších přípustných

hodnot expozice osob za neprokázané a tedy předpoklady pro používání nebo provozování zdroje neionizujícího záření za nesplněné.

2) Dokumentace prokazující dodržení nejvyšších přípustných hodnot upravených nařízením vlády č. 480/2000 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, vydaná do 31.3.2008, se považuje za doklad, že nejsou překročeny nejvyšší přípustné hodnoty expozice upravené nařízením vlády č. 1/2008 Sb.

3) Text obsažený v §1, odstavci 4) nařízení vlády je nutné interpretovat tak, že expoziční limity se pouze nevztahují na pacienta. Pro jiné fyzické osoby jsou expoziční limity závazné.

II. Posuzování expozice elektrickým a magnetickým polím a elektromagnetickému záření s frekvencí do 300 GHz.

Nejvyšší přípustné hodnoty jsou v tomto frekvenčním oboru odlišné pro zaměstnance a pro ostatní osoby. Zavedení nižších přípustných hodnot pro „ostatní osoby“ odpovídá rozlišování mezi „kontrolovanou expozicí“ a „nekontrolovanou expozicí“ používanou v dokumentech USA.

V příloze č. 1 k nařízení vlády jsou stanoveny k posuzování expozice hodnoty snadno měřitelných veličin charakterizujících elektrická a magnetická pole a elektromagnetické záření vně těla exponované osoby, nazvané referenčními. Dodržení referenčních hodnot zaručuje, že v jakékoli expoziční situaci nebudou překročeny nejvyšší přípustné hodnoty. Referenční hodnoty jsou však pomocné a mohou být překročeny.

Při expozici osob elektrickému nebo magnetickému poli nebo elektromagnetickému záření s frekvencí z intervalu 100 kHz až 10 MHz se mohou uplatnit jak netepelné, tak tepelné účinky. Tyto vlivy se nesčítají, posuzují se odděleně a proudová hustota indukovaná v tkáni těla ani měrný absorbovaný výkon nesmějí překročit stanovené nejvyšší přípustné hodnoty.

1) Posuzování stimulace nervové soustavy (nízkofrekvenční pole)

Ve frekvenčním pásmu hodnocení stimulace nervové soustavy (0 Hz - 10 MHz) se vždy hodnotí blízké pole zdroje, ve kterém jsou magnetické pole a elektrické pole nezávislé a jejich účinky se hodnotí odděleně. V naprosté většině případů je zdrojem pole vodič protékaný proudem a na nízkých frekvencích tak o expozici zpravidla rozhoduje magnetické pole. Jednou z mála výjimek jsou venkovní vedení vysokého a velmi vysokého napětí, v jejichž blízkosti je expozice způsobená elektrickým polem a magnetickým polem srovnatelná. Na rozdíl od magnetického pole lze nízkofrekvenční elektrické pole také snadno odstínit.

Posouzení expozice na nízkých frekvencích je vždy možné provést dle nejvyšších přípustných hodnot. Podrobný a obecný postup takového hodnocení je uveden v příloze č. 1 k tomuto metodickému návodu. Referenční hodnoty mohou být použity pouze v případě, kdy má pole harmonický (sinusový) časový průběh. V případech, kdy má pole neharmonický (nesinusový) časový průběh, je hodnocení dle nejvyšších přípustných hodnot jediné možné.

Z nařízení vlády vyplývá, že expozice zaměstnanců ve frekvenčním rozsahu 0 Hz - 300 Hz není nijak omezena. Toto se netýká nejvyšší přípustné hodnoty pro ostatní osoby, která je závazná v celém frekvenčním pásmu 0 Hz - 10 MHz a rovná $J_{mod} = 0{,}002 \cdot \sqrt{2}\ A \cdot m^{-2}$. Uvedené opatření je třeba interpretovat tak, že výpočet modifikované proudové hustoty dle přílohy č. 1 k tomuto metodickému návodu je platný v celém frekvenčním pásmu 0 Hz - 10 MHz, avšak leží-li majoritní část pole ve frekvenčním intervalu 0 Hz - 300 Hz, není dodržení nejvyšší přípustné hodnoty $J_{mod} = 0{,}01 \cdot \sqrt{2}\ A \cdot m^{-2}$ závazné. Toto vymezení souvisí s nařízením Evropského parlamentu, kterým byla

pozastavena implementace evropské direktivy 2004/40/EC. Ukazuje se totiž, že v oblasti 0 Hz - 300 Hz je nejvyšší přípustná hodnota J_{mod} = 0,01 · √2 A · m^{-2} příliš omezující (např. u zařízení magnetického rezonančního zobrazování), a je třeba zjistit, do jaké míry je možné nejvyšší přípustnou hodnotu zvýšit. Definitivní hodnota limitu bude stanovena do roku 2012.

Pokud jde o kategorizace prací, pak je třeba výše uvedený text interpretovat tak, že v případech expozice elektromagnetickému poli s majoritní částí ve frekvenčním intervalu 0 Hz - 300 Hz jsou exponovaní zaměstnanci zařazeni do kategorie I.

2) Posuzování tepelných účinků (vysokofrekvenční pole)

Nejvyšší přípustné hodnoty i referenční hodnoty týkající se tepelného působení se zvyšují, jestliže doba expozice je kratší než doba pro průměrování hodnocené veličiny stanovená v příloze č. 1 k nařízení vlády. Pro pole s frekvencí od 100 kHz do 10 GHz (charakterizované měrným absorbovaným výkonem v tkáni těla) je tato doba rovná šesti minutám. Pro elektromagnetické záření s frekvencí vyšší než 10 GHz se doba průměrování s rostoucí frekvencí zkracuje. Při expozici delší, než je stanovená doba průměrování, zůstávají nejvyšší přípustné hodnoty i referenční úrovně stejné jako při expozici stanovené pro dobu rovnou době průměrování. Zvýšení nejvyšších přípustných a referenčních hodnot při expozici kratší než je doba stanovená pro průměrování má praktický význam při obsluze zařízení, u nichž je pro hodnocení expozice rozhodující tepelné působení pole.

a) Vzdálená zóna - oblast postupné (přibližně) rovinné elektromagnetické vlny

Elektromagnetické pole má charakter rovinné vlny nebo rovinné vlně blízký teprve ve vzdálenosti od zdroje větší než $L_0 = D^2/(4 . \lambda)$, kde D je největší rozměr antény (vyzařovací struktury) v metrech a λ je vlnová délka. V této oblasti je vektor elektrického pole E kolmý k vektoru magnetického pole B, jejich fáze je stejná a směr obou je kolmý na směr šíření vlny. Při měření stačí v tomto případě zjistit jen jednu z obou veličin, jelikož platí $E = c_0 . B$, kde c_0 je rychlost světla ve vakuu. Z kterékoli z obou veličin je pak pro oblast vzdáleného pole možné vypočítat hustotu zářivého toku, pro kterou platí $S = E^2/(120 . \pi)$. Například pro typickou směrovou anténu se svislým rozměrem 1,5 metru používanou u základnových stanic pro komunikaci s mobilními telefony vychází pro pásmo 900 MHz (λ = 0,33 m) L_0 = 1,7 m, pro pásmo 1800 MHz pak L_0 = 3,4 m.

Ve vzdálené zóně zdroje je možné hustotu zářivého toku generovaného anténou vypočítat ze vztahu $S = P . G/(4 . \pi r^2)$, kde P je celkový výkon vyzařovaný anténou (rovný přibližně vysokofrekvenčnímu výkonu přiváděnému na svorky antény) a G je zisk antény ve směru, ve kterém hustotu zářivého toku počítáme. Ve firemních katalozích je většinou zisk uveden ve směru maxima vyzařování a to v decibelech proti isotropnímu zdroji (dBi), řidčeji v decibelech proti dipólu (dB_d; $dBi = dB_d + 2,15$ dB). Pro zisk G potřebný ve výše uvedeném vztahu pak platí $G = 10^{dBi/10}$ Zářivost antény do jiných směrů než je směr maxima vyzařování je možné vypočítat ze směrové charakteristiky. Výrobci antén ji ovšem udávají jen pro dvě roviny - svislou a vodorovnou (u antén s elektrickým sklonem pro rovinu sklonu, která je blízká vodorovné rovině), takže pro výpočet zářivosti v obecném směru (například šikmo dolů do strany) je nutné použít vhodnou interpolaci nebo obecnější vztah pro soustavu elementárních zářičů.

b) Oblast blízkého pole

α) Oblast vzdálená λ/2 až L_0 od zdroje (Fresnelova zóna)

Ve vzdálenosti od zdroje větší než polovina vlnové délky a menší než L_0 má elektromagnetické

pole složitou prostorovou strukturu způsobenou interferencí (nazývanou podle analogie z optiky Fresnelovou difrakcí) vln s různou fází vycházejících z různých míst zdroje (antény). Výpočet této struktury je v obecném případě obtížný. Při měření je nutné používat sondu s malými rozměry, získat v posuzovaném místě dostatečně hustou prostorovou sít měřených bodů v různých vzdálenostech od zdroje a podle potřeby posuzovat jak průměrnou hodnotu, tak i lokální maxima intenzity pole.

β) Oblast ve vzdálenosti od zdroje menší než polovina vlnové délky (oblast reaktivního pole)

V této vzdálenosti od zdroje je v elektromagnetickém poli nejvíce zastoupena složka, která sice osciluje s frekvencí zdroje, není však vyzařována. Mezi intenzitou elektrického pole a intenzitou magnetického pole neplatí v této oblasti vztah jako v rovinné vlně, podle konstrukce zdroje může v reaktivním poli zcela převládat elektrické pole nebo magnetické pole: má-li zdroj například tvar smyčky protékané proudem, převládá v jeho reaktivní zóně pole magnetické, v blízkosti oscilujícího elektrického dipólu je naopak významnější pole elektrické.

Na přítomnost absorbujícího předmětu (exponované osoby) v reaktivní oblasti reaguje i samotný zdroj; podle toho, jak je konstruován a dimenzován, může při zvýšeném zatížení odevzdávat poli vyšší výkon nebo naopak dodávat do zátěže výkon stále stejný. Zůstává-li výkon zdroje i po vložení absorbujícího předmětu do reaktivní zóny konstantní, intenzita pole v reaktivní zóně následkem absorpce klesne a v důsledku toho klesne i vyzařovaný vysokofrekvenční výkon. Typickým příkladem, kdy u zdrojů s velmi vysokou frekvencí dochází k expozici osob polem reaktivní zóny, je mobilní telefon. Využití výsledků měření intenzity pole v reaktivní zóně vysokofrekvenčních zdrojů k posouzení expoziční situace je problematické. Analýza podle nejvyšších přípustných hodnot (měrného absorbovaného výkonu) je v těchto případech spolehlivější.

c) Ukázka výpočetního hodnocení expoziční situace

V mnoha případech bývá výhodnější posoudit expoziční situaci výpočtem, který může i u zdrojů s proměnným vysílaným výkonem vzít v úvahu vždy nejhorší možný případ. Ukázka takového výpočtu je uvedena v příloze č. 2 k tomuto metodickému návodu a týká se základnových stanic obsluhujících mobilní telefony jakožto nejčastějších zdrojů vysokofrekvenčního pole.

III. Frekvenční interval od $3 \cdot 10^{11}$ Hz do $1{,}7 \cdot 10^{15}$ Hz (infračervené, viditelné a ultrafialové záření)

Pro charakteristiku záření tohoto oboru se místo frekvence zpravidla používá vlnová délka λ vyjadřovaná v nanometrech. Jde tedy o elektromagnetické záření s vlnovou délkou od 10^6 nanometrů (1 milimetru) do 180 nanometrů.

Ve frekvenčním intervalu od $3 \cdot 10^{11}$ Hz do $1{,}7 \cdot 10^{15}$ Hz jsou nejvyšší přípustné hodnoty stejné pro zaměstnance i pro ostatní osoby.

U zdrojů, jejichž vyzařování není monochromatické (například u zdrojů se spojitým spektrem) je k hodnocení expozice nutné znát spektrální složení jejich záření.

Pokud se u nelaserových zdrojů při hodnocení expozice používá časově střední hodnota veličiny (zde bude označena M), získáme tuto hodnotu jako

$$M = \frac{1}{t} \int_0^t M(\tau)\, d\tau$$

(1)

kde M(t) je okamžitá hodnota veličiny.

V případě, že je u zdroje známá přímo spektrální hustota zářivé energie $H_\lambda(\lambda, t)$ (expozice záření), je potřeba ji pro použití vztahů v příloze č. 2 k nařízení vlády přepočítat na spektrální hustotu zářivého toku $E_\lambda(\lambda, t)$ vztahem

$$E_\lambda(\lambda, t) = \frac{\delta H_\lambda(\lambda, t)}{\partial t}$$

(2)

U tepelných zářičů (povrch horkých tavenin, infrazářiče, klasická žárovka) lze k vyhodnocení expozice s výhodou použít výpočet dle Planckova vyzařovacího zákona, jak je ukázáno v příloze č. 3 k tomuto metodickému návodu.

IV. Typy přístrojů vhodných k měření

1) Je-li v intervalu frekvencí od 0 Hz do 300 GHz známa frekvence zdroje a je-li časový průběh pole (přibližně) sinusový, není nutné, aby měřicí přístroj rozeznával nebo zaznamenával frekvenci měřeného pole. Pro měření je v tom případě možné použít jednoduchý širokopásmový měřič intenzity elektrického nebo magnetického pole a výsledek srovnat s referenční hodnotou pro danou frekvenci.

Není-li frekvence zdroje záření známa nebo je-li měřené pole vytvářeno ve vyšetřovaném místě několika zdroji s různou frekvencí nebo jsou-li v poli významně zastoupeny kromě základní frekvence i její vyšší harmonické, je nejvhodnější použít k měření osciloskop při měření nízkofrekvenčních polí (0 MHz - 10 MHz) nebo spektrální analyzátor při měření vysokofrekvenčních polí (10 MHz - 300 GHz).

2) K zjišťování splnění nejvyšších přípustných hodnot měřením ve frekvenčním intervalu od $3 \cdot 10^{11}$ Hz do $1{,}7 \cdot 10^{15}$ Hz (infračervené, viditelné a ultrafialové záření) je nutné mít k dispozici přístroj měřící intenzity spektrálních složek zastoupených v záření vyšetřovaného zdroje (spektrometr nebo monochromátor). Pro měření zdrojů ultrafialového záření prováděné pro srovnání s nejvyššími přípustnými hodnotami je nutné použít spektrograf nebo monochromátor s vysokým rozlišením a s velmi slabým pozadím od rozptýleného záření, protože hodnota koeficientu spektrální nebezpečnosti ultrafialového záření se v okolí vlnové délky rovné 270 nanometrům mění na intervalu několika desítek nanometrů o více než tři řády. K měření časového průběhu vyzařování modulovaných a impulsních zdrojů záření, zvláště laserů, je nutné mít k dispozici čidlo (fotočlánek, polovodičový detektor nebo jiné rychle reagující zařízení) měnící s vysokým časovým rozlišením dopadající záření na elektrické napětí, a osciloskop nebo spektrální analyzátor s frekvenčním rozsahem zahrnujícím frekvence obsažené v impulsní nebo periodické modulaci vyšetřovaného záření.

EPIS

MUDr. Michael Vít, Ph. D.

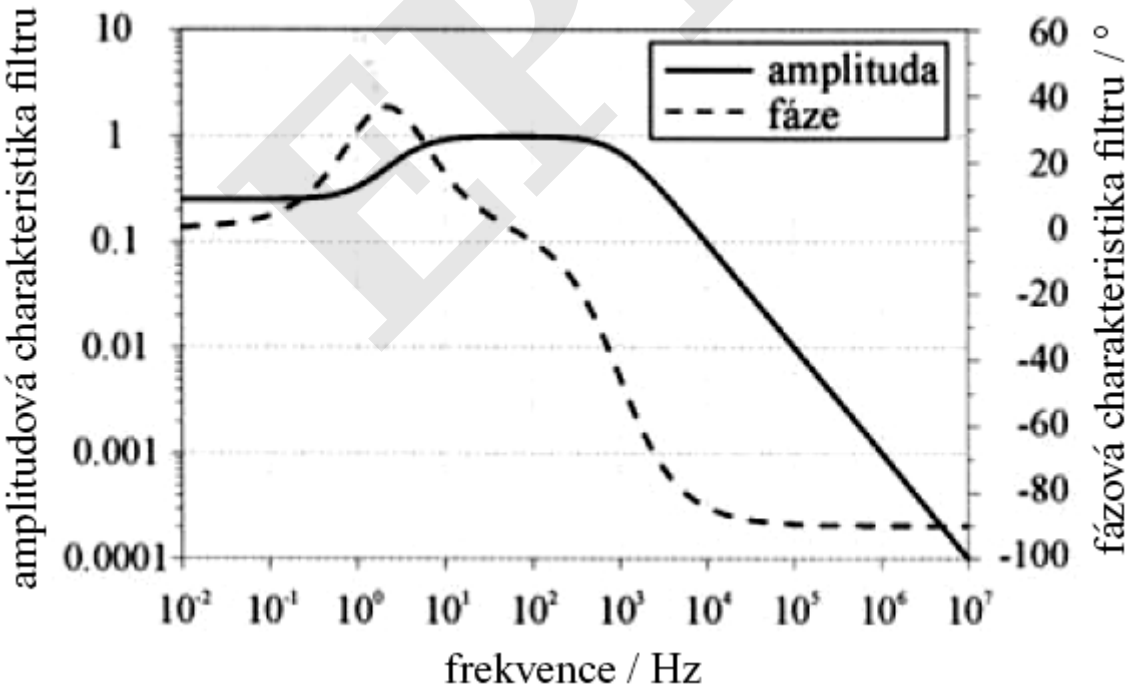
náměstek ministryně a hlavní hygienik ČR

Příloha č. 1

Při hodnocení expozice nízkofrekvenčnímu elektromagnetickému poli (0 Hz - 10 MHz) je určující veličinou modifikovaná proudová hustota J_{mod} indukovaná v tělesné tkáni. Jak je uvedeno v nařízení vlády, je modifikovaná proudová hustota určena indukovanou proudovou hustotou J, která projde filtrem s frekvenční odezvou

$$H(\omega) = \frac{\beta + j\omega}{4\beta + j\omega} \cdot \frac{\alpha}{\alpha + \int\omega} \qquad (1)$$

kde $\omega = 2\pi f$, $\alpha = 2000\pi s^{-1}$, $\beta = 7\ s^{-1}$. Frekvenční charakteristika filtru (1) je znázorněna na obr. 1.



EPIS

Obr. 1 Frekvenční charakteristika filtru určujícího modifikovanou proudovou hustotu

1. Určení proudové hustoty

Pro určení modifikované proudové hustoty je nejprve třeba určit vlastní proudovou hustotu. Proudovou hustotu indukovanou v tělesné tkáni není možné přímo měřit a její hodnotu je třeba určit výpočtem. V případě expozice magnetickému poli s magnetickou indukcí B je možné proudovou hustotu vždy vyjádřit ve tvaru

$$J_B = \partial K_B \frac{dB}{dt}$$

(2)

kde $\partial \approx 0{,}2\ S \cdot m^{-1}$ je průměrná elektrická vodivost tkáně, dB/dt je časová změna magnetické indukce a K_B je koeficient zohledňující pozici v těle, kde indukovanou proudovou hustotu hledáme. Analogicky s (2) lze vyjádřit indukovanou proudovou hustotu i v případě indukce elektrickým polem. V takovém případě platí

$$J_E = \varepsilon_0 K_E \frac{dE}{dt}$$

(3)

kde $\varepsilon \approx 8{,}854 \cdot 10^{-12}\ F \cdot m^{-1}$ je permitivita vakua, dE/dt je časová změna intenzity elektrického pole a K_E je koeficient zohledňující pozici v těle, kde indukovanou proudovou hustotu hledáme. Ačkoli jsou jak proudová hustota, tak intenzita elektrického pole a magnetická indukce vektorové veličiny, jsou v rovnicích (2) a (3) vyjádřeny skalárně. Vektorová orientace může být v obecném případě velmi složitá a závisí na konkrétním rozložení elektrického a magnetického pole. Z pohledu vlastního působení proudové hustoty na organismus však není skutečná vektorová orientace proudové hustoty podstatná. Vektorová orientace je pouze důležitá, pokud chceme určit, jakým způsobem se skládají účinky elektrického pole (3) a magnetického pole (2). Vzhledem k tomu, že se v reálné expoziční situaci může exponovaná osoba pohybovat a není možné zachytit všechny možné případy, je při souběžné expozici elektrickému a magnetickému poli nutné oba příspěvky zvlášť porovnat s nejvyšší přípustnou hodnotou a výslednou expozici vyjádřit prostým součtem obou expozic, čímž je uvážen hygienicky nejhorší možný případ. Bez ztráty obecnosti tedy lze tedy psát

$$J_B = \partial K_B \frac{dB}{dt}$$

(4)

a

$$J_E = \varepsilon_0 K_E \frac{dE}{dt}$$

(5)

přičemž pro účely hygienického hodnocení se bez ohledu na orientaci proudu expozice způsobené oběma příspěvky vždy sčítají.

Koeficienty K_B a K_E obecně také závisejí na rozložení magnetického či elektrického pole, na jeho orientaci a na pozici v těle. I v tomto případě je možné vždy uvažovat hygienicky nejhorší situaci, kdy je tělo vystaveno homogennímu magnetickému poli kolmému k hrudi a homogennímu elektrickému poli ve směru od hlavy k nohám, při které K_B = 0.050 m (K_E = 66) v hlavě, K_B = 0.12 m (K_E = 100) v krku, K_B = 0.13 m (K_E = 70) v hrudi.

2. Výpočet modifikované proudové hustoty v případě periodického časového průběhu

Vypočítat modifikovanou proudovou hustotu znamená aplikovat filtr s charakteristikou (1) na známý časový průběh proudové hustoty indukované v tkáni (2), (3). Aplikaci filtru lze obecně provést buď ve spektrální nebo v časové oblasti.

Při aplikaci filtru ve spektrální oblasti je nejprve potřeba rozložit vektor proudové hustoty J(t) do Fourierovy řady tvaru

$$J(t) = \sum_{k=-k_{max}}^{k_{max}} c_k e(k\omega_0) e^{jk\omega_0 t}$$

(6)

kde $\omega_0 = 2\pi / T$ je základní úhlový kmitočet, T je perioda, k_{max} je pořadové číslo nejvyšší harmonické frekvence (z definice proudové hustoty vždy nižší než 10 MHz) a

$$c_k = \frac{1}{T} \int_0^T J(t) e^{\int k\omega_0 t} dt$$

(7)

jsou jednotlivé koeficienty Fourierova rozkladu. Aplikace filtru (1) ve spektrální oblasti je pak přímočará a pro modifikovanou proudovou hustotu J_{mod} (t) platí

$$J_{mod}(t) = \sum_{k=-k_{max}}^{k_{max}} c_k H(k\omega_0) e^{\int k\omega_0 t}$$

$$k = -k_{max}$$

(8)

Úpravou vztahů (7) a (8) lze modifikovanou proudovou hustotu získat i přímo v časové oblasti ve tvaru

$$J_{mod}(t) = \int_0^T J(\tau)g(t-\tau)d\tau$$

(9)

kde

$$g(t) = \frac{1}{T}\sum_{k=-k_{max}}^{k_{max}} H(k\omega_0)e^{jk\omega_0 t}$$

(10)

Bez ohledu na způsob výpočtu modifikované proudové hustoty však platí, že nejvyšší přípustná hodnota není překročena, pokud je v každém časovém okamžiku $|J_{mod}(t)| \leq 0{,}01 \cdot \sqrt{2}A \cdot m^{-2}$ pro zaměstnance ($|J_{mod}(t)| \leq 0{,}002 \cdot \sqrt{2}A \cdot m^{-2}$ pro ostatní osoby), tedy pokud vektor $J_{mod}(t)$ leží uvnitř koule se středem v patě vektoru a poloměrem $0{,}0141\ A \cdot m^{-2}$ pro zaměstnance ($0{,}00283\ A \cdot m^{-2}$ pro ostatní osoby).

3. Výpočet modifikované proudové hustoty v případě neperiodického časového průběhu

V případě neperiodického časového průběhu můžeme použít zcela analogický postup jako u periodického průběhu, pouze Fourierovu řadu nahradíme Fourierovým integrálem. Pokud je tedy modifikovaná proudová hustota počítána ve spektrální oblasti, je nejprve nutné vyjádřit proudovou hustotu ve spektrální oblasti jako

$$J(t) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} S(\omega)e^{j\omega t}d\omega$$

(11)

kde

$$\infty$$

$$S(\omega) = \int_{-\infty} J(\tau)e^{\int \omega t} d\tau$$

(12)

je frekvenční spektrum proudové hustoty. Nekonečné integrační meze jsou zde pouze formální, jelikož předpokládáme, že maximální frekvence proudové hustoty nepřesáhne 10 MHz. Zcela analogicky vztahu (8) pak získáme modifikovanou proudovou hustotu jako

$$J_{mod}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega)H(\omega)e^{\int \omega t} d\omega$$

(13)

Obdobně jako v případě periodických časových průběhů i zde je možné vypočítat modifikovanou proudovou hustotu přímo v časové oblasti podle vztahu

$$J_{mod}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} J(\tau)h(t - \tau)\, d\tau$$

(14)

kde

$$h(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} H(\omega)e^{\int \omega t} d\omega = \alpha \frac{(\beta - \alpha)\, e^{-\alpha t} + 3\beta e^{-4\beta t}}{4\beta - \alpha} U(t)$$

(15)

a kde U(t) značí jednotkový skok.

Stejně jako v kapitole č. 2 je i zde nepřekročení nejvyšší přípustné hodnoty podmíněno tím, že v každém časovém okamžiku platí $|J_{mod}(t)| \leq 0{,}01 \cdot \sqrt{2}A \cdot m^{-2}$ pro zaměstnance ($|J_{mod}(t)| \leq 0{,}002 \cdot \sqrt{2}A \cdot m^{-2}$ pro ostatní osoby).

4. Příklady výpočtu modifikované proudové hustoty

Nízkofrekvenční expozice je v praxi majoritně způsobena magnetickým polem. Dále uvedené příklady se tedy týkají určení modifikované proudové hustoty z časového průběhu magnetické indukce. Při hodnocení expozice pocházející od elektrického pole lze však postupovat zcela analogicky.

EPIS

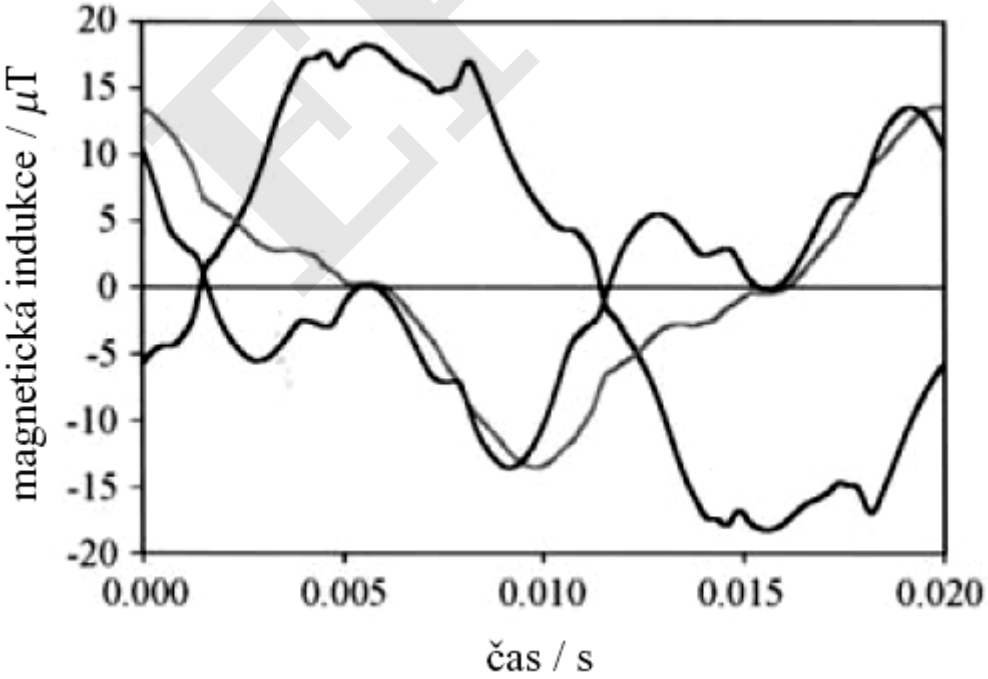
Dále jsou uvedeny tři reprezentativní příklady: pole s časově harmonickým průběhem, pole s periodickým nesinusovým průběhem a pole časově neperiodické.

a) harmonický („sinusový“) průběh

V případě sinusového signálu je hodnocení expozice velmi jednoduché. Výchozí veličinou je zpravidla efektivní hodnota magnetické indukce B_{eff}. Amplituda magnetické indukce je pak $B_a = \sqrt{2}\, B_{eff}$ a její časová derivace, potřebná pro dosazení do vztahu (2), má tvar $dB_a/dt = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot B_a$, kde f je frekvence. Proudová hustota indukovaná tímto magnetickým polem tedy bude $J_B = 2\sqrt{2} \cdot \partial \cdot K_B \cdot \pi \cdot f \cdot B_{eff}$. Modifikovaná proudová hustota je pak dána součinem mezi proudovou hustotou J_B a amplitudou filtru z obr. 1 příslušnou dané frekvenci. Bude-li tedy v místě hlavy pracovníka přibližně homogenní magnetické pole s frekvencí 50 Hz a efektivní hodnotou magnetické indukce 500 µT (referenční hodnota pro zaměstnance), dostaneme s použitím koeficientu K_B = 0.050 m a vodivosti tkáně ∂ = 0,2 S · m^{-1} indukovanou proudovou hustotu o amplitudě přibližně J = 0,0016 A · m^{-2}. Na frekvenci 50 Hz lze z obr. 1 odečíst, že amplituda filtru je rovna jedné. Modifikovaná proudová hustota je v tomto případě totožná s vlastní proudovou hustotou; expozice dosahuje přibližně 16% z nejvyšší přípustné hodnoty pro zaměstnance.

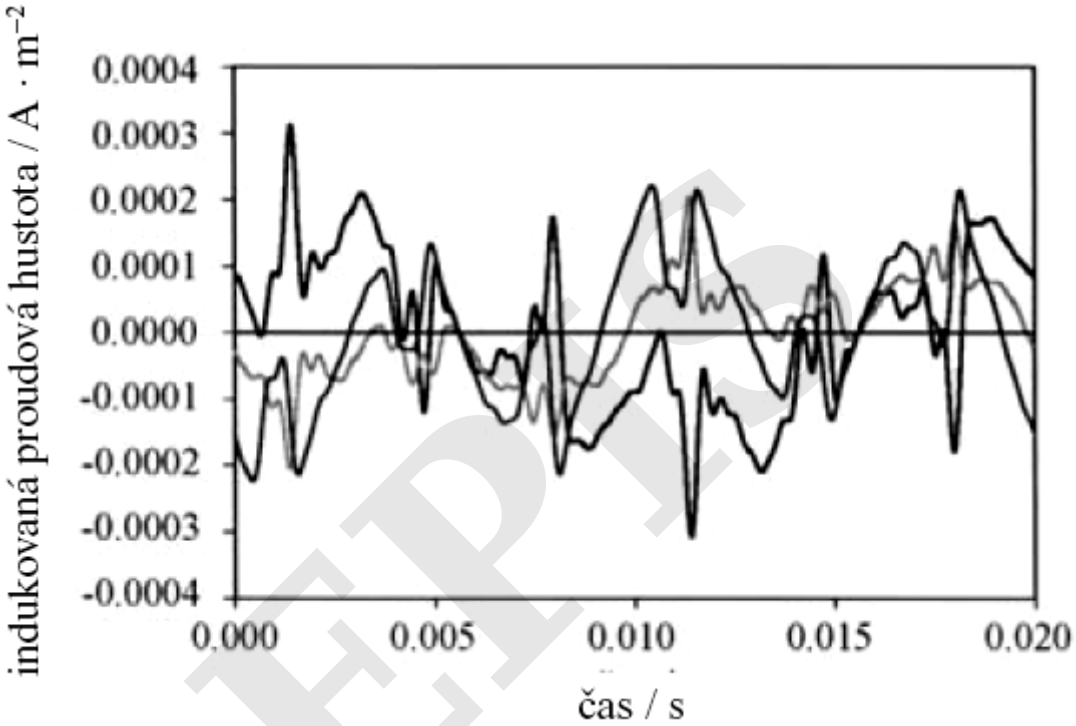
b) periodický nesinusový průběh

Příklad na nesinusový časový průběh je založen na změřeném časovém průběhu magnetické indukce získaném v blízkosti třífázového vedení tramvajové měnírny. Časový průběh všech tří změřených vektorových komponent magnetické indukce je znázorněn na obr. 2.



Obr. 2 Časový průběh vektorových složek magnetické indukce

Při výpočtu indukované proudové hustoty dle (2) je v tomto případě nutné použít pro výpočet časové derivace některý z běžných numerických postupů. Za předpokladu, že magnetická indukce z obr. 2 je homogenní v oblasti hrudníku exponované osoby (K_B = 0.13 m), a při použití vztahu (2), mají vektorové složky indukované proudové hustoty průběh vyznačený na obr. 3.



Obr. 3 Časový průběh vektorových složek indukované proudové hustoty

Rozložením vektoru indukované proudové hustoty do Fourierovy řady, dle vztahů (6) a (7), a po aplikaci filtru dle vztahu (8) dostaneme časový průběh vektoru modifikované proudové hustoty. Pro porovnání s nejvyšší přípustnou hodnotou je třeba nejprve určit časový průběh velikosti vektoru modifikované proudové hustoty, dle vztahu

$$|J_{mod}(t)| = \sqrt{(J_{mod}(t))_i^2 + (J_{mod}(t))_j^2 + (J_{mod}(t))_k^2},$$

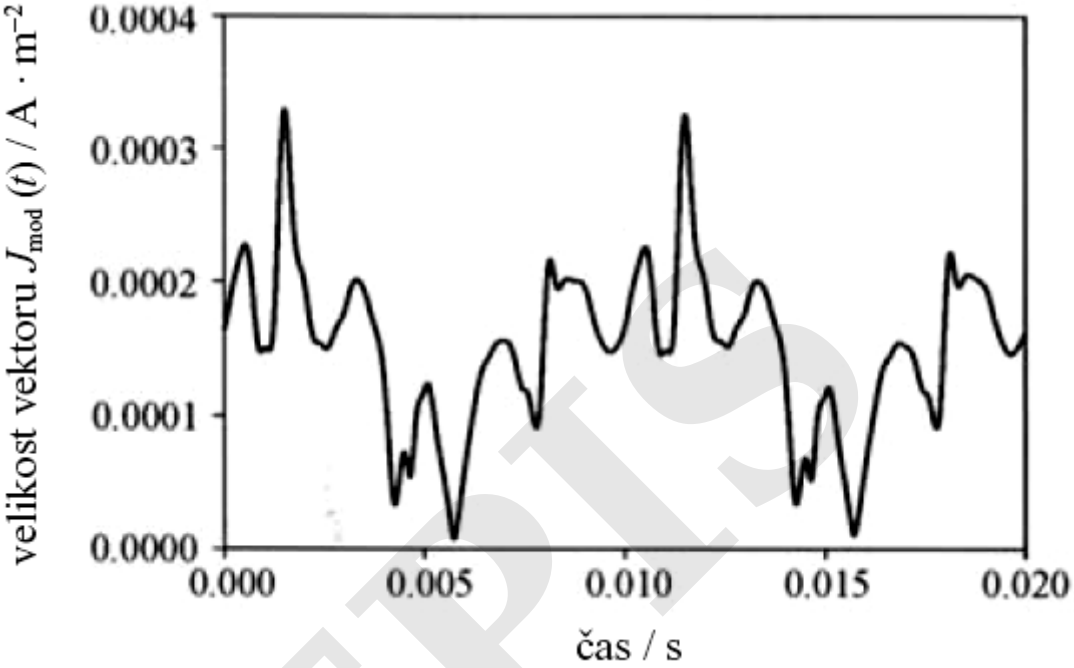
(16)

kde

$$(J_{mod}(t))_{i,j,k}$$

(17)

jsou jednotlivé složky vektoru. Časový průběh $|J_{mod}(t)|$ je zobrazen na obr. 4.

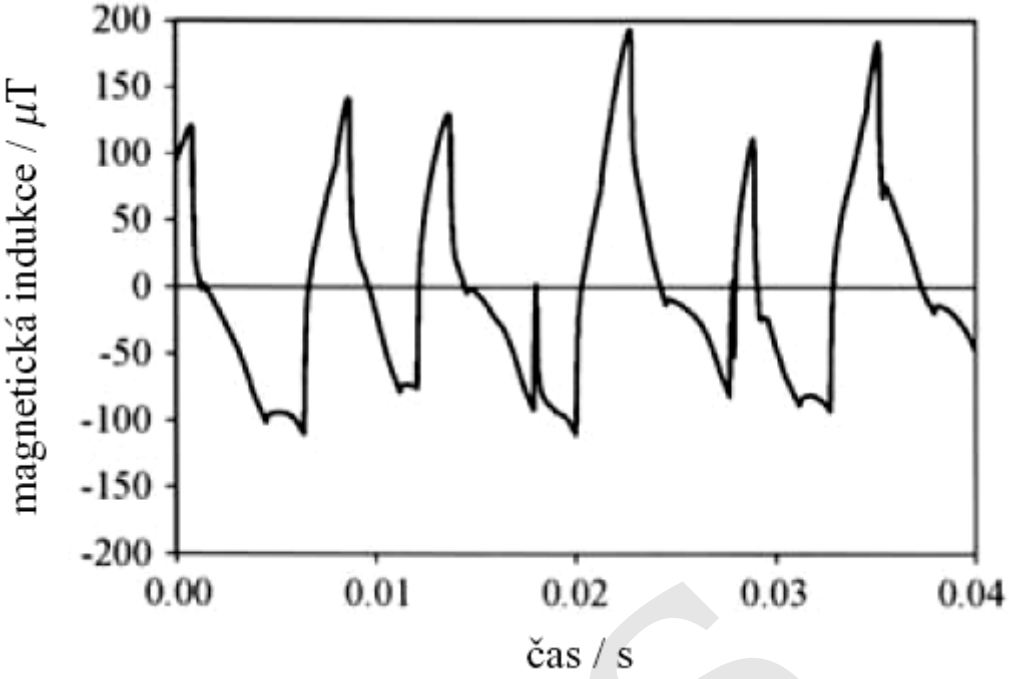


Obr. 4 Časový průběh velikosti vektoru modifikované proudové hustoty

Z obr. 4 odečteme max ($|J_{mod}(t)|$) = 0,00033 A · m^{-2} a srovnáním s nejvyšší přípustnou hodnotou zjišťujeme expozici rovnou přibližně 2,3% z nejvyšší přípustné hodnoty pro zaměstnance.

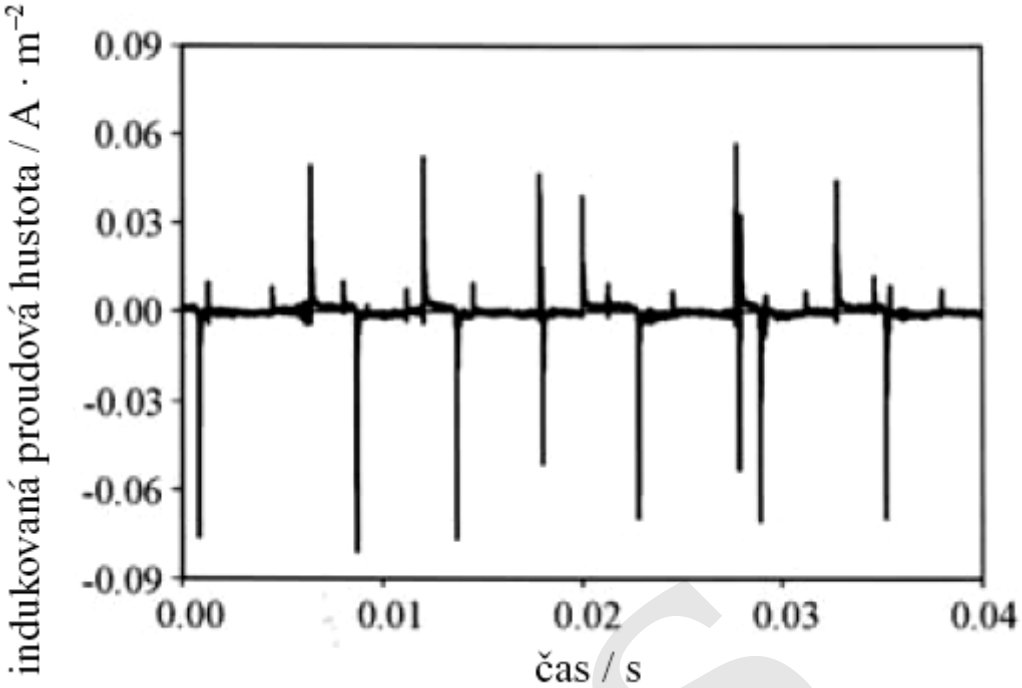
c) neperiodický průběh

Obrázky č. 5, 6 a 7 ilustrují postup při hodnocení expozice v případě neperiodických průběhů. Magnetická indukce na obr. 5 byla naměřena u svářecího zařízení a zobrazuje relevantní část celého časového průběhu sváření.



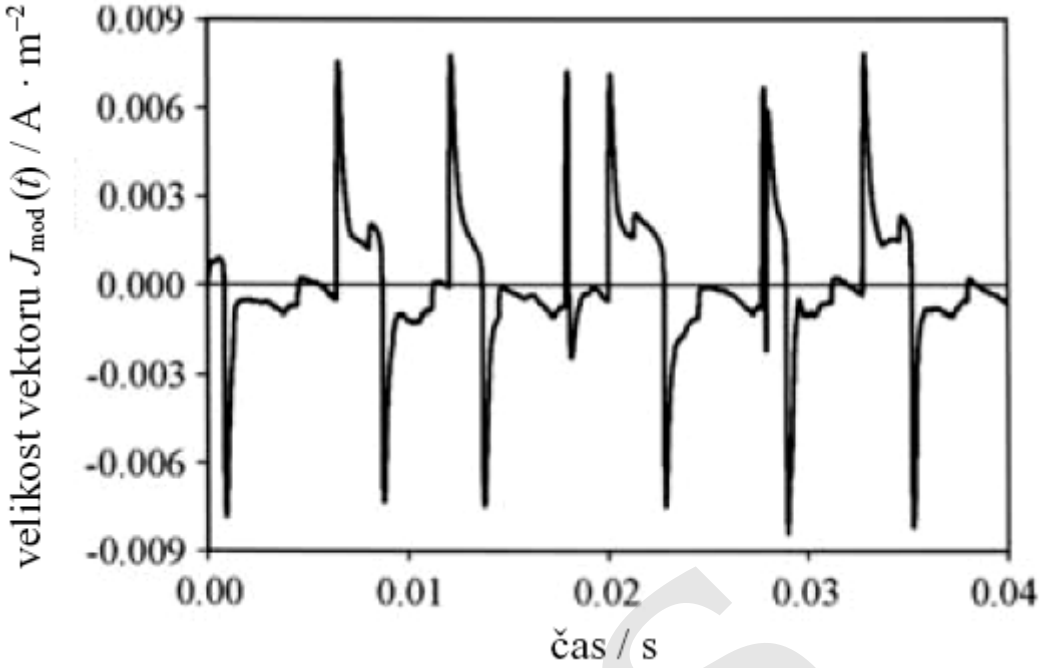
Obr. 5 Časový průběh magnetické indukce

Indukovaná proudová hustota zobrazená na obr. 6 byla vypočtena zcela stejným postupem a za stejných předpokladů jako v případě periodických časových průběhů, viz bod (b).



Obr. 6 Časový průběh indukované proudové hustoty

Na rozdíl od periodických průběhů je v tomto případě pro výpočet modifikované proudové hustoty vhodnější využít rovnice (14), která aplikuje filtr přímo v časové oblasti. Výsledek této operace je graficky znázorněn na obr. 7, ze kterého je patrné, že expozice je určena nízkofrekvenční složkou průběhu a krátké ostré impulzy se při expozici neuplatňují (obr. 7 má 10krát menší hodnoty na vertikální ose). Srovnáním s nejvyšší přípustnou hodnotou zjišťujeme expozici rovnou přibližně 55 % z nejvyšší přípustné hodnoty pro zaměstnance.



Obr. 7 Časový průběh modifikované proudové hustoty

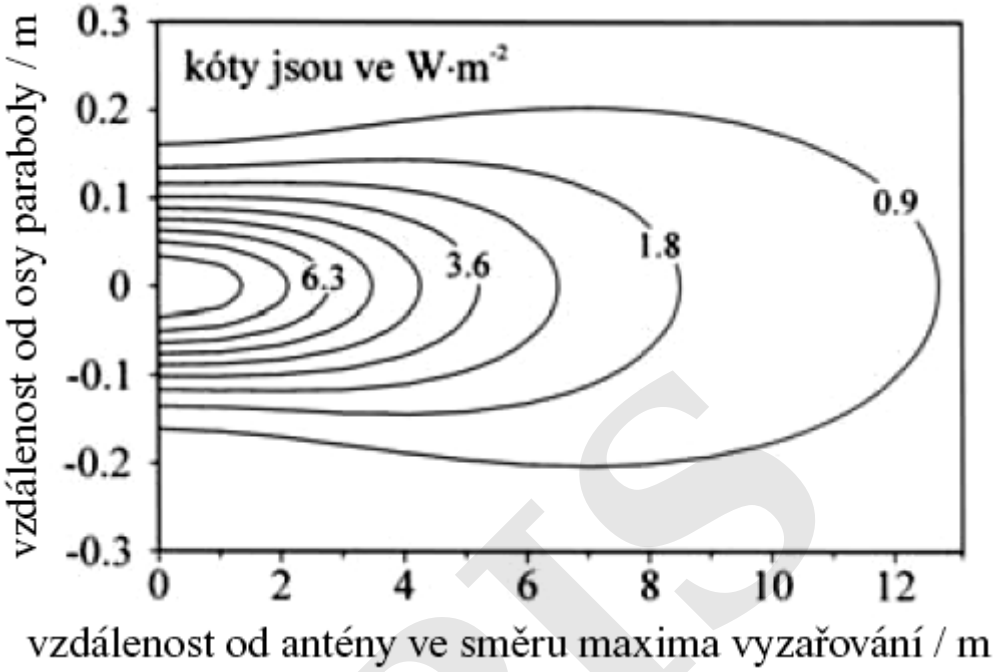
Příloha č. 2

Na základnových stanicích mobilních operátorů se používají panelové antény, obstarávající spojení s mobilními telefony (frekvence 450 MHz, 900 MHz, 1800 MHz a 2100 MHz), a parabolické antény mikrovlnných spojů (frekvence od 7 GHz do 38 GHz), které slouží k bezdrátovému spojení mezi základnovými stanicemi.

1. Expoziční situace u parabolických antén

Výkony přiváděné na svorky zářičů parabolických antén jsou velmi nízké (0,03 W až 0,316 W). Při takto nízkých výkonech není ani v těsné blízkosti těchto antén překročena hustota zářivého toku 10 W/m^2, která je v nařízení vlády č. 1/2008 Sb. stanovena jako referenční pro ostatní osoby. Obr. 1 znázorňuje výsledek výpočtu vyzařování parabolické antény mikrovlnného spoje základnové stanice, pro který byl vybrán případ hygienicky nejméně příznivý, jaký by se vůbec mohl vyskytnout na základnových stanicích pro mobilní telefony: průměr disku 0,3 m, výkon zářiče 0,316 W (= 25 dBm), účinnost odrazu záření od povrchu disku rovná jedné, zastínění části svazku zářičem umístěným v ohnisku parabolického reflektoru bylo zanedbáno. Křivky se stejnou hustotou zářivého toku, vypočítané s použitím kvazioptické teorie šíření vlnového svazku, ukazují, že i při takto zvolených parametrech nepřekračuje vypočítaná hustota zářivého toku ani těsně u disku v

ose svazku referenční hodnotu pro ostatní osoby. Tyto vysílače jsou z hygienického hlediska bezvýznamné i proto, že jejich antény musí být umístěny tak, aby se do vyzařovaného svazku nedostala žádná osoba a nepřerušila tak spojení mezi stanicemi.



Obr. 1 Grafické znázornění úrovní hustoty zářivého toku ve vyzařovaném svazku parabolické antény.

Průměr disku je 0,3 m a výkon zářiče 0,316 W (25 dBm).

2. Expoziční situace u panelových antén

2.1. Výpočet pro jednu anténu

2.1.1. Expozice zaměstnanců

Při hodnocení expozice zaměstnanců v blízkosti panelových antén je výhodné používat nejvyšší přípustnou hodnotu pro měrný absorbovaný výkon (SAR). To v posledních letech umožnily dostupné softwarové simulátory elektromagnetického pole schopné vzít v úvahu jak strukturu elektromagnetického pole v blízkosti zdroje záření, tak heterogenní vlastnosti tkáně lidského těla. Takové velmi náročné výpočty byly pro antény používané v pásmech GSM 900, GSM 1800 a UMTS 2100 provedeny například v [1]. Výsledky těchto výpočtů byly pro frekvence z uvedených pásem využity k sestavení jednoduchých tabulek č. 1 a č. 2. V nich se v příslušném sloupci odečte k

výkonu P přiváděnému na svorky antény vzdálenost R, která určuje rozměry oblasti (obr. 2 a obr. 3), v níž by mohly být překročeny nejvyšší přípustné hodnoty pro zaměstnance. Tabulka č. 1 platí pro antény s třídecibelovou šířkou svazku v horizontální rovině nepřekračující 60°, tabulka č. 2 platí pro antény s třídecibelovou šířkou svazku větší než 60°. (Jde o úhel, jehož ramena vyznačují směry, v kterých klesne zářivost antény na jednu polovinu zářivosti v maximu. V České republice se používají převážně antény s šířkou svazku větší než 60°.) Přes zjednodušení vedoucí nutně k větším rozměrům oblasti s možností překročení, než jsou skutečné, vycházejí přípustné vzdálenosti od antény značně menší, než kdyby se k hodnocení expozice použily referenční hodnoty. Využití nejvyšších přípustných hodnot znamená tedy menší omezení pro práci zaměstnanců u antén (většinou není potřebné vysílače vypínat). Do prostoru za anténou je vyzařování používaných panelových antén zanedbatelné. Je-li tedy v prostoru za posuzovanou anténou elektromagnetické pole generované jinými zdroji (anténami) zanedbatelné, připouští se přímý časově neomezený kontakt zaměstnance se zadní stranou antény.

Tabulka č. 1 Panelové antény s třídecibelovou šířkou svazku menší než 60°

P [W]	0 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100	100 - 120	120 - 140	140 - 160	160 -180
R [m]	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00

Tabulka č. 2 Panelové antény s třídecibelovou šířkou svazku větší než 60°

P [W]	0 - 70	70 - 120	120 - 180	180 - 250	250 - 300	300 - 350	350 - 430	430 - 500
R [m]	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00

Vysokofrekvenční výkony přiváděné k jedné anténě zpravidla nepřekračují 100 W, takže oblast možného překročení nejvyšší přípustné hodnoty (SAR) pro zaměstnance má pro osamělou anténu malé rozměry. Vyšší výkony uvedené v tabulkách č. 1 a č. 2 se vyskytnou v situacích, kdy příspěvky dalších antén umístěných na stejném stanovišti nejsou v místě posuzované antény zanedbatelné. Pravidla hodnocení expoziční situace pro dvě a více antén na stanovišti jsou uvedena v části 3 této přílohy k metodickému návodu.

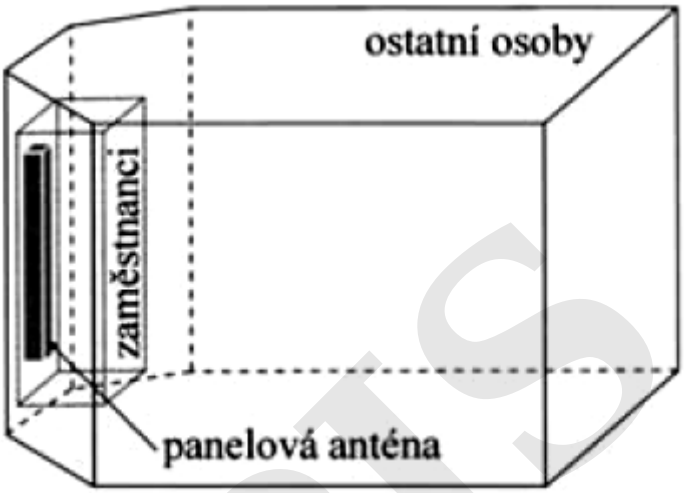
K překročení nejvyšší přípustné hodnoty uvnitř oblasti tvaru hranolu, znázorněné na obr. 2 a obr. 3 (její hranice jsou dále označovány jako „hranice shody“) nemusí dojít, jestliže pracovník v ní stráví dobu kratší než šest minut. Je-li například vysokofrekvenční výkon přiváděný na svorky antény rovný 150 W (což je pro jednu anténu přehnaně vysoká hodnota), nepřekročí dvouminutový pobyt nejvyšší přípustnou hodnotu kdekoli vně oblasti určené pro třikrát menší vyzařovaný výkon, v daném případě tedy pro výkon rovný 50 W. Toho je často možné využít, protože práce těsně před anténou trvá zpravidla jen krátce.

2.1.2. Expozice ostatních osob

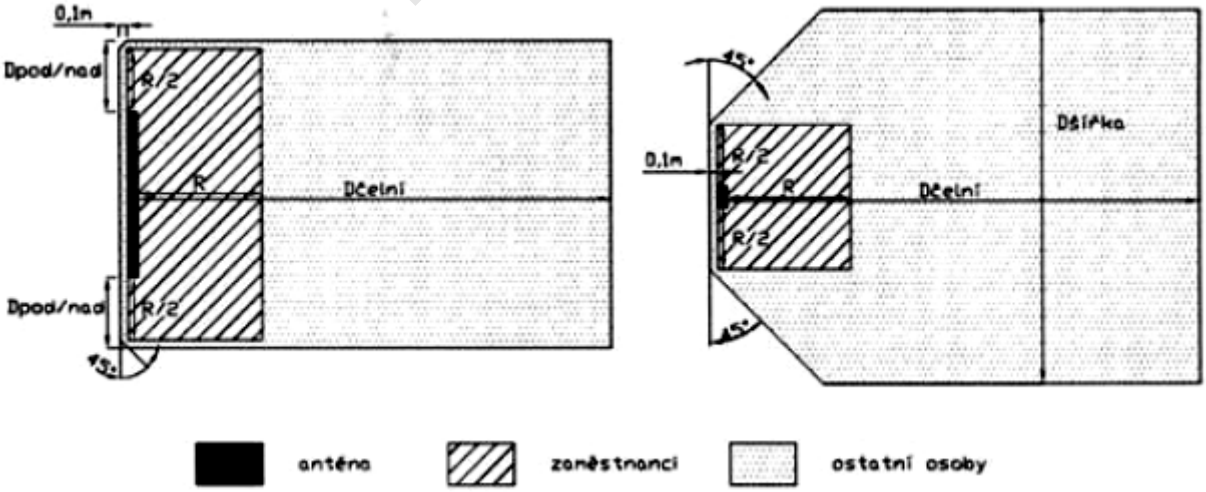
Vyhodnocování expoziční situace se v tomto případě provádí podle referenčních hodnot.

Hranice oblasti (hranice shody), vně které není referenční hodnota pro ostatní osoby překročena, je téměř vždy natolik vzdálená od antény, že pro její určení je možné s dostatečnou přesností použít buď vztah (2) pro bodový zdroj, nebo vztah (3) pro zdroj ve tvaru svislé úsečky, označovaný zpravidla jako válcová aproximace.

Pro hranice oblasti s možným překročením referenčních hodnot pro ostatní osoby je zvolen geometrický tvar omezený rovinnými stěnami se skosenými svislými hranami (obr. 2 a obr. 3).



Obr. 2 Axonometrie oblastí shody



EPIS

Obr. 3 Pohled z boku (vlevo) a půdorys (vpravo) oblastí možného překročení nejvyšších přípustných hodnot s označením rozměrových parametrů hranic shody.

Parametr $D^{čelní}$ (obr. 3) hranice shody pro ostatní osoby se určí ze vztahu

$$D^{čelní} = \min (D^{čelníFF}, D^{čelníNF})$$

(1)

kde

$$D^{čelníFF} = \sqrt{\frac{P \cdot G}{4 \cdot \pi \cdot S_{limit}}}$$

(2)

je hranice shody pro velkou vzdálenost od antény (aproximace bodového zdroje; FF je zkratka Far Field), a

$$D^{čelníNF} = \frac{180 \cdot P}{\pi \cdot S_{limit} \cdot L \cdot \phi_{3dB}}$$

(3)

je vzdálenost hranice shody vypočtená pro zdroj aproximovaný úsečkou (válcová aproximace vyzařovaného pole; NF - zkratka pro Near Field). Ve vzorcích pro $D^{čelní}$ je L je svislý rozměr antény v metrech, P výkon ve wattech přiváděný na svorky antény, G je zisk antény ve směru maxima vyzařování, S_{limit} je referenční hodnota pro hustotu zářivého toku pro ostatní osoby ve wattech na metr čtverečný stanovená pro danou frekvenci v nařízení vlády č. 1/2008 Sb. a ϕ_{3dB} je šířka svazku vyzařování antény v horizontální rovině pro pokles zářivosti na hodnotu rovnou polovině zářivosti antény ve směru maxima. Šířka svazku ϕ_{3dB} je ve stupních.

Ostatní rozměry hranice shody pro ostatní osoby jsou odvozeny od hlavního rozměru $D^{čelní}$. Šířka hranice shody před anténou (obr. 3) je určena vztahem:

$$D^{šířka} = 2 \cdot \sin\left(\frac{\phi_{3dB}}{2}\right) \cdot \frac{D^{čelní}}{Q}$$

(4)

Koeficient Q nabývá hodnoty √2 nebo 2 podle toho, zda hodnota $D^{čelní}$ byla minimální podle vzorce (2) pro bodový zdroj - pak má Q hodnotu √2, nebo podle vzorce (3) pro válcovou aproximaci - pak má Q hodnotu 2. Parametr $D^{pod/nad}$ definuje hranici shody pod anténou a nad ní:

$$D^{pod/nad} = \max\left(\frac{R}{2} + \Delta;\ D^{čelní} \cdot \sin\left(\varphi_{tilt} + \frac{\vartheta_{3dB}}{2}\right) - \frac{L}{2}\right)$$

(5)

kde φ_{tilt} je celkový mechanický a elektrický sklon hlavního svazku ve stupních a ϑ_{3dB} je úhlová šířka svazku ve svislé rovině ve stupních, kterou je možné položit maximální používané hodnotě ϑ_{3dB} = 14° (nejhorší možný případ). Hodnota parametru R pro výkon P se najde v tabulce č. 1 nebo v tabulce č. 2. Hodnota parametru Δ = 0,1 metru.

Stejně jako při hodnocení expozice podle nejvyšší přípustné hodnoty používaném pro zaměstnance je i při hodnocení expozice podle referenčních hodnot pro ostatní osoby možné využít časového průměrování přes dobu šesti minut.

3. Výpočet pro více antén na jednom stanovišti

Pro určení expoziční situace na základnové stanici stačí uvažovat jen ty antény GSM/UMTS, jejichž vzdálenost od posuzované antény je menší nebo rovna 30 m. Příspěvek od vzdálenějších antén GSM/UMTS se pohybuje v řádu několika procent, což je možné při přípustné chybě 1 dB (viz nařízení vlády č. 1/2008 Sb., příloha č. 1) zanedbat. Zabýváme se pouze příspěvky antén GSM a UMTS. Elektromagnetické pozadí pocházející od jiných zdrojů, například od televizních a rozhlasových vysílačů, není do výpočtu zahrnuto a jeho příspěvek k expoziční situaci je třeba posuzovat individuálně.

Níže uvedená pravidla zjednodušují vyzařovací charakteristiku antény na tři oblasti, přičemž počítají s tím, že šířka svazku v horizontální rovině nepřekračuje 90°, jak je to běžné v České republice. Pro antény s šířkou svazku větší než 90° není popsaný postup použitelný.

3.1. Expozice zaměstnanců

Při zjišťování, jak se u posuzované antény změní hranice shody v důsledku vyzařování ostatních antén, se pro každou anténu na stanovišti nejdříve vypočítají hranice shody bez uvažování příspěvků od ostatních antén. Pak postupně u všech antén na stanovišti zjišťujeme, jak se v místě právě posuzované antény, kterou v dalším označujeme vždy písmenem X, změní expoziční situace započtením vyzařování ostatních antén, které označujeme písmenem Y. K posouzení, zda příspěvek není zanedbatelný, slouží diagram uvedený na obr. 4, který každé dvojici antén X a Y přiřadí koeficient M_{Yk}, rovný buď jedné nebo nule. Celkový výkon, který bude použit pro výpočet hranice shody antény X je pak dán vztahem

$$P_{X^{celk}} = P_X + \Sigma_k P_{Yk} M_{Yk},$$

(6)

kde P_X je výkon antény X a P_{Yk} jsou výkony všech antén, které na hranici shody antény X mohou mít vliv. V tabulce č. 1 nebo v tabulce č. 2 se pak pro výkon $P_{X^{celk}}$ najde hodnota parametru $R_{X^{celk}}$ antény X.

Je-li mezi uvažovanými anténami (anténou X a jí příslušnými anténami Y) aspoň jedna, která má úhlovou šířku menší než 60° a koeficient M_{Yk} je u ní rovný jedné, použije se k určení parametru $R_{X^{celk}}$ tabulka č. 1. Jinak se použije tabulka č. 2. Stejným způsobem se pokračuje při určování parametru $R_{X^{celk}}$ pro všechny ostatní antény. Tak se postupně určí hranice shody pro zaměstnance u všech

antén na stanovišti.

V případě, kdy jedna anténa vysílá více vysílacími systémy (např. GSM900 a GSM1800 nebo jinou kombinací), se postupuje jako kdyby se jednalo o dvě antény umístěné ve stejném bodě (obr. 4).

3.2 Expozice ostatních osob

Pro všechny antény se nejdříve určí parametry $D^{čelní}$ hranice shody ze vzorců uvedených v oddílu 2 bez započtení příspěvků od ostatních antén. Analogicky s kapitolou 3.1 se každé dvojici antén X a Y přiřadí koeficient K_{Yi}, rovný buď 1, 0,5 nebo 0. Přiřazení koeficientu K_{Yi} se provádí pomocí diagramu na obr. 5. Pro každou z antén X se pak ze vzorce (7) vypočítá výsledný parametr $D_{X^{čelní}}$ hranice shody změněný započtením příspěvků ostatních antén na stanovišti:

$$D_{X^{čelní\ celk}} = \min\left(\sqrt{(D_{X^{čelní\ FF}})^2 + \Sigma_i K_{Yi}(D_{Yi^{čelní\ FF}})^2},\ D_{X^{čelní\ NF}} + \Sigma_i K_{Yi} D_{Yi^{čelní\ NF}}\right)$$

(7)

kde $D_{X^{čelní\ FF}}$, $D_{X^{čelní\ NF}}$, $D_{Y^{čelní\ FF}}$, $D_{Y^{čelní\ NF}}$ jsou hranice shody, určené pro jednotlivé antény X a Y z rovnice (2) (aproximace bodového zdroje) a z rovnice (3) (válcová aproximace).

Po výpočtu $D_{X^{čelní\ celk}}$ u antény X je třeba znovu vypočítat všechny rozměry hranice shody pro ostatní osoby (jsou dále označovány indexem „celk“) podle následujících vztahů

$$D_{X^{šířka\ celk}} = 2 \cdot \sin\left(\frac{\phi_{3dB}}{2}\right) \cdot \frac{D_{X^{čelní\ celk}}}{Q}$$

(8)

$$D_{X^{pod/nad}} = \max\left(\frac{R_{X^{celk}}}{2} + \Delta;\ D_{X^{čelní\ celk}} \cdot \sin\left(\varphi_{tilt} + \frac{\vartheta_{3dB}}{2}\right) - \frac{L}{2}\right)$$

(9)

Obr. 4 Diagram, který každé dvojici antén X a Y přiřadí koeficient M_Y *(soubor formátu pdf)*

Obr. 5 Diagram, který každé dvojici antén X a Y přiřadí koeficient K_Y *(soubor formátu pdf)*

kde koeficient Q nabývá hodnoty √2, pokud byla hodnota $D^{čelní\ celk}$ vypočtena pomocí součtu čtverců $D^{čelní\ FF}$, nebo hodnoty 2, pokud byla hodnota $D^{čelní\ celk}$ vypočtena pomocí prostého součtu $D^{čelní\ NF}$. Veličina R^{celk} v (9) je celková hranice shody pro zaměstnance zjištěná pro danou anténu a úhel ϑ_{3dB} je třídecibelová šířka hlavního vyzařovaného svazku ve svislé rovině ve stupních, který je možné položit rovný maximální používané hodnotě ϑ_{3dB} = 14° (nejhorší možný případ). Hodnota

parametru Δ = 0,1 metru. φ_{tilt} je celkový mechanický a elektrický sklon hlavního svazku ve stupních.

Celková hranice shody definovaná parametry $D^{\text{čelní celk}}$, $D^{\text{šířka celk}}$, $D^{\text{pod/nad celk}}$ a R^{celk} má tvar vyznačený na obr. 2 a 3, přičemž parametry s dodatečným indexem „celk“ odpovídají parametrům bez tohoto indexu na obr. 3.

V případě, kdy jedna anténa vysílá více vysílacími systémy (např. GSM900 a GSM1800 nebo jinou kombinací), se postupuje jako kdyby se jednalo o dvě antény umístěné ve stejném bodě.

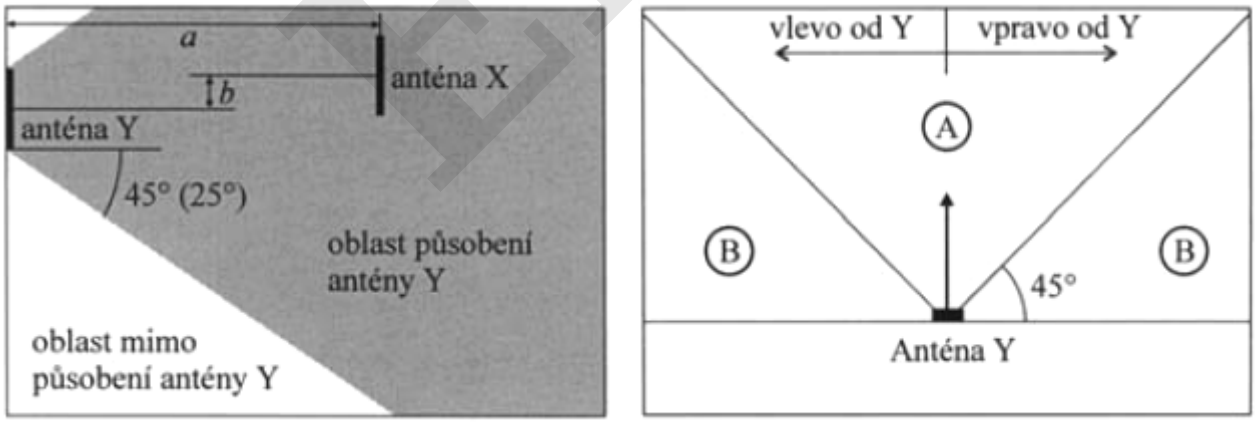
3.3 Poznámky k použití diagramů z obr. 4 a obr. 5

K použití diagramů z obr. 4 a 5 je nutné konstatovat, že není-li uvedeno jinak, myslí se vzdáleností antén vzdálenost jejich geometrických středů. Pokud je v diagramech použit pojem azimut, je tím myšlen úhel v rozsahu 0° až 360°, který se měří ve směru hodinových ručiček, tj. od severu k východu. Pojem vzájemný úhel antén, použitý v diagramech, je možné nadefinovat následujícím způsobem:

a) Je-li anténa X nalevo od antény Y, viz obr. 6, pak je vzájemný úhel roven rozdílu azimutu antény Y a azimutu antény X.

b) Je-li anténa X napravo od antény Y, viz obr. 6, pak je vzájemný úhel roven rozdílu azimutu antény X a azimutu antény Y.

V případě, kdy vyjde vzájemný úhel podle výše uvedené definice záporný, je nutné k výsledku přičíst 360°.



Obr. 6 Náčrtky k vysvětlení některých pojmů v diagramech na obr. 4 a obr. 5.

4. Příklad výpočtu

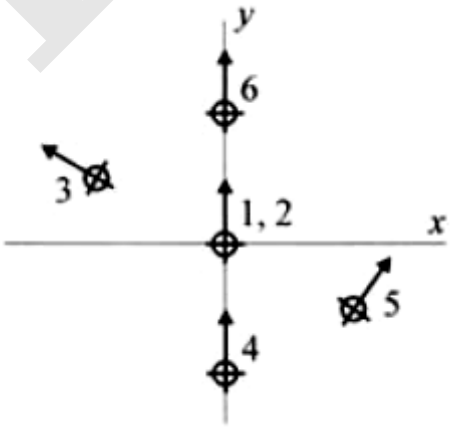
Pro ilustraci výše uvedeného postupu bude dále uveden numerický příklad. Předpokládejme, že

základnová stanice je tvořena šesti panelovými anténami, a že všechny ostatní zdroje neionizujícího záření v okolí stanice jsou z expozičního hlediska nevýznamné. Umístění a parametry antén jsou uvedeny v tabulce č. 3 a zakresleny v obr. 7, odkud je patrné, že antény č. 1 a 2 jsou ve skutečnosti jedinou dvoupásmovou anténou.

Tabulka č. 3 Základní data o panelových anténách umístěných na základnové stanici.

označení antény	x (m)	y (m)	pásmo (MHz)	Výkon (W)	azimut antény (°)	zisk antény (dBi)	délka antény (m)	výška nad terénem (m)	horizontální šířka svazku 3dB (°)	vertikální šířka svazku 3dB (°)	tilt (°)
1	0	0	900	40	0	18	1,9	20	65	14	0
2	0	0	1800	40	0	18	1,9	20	65	14	0
3	-4	2	900	40	300	18	1,9	20	65	14	0
4	0	-4	900	40	0	18	1,9	20	65	14	0
5	4	-2	900	40	35	18	1,9	20	65	14	0
6	0	4	900	40	0	18	1,9	20	65	14	0

EPIS



Obr. 7 Náčrt rozmístění antén

Prvním krokem při hodnocení expozice je výpočet hranic shody, dle kapitoly 2, pro každou anténu bez uvažování příspěvků od ostatních antén. Výsledky tohoto výpočtu jsou souhrnně uvedeny v tabulce č. 4. Při použití vztahů (2) a (3) byla použita referenční hodnota pro hustotu zářivého toku S_{lim} = 4,5 W . m^{-2} (9 W. m^{-2}) pro pásmo 900 MHz (1800 MHz). Z tabulky je také patrné, že pro výpočet parametrů $D_{šířka}$ a $D_{pod/nad}$ byla použita hodnota $D_{čelní\ NF}$, která je u všech antén menší než $D_{čelní\ FF}$.

Tabulka č. 4 Rozměry hranic shody - počítány pouze osamocené antény

Ant.	$D^{čelní\ FF}$ (m)	$D^{čelní\ NF}$ (m)	$D^{šířka}$ (m)	$D^{pod/nad}$ (m)	R (m)
1	6,7	4,1	2,2	0,4	0,5
2	4,7	2,1	1,1	0,4	0,5
3	6,7	4,1	2,2	0,4	0,5
4	6,7	4,1	2,2	0,4	0,5
5	6,7	4,1	2,2	0,4	0,5
6	6,7	4,1	2,2	0,4	0,5

EPIS

Pro zohlednění ostatních antén na stanovišti a pro určení výsledných hranic shody je dále nutné určit, s pomocí pravidel v kapitole 3, koeficienty K_Y a M_Y pro všechny dvojice antén. Hodnoty koeficientů jsou souhrnně uvedeny v tabulkách č. 5 a č. 6.

Tabulka č. 5 koeficienty KY

	Y

		1.	2.	3.	4.	5.	6
	1.		1	0	1	0	1
	2.	1		0	1	0	1
X	3.	0,5	0,5		1	0	0
	4.	1	0	0		0	0
	5.	0	0	0	1		0
	6.	1	1	0	1	1	

Tabulka č. 6 koeficienty MY

	Y						
		1.	2.	3.	4.	5.	6
	1.		1	0	1	0	0
	2.	1		0	1	0	0
X	3.	0	0		0	0	0
	4.	0	0	0		0	0
	5.	0	0	0	1		0
	6	1	1	0	0	0	

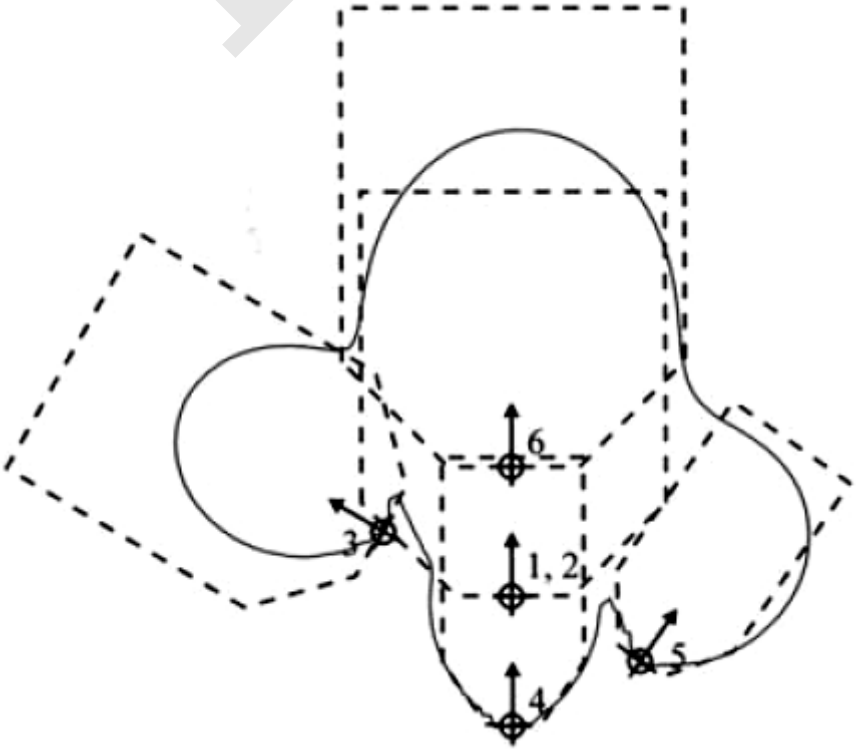
Při znalosti tabulek č. 5 a č. 6 pak s použitím vztahů (6) a (7) snadno získáme výsledné hodnoty parametrů hranice shody u všech antén, které jsou uvedeny v tabulce č. 7.

EPIS

Tabulka č. 7 Výsledné rozměry hranic shody - zohledněna přítomnost všech antén

Ant.	$D^{\text{čelní celk}}$ (m)	$D^{\text{šířka celk}}$ (m)	$D^{\text{pod/nad celk}}$ (m)	R^{celk} (m)
1	12.5	9.5	0.6	1.0
2	12.5	9.5	0.6	1.0
3	11.1	8.4	0.4	0.5
4	8.3	4.4	0.4	0.5
5	8.3	4.4	0.4	1.0
6	14.2	10.8	0.8	1.0

Pro větší názornost jsou hranice shody pro ostatní osoby z tabulky č. 7 zobrazeny graficky na obr. 8. Obrázek je v měřítku a jsou v něm vyznačeny pozice a směry vyzařování antén. V obrázku je dále tenkou plnou čarou zobrazena křivočará hranice, na které hustota zářivého toku, vypočtená metodou popsanou v kapitole II.2.a metodického pokynu, dosáhne právě referenční hodnoty pro ostatní osoby. Ze společného zobrazení je patrné, že metoda uvedená v této příloze velikost oblastí možného překročení nadhodnocuje. Pro lepší přehlednost nejsou v obr. 8 (str. 46) zakresleny hranice shody pro zaměstnance. Z jejich jednoduchého tvaru, viz. obr. 2 a 3, je však zřejmé, že zakrývají jen bezprostřední okolí antén.



Obr. 8 Grafické znázornění hranic shody dle tabulky č. 7.

Zobrazen je horizontální řez jdoucí geometrickým středem antén.

5. Reference

Příloha č. 3

Známe-li absolutní teplotu T povrchu zdroje, který považujeme za absolutně černé těleso, je jeho spektrální zář L(λ) dána vztahem

$$L(\lambda) = \frac{2hc_0^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc_0}{\lambda kT}} - 1}$$

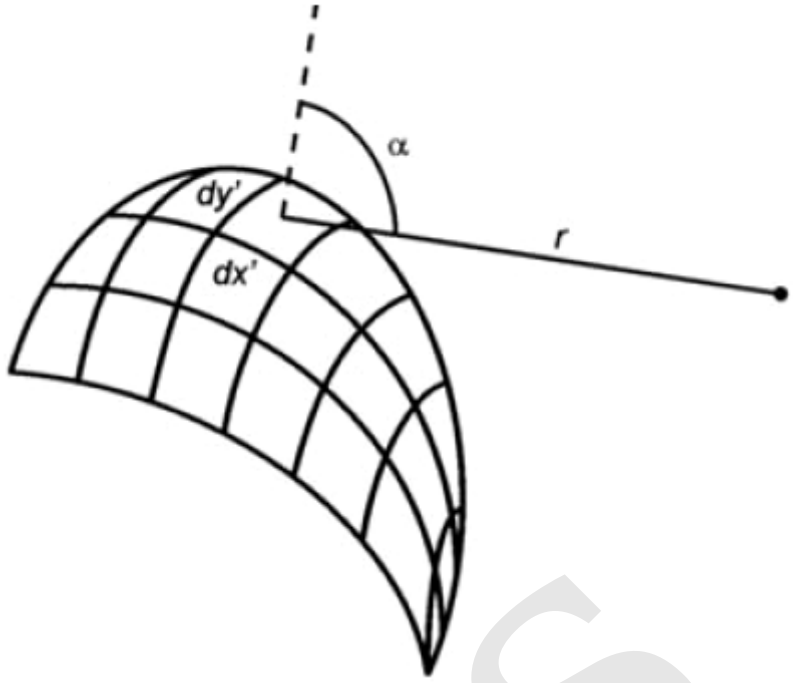
(1)

kde $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34}$ J · s je Planckova konstanta, $k = 1.381 \cdot 10^{-23}$ J · K^{-1} je Boltzmanova konstanta, $c_0 = 2.999 \cdot 10^8$ m · s^{-1} je rychlost světla ve vakuu a λ je vlnová délka. Spektrální hustotu zářivého toku E(λ) v místě pozorování potom získáme jako

$$E(\lambda) = L(\lambda)\int_{x'}\int_{y'} \frac{F(\alpha)}{r^2} dx'dy'$$

(2)

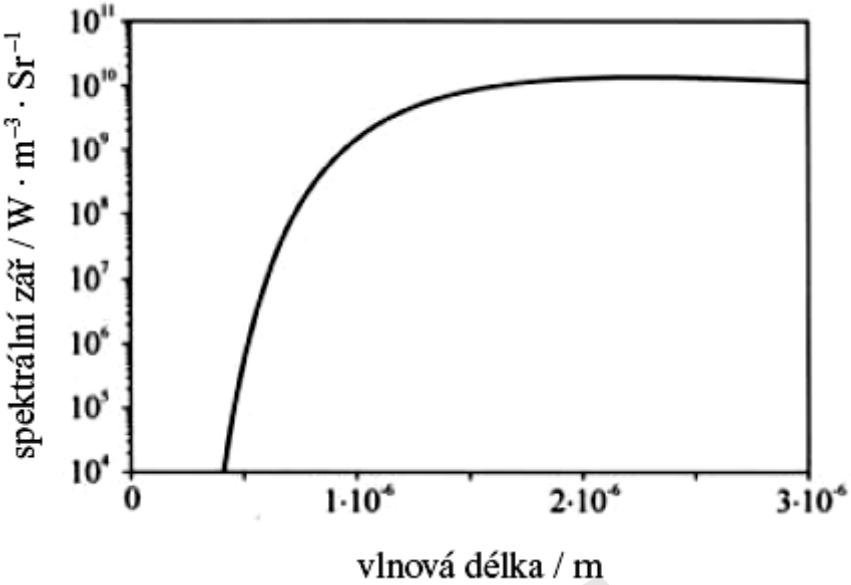
kde integrál pobíhá přes celou plochu zdroje a kde r je vzdálenost mezi bodem pozorování a elementární ploškou dx' · dy'. Význam úhlu a je zobrazen na obr. 1. Pro funkci F(α) pak platí, že F(α) = cos(α) pro a (0, /2) α∈(0, π/2) F(α) = 0 jinak.



Obr. 1 Náčrt situace mezi povrchem zdroje a bodem pozorování

Jako příklad použití výše uvedených vztahů uvažujme expozici osoby v blízkosti nádoby s horkou taveninou. Předpokládejme, že nádoba má tvar válce o poloměru R = 0,5 m jehož stěny jsou dobře tepelně izolovány a jedinou vyzařující plochou je tedy hladina taveniny. Uvažme příklad kdy má hladina teplotu t = 1000 °C (T = 1273.15 K). Určeme nyní expozici ve vzdálenosti d od středu hladiny a ve výšce h = 2 m nad hladinou (přibližně ve výšce očí exponované osoby).

K určení expozice je nejprve nutné určit spektrální zář zdroje L(λ), která je dána vztahem (1) a její průběh v závislosti na vlnové délce je zobrazen na obr. 2 (str. 48). Vzhledem k tomu, že maximum vyzařování se nachází v okolí vlnové délky 2300 nm, jsou pro porovnání expozice s nejvyššími přípustnými hodnotami relevantní pouze kritéria m, n, o z tabulky č. 1 na str. 16 nařízení vlády. Ostatní kritéria budou u tohoto zdroje s obrovskou rezervou splněna.



Obr. 2 Vypočtený průběh spektrální záře hladiny taveniny

K vyhodnocení expozice je dále nutné určit spektrální hustotu zářivého toku E(λ) dle rovnice (2). Po zavedení polárních souřadnic lze pak psát

$$E(\lambda, d, h) = L(\lambda) \,.\, h \,.\, \int_0^{2\pi} \int_0^{R} \frac{r\,dr\,h\,d\phi}{(d^2 + h^2 + r^2 - 2rd\cos\phi)^{3/2}}$$

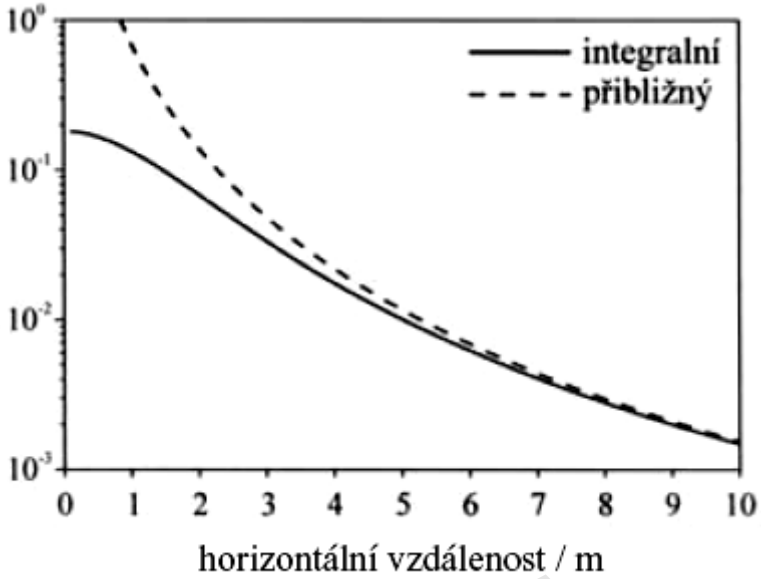
(3)

Vztah (3) je obecně platný, avšak pokud bychom hledali expozici ve vzdálenostech významně větších než jsou rozměry zdroje, je možné tento vztah aproximovat vztahem

$$E(\lambda, d, h) = \frac{L(\lambda) \,.\, h \,.\, A}{D^3}$$

(4)

kde $A = \pi \cdot R^2$ je plocha zářiče a $D = \sqrt{(d^2 + h^2)}$ je vzdálenost od středu plochy zářiče. Meze použitelnosti tohoto vztahu lze vyčíst z obr. 3.



Obr. 3 Srovnání integrálního vztahu (3) a přibližného vztahu (4) v závislosti

na vzdálenosti od středu zářiče d pro výšku h = 2 m.

Vzhledem k charakteru uvažovaného zářiče lze předpokládat, že hladina taveniny vyzařuje kontinuálně a veličiny tak explicitně nezávisejí na čase (okamžité hodnoty veličin se přímo rovnají časově středním hodnotám).

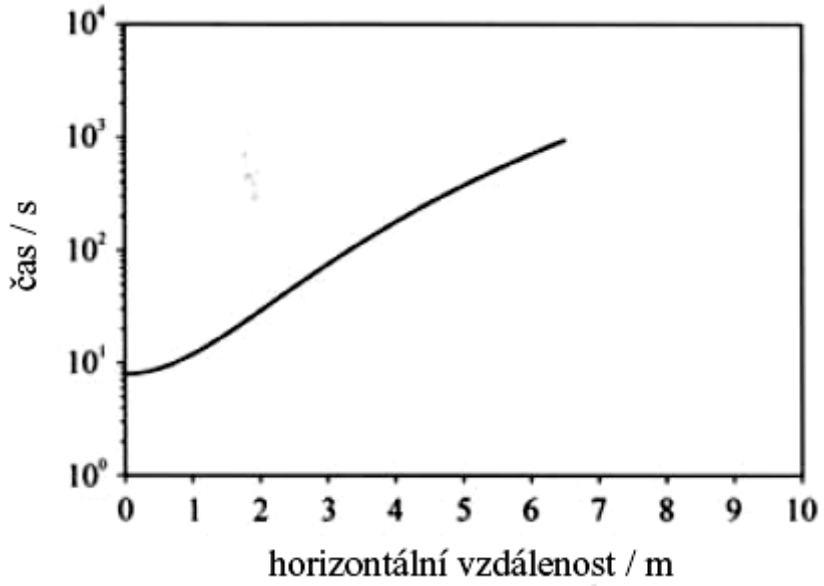
Srovnání expozice s kritériem (m) z tabulky č. 1 na str. 16 nařízení vlády

Kritérium (m) lze upravit na tvar

$$t(d,h) = \left(\frac{18000}{\int_{780nm}^{3000nm} E_\lambda(\lambda, d, h)\, d\lambda} \right)^{4/3}$$

(5)

kde t(d, h) je čas při jehož překročení bude překročena nejvyšší přípustná hodnota. Výsledek rovnice (5) v závislosti na vzdálenosti d od zářiče je zobrazen na obr. 4.



Obr. 4 Čas určující hranici mezi překročením a nepřekročením nejvyšší přípustné hodnoty (m)

nařízení vlády v závislosti na vzdálenosti od středu zářiče d pro výšku h = 2 m.

Kritérium (m) je definičně omezeno pro doby expozice kratší nebo rovny 1000 s.

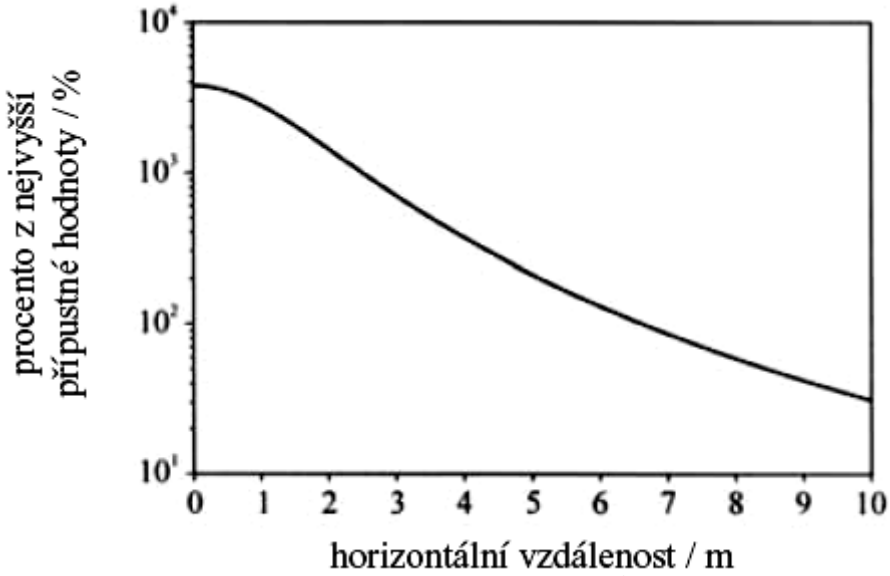
Srovnání expozice s kritériem (n) z tabulky č. 1 na str. 16 nařízení vlády

Pro dobu expozice delší než 1000 s je kritérium (m) nahrazeno kritériem (n). Dosazením do vztahu pro kritérium (n) je pak možné získat procento p z nejvyšší přípustné hodnoty pro veličinu E_{IR} jako

$$p(d, h) = \int_{780nm}^{3000nm} E_{\lambda}(\lambda, d, h)\, d\lambda$$

(6)

Výsledek rovnice (6) v závislosti na vzdálenosti d od zářiče je zobrazen na obr. 5.



Obr. 5 Procento z nejvyšší přípustné hodnoty (n) nařízení vlády v závislosti na vzdálenosti od středu zářiče d pro výšku h = 2 m.

Z obr. 5 je patrné, že při expozici delší než 1000 s nebude nejvyšší přípustná hodnota překročena pro vzdálenosti větší než přibližně 6,5 m od středu hladiny taveniny.

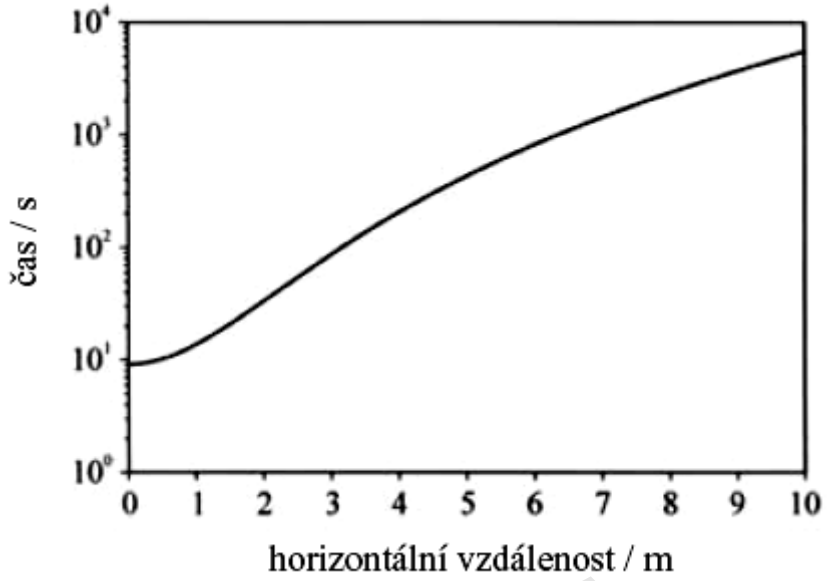
Srovnání expozice s kritériem (o) z tabulky č. 1 na str. 16 nařízení vlády

Pro zamezení popálení kůže je třeba ještě porovnat expozici s kritériem (o), které lze po úpravě napsat ve tvaru

$$t(d,h) = \left(\frac{20000}{\int_{780nm}^{3000nm} E(\lambda, d, h)\, d\lambda} \right)^{4/3}$$

(7)

kde čas t(d, h) má stejný význam jako v kritériu (m). Výsledek rovnice (7) v závislosti na vzdálenosti d od zářiče je zobrazen na obr. 6.



Obr. 6 Čas určující hranici mezi překročením a nepřekročením nejvyšší přípustné hodnoty (m)

nařízení vlády v závislosti na vzdálenosti od středu zářiče d pro výšku h = 2 m.

Kritérium (o) je definičně omezeno pro doby expozice kratší nebo rovné 10 s a je třeba jej interpretovat tak, že při překročení času 10 s se stává expozice nevýznamnou - hodnotí se popálení kůže, která je na teplo velmi citlivá a exponovaná osoba tak včas dostane podnět k tomu, aby se z místa vzdálila. Z obr. 6 je patrné, že času 10 s je dosaženo již v prakticky nulové vzdálenosti d, je však třeba mít na paměti, že expozice je počítána ve výšce h = 2 m nad hladinou taveniny.