

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vliv elektromagnetického pole na životní prostředí

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na působení elektromagnetických polí na životní prostředí. Práce se věnuje legislativě České Republiky v oblasti ochrany obyvatelstva před elektromagnetickými poli, porovnává jednotlivá frekvenční spektra elektromagnetických polí a hodnotí biologické účinky těchto polí na jednotlivé organizmy.

Klíčová slova

Elektromagnetická pole, biologické účinky, elektrická intenzita, magnetická indukce, neionizující záření

Abstract

This bachelor thesis is aimed at describing the effects of electromagnetic fields on the environment. The thesis deals with Czech legislation designed to protect the general population from electromagnetic fields, compares different frequency spectrums of electromagnetic fields and evaluates the biological effects of these fields on individual organisms.

Key words

Electromagnetic fields, biological effects, electric intensity, magnetic induction, non-ionizing radiation.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 6.6.2013

Jan Krouza

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Marcela Ledvinové, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH.....	1
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	2
ÚVOD.....	3
1 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI ELEKTROMAGNETICKÝCH POLÍ.....	4
1.1 MAXWELLOVY ROVNICE.....	4
1.2 ČASOVÝ PRŮBĚH ELEKTROMAGNETICKÝCH POLÍ.....	5
1.2.1 Statické pole.....	5
1.2.2 Harmonická pole.....	5
1.2.3 Pulzní pole.....	6
1.3 ŠÍŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÝCH POLÍ.....	6
2 LEGISLATIVA.....	7
2.1 DEFINICE ROZSAHU	7
2.2 VÝNATEK Z NAŘÍZENÍ VLÁDY 1/2008 SB. A POPIS VELIČIN.....	8
2.2.1 Modifikovaná indukovaná proudová hustota.....	8
2.2.2 Hustota zářivého toku.....	9
2.2.3 Intenzita elektrického pole.....	9
2.2.4 Magnetická indukce pole.....	10
2.2.5 Měrný absorbovaný výkon SAR.....	11
2.3 NAŘÍZENÍ VLÁDY Č. 1/2008 SB. V PRAXI.....	14
3 SPEKTRA ELEKTROMAGNETICKÝCH POLÍ.....	15
3.1 UV ZÁŘENÍ.....	16
3.1.1 UV-A, UV-B.....	17
3.1.2 UV-C.....	17
3.2 VIDITELNÉ ZÁŘENÍ (SVĚTLO).....	17
3.3 INFRAČERVENÉ ZÁŘENÍ.....	18
3.4 MIKROVLNY	19
4 BIOLOGICKÉ ÚČINKY ELEKTROMAGNETICKÝCH POLÍ.....	20
4.1 VNÍK ELEKTROMAGNETICKÉHO VLNĚNÍ DO ORGANISMŮ.....	21
4.2 VLIV NA LIDSKÝ ORGANIZMUS A OSTATNÍ OBRATLOVCE.....	22
4.3 VLIV ELEKTROMAGNETICKÝCH VLN NA JEDNODUCHÉ ORGANIZMY.....	23
4.4 VLIV ELEKTROMAGNETICKÝCH VLN NA ROSTLINY	24
5 ZÁVĚR	25
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	26
PŘÍLOHY	27

Seznam symbolů a zkratek

ε	permitivita vakua [F/m]
μ	permeabilita vakua [H/m]
γ	konduktivita [S/m]
λ	vlnová délka [m]
k	Boltzmanova konstanta = $1,380662 \cdot 10^{-23}$ [J/K]
E_m	maximální hodnota intenzity při harmonickém průběhu [V/m]
B_m	maximální hodnota indukce při harmonickém průběhu [T]
T	doba jedné periody [s]
ω	úhlová rychlost [s^{-1}]
IR záření.....	infračervené záření
UV záření.....	ultrafialové záření

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena působení elektromagnetických neionizujících polí na životní prostředí.

S elektromagnetickými poli se setkáváme běžně v našem životě a biologické prostředí naší planety je už od svého vzniku vystavováno jejich působení. Nazýváme je přirozenými zdroji elektromagnetického pole. V průběhu 20. století však začaly převládat umělé zdroje elektromagnetických polí tvořené člověkem. Vliv těchto polí je třeba brát na vědomí a je důležité znát jejich rizika, jelikož tato pole mají vliv na biologickou hmotu a ovlivňují tedy životní prostředí okolo nás.

1 Základní vlastnosti elektromagnetických polí

Elektromagnetické pole spočívá v elektromagnetickém vlnění, které se šíří prostorem a jehož zdrojem jsou pohybující se náboje. Obecně je elektromagnetická vlna charakterizována velikostí, směrem svých vektorových složek (elektrické \mathbf{E} a magnetické \mathbf{H}), které jsou navzájem neoddělitelně spjaty, kolmé ke směru šíření vlnění a kolmé na sebe navzájem. Elektrická pole vznikají v důsledku působení elektrických nábojů Q . Dle Columbova zákona velikost el. síly působící mezi dvěma bodovými náboji je přímo úměrná součinu jejich velikostí a nepřímo úměrná druhé mocnině jejich vzdálenosti. Jejich vzájemným silovým působením vzniká napětí U . Čím vyšší je napětí, tím silnější je elektrické pole. Jeho intenzita klesá se zvyšující se vzdáleností od jeho zdroje. Magnetická pole vznikají v důsledku pohybu elektrických nábojů, neboli průchodem elektrického proudu. Čím větší je elektrický proud, tím silnější je magnetické pole. Jako u elektrického pole jeho intenzita klesá se vzdáleností.

1.1 Maxwellovy rovnice

Vztahy mezi elektrickou a magnetickou složkou jsou popsány soustavou Maxwellových rovnic.

Maxwellovy rovnice jsou základními axiomy elektromagnetického pole, zobecňující Faradayovy experimenty, zformulované Jamesem Clerkem Maxwellem v roce 1865. Pomocí těchto rovnic v diferenciálním tvaru je popsáno elektromagnetické pole v každém bodě prostoru, v integrálním je pak popsáno pole v určité oblasti. První Maxwellova rovnice říká, že cirkulace vektoru \mathbf{H} po libovolné uzavřené křivce c je rovna součtu celkového proudu I a posuvného proudu $\frac{d\psi}{dt}$. Oba proudy jsou spřaženy s křivkou c .

$$\oint_c \mathbf{H} \, d\mathbf{l} = I + \frac{d\psi}{dt},$$

$$\text{kde } \psi = \int_S \mathbf{D} \, dS$$

Druhá Maxwellova rovnice se nazývá Faradayův indukční zákon a říká, že cirkulace vektoru \mathbf{E} po libovolné orientované uzavřené křivce c je rovna záporně vzaté derivaci magnetického indukčního toku $-\frac{d\phi}{dt}$ spřaženého s křivkou c .

$$\oint_c \mathbf{E} \, d\mathbf{l} = -\frac{d\phi}{dt},$$

$$\text{kde } \phi = \int_S \mathbf{B} \, dS$$

První rovnice udává, že proudy (elektrické projevy pole), jsou zdroji vírové složky magnetického pole. Druhá rovnice udává, že časová změna magnetického indukčního toku je zdrojem vírové složky elektrického pole.

Třetí Maxwellova rovnice představuje Gaussovu větu elektrostatiky, říká, že elektrický indukční tok \mathbf{D} libovolnou vně orientovanou uzavřenou plochou S je roven celkovému volnému náboji v prostorové oblasti V .

$$\oint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} = Q,$$

$$\text{kde } Q = \int_V \rho \, dV$$

Čtvrtá Maxwellova rovnice je zákon o spojitosti siločar magnetické indukce. Magnetický indukční tok libovolnou uzavřenou orientovanou plochou S je roven nule; neboli tok, který do uzavřené plochy S vstupuje je roven toku, který z ní vystupuje.

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$$

Vektory \mathbf{E} , \mathbf{H} , \mathbf{B} , \mathbf{D} , \mathbf{J}_{ind} jsou vzájemně svázány materiálovými vztahy, v lineárním isotropním prostředí. (Parametry lineárního prostředí nezávisí na velikosti elektromagnetického pole, v němž se toto prostředí nachází. Parametry izotropního prostředí jsou stejné ve všech směrech.) [2]

$$\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}, \mathbf{B} = \mu \mathbf{H}, \mathbf{J} = \gamma \mathbf{E}$$

1.2 Časový průběh elektromagnetických polí

1.2.1 Statické pole

Vektor složek elektrického nebo magnetického pole je konstantní v čase.

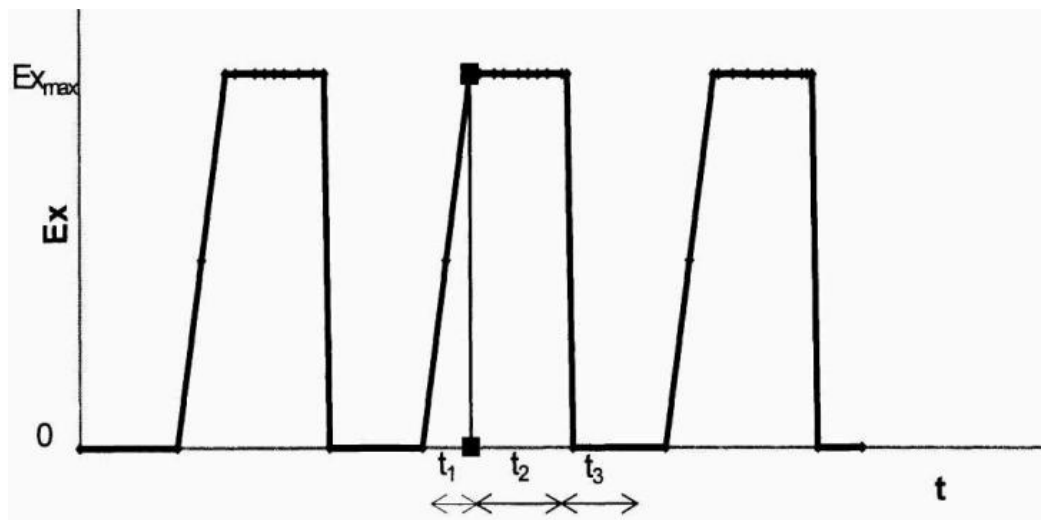
1.2.2 Harmonická pole

Pro harmonický zdroj elektromagnetických polí platí, že okamžitá hodnota velikosti se mění ve směru šíření dle funkce sinus a jsou popsány následujícími rovnicemi:

$$\mathbf{E} = E_m \sin 2\pi(t/T - x/\lambda) = E_m \sin \omega(t - x/v); \mathbf{B} = B_m \sin 2\pi(t/T - x/\lambda) = B_m \sin \omega(t - x/v) [1]$$

1.2.3 Pulzní pole

Pulzní pole je vyvoláno modulací harmonického zdroje. Vektory elektrického pole a magnetického pole kmitají mezi nulou a amplitudou E_{max} nebo B_{max} . Průběh pole znázorňuje obrázek 2.1. V tomto druhu elektromagnetického pole musíme brát v úvahu parametry jako náběhová doba t_1 , trvání pulzu t_2 a mezipulzní doba t_3 . Frekvenci těchto polí určíme podle vztahu: $f = \frac{1}{t_1+t_2+t_3}$

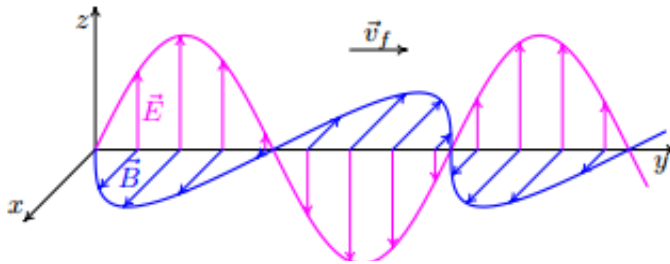


Obrázek 2.1: Závislost intenzity E na čase t v pulzním poli.

Vzájemným skládáním těchto polí mohou vznikat různé další kombinace průběhů elektromagnetických polí s novými vlastnostmi. [15]

1.3 Šíření elektromagnetických polí

Při elektromagnetickém vlnění se nepohybují žádné částice, pouze se zvětšuje a zmenšuje elektromagnetické pole. Na obrázku 2.2 vidíme elektromagnetickou vlnu, která se šíří vakuem, popsanou dvěma vektory ze kterých se skládá, elektrickou intenzitou E a magnetickou indukcí B .



Obrázek 2.2: Elektromagnetická vlna v jediném okamžiku.

Elektromagnetické záření se šíří ve vakuu rychlostí světla a jeho šíření je buďto vlnové (odraz, lom, ohyb, interference, polarizace) a nebo kvantové (fotoelektrický jev). Rychlost šíření vakuem se dá vyjádřit z Maxwellových rovnic jako $c = (\epsilon_0 \mu_0)^{-1/2}$, odpovídající rychlosti světla 299 792 458 m/s. Frekvence vlnění se pak zjistí z rychlosti šíření a vlnové délky jako: $f = v/\lambda$. V ostatních prostředích se elektromagnetické vlnění šíří rychlostí $v = (\epsilon\mu)^{-1/2}$. [18]

Na základě velikostí vektorů \mathbf{E} a \mathbf{H} můžeme definovat vlnovou impedanci prostředí $Z_v = |\mathbf{E}|/|\mathbf{H}|$. Speciálně pro vakuum je $Z_v = 120\pi\omega$. Pro většinu materiálů získáme impedanci ze vztahu: $Z_v = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{j\omega\epsilon + \sigma}}$. [16]

Elektromagnetická vlna má schopnost přenášet energii. Tato její vlastnost je popsána Poyntingovým vektorem. Jeho velikost udává plošnou hustotu toku výkonu, směr a orientace se shodují se směrem a orientací toku výkonu.

Poyntingův vektor: $\mathbf{N} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$ [W/m²].

2 Legislativa

2.1 Definice rozsahu

Elektromagnetické záření můžeme rozdělit do dvou základních kategorií vzhledem ke schopnosti ionizace. Pokud nese elektromagnetická vlna takové množství kvantové energie, že má schopnost ionizovat atomy v okolním prostředí nebo excitovat jejich jádra, jedná se o ionizující vlnu. Příkladem takového záření je například záření gama, kdy excitovaný atom přejde do nižšího energetického stavu vyzářením fotonu. Vzhledem k vlnové délce je možné za spodní hranici považovat UV záření, jelikož při jeho vyšší intenzitě se jeho vlivem začne ve

vzduchu tvořit O_3 . Přesněji se dá za hranici označit UV záření typu C, které se dá již považovat za slabě ionizující, jeho vlnová délka je méně než 280 nm. Ionizující záření není dále náplní této práce, proto označením elektromagnetické záření bude myšleno záření o vyšších vlnových délkách než je výše zmíněná hranice. [5]

2.2 Výňatek z nařízení vlády 1/2008 Sb. a popis veličin

Z definice nařízení vlády 1/2008 Sb. ze dne 12. prosince 2007 o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, zpracovávající příslušný předpis Evropských společenství, vycházející přímo z prokázaných účinků na zdraví a z údajů o jejich biologickém působení jejichž dodržováním Evropská unie zajišťuje svým občanům ochranu proti všem známým zdraví škodlivým účinkům, se neionizujícím zářením myslí statická magnetická a časově proměnná elektrická, magnetická a elektromagnetická pole a záření s frekvencemi od 0 Hz do $1,7 \cdot 10^{15}$ Hz. Jelikož pro nás mohou být tato záření nebezpečná, zákon stanovuje, že expozice osob tomuto působení musí být omezena tak, aby proudová hustota v těle, měrný absorbovaný výkon a hustota zářivého toku elektromagnetické vlny nepřekročily nejvyšší přípustné hodnoty uvedené v tabulkách, které jsou přímo součástí tohoto nařízení. Tyto hodnoty jsou bezpečně pod prahem možného zdravotního rizika.

2.2.1 Modifikovaná indukovaná proudová hustota

Rozložení elektrického proudu popisuje modifikovaná indukovaná proudová hustota (\mathbf{J}_{mod}). Ta je definována jako proud tekoucí kolmo k rovinné ploše o velikosti 100 mm^2 , dělený obsahem této plochy, která je modifikována filtrem s frekvenční charakteristikou $\frac{\sqrt{2(\beta+2\pi j f)}}{2(4\beta+2\pi j f)} \frac{\alpha}{\alpha+2\pi j f'}$, kde $\alpha = 2000 \text{ n s}^{-1}$ a $\beta = 7 \text{ s}^{-1}$. V centrálním nervovém systému nesmí v žádném časovém okamžiku hodnota překročit nejvyšší přístupnou hodnotu; v ostatních částech trupu nesmí překročit pětinasobek nejvyšší přípustné hodnoty v tabulce 2.1. [3][4]

Modifikovaná indukovaná proudová hustota J_{mod}^* – nejvyšší přípustné hodnoty			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
frekvence f [Hz]	J_{mod} [$A \cdot m^{-2}$]	frekvence f [Hz]	J_{mod} [$A \cdot m^{-2}$]
300 - 10^7	$\sqrt{2} \cdot 0.01^a$	0 - 10^7	pětkrát nižší než nejvyšší přípustná hodnota pro zaměstnance

Tabulka 2.1: Nejvyšší přípustné hodnoty pro modifikovanou proudovou hustotu indukovanou v centrálním nervovém systému elektrickým a /nebo magnetickým polem s frekvencí f v intervalu od 0 Hz do 10 Mhz. a) Proudová hustota J jako efektivní hodnota elektrického proudu.

2.2.2 Hustota zářivého toku

Hustota zářivého toku je energie, kterou do svého okolí vyzařuje zdroj záření za jednotku času, vztahená na jednotku plochy. Přípustné hodnoty dle vyhlášky jsou uvedeny v tabulce 2.2.

Hustota zářivého toku S^* – nejvyšší přípustné hodnoty			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
frekvence f [Hz]	S [$W \cdot m^{-2}$]	frekvence f [Hz]	S [$W \cdot m^{-2}$]
$> 10^{10} - 3 \cdot 10^{11}$	50	$> 10^{10} - 3 \cdot 10^{11}$	10

Tabulka 2.2: Nejvyšší přípustné hodnoty pro hustotu zářivého toku elektromagnetické vlny z intervalu f_r od 10 GHz do 300 GHz dopadající na tělo nebo na jeho část. S je průměrná hodnota hustoty zářivého toku dopadající na plochu 20 cm^2 kterékoli části těla exponované fyzické osoby. Maximální průměrná hodnota S vztahená na 1 cm^2 exponovaného povrchu nesmí přitom překročit dvacetinásobek hodnot uvedených v tabulce. *Doba průměrování pro frekvence 10 GHz do 300 GHz je $T_{st} = 1,92 \cdot 10^{11} / f^{1,05}$.

2.2.3 Intenzita elektrického pole

Intenzita elektrického pole E je vektorová veličina vyjadřující velikost a směr elektrického pole. Je definována jako elektrická síla působící na těleso s kladným jednotkovým nábojem. Můžeme ji přepočítat na hustotu výkonu pomocí následujícího výrazu:

$P = \frac{|\mathbf{E}(x,y,z)|^2}{120\pi}$. Nejvyšší přípustné hodnoty v závislosti na frekvenci jsou dle nařízení vlády uvedeny v tabulce 2.3.

Referenční úrovně intenzity elektrického pole E – nepřetržitá expozice			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
frekvence f [Hz]	E [V.m ⁻¹]	frekvence f [Hz]	E [V.m ⁻¹]
< 1	– ^{a)}	< 1	– ^{a)}
1 – 8	20000	1 – 8	10000
8 – 25	20000	8 – 25	10000
25 – 820	$5 \cdot 10^5 / f$	25 – 800	$2,5 \cdot 10^5 / f$
50	10000	50	5000
820 – $3 \cdot 10^3$	610	800 – $3 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^5 / f$
$3 \cdot 10^3$ – $65 \cdot 10^3$	610	$3 \cdot 10^3$ – $150 \cdot 10^3$	87
$65 \cdot 10^3$ – 10^6	610	$150 \cdot 10^3$ – 10^6	87
10^6 – 10^7	$610 \cdot 10^6 / f$	10^6 – 10^7	$87 \cdot 10^3 / f^{0,5}$
10^7 – $4 \cdot 10^8$	61	10^7 – $4 \cdot 10^8$	28
$4 \cdot 10^8$ – $2 \cdot 10^9$	$3 \cdot 10^{-3} \cdot f^{0,5}$	$4 \cdot 10^8$ – $2 \cdot 10^9$	$1,375 \cdot 10^{-3} \cdot f^{0,5}$
$2 \cdot 10^9$ – $3 \cdot 10^{11}$	137	$2 \cdot 10^9$ – $3 \cdot 10^{11}$	61

Tabulka číslo 2.3: Nejvyšší přípustné úrovně intenzity elektrického pole při nepřetržité expozici, a) Referenční úroveň pro statické elektrické pole není zavedena, při pobytu v silném statickém elektrickém poli je však třeba snížit vliv nepříjemného pocitu způsobeného elektrickým nábojem indukovaným na povrchu těla a zabránit sršení výbojů z povrchu těla.

2.2.4 Magnetická indukce pole

Magnetická indukce pole B je analogická k elektrické intenzitě, taktéž vektorová veličina vyjadřující silové účinky magnetického pole na pohybující se částice s nábojem nebo magnetickým dipólovým momentem. Její přípustné hodnoty při nepřetržité expozici v závislosti na frekvenci jsou v tabulce 2.4.

Referenční úrovně pro magnetickou indukci B – nepřetržitá expozice			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
frekvence f [Hz]	B [T]	frekvence f [Hz]	B [T]
< 1	0,28 *	< 1	0,056 *
1 – 8	0,2 / f^2	1 – 8	0,04 / f^2
8 – 25	0,025 / f	8 – 25	0,005 / f
25 – 820	25.10 ⁻³ / f	25 – 800	0,005 / f
50	500.10 ⁻⁶	50	100.10 ⁻⁶
820 – 3.10 ³	30,7.10 ⁻⁶	800 – 3.10 ³	6,25.10 ⁻⁶
3.10 ³ – 65.10 ³	30,7.10 ⁻⁶	3.10 ³ – 150.10 ³	6,25.10 ⁻⁶
65.10 ³ – 10 ⁶	2 / f	150.10 ³ – 10 ⁶	0,92 / f
10 ⁶ – 10 ⁷	2 / f	10 ⁶ – 10 ⁷	0,92 / f
10 ⁷ – 4.10 ⁸	0,2.10 ⁻⁶	10 ⁷ – 4.10 ⁸	0,092.10 ⁻⁶
4.10 ⁸ – 2.10 ⁹	10 ⁻¹¹ . $f^{0,5}$	4.10 ⁸ – 2.10 ⁹	4,6.10 ⁻¹² . $f^{0,5}$
2.10 ⁹ – 3.10 ¹¹	0,45.10 ⁻⁶	2.10 ⁹ – 3.10 ¹¹	0,20.10 ⁻⁶

Tabulka 2.4: Nejvyšší přípustné úrovně magnetické indukce pole při nepřetržité expozici, *amplituda. Pozn.: Referenční úrovně pro intenzitu elektrického, magnetického pole a pro hustotu zářivého toku, platí pro pole neporušené přítomností osob v posuzovaném prostoru.

2.2.5 Měrný absorbovaný výkon SAR

Nejvyšší přípustné hodnoty pro měrný výkon absorbovaný na 1 kg tkáně jsou definovány veličinou SAR. Tato veličina velmi přesně definuje míru expozice biologické tkáně elektromagnetickým polem, ale obtížněji se měří. Zavádí ji norma USA, kterou vydal ANSI (American National Standard Institute) a vztah pro její výpočet je následující:

$$\text{SAR} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial W}{\partial m} \right) = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial W}{\rho \partial V} \right) = \frac{\partial P}{\partial m} = \frac{\partial P}{\rho \partial V} [W/kg]$$

kde W je elektromagnetická energie absorbovaná v biologické tkáni, P je výkon elektromagnetické vlny sířící se biologickou tkání, ρ je hustota tkáně. Dalším odvozením získáme tvar, kde figuruje prostorové rozložení intenzity $\mathbf{E}(x,y,z)$:

$$SAR = \frac{\sigma |E(x, y, z)|^2}{\rho \cdot 2}$$

kde σ je elektrická vodivost uvažované tkáně. Pokud je možné zanedbat vedení tepla v pozorované biologické tkáni, resp. jeho modelu – fantomu, pak SAR lze vyjádřit pomocí časové derivace prostorového rozložení teploty $T(x, y, z, t)$:

$$SAR = c \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial t} = c \frac{\Delta T(x, y, z, t)}{\Delta t}$$

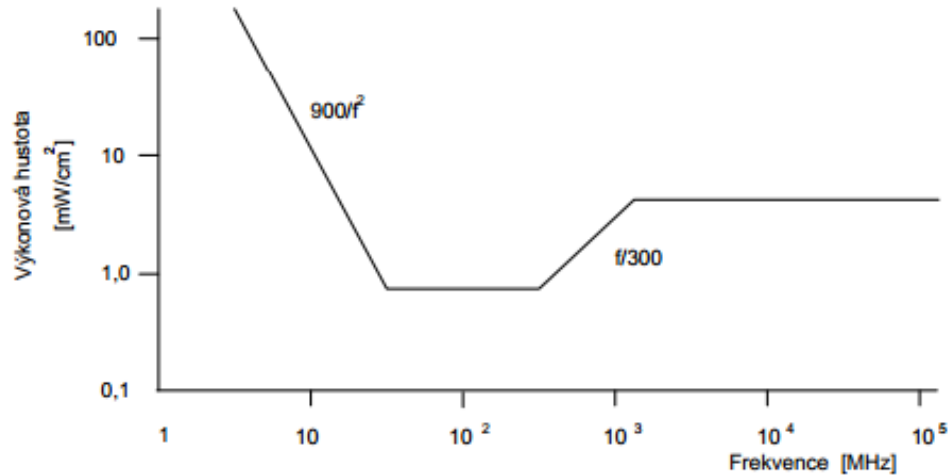
kde c je měrné teplo biologické tkáně, či jejího fantomu. Nejvyšší přípustné hodnoty jsou dle nařízení vlády uvedeny v tabulce 2.5. [13]

Měrný absorbovaný výkon (SAR)^{b)} - nejvyšší přípustné hodnoty			
Platí pro frekvence od 100000 Hz do 10 ¹⁰ Hz	Měrný absorbovaný výkon - SAR - průměrovaný přes kterýkoli šestiminutový interval a celé tělo	SAR průměrovaný přes kterýkoli šestiminutový interval a pro kterýchkoli 10 g ^{a)} tkáně s výjimkou rukou, zápěstí, chodidel a kotníků	SAR průměrovaný přes kterýkoli šestiminutový interval a pro kterýchkoli 10 g ^{a)} tkáně rukou, zápěstí, chodidel a kotníků
zaměstnanci	0,4 W/kg	10 W/kg	20 W/kg
ostatní osoby	0,08 W/kg	2 W/kg	4 W/kg

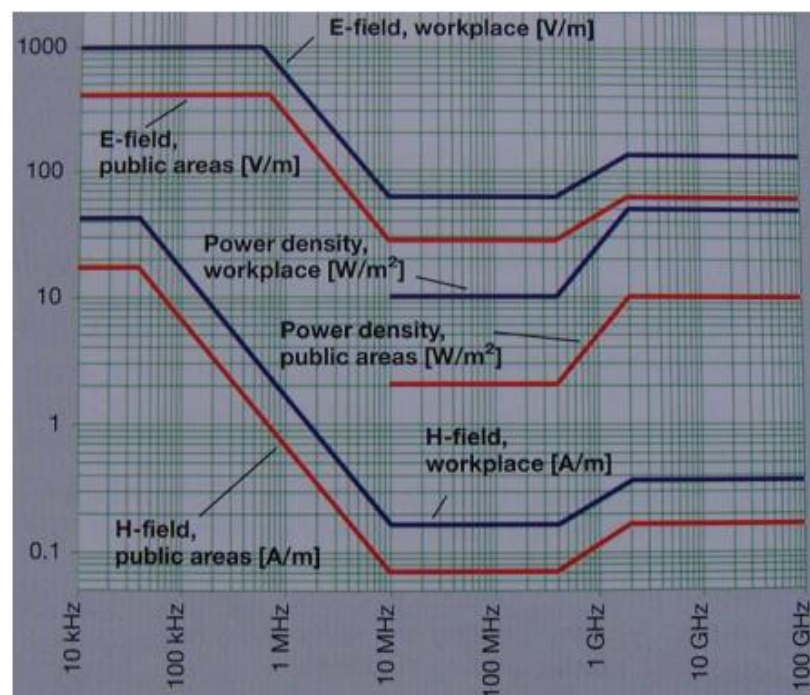
Tabulka 2.5: Nejvyšší přípustné hodnoty SAR. Tyto hodnoty se vztahují na celkovou absorpci všech přítomných složek elektromagnetického pole v tkáních těla v intervalu s frekvencí od 100 KHz – 10 MHz. Pozn. a) 10 g tkáně v uvedené tabulce volíme ve tvaru krychle, nikoli jako plochý útvar na povrchu těla, b) Pro expozici osob pulzům kratším než 30 μ s při frekvenci 300 MHz až 10 GHz se doporučuje zavést dodatečné omezení 10 mJ/kg průměrovaných pro 10g tkáně pro měrnou absorbovanou energii.

V USA bylo rozhodnuto, že hranice nebezpečné absorpce elektromagnetické energie je v biologické tkáni na úrovni SAR = 4 W/kg. Pokud je biologická tkáň vystavena expozici o větší hodnotě SAR, dochází k zahřívání tkáně. Při bezpečnostním faktoru 10 pak byla zvolena hranice hygienické hodnoty SAR = 0,4 W/kg. Přísnější požadavky pro limity jsou ve frekvenčním intervalu 30 až 300 MHz, jelikož v pásmu desítek MHz dochází k rezonanci těla

dospělého člověka. V pásmu stovek MHz pak dochází k rezonanci těla u dětí. Při rezonanci by se mohla absorbovaná energie několikanásobně zvýšit, proto je zde norma přísnější. Grafy na obrázcích 2.1 a 2.2 znázorňují v logaritmicko-logaritmickém měřítku závislost přípustných hodnot SAR na frekvenci v USA a v Evropě. [13][14]



Obrázek 2.1: Hygienické norma ANSI pro vysokofrekvenční elektromagnetické pole.



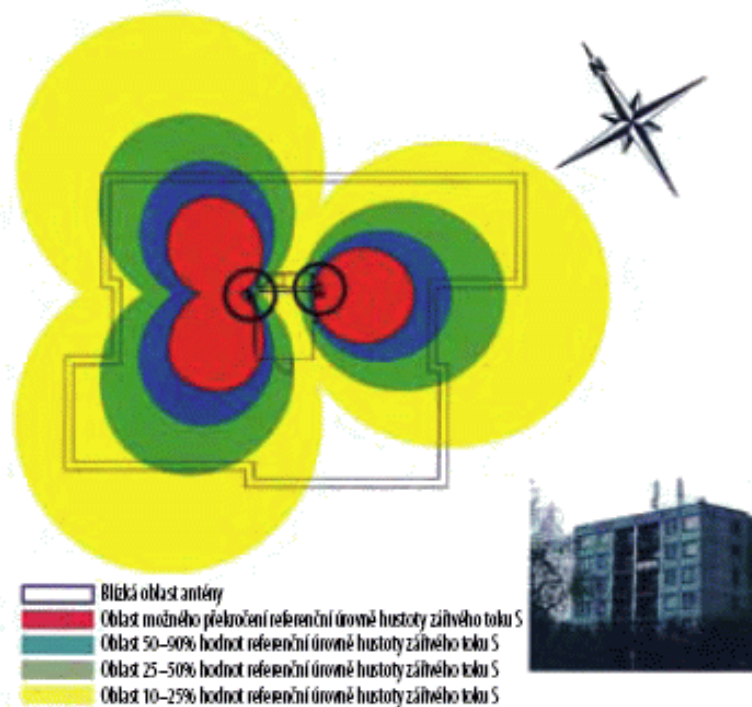
Obrázek 2.2: Hygienické norma EU pro vysokofrekvenční elektromagnetické pole.

Celosvětovým trendem pro ochranu obyvatelstva je tyto hodnoty co nejvíce sjednocovat. V rámci Evropy je touto sjednocující směrnici "Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/40/ES ze dne 29. dubna 2004 o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví před expozicí zaměstnanců rizikům spojeným s fyzikálními činiteli

(elektromagnetickými poli). Ta pomáhá zajistit jednotné normy expozice záření ve všech členských státech Evropské unie.

2.3 Nařízení vlády č. 1/2008 Sb. v praxi

I přes stanovené limity se objevují stížnosti na nepříznivé dopady elektromagnetických polí od lidí bydlících v blízkosti základových stanic GSM. Berme v úvahu standardní základovou stanicí Vodafone, jejíž hustota zářivého toku je $4,9046 \text{ W/m}^2$ při 100% referenční hodnotě, což odpovídá intenzitě 43 V/m ve vzdálenosti 5,1 m v hlavním směru antény. Obrázek č. 3.1 názorně zobrazuje vyzařování základové stanice GSM rozdělené do oblastí podle referenčních úrovní zářivého toku. Dle platné vládního nařízení č. 1/2008 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, je pro takovou základovou stanicí považována za bezpečnou vzdálenost od antény základové stanice větší než 5 metrů. V Praze i v dalších velkých městech však má řada občanů zdravotní problémy, pokud bydlí nejen ve vzdálenosti 5–16 m od antény, ale i větší. Stížnosti občanů zakládají mimo jiné na tom, že nařízení vlády č. 1/2008 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením desetinasobně uvolňuje limity platné vyhlášky MZ ČR č. 408/1900 Sb., které byli stanovené na základě třicetiletého výzkumu. I přesto, že se u nich objevují syndromy jako u lidí nepříznivě ovlivňovaných elektromagnetickým zářením, zůstávají tyto stížnosti nevyslyšeny, jelikož současný zákon považuje hodnoty elektromagnetických polí, kterým jsou díky základovým stanicím GSM vystavováni, z hlediska zdravotních rizik za bezpečné. [17]



Obrázek 3.1: Vyzařování základové stanice GSM. Referenční úrovně S ve čtyřech vzdálenostních zónách:

- 100% referenční hodnotě odpovídá vzdálenost 5,1 m
- 50% referenční hodnotě odpovídá vzdálenost 7,3 m
- 25% referenční hodnotě odpovídá vzdálenost 10,3 m
- 10% referenční hodnotě odpovídá vzdálenost 16,2 m

3 Spektra elektromagnetických polí

Elektromagnetické záření je běžně přítomné na naší planetě a svým působením ovlivňuje všechny živé organizmy. Z přírodních polí je to v první řadě statické geomagnetické pole Země nebo elektromagnetické záření přicházející z vesmíru, které je generováno například Sluncem. Charakteristickou vlastností živých organismů je schopnost se přizpůsobovat okolním podmínkám a tudíž i těmto zářením. Například fotosyntéza je proces, který při nedostatku elektromagnetického záření nebude vůbec probíhat. Lidskou činností v posledním století začíná vznikat mnoho umělých zdrojů elektromagnetických polí, které mají různý vliv na živé organizmy. Přehled složek elektromagnetického záření je v tabulce 3.1.

druh záření		λ [m]	frekvence [Hz]
rádiové	dlouhé vlny (DV)	$10^4 - 10^3$	$3 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^5$
	střední vlny (SV)	$10^3 - 10^2$	$3 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^6$
	krátké vlny (KV)	$10^2 - 10^1$	$3 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^7$
	VKV (VHF)*	10 - 1	$3 \cdot 10^7 - 3 \cdot 10^8$
	mikrovlny (UHF)**	$1 - 10^{-1}$	$3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^9$
	mikrovlny (SHF)***	$10^{-1} - 10^{-3}$	$3 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$
		λ [nm]	frekvence [Hz]
optické	infračervené	$10^6 - 760$	$3 \cdot 10^{11} - 3,9 \cdot 10^{14}$
	světlo	760 - 380	$3,9 \cdot 10^{14} - 7,9 \cdot 10^{14}$
	ultrafialové	380 - 1	$7,9 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{17}$
rentgenové		$5 - 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{20}$
záření gama		$10^{-2} - 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{19} - 3 \cdot 10^{22}$
*VHF - very high frequency **UHF ultra high frequency ***SHF - super high frequency			

Tabulka 3.1: Přehled elektromagnetického záření dle vlnové délky a frekvence. Pro obsah této práce jsou nejdůležitější rádiová a optická spektra, se kterými se setkáváme na Zemi nejčastěji.

3.1 UV záření

UV záření můžeme dle tabulky 3.2 rozdělit do 3 skupin dle tabulky. Zdrojem UV záření je obecně hmota zahřátá na vysokou teplotu, poskytující spojité vlnové spektrum. Přírodním zdrojem tohoto záření pro Zemi je Slunce. Umělým zdrojem tohoto záření je elektrický obluk, xenonové a rtuťové výbojky.

typ UV záření	λ [nm]
UV-A	320 - 400
UV-B	280 - 320
UV-C	pod 280

Tabulka 3.2: Skupiny UV záření dle vlnové délky.

3.1.1 UV-A, UV-B

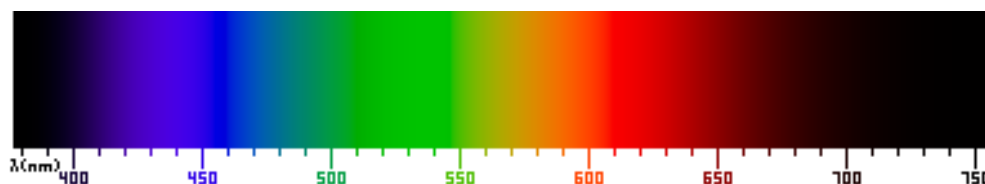
UV-A a UV-B jsou minimálně pohlcovány zemskou atmosférou a tvoří přes 99 % celkového UV záření dopadajícího na Zemi. Při působení těchto záření na člověka dochází k pigmentaci pokožky. Jedná se o obranný mechanismus organismu, který zabraňuje průchodu UV záření do hlubších vrstev kůže. Při vyšších dávkách dochází k nekróze kůže. Dlouhodobé působení vyvolává rychlejší stárnutí kůže a vznik karcinomů. Nejcitlivější povrchovou tkání je spojivka, kde může docházet k zánětům. Pokud záření pronikne do hlubších vrstev oka může dojít až k oslepnutí, což je nebezpečné zejména u profesionální expozice (např. sváření elektrickým obloukem). UV záření má však pro i pozitivní vliv. Při ozáření kůže vlnovými délkami okolo 300 nm vzniká v povrchových kapilárách z cholesterolu kolující v krvi provitamin, který dokáže organismus dle potřeby proměnit na vitamín D. Dále má příznivý vliv na některá neinfekční onemocnění kůže (např. lupénka). [5]

3.1.2 UV-C

UV-C je biologicky nejškodlivější, je však filtrováno s vysokou účinností ozonem v horní části atmosféry a tak má minimální vliv na organizmy. Toto záření je využíváno prostřednictvím germicidních lamp, jelikož narušuje buněčné struktury, a je účinné při hubení bakterií, plísní a jiných mikroorganismů. Využívá se především dezinfekci vzduchu a povrchů např. zdravotnických nástrojů. [6][7]

3.2 Viditelné záření (světlo)

Viditelné světlo je elektromagnetické záření s vlnovou délkou 760–390 nm a je viditelné pro oko jako různé barvy (obrázek 3.1). Vyskytuje se v rozmezí od infračerveného po ultrafialové záření. Hraje důležitou roli při fotosyntéze a má vliv na životní funkce živočichů a to jak krátkodobě, tak dlouhodobě. Díky neustálému střídání světla a tmy, během vývoje člověka, se řada biologických funkcí v těle mění v rytmu odpovídajícímu tomuto střídání. Při deficitu denního světla vznikají charakteristické příznaky a obtíže popsané jako sezónní rozladění organismu - syndrom SAD (zvýšená únava, ospalost, snížená aktivita a výkonnost, apatie, růst tělesné hmotnosti, bolesti hlavy atd.). Byl také dokázán vliv na psychiku člověka. V lékařství je využívána léčebná metoda ozařování světlem nazvaná "léčba světlem" a používá se například u novorozenců při hyperbilirubinémii (novorozenecká žloutenka). Hraje také strategickou roli při návrzích na osvětlování budov. [8]



Obrázek 3.1: Spektrum vlnových délek viditelného světla. Různé vlnové délky světla vidíme jako barvy od nejkratších - fialová po nejdelší - červená. [9]

3.3 Infračervené záření

Oproti předchozím dvěma, IR záření zabírá poměrně velkou část elektromagnetického spektra. Navazuje na červenou oblast viditelného světla a jde až do milimetrových vlnových délek mikrovln. Umožňuje přenos tepelné energie na různé povrchy bez zahřátí okolního vzduchu. Má zcela nezastupitelný význam pro naprostou většinu známého života na Zemi. Zemský povrch vyzařuje mnoho energie jako infračervené záření, IR záření rozdělujeme na tři typy dle tabulky 3.3 a k jeho definování se využívá vodní absorpce.

typ IR záření	λ [μm]	popis
IR-A	0,76 – 1,4	Blízké pásmo, které je obsaženo například ve slunečním záření. Jedná se o poměrně pronikavé záření a je vodou minimálně absorbováno.
IR-B	1,4 – 3	Střední pásmo, generované žárovkami a zářivkami. Dobře proniká například sklem, ovšem vodou je téměř pohlceno.
IR-C	≥ 3	Dlouhovlnné pásmo, které vyzařují topná tělesa. Tento typ záření je pohlcován jak sklem, tak vodou.

Tabulka 3.3: Skupiny IF záření dle vlnové délky a jejich popis. [15]

Většina infračerveného záření je pohlcována pokožkou, do podkoží proniká jen část IR-A. Svým působením zvyšuje prokrvení kůže. Tím, že vyvolává vzestup průtoku krve v oblasti vystavené jeho vlivu, se v daném místě jednak zlepšuje přísuv živin, krevních elementů a odvod metabolických zplodin, ale také dochází ke zvýšení teploty hlouběji uložených tkání, především svalů. Brzy po expozici se objevuje tepelný erytém v podobě skvrn, které po skončení ozařování zmizí. V oku může způsobit šedý zákal. Při profesní expozici (skláři, slévači aj.) je pravidlem používat ochranné brýle. [10]

Poté co zemský povrch absorbuje viditelné záření ze Slunce, vyzáří množství energie jako IR záření zpět do vesmíru. Některé plyny v atmosféře, zvláště pak vodní páry, ho absorbují a vyzáří zpět ve všech směrech, tudíž i zpět k zemskému povrchu. Díky tomuto jevu, nazvanému "skleníkový efekt", je zemský povrch o 33 °C teplejší, než kdyby se plyny pohlcující IR záření v atmosféře nenacházely. [11]

3.4 Mikrovlny

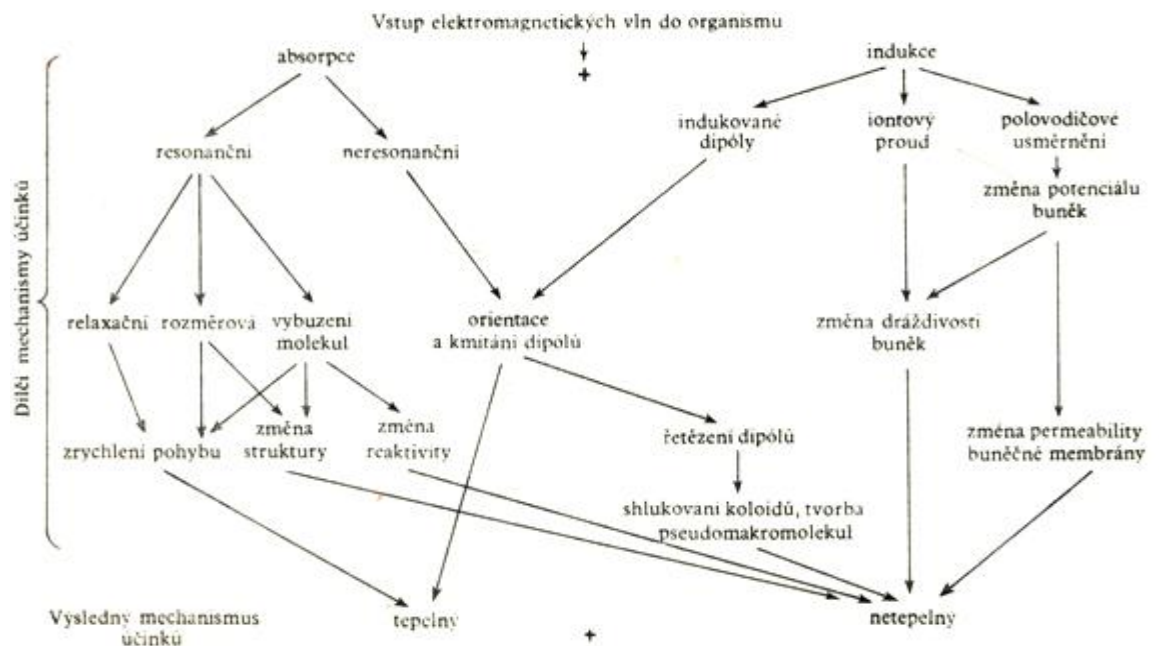
Mikrovlny jsou elektromagnetické vlny o vlnové délce od 1 mm do 1 m. Při interakci s biologickou tkání se mikrovlnná energie v těle člověka absorbuje a zahřívá exponovanou tkáň. Vzestup teploty tkáně v mikrovlnném poli vysvětluje teorie mikrovlnného ohřevu tzv. mechanismem polární rotace a iontovým pohybem, související především s obsahem vody a rozpuštěných solí. Mikrovlny jsou díky svým dobrým přenosovým vlastnostem velmi využívány a to především pro vysílání televize, radarů, vzdušnou a námořní navigaci, telekomunikaci, ale také v lékařství a při zpracování pokrmů (mikrovlnná trouba). [12]

Negativní účinky mikrovln byly podrobněji zkoumány zvláště v souvislosti s ohřevem jídel a jejich použitím v domácnostech. Bylo prokázáno, že mikrovlny znehodnocují potraviny, podstatně urychlují strukturální rozpad potravin a zhoršují jejich stravitelnost. Dále bylo prokázáno, že mikrovlny snižují elektrické napětí v buňkách, čímž zhoršují přenosy energie a živin v různých procesech organismu. Dále trvající expozice může mít také za následek dlouhodobou depolarizaci tkání neuroelektrických obvodů, což může vyvolávat různé duševní poruchy. [19]

4 Biologické účinky elektromagnetických polí

Biologické účinky elektromagnetických polí mohou být buďto tepelné nebo netepelné, to závisí na jeho charakteru, době působení a také na vlastnostech organismu na který působí. Výsledný mechanismus účinků je dán množstvím primárních nezávislých účinků. Komplexnost výsledného účinku nejlépe popisuje obrázek 4.1.

Nezanedbatelné tepelné účinky pro organismus vznikají při působení elektromagnetického záření s frekvencí vyšší než 100 KHz. Tepelný efekt je vyvolán zvýšením teploty systému při zvětšeném pohybu molekul vlivem nárazů a tření při působení elektromagnetického pole. Tepelný efekt je doprovázen netepelným a není mezi nimi ostrá hranice. Charakter netepelných účinků se dá nejlépe vystihnout jako účinek plynoucí z primárně nepohybových mechanismů při vystavení elektromagnetickému záření. Často se netepelným účinkem myslí účinek pole o tak malé intenzitě, která nevyvolá znatelné zvýšení teploty ozařovaného objektu, to ovšem nevystihuje podstatu jevu. Elektricky nabitě částice ať už ionty, molekuly s dipólem či kolidní částice, vždy vykonávají ve střídavém poli pohyb. Součástí biologických systémů jsou iontové a kolidné roztoky, včetně molekul s dipólem (především voda, ale i organické sloučeniny, např. amino-kyseliny), proto v těchto systémech nikdy nelze oddělit tepelný efekt od netepelného. Pokud se změní potenciál buňky, změní se i její mikrostruktura. To se pravděpodobně projeví na jejích vlastnostech. Je-li to buňka řídicí (nervová), může být ovlivněna činnost i jiných buněk v organismu. Za vhodných podmínek (vodivost, dielektrické konstanta, kmitočet, intenzita a charakter pole), a při specifických vlastnostech organismu může netepelný dokonce převládat nad tepelným. [1]



Obrázek 4.1: Některé dílič mechanismy a biologických účinků radiovln a jejich vztahy. Ze souvislostí je patrná komplexnost výsledného mechanismu účinků.

4.1 Vnik elektromagnetického vlnění do organismů

Při dopadu vysokofrekvenční energie na povrch těla, dochází k jejímu odrazu a průniku do hloubky organismu za současného pohlcování. To závisí na elektrických vlastnostech tkání na které dopadá. Při průchodu tkání se mění rychlost šíření a s ní i vlnová délka. Nachází-li se v elektrickém poli dipól, dojde k jeho orientaci, bude-li pole střídavé, bude dipól kmitat v rytmu jeho kmitočtu. Čím více bude spotřebováno energie k jeho kmitání, tím dojde k většímu zvýšení teploty. Spotřeba energie je dána dipólovým momentem. Stejně tak působí i frekvence, neboť se zvyšuje rychlost kmitání molekul. Výkon takto spotřebovaný v jednotce objemu tkáně (W/cm^3) je dán vztahem $N_0 = 0,556 * f * E^2 * \varepsilon * tg\delta$, kde $tg\delta$ je ztrátový činitel. Z tohoto vztahu lze, že tepelný efekt roste s intenzitou a frekvencí pole. Díky termoregulaci je však frekvenční závislost méně význačná, vyšší vliv začne mít až u velkých intenzit polí.

Další způsob vnikání vysokofrekvenční energie do organismu je elektromagnetická indukce. V organismu vyvolá elektromagnetické pole vznik iontových proudů. Existuje domněnka, že pod jejich vlivem se zvyšuje koncentrace iontů v blízkosti buněčných membrán, což způsobuje jejich shlukování. Změna koncentrace iontů způsobí změnu

biologických vlastností buněk. Při působení elektrického pole na nabitou částici dojde tedy k jejímu nucenému pohybu. To znamená, že se změní uspořádání celého systému. Po odstranění pole trvá systému určitý čas, aby se navrátil do svého původního stavu, tato doba je označována jako doba relaxace $\tau = (Ra^2)/2kT$, kde R je koeficient tření částic za daných podmínek, a je poloměr iontové atmosféry, k je Boltzmanova konstanta a T je absolutní teplota. U bílkovin je relaxační doba ve vodném roztoku v řádu 10^{-7} s. To jakou měrou bude organizmus absorbovat elektromagnetické záření závisí na mnoha faktorech. Seznam těch nejdůležitějších je v tabulce 4.1.

Hlavní faktory ovlivňující absorpci a účinky EM záření
dielektrické vlastnosti tkáně
geometrický tvar a rozměr tkáně
prostorové rozložení tkáně
orientace a polarizace elektromagnetického pole
kmitočet elektromagnetického pole
zdroj záření elektromagnetického pole
délka trvání experimentu
intenzita elektrického resp. magnetického pole

Tabulka 4.1: Hlavní faktory ovlivňující absorpci EM záření.

Obecně platí, že organizmus ovlivňuje škodlivě pole s intenzitou nad 10 V/m. Mnohé procesy jsou však mnohem citlivější. Například rychlost buněčného dělení roste při intenzitě pole 10^{-4} V/m a klesá při hodnotách nad 0,1 V/m. Samotná intenzita však nemůže být ukazatelem sama o sobě, jelikož organizmus má jistou schopnost obrany, závisící také na časovém faktoru. Její míru lze vyjádřit vztahem $K_n = f(N_n, t_n)$. Definice tohoto vztahu zní: "Schopnost organismu čelit určitému činiteli n je úměrná kvantitativní hodnotě tohoto činitele N_n (zde má význam intenzity pole resp. výkonové hustoty) a době působení t_n . Je-li hodnota funkce na pravé straně rovnice, menší než příslušná míra K_n , nemůže dojít k nepříznivému ovlivnění organismu." [1]

4.2 Vliv na lidský organizmus a ostatní obratlovce

Při pohlcování energie vysokofrekvenčních polí dochází ke zvyšování tělesné teploty, které postupuje se stoupající intenzitou a dobou ozařování. Při krátkodobém ohřevu je nejvyšší teplota na kůži a směrem do hloubky těla klesá. Při delším ohřevu stoupá teplota,

vnitřních orgánů a krve odtékající z ozářených orgánů. Při velkých intenzitách pole (40-100 mW/cm²) jsou značně poškozovány cévy a dochází k výlevům ve vnitřních orgánech.

Účinky vysokofrekvenčních polí byly testovány na zvířatech a nejcitlivějším orgánem vůči těmto zářením je oko. Při rostoucí výkonové hustotě dochází k různému stupni jeho poškození, vedoucímu až k zákalu čočky a rohovky. V praxi bylo také dokázáno, že ke vzniku zákalu u lidí stačí expozice polím s intenzitami řádově mW/cm².

Druhou nejcitlivější částí těla je nervová soustava. Lidé profesně vystavení vysokofrekvenčním polím si stěžují na bolesti hlavy, očí, mají špatný spánek, proměnlivou náladu, projevují se u nich hypochondrické reakce. Přesto, že tyto projevy jsou velmi subjektivní, sledované skupiny pracovníků jevíly shodné známky celkové skleslosti spojené s útlumem intelektuálních funkcí, především snížením paměti. Při delším působení se objevuje vyslovená lenost a neschopnost rozhodování.

Vlivem elektromagnetických polí se také značně mění celkové chování zvířat. Je možné pozorovat neklid, zvýšenou pohybovou aktivitu, vedoucí až k jejich zvýšené agresivitě. Při malých intenzitách lze naopak pozorovat jejich ospalost.

Vedle očí a nervové soustavy jsou nejcitlivější pohlavní orgány. Zvýšení jejich teploty v důsledku působení elektromagnetických polí má za následek morfologické změny. Tyto morfologické změny se pak mohou projevit snížením počtu potomstva, jeho neplodností nebo zvýšením počtu samic v potomstvu. Při expozici těmto polí v těhotenství, zvláště v počáteční fázi, hrozí zvýšené riziko potratu a to jak u zvířat, tak u lidí. [1]

4.3 Vliv elektromagnetických vln na jednoduché organizmy

Přírodní procesy na Zemi jsou hluboce propojeny a jsou velmi citlivé na poškození kterékoliv z jejich článků. Proto pro určení jejich vlivu na životní prostředí je důležité sledovat působení na každou skupinu organismů v každém článku potravního řetězce na Zemi. Při experimentech s ozařováním různých druhů hmyzu elektromagnetickým polem o vysokých frekvencích byl zaznamenán nejprve neklid, únikové reakce, při delší expozici narušení koordinace pohybu, ztuhnutí, a po určité době smrt. Rychlost těchto reakcí je dána druhem hmyzu. Účinek nelze přičítat tepelnému působení, protože pokud místo vysokofrekvenčních ozáření aplikujeme zvýšenou teplotu (50°C), je druhová citlivost opačná.

Jednobuněčné organizmy se při působení vysokofrekvenčních polí uspořádají paralelně se siločárymi pole při nižších frekvencích a při vyšších frekvencích kolmo ke směru pole. Když přestane vliv polí působit, dojde k návratu do původního stavu. Při pokusech s paremecemi bylo zjištěno, že při ozařování impulzy nebo sériemi impulzů elektrického proudu dochází k tzv. šokové reakci – prudkému zabrzdění pohybu.

Při sledování vlivu vysokofrekvenčních polí na růst, životnost a některé metabolické pochody u jednobuněčných organizmů byla zjištěna frekvenční závislost a závislost na intenzitě pole. Při nižších frekvencích nastává mírný růst, při vyšších je růst omezen, zastaven, případně dochází k uhynutí. [1]

4.4 Vliv elektromagnetických vln na rostliny

Jedním z faktorů pro správný vývoj rostlin je světlo. Některé biologické procesy v rostlinách nejsou při jeho nedostatku vůbec spuštěny. Při jeho zvýšené intenzitě z přírodních zdrojů byl dokonce pozorován 2krát až 3krát větší přírůstek dřeva u stromů. Naopak při velkých intenzitách pole umělých záření v okolí antén retranslačních stanic a v kv pojítek, je zaznamenán útlum růstu tzv. „vkv průsek“. Je to způsobeno rozdílnou rychlostí dělení buněk při působení vysokofrekvenčních polí. Při intenzitách pole 10^{-4} až 10^{-2} dochází k urychlení dělení buněk, při intenzitě 0,1 a vyšší se rychlost dělení snižuje. Současně lze pozorovat chromosomové změny. Například v buňkách rostoucí kořenové čepičky česneku byly objeveny změny v jaderném aparátu při ozáření vysokofrekvenčním polem. Došlo také k lineárnímu zkrácení chromozomů, ke vzniku pseudochiasmatu, k můstkování jader a vzniku nepravidelného chromosomového obalu. Chromosomové změny jsou závislé na frekvenci, výkonu, době expozice a na směru osy buňky vzhledem ke směru pole a jsou stálé. Z toho vyplývá, že vysokofrekvenční pole má mutagenní účinky. Přesto, že malé intenzity vysokofrekvenčního pole nepůsobí žádné pozorovatelné poškození, může docházet ke genetickým změnám, které se projeví až za několik generací. [1]

5 Závěr

Biologický účinek elektromagnetických vln závisí na řadě faktorů z nichž nejdůležitější jsou intenzita pole, jeho charakter a doba ozařování. Konečné výsledky se tedy mohou velmi lišit. Jak již bylo zmíněno dva zásadní druhy vlivů jsou: tepelný a netepelný. Tepelné účinky výrazně rostou se stoupající frekvencí a jsou tedy nejzávažnější v pásmu mikrovln. Vzhledem k malé hloubce vniku mikrovln, dané jejich velkým útlumem v tkáních, jsou nejvíce ohroženy oči a u mužů pohlavní orgány. Netepelné účinky závisí převážně na okamžité amplitudě záření. Jejich význam stoupá při opakovaném ozařování poměrně malými intenzitami pole, a zvláště pak při ozařování pulzními poli. Tepelný účinek pulzního a nemodulovaného elektromagnetického pole bude při stejné výkonové hustotě stejný, avšak při pokusech s ozařováním pulzním polem na kryších byl dokázán vliv na nervovou soustavu vedoucí k jejich uhynutí, zatímco u nemodulovaného pole nedocházelo na zvířeti k žádnému pozorovatelnému efektu.

Biologické účinky na organizmy mohou být negativní nebo pozitivní. Elektromagnetická záření dopadající na naši planetu z vesmíru, zde podporují růst a vývoj organismů, spouštějí některé biologické procesy a dá se říct, že je jim život na Zemi přizpůsoben. Umělé zdroje elektromagnetických záření, mající jiné hodnoty pole než záření z přirozených zdrojů, mohou mít nepříznivý vliv na organizmy vedoucí až k jejich uhynutí, zpomalovat jejich růst nebo způsobovat genetické mutace organismů. Pro elektromagnetická pole vyzařována umělými zdroji (komunikační kanály, generátory mikrovln, některé technologie tepelného ohřevu aj.) jsou stanoveny limitní hodnoty, při jejichž dodržování nedochází k žádnému pozorovatelnému negativnímu účinku na životní prostředí. Při neustále rostoucím počtu umělých zdrojů elektromagnetického záření je vhodné dbát opatrnosti, kontrolovat zda stanovené limity vyhovují prostředí, které je vystavováno elektromagnetickým polím a také pozorovat dlouhodobé účinky na daný biologický systém.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] MARHA, Karel *Elektromagnetické pole a životní prostředí* 1. vyd. Praha: n.p. Knihotisk, 1968. 130 s.
- [2] MAYER, Daniel *Aplikovaný elektromagnetismus: úvod do makroskopické teorie elektromagnetického pole pro elektrotechnické inženýry* 1.vyd. České Budějovice: Kopp, 2012. 531 s.
- [3] https://osha.europa.eu/fop/czech-republic/cs/legislation/files/1_2008.pdf
- [4] https://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/BUP/A5M17BUP_Vrba_skripta.pdf
- [5] <http://www.med.muni.cz/dokumenty/pdf/zareni.pdf>
- [6] http://cs.wikipedia.org/wiki/Ultraviolet%C3%A9_z%C3%A1l%C5%99en%C3%AD
- [7] <http://www.germicidni-lampy.cz/>
- [8] <http://www.tzb-info.cz/1794-vliv-svetla-a-osvetleni-na-cloveka>
- [9] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Světlo](http://cs.wikipedia.org/wiki/Sv%C4%9Btlo)
- [10] http://www.2es.cz/med/_layout/download/ir-med.pdf
- [11] http://cs.wikipedia.org/wiki/Infra%C4%8Derven%C3%A9_z%C3%A1l%C5%99en%C3%AD
- [12] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Mikrovlny>
- [13] <http://www.skyfly.cz/zajimavo/mwucinky04.htm>
- [14] https://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/BUP/A5M17BUP_Vrba_skripta.pdf
- [15] http://is.muni.cz/th/175512/prif_m/dipl_prace_staffa.pdf
- [16] http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_vlny
- [17] <http://elektro.tzb-info.cz/8572-elektromagneticke-pole-a-zdravotni-rizika-vi>
- [18] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Rychlost_světla](http://cs.wikipedia.org/wiki/Rychlost_sv%C4%9Btla)
- [19] <http://zony.vbrne.info/mikrovlny.html>

Přílohy

Příloha A - NAŘÍZENÍ VLÁDY ze dne 12. prosince 2007 o ochraně zdraví před neionizujícím zářením

NAŘÍZENÍ VLÁDY

ze dne 12. prosince 2007

o ochraně zdraví před neionizujícím zářením

Vláda nařizuje podle § 108 odst. 3 zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, § 21 písm. a) zákona č. 309/2006 Sb., kterým se upravují další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v pracovněprávních vztazích a o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnosti nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy (zákon o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci), a k provedení zákona č. 262/2006 Sb., zákoník práce, ve znění pozdějších předpisů:

ČÁST PRVNÍ

PŘEDMĚT ÚPRAVY

§ 1

(1) Toto nařízení zapracovává příslušný předpis Evropských společenství¹⁾ a upravuje

- a) hygienické limity neionizujícího záření, metody a způsob jejich zjišťování a hodnocení a minimální rozsah opatření k ochraně zdraví při práci,
- b) nejvyšší přípustné hodnoty expozice fyzických osob v komunálním prostředí (dále jen „ostatní osoby“) neionizujícímu záření, způsob jejího zjišťování a hodnocení,
- c) hodnocení rizika neionizujícího záření ve frekvenční oblasti od 0 Hz do $3 \cdot 10^{11}$ Hz,
- d) způsob zařazení laserů do tříd a jejich označení, způsob opatření laserů výstražným textem nebo signalizací, rozsah údajů technické dokumentace laseru nezbytných pro ochranu zdraví a minimální technická a organizační opatření k omezení expozice zářením laserů,
- e) případy označení míst, ve kterých expozice může překročit nejvyšší přípustné hodnoty, výstrahou,
- f) minimální rozsah informací pro zaměstnance o ochraně zdraví při práci spojené s expozicí neionizujícímu záření.

(2) Kde toto nařízení uvádí nejvyšší přípustnou hodnotu expozice neionizujícímu záření ve vztahu k za-

městnancům, rozumí se jí hygienický limit neionizujícího záření podle zákona o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci²⁾.

(3) Toto nařízení se vztahuje také na právní vztahy týkající se ochrany zdraví při činnosti nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy s přihlédnutím k podmínkám vykonávané činnosti nebo poskytování služeb a jejich rozsahu²⁾.

(4) Toto nařízení se nevztahuje na používání zdrojů neionizujícího záření, při kterém je pacient vystaven neionizujícímu záření při poskytování zdravotní péče.

ČÁST DRUHÁ

PODMÍNKY OCHRANY ZDRAVÍ PŘI PRÁCI A PŘI ČINNOSTI NEBO POSKYTOVÁNÍ SLUŽEB MIMO PRACOVNĚPRÁVNÍ VZTAHY

§ 2

Nejvyšší přípustné hodnoty expozice neionizujícímu záření

(K § 7 odst. 7 zákona č. 309/2006 Sb.)

(1) Podle tohoto nařízení se rozumí

- a) neionizujícím zářením statická magnetická a časově proměnná elektrická, magnetická a elektromagnetická pole a záření s frekvencemi od 0 Hz do $1,7 \cdot 10^{15}$ Hz,
- b) nejvyššími přípustnými hodnotami mezní hodnoty expozice, které vycházejí přímo z prokázaných účinků na zdraví a z údajů o jejich biologickém působení a jejichž dodržování zaručuje, že osoby, které jsou vystaveny neionizujícímu záření, jsou chráněny proti všem známým zdravotním škodlivým účinkům,
- c) referenčními hodnotami velikosti přímo měřitelných parametrů, kterými jsou intenzita elektrického pole, intenzita magnetického pole, magnetická indukce a hustota zářivého toku.

¹⁾ Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/40/ES ze dne 29. dubna 2004 o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví před expozicí zaměstnanců rizikům spojeným s fyzikálními činiteli (elektromagnetickými poli).

²⁾ Zákon č. 309/2006 Sb.

(2) Referenční hodnoty a nejvyšší přípustné hodnoty jsou upraveny v příloze č. 1 k tomuto nařízení.

(3) Při překročení referenčních hodnot musí být proveden výpočet nebo měření podle § 3 odst. 1. Dodržení referenčních hodnot zaručuje, že nejsou překročeny nejvyšší přípustné hodnoty.

§ 3

Postup zaměstnavatele při zjišťování a hodnocení nejvyšších přípustných hodnot

(K § 7 odst. 7 zákona č. 309/2006 Sb.
a k § 102 odst. 3 zákoníku práce)

(1) Dodržení nejvyšších přípustných hodnot modifikované proudové hustoty indukované v těle, měrného v těle absorbovaného výkonu a hustoty zářivého toku se zjišťuje výpočtem nebo měřením

- na modelech (fantómech) lidského těla nebo jeho částí, nebo
- hodnot intenzity elektrického pole, magnetické indukce, hustoty zářivého toku, kontaktního a indukovaného proudu tekoucího kteroukoli končetinou, nebo hustoty dopadnuvší zářivé energie, zjištěných pro posuzovanou situaci, a jejich srovnáním s referenčními úrovněmi těchto veličin upravenými v příloze č. 1 k tomuto nařízení, tabulkách č. 4 až 11.

(2) Referenční úrovně mohou být překročeny, jestliže se způsobem uvedeným v odstavci 1 písm. a) nebo b) prokázalo, že nejsou překročeny nejvyšší přípustné hodnoty.

(3) Výpočet nebo měření podle odstavce 1 ani hodnocení podle § 4 nemusí zaměstnavatel provést, je-li práce se zdrojem neionizujícího záření vykonávána na pracovišti přístupném veřejnosti, pokud již zaměstnavatel provedl hodnocení expozice ostatních osob neionizujícímu záření podle § 7, z něhož vyplývá, že pro zaměstnance jsou dodržovány nejvyšší přípustné hodnoty a jsou vyloučena bezpečnostní rizika.

§ 4

Hodnocení rizika neionizujícího záření

(K § 102 odst. 4 zákoníku práce)

Při hodnocení rizika neionizujícího záření ve frekvenční oblasti od 0 Hz do $3 \cdot 10^{11}$ Hz zaměstnavatel přihlíží zejména

- k intenzitě, frekvenčnímu spektru, trvání a typu expozice,
- k nejvyšším přípustným hodnotám a referenčním úrovním podle přílohy č. 1 k tomuto nařízení,
- ke všem účinkům na zdraví a bezpečnost obzvláště ohrožených zaměstnanců, zejména mladistvých zaměstnanců a těhotných zaměstnankyň,

d) ke všem nepřímým účinkům, jakými jsou

- rušení elektronických a zdravotnických přístrojů a zařízení včetně kardiostimulátorů a jiných implantovaných lékařských elektronických zařízení,
 - rizika spojená s vymrštěním feromagnetických předmětů působením statického magnetického pole s magnetickou indukcí vyšší než 3 mT,
 - nebezpečí zážehu elektricky ovládaných detonátorů,
 - požáry a exploze v důsledku zapálení hořlavých materiálů jiskrami způsobenými indukovanými nebo kontaktními proudy nebo jiskrovými výboji,
- e) k existenci záložního zařízení určeného ke snížení expozice elektromagnetickým polím,
- f) k odpovídajícím informacím získaným ze zdravotního dohledu prováděného zařízením závodní preventivní péče včetně zveřejněných informací,
- g) k expozici z několika zdrojů,
- h) k současné expozici polím s různými kmitočty.

§ 5

Minimální rozsah opatření k ochraně zdraví zaměstnanců

(K § 7 odst. 7 zákona č. 309/2006 Sb.)

(1) Expozice zaměstnance elektrickým nebo magnetickým polím a elektromagnetickým zářením s frekvencí od hodnoty 0 Hz do hodnoty $3 \cdot 10^{11}$ Hz se omezuje tak, aby modifikovaná proudová hustota indukovaná v těle, měrný v těle absorbovaný výkon a hustota zářivého toku elektromagnetické vlny s frekvencí vyšší než 10^{10} Hz dopadající na tělo nebo na jeho část, nepřekročily nejvyšší přípustné hodnoty upravené v příloze č. 1 k tomuto nařízení.

(2) Expozice zaměstnanců neionizujícímu záření s frekvencí od hodnoty $3 \cdot 10^{11}$ Hz do hodnoty $1,7 \cdot 10^{15}$ Hz (infračervené, viditelné a ultrafialové záření) z jiných než přírodních zdrojů se omezuje tak, aby hustota zářivého toku a hustota zářivé energie dopadající na tělo nebo na jeho část nepřekročily pro zaměstnance nejvyšší přípustné hodnoty upravené v přílohách č. 2 a 3 k tomuto nařízení.

§ 6

Minimální rozsah informací poskytnutých zaměstnanci k ochraně zdraví při práci

[K § 103 odst. 1 písm. f) zákoníku práce]

Zaměstnancům, kteří vykonávají práce spojené s expozicí neionizujícímu záření, musí zaměstnavatel poskytnout k ochraně zdraví při práci vždy informace o

- opatřeních přijatých na základě tohoto nařízení,

nejvyšších přípustných hodnotách, způsobu jejich stanovení, jakož i o možných rizicích, která vyplývají z jejich překročení,

- b) výsledcích zjišťování a hodnocení,
- c) způsobech, jak rozpoznat zdraví škodlivé účinky expozice a jak je ohlašovat,
- d) bezpečných pracovních postupech vedoucích ke snižování rizik souvisejících s expozicí neionizujícím záření.

ČÁST TŘETÍ

PODMÍNKY OCHRANY ZDRAVÍ OSTATNÍCH OSOB

§ 7

Nejvyšší přípustné hodnoty expozice a postup osoby, která používá nebo provozuje zdroj neionizujícího záření při zjišťování a hodnocení expozice ostatních osob

(K § 35 zákona č. 258/2000 Sb.)

(1) Pro zjištění a hodnocení expozice ostatních osob platí § 2 odst. 1 písm. b) a c) a odst. 2 a 3, § 3, § 4 písm. b) a § 5 obdobně.

(2) Místa přístupná veřejnosti, ve kterých jsou podle hodnocení expozice ostatních osob překročeny referenční hodnoty v pásmu frekvencí 0 Hz – 300 Hz zjištěné podle § 3, musí být označena výstrahou upozorňující fyzické osoby používající kardiostimulátor na možné riziko.

ČÁST ČTVRTÁ

LASERY A OCHRANA ZDRAVÍ ZAMĚSTNANCŮ A OSTATNÍCH OSOB

§ 8

Zařazení laserů do tříd

(K § 36 zákona č. 258/2000 Sb.)

(1) Do I. třídy se zařadí lasery, které nepřekračují limity přístupné emise upravené v příloze č. 3 k tomuto nařízení, tabulce č. 8, a lasery zakrytované tak, že se jejich záření buď vůbec nedostane ven z krytu nebo je zeslabené natolik, že jeho parametry odpovídají limitu přístupné emise pro laser třídy I a buď není možné kryt sejmout bez použití nástrojů, nebo je při snímání krytu vyzařování laseru včas automaticky přerušeno.

(2) Do II. třídy se zařadí lasery vyzařující viditelné světlo, jehož zářivý tok překračuje limity upravené v příloze č. 3 k tomuto nařízení, tabulce č. 8, avšak nepřekračuje limity přístupné emise upravené v příloze č. 3 k tomuto nařízení, tabulce č. 9.

(3) Do IIIa. třídy se zařadí lasery, jejichž limity přístupné emise překračují hodnoty pro zařazení do II. třídy, avšak nepřekračují hodnoty upravené v příloze č. 3 k tomuto nařízení, tabulce č. 10.

(4) Do IIIb. třídy se zařadí lasery, u kterých není překročen limit přístupné emise upravený v příloze č. 3 k tomuto nařízení, tabulce č. 11 a nespádají do nižší třídy.

(5) Do IV. třídy se zařadí lasery, u kterých parametry vystupujícího záření překračují limitní hodnoty přístupné emise pro IIIb. třídy.

(6) Lasery, které mohou vyzařovat na více vlnových délkách, se zařazují do třídy odpovídající použití, při němž je nejvyšší riziko poškození zdraví.

§ 9

Výstražné texty nebo signalizace laserů

(K § 36 zákona č. 258/2000 Sb.)

(1) Na laserech, které jsou opatřeny krytem, se vyznačí zákaz snímání krytu. Pokud je zapotřebí jejich kryt sejmout, například při opravě, zachází se s nimi při sejmutém krytu jako s lasery třídy, odpovídající parametrům záření, uvedeným v jejich technické dokumentaci.

(2) Lasery zařazené do třídy IIIb. a IV. se vybaví signalizací chodu, a to světelnou nebo akustickou, pokud je pro podmínky jejich použití vhodnější. Světelná signalizace se upraví tak, aby byla v činnosti již při zapojení napájecích zdrojů. Barva signálního světla musí být vybrána tak, aby světlo bylo viditelné i přes ochranné brýle.

§ 10

Údaje technické dokumentace nezbytné pro ochranu zdraví

(K § 36 zákona č. 258/2000 Sb.)

Ke každému laseru musí být připojena technická dokumentace, v níž jsou obsaženy tyto údaje:

- a) vlnová délka a druh laserového aktivního prostředí; jde-li o lasery vyzařující větší počet vlnových délek, udávají se všechny vyzařované vlnové délky,
- b) režim generování laserového záření, a to spojitý, impulsní nebo impulsní s vysokou opakovací frekvencí,
- c) průměr svazku záření na výstupu laseru a jeho rozbíhavost, u sbíhavého svazku také jeho nejmenší průměr,
- d) u laserů generujících záření
 1. ve spojitém režimu největší zářivý tok,
 2. v impulsním režimu zářivá energie v jednom impulsu, nejdelší a nejkratší trvání jednoho impulsu, největší a nejmenší opakovací frekvence impulsů,

3. v impulsním režimu s vysokou opakovací frekvencí údaje jako v bodu 2 a dále největší střední zářivý tok vystupujícího záření,
- e) zařazení laseru do třídy,
- f) údaje o jiných faktorech než záření, vznikajících při chodu laseru, které by mohly nepříznivě ovlivnit pracovní podmínky nebo zdraví,
- g) návod ke správné montáži a instalaci, včetně stavebních a prostorových požadavků,
- h) návod k obsluze za běžných i mimořádných situací, návod k údržbě, a je-li to zapotřebí, důležitá upozornění, jako je zákaz snímání krytu u laserů opatřených krytem nebo upozornění na nebezpečí vyplývající z pozorování paprsku optickými pomůckami,
- i) výrobní číslo laseru a rok jeho výroby, obchodní firma nebo název a sídlo výrobce, jde-li o právnickou osobu, nebo jméno, příjmení nebo obchodní firma a místo podnikání výrobce, jde-li o fyzickou osobu.

§ 11

Minimální technická a organizační opatření k omezení expozice zaměstnanců a ostatních osob zářením laserů

[K § 35 odst. 2 písm. a) zákona č. 258/2000 Sb.
a k § 7 odst. 7 zákona č. 309/2006 Sb.]

(1) Lasery zařazené do třídy IIIb. a IV. se zabezpečí proti uvedení do chodu nepovolanou osobou. Prostory určené pro jejich provozování se označí výstrahou a zákazem vstupu nepovolaných osob. Pokud je to s ohledem na způsob využívání laseru možné, odstraní se z dráhy paprsku všechny předměty, na nichž by mohlo dojít k nekontrolovaným odrazům paprsku, a paprsek se ukončí matným terčem s malým činitelem odrazu. Není-li možné zajistit chod paprsku tak, aby ne-

zasáhl sklo v oknech, zakryjí se okna materiálem nepropouštějícím záření použité vlnové délky. Nestačí-li tato opatření vyloučit zásah očí nebo kůže přímým nebo odraženým zářením překračujícím nejvyšší přípustné hodnoty, musí zaměstnanec nebo ostatní osoby, které může laserové záření zasáhnout, použít při provozu laseru příslušné ochranné pomůcky.

(2) Lasery zařazené do IV. třídy se dále umístí do prostorů zabezpečených technickými prostředky tak, aby do nich byl zamezen vstup nepovolaných osob při chodu laseru. Dráha paprsku a přístup k ní se upraví tak, aby nemohlo dojít k nahodilému zásahu očí nebo kůže zaměstnanců nebo ostatních osob přímým, zrcadlově nebo difúzně odraženým zářením, překračujícím nejvyšší přípustnou hodnotu. Není-li možné ani těmito opatřeními vyloučit zásah očí nebo kůže zářením překračujícím nejvyšší přípustné hodnoty, musí být použity příslušné ochranné pomůcky. U vstupu do prostorů uvedených ve větě první se umístí světelná signalizace chodu laseru. U impulsních laserů se zajistí, aby byla při vypnutí přívodu elektrické energie vybita akumulovaná energie do zátěže.

ČÁST PÁTÁ

ZÁVĚREČNÁ USTANOVENÍ

§ 12

Zrušovací ustanovení

Nařízení vlády č. 480/2000 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, se zrušuje.

§ 13

Účinnost

Toto nařízení nabývá účinnosti dnem 30. dubna 2008.

Předseda vlády:

Ing. **Topolánek** v. r.

Ministr zdravotnictví:

MUDr. **Julínek**, MBA v. r.

Nejvyšší přípustné hodnoty a referenční hodnoty

1. Nejvyšší přípustné hodnoty pro modifikovanou proudovou hustotu indukovanou v centrálním nervovém systému elektrickým a/nebo magnetickým polem s frekvencí f v intervalu od 0 Hz do 10 MHz jsou stanoveny v tabulce č. 1.

Tabulka č. 1

Modifikovaná indukovaná proudová hustota J_{mod}^* – nejvyšší přípustné hodnoty			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
frekvence f [Hz]	J_{mod} [A.m ⁻²]	frekvence f [Hz]	J_{mod} [A.m ⁻²]
300 - 10 ⁷	$\sqrt{2} \cdot 0.01$ ^{a)}	0 - 10 ⁷	pětkrát nižší než nejvyšší přípustná hodnota pro zaměstnance

a) Maximum absolutní hodnoty modifikované proudové hustoty v centrálním nervovém systému nesmí v žádném časovém okamžiku překročit nejvyšší přípustnou hodnotu; v ostatních částech trupu nesmí modifikovaná proudová hustota překročit pětinašobek nejvyšší přípustné hodnoty uvedené v tabulce č. 1 pokud je frekvence vyšší než 1 Hz.

* Modifikovaná proudová hustota J_{mod} je definována jako proudová hustota, tj. proud tekoucí kolmo k rovinné ploše s obsahem 100 mm² dělený obsahem této plochy, která je modifikována filtrem s frekvenční charakteristikou $\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{\beta + j2\pi f}{4\beta + j2\pi f} \cdot \frac{\alpha}{\alpha + j2\pi f}$, kde $\alpha = 2000\pi \text{ s}^{-1}$, $\beta = 7 \text{ s}^{-1}$ a j je imaginární jednotka, tedy $j = \sqrt{-1}$.

2. Nejvyšší přípustné hodnoty měrného absorbovaného výkonu (SAR) jsou stanoveny v tabulce č. 2. Tyto nejvyšší přípustné hodnoty se vztahují na celkovou absorpci všech přítomných složek elektromagnetického pole v tkáních těla v intervalu frekvencí od 100 kHz do 10 GHz.

Tabulka č. 2

Měrný absorbovaný výkon (SAR)^{b)} - nejvyšší přípustné hodnoty			
Platí pro frekvence od 100000 Hz do 10 ¹⁰ Hz	Měrný absorbovaný výkon - SAR - průměrovaný přes kterýkoli šestiminutový interval a celé tělo	SAR průměrovaný přes kterýkoli šestiminutový interval a pro kterýchkoli 10 g ^{a)} tkáně s výjimkou rukou, zápěstí, chodidel a kotníků	SAR průměrovaný přes kterýkoli šestiminutový interval a pro kterýchkoli 10 g ^{a)} tkáně rukou, zápěstí, chodidel a kotníků
zaměstnanci	0,4 W/kg	10 W/kg	20 W/kg
ostatní osoby	0,08 W/kg	2 W/kg	4 W/kg

- a) 10 g tkáně uvedené v tabulce č. 2 je třeba volit ve tvaru krychle, nikoli jako plochý útvar na povrchu těla.
- b) Pro expozici osob pulsům kratším než 30 μs při frekvenci 300 MHz až 10 GHz se doporučuje zavést dodatečné omezení 10 mJ/kg průměrovaných pro 10 g tkáně pro měrnou absorbovanou energii.

Doba průměrování pro měrný absorbovaný výkon je 6 minut. Při krátkodobé expozici (kratší než 6 minut) není tedy nejvyšší přípustná hodnota měrného absorbovaného výkonu překročena, je-li pro zaměstnance splněna nerovnost

$$\sum_i (SAR_i \cdot t_i) \leq 2,4 \text{ W} \cdot \text{min} \cdot \text{kg}^{-1}$$

a pro ostatní osoby nerovnost

$$\sum_i (SAR_i \cdot t_i) \leq 0,48 \text{ W} \cdot \text{min} \cdot \text{kg}^{-1} .$$

SAR_i je měrný absorbovaný výkon při i -té expozici ve $\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$ a t_i je doba trvání i -té expozice v minutách.

3. Nejvyšší přípustné hodnoty pro hustotu zářivého toku elektromagnetické vlny z intervalu frekvencí od 10 GHz do 300 GHz, dopadající na tělo nebo na jeho část, jsou stanoveny v tabulce č. 3.

Tabulka č. 3

Hustota zářivého toku S^* – nejvyšší přípustné hodnoty			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
frekvence f [Hz]	S [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]	frekvence f [Hz]	S [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]
$> 10^{10} - 3 \cdot 10^{11}$	50	$> 10^{10} - 3 \cdot 10^{11}$	10

Doba průměrování pro frekvence 10 GHz až 300 GHz je $T_{st} = 1,92 \cdot 10^{11} / f^{1,05}$; f je v hertzech, T_{st} v minutách. S je průměrná hodnota hustoty zářivého toku dopadajícího na plochu rovnou 20 cm^2 kterékoli části těla exponované fyzické osoby. Maximální průměrná hodnota S vztážená na 1 cm^2 exponovaného povrchu nesmí při tom překročit dvacetinásobek hodnot uvedených v tabulce č. 3.

4. Referenční úrovně pro intenzitu elektrického a magnetického pole (magnetickou indukci) a pro hustotu zářivého toku, případně pro hustotu zářivé energie, uvedené v tabulkách 4 až 9, platí pro pole neporušené přítomností osob v posuzovaném prostoru. Je-li pole prostorově silně nehomogenní, srovnává se s referenční úrovní buď intenzita pole průměrovaná přes oblast odpovídající poloze páteře nebo průměrovaná přes oblast odpovídající poloze hlavy exponované fyzické osoby, nebo se pro srovnání s referenční úrovní bere hodnota v geometrickém středu této oblasti. Nepřekročení referenční hodnoty kontaktního proudu se zjistí buď přímým měřením kontaktního proudu u příslušné fyzické osoby nebo měřením proudu rezistorem napodobujícím impedanci lidského těla.
- Pokud není výslovně uvedeno jinak, jsou stanovené referenční úrovně v efektivních hodnotách příslušných veličin.

Tabulka č. 4

Referenční úrovně intenzity elektrického pole E – nepřetržitá expozice			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
frekvence f [Hz]	E [V.m ⁻¹]	frekvence f [Hz]	E [V.m ⁻¹]
< 1	– a)	< 1	– a)
1 – 8	20000	1 – 8	10000
8 – 25	20000	8 – 25	10000
25 – 820	$5 \cdot 10^5 / f$	25 – 800	$2,5 \cdot 10^5 / f$
50	10000	50	5000
820 – $3 \cdot 10^3$	610	800 – $3 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^5 / f$
$3 \cdot 10^3$ – $65 \cdot 10^3$	610	$3 \cdot 10^3$ – $150 \cdot 10^3$	87
$65 \cdot 10^3$ – 10^6	610	$150 \cdot 10^3$ – 10^6	87
10^6 – 10^7	$610 \cdot 10^6 / f$	10^6 – 10^7	$87 \cdot 10^3 / f^{0,5}$
10^7 – $4 \cdot 10^8$	61	10^7 – $4 \cdot 10^8$	28
$4 \cdot 10^8$ – $2 \cdot 10^9$	$3 \cdot 10^{-3} \cdot f^{0,5}$	$4 \cdot 10^8$ – $2 \cdot 10^9$	$1,375 \cdot 10^{-3} \cdot f^{0,5}$
$2 \cdot 10^9$ – $3 \cdot 10^{11}$	137	$2 \cdot 10^9$ – $3 \cdot 10^{11}$	61

a) referenční úroveň pro statické elektrické pole není zavedena; při pobytu v silném statickém elektrickém poli je však třeba snížit vliv nepříjemného pocitu způsobeného elektrickým nábojem indukovaným na povrchu těla a zabránit sršení výbojů z povrchu těla.

Je-li současně přítomné i pole magnetické, je pro srovnání s referenční hodnotou nutné použít vztahy uvedené v bodu 5.

Tabulka č. 5

Referenční úrovně pro magnetickou indukci B – nepřetržitá expozice			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
frekvence f [Hz]	B [T]	frekvence f [Hz]	B [T]
< 1	0,28 *	< 1	0,056 *
1 – 8	$0,2 / f^2$	1 – 8	$0,04 / f^2$
8 – 25	$0,025 / f$	8 – 25	$0,005 / f$
25 – 820	$25 \cdot 10^{-3} / f$	25 – 800	$0,005 / f$
50	$500 \cdot 10^{-6}$	50	$100 \cdot 10^{-6}$
820 – $3 \cdot 10^3$	$30,7 \cdot 10^{-6}$	800 – $3 \cdot 10^3$	$6,25 \cdot 10^{-6}$
$3 \cdot 10^3$ – $65 \cdot 10^3$	$30,7 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^3$ – $150 \cdot 10^3$	$6,25 \cdot 10^{-6}$
$65 \cdot 10^3$ – 10^6	$2 / f$	$150 \cdot 10^3$ – 10^6	$0,92 / f$
10^6 – 10^7	$2 / f$	10^6 – 10^7	$0,92 / f$
10^7 – $4 \cdot 10^8$	$0,2 \cdot 10^{-6}$	10^7 – $4 \cdot 10^8$	$0,092 \cdot 10^{-6}$
$4 \cdot 10^8$ – $2 \cdot 10^9$	$10^{-11} \cdot f^{0,5}$	$4 \cdot 10^8$ – $2 \cdot 10^9$	$4,6 \cdot 10^{-12} \cdot f^{0,5}$
$2 \cdot 10^9$ – $3 \cdot 10^{11}$	$0,45 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^9$ – $3 \cdot 10^{11}$	$0,20 \cdot 10^{-6}$

* amplituda

Při expozici jen rukou nebo nohou je přípustné referenční hodnoty zvýšit nepřímo úměrně poměru lineárního rozměru exponované části těla k lineárnímu rozměru trupu.

Je-li současně přítomné i pole elektrické, je pro srovnání s referenční hodnotou nutné použít vztahy uvedené v bodu 5.

Tabulka č. 6

Referenční úrovně pro hustotu zářivého toku* S – nepřetržitá expozice			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
Frekvence f [Hz]	S [$W \cdot m^{-2}$]	frekvence f [Hz]	S [$W \cdot m^{-2}$]
10^7 – $4 \cdot 10^8$	10	10^7 – $4 \cdot 10^8$	2
$4 \cdot 10^8$ – $2 \cdot 10^9$	$f / 4 \cdot 10^7$	$4 \cdot 10^8$ – $2 \cdot 10^9$	$f / 2 \cdot 10^8$
$2 \cdot 10^9$ – $3 \cdot 10^{11}$	50 **	$2 \cdot 10^9$ – $3 \cdot 10^{11}$	10 **

* Tato veličina je použitelná jen pro postupnou vlnu. V reaktivní zóně zdroje je nutné použít referenční úrovně pro E a B uvedené v tabulkách č. 1 a 2.

** V intervalu frekvencí od hodnoty 10 GHz do hodnoty 300 GHz je hustota zářivého toku nejvyšší přípustnou hodnotou. Doba průměrování pro frekvence 10 GHz až 300 GHz je $T_s = 1,92 \cdot 10^{11} / f^{1,05}$; f je v hertzech, doba průměrování v minutách.

5. Expozice polím s několika frekvencemi

Pro posouzení expoziční situace podle zjištěných referenčních úrovní při působení elektrického a/nebo magnetického pole s více různými frekvence se uvažuje odděleně přímá

stimulace, která se uplatňuje v intervalu frekvencí od 0 Hz do 10 MHz, a tepelné působení pole, které se uplatňuje v intervalu frekvencí od 100 kHz do 300 GHz.

Elektrická stimulace vyvolaná hustotou indukovaného elektrického proudu v tkáni nepřekračuje referenční hodnoty, splňují-li zjištěné úrovně polí nerovnosti:

$$\sum_{1 \text{ Hz}}^{1 \text{ MHz}} \frac{E_i}{E_{L,i}} + \sum_{f > 1 \text{ MHz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{E_i}{a} \leq 1$$

a

$$\sum_{1 \text{ Hz}}^{65 \text{ kHz}} \frac{B_j}{B_{L,j}} + \sum_{f > 65 \text{ kHz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{B_j}{b} \leq 1 .$$

E_i označuje intenzitu elektrického pole s frekvencí i ,

$E_{L,i}$ – referenční úroveň intenzity elektrického pole pro i -tou frekvenci,

B_j – magnetickou indukci s frekvencí j ,

$B_{L,j}$ – referenční hodnotu magnetické indukce pro j -tou frekvenci,

$a = 610 \text{ V/m}$ pro expozici zaměstnance a 87 V/m pro expozici ostatních osob,

$b = 30,7 \cdot 10^{-6} \text{ tesla}$ pro expozici zaměstnance a $6,25 \cdot 10^{-6} \text{ tesla}$ pro expozici ostatních osob.

(Konstantní hodnoty a a b jsou v tomto případě použity i pro frekvence vyšší než 65 kHz resp. 1 MHz, protože součet se týká hustot indukovaných proudů a nezahrnuje tepelné působení pole.)

Tepelné působení, které se uplatňuje při frekvencích vyšších než 100 kHz, nepřekračuje přípustnou hodnotu, jsou-li splněny nerovnosti:

$$\sum_{100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{f > 1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leq 1$$

a

$$\sum_{100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{B_j}{d} \right)^2 + \sum_{f > 1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{B_j}{B_{L,j}} \right)^2 \leq 1 .$$

$c = 610 \cdot 10^6 / f \text{ V/m}$ pro expozici zaměstnance a $87 \cdot 10^3 / f^{0,5} \text{ V/m}$ pro expozici ostatních osob, a

$d = 2 / f \text{ tesla}$ pro expozici zaměstnance a $0,92 / f \text{ tesla}$ pro expozici ostatních osob.

Frekvence f je v hertzech.

6. Krátkodobá expozice

Tepelné působení expozice elektrickému a magnetickému poli kratší než je doba určená pro průměrování, případně série krátkodobých expozic působících v době kratší než je doba určená pro průměrování, nepřekračuje referenční hodnotu, jestliže doby expozice t_i a zjištěné úrovně polí E_i a B_i z intervalu frekvencí od 100 kHz do 10 GHz splňují nerovnosti

$$\sum_i \left(E_i^2 \cdot t_i \right) \leq \left(6 \cdot E_{L,i}^2 \right) \text{ v jednotkách } (\text{V} \cdot \text{m}^{-1})^2 \cdot \text{min.}$$

a

$$\sum_i (B_i^2 \cdot t_i) \leq (6 \cdot B_{L,i}^2) \text{ v jednotkách } T^2 \cdot \text{min. (T = tesla),}$$

případně splňuje-li hustota zářivého toku téhož intervalu frekvencí nerovnost

$$\sum_i (S_i \cdot t_i) \leq (6 \cdot S_{L,i}) \text{ v jednotkách } W \cdot m^{-2} \cdot \text{min.}$$

t_i je doba i -té expozice v minutách.

Použitými symboly byly označeny:

E_i – intenzita elektrického pole během i -té expozice v jednotkách $V \cdot m^{-1}$,

B_i – magnetická indukce během i -té expozice v jednotkách tesla (T),

S_i – hustota zářivého toku během i -té expozice v jednotkách $W \cdot m^{-2}$,

$E_{L,i}$, $B_{L,i}$, $S_{L,i}$ – referenční úrovně intenzity elektrického pole, magnetické indukce a hustoty zářivého toku pro nepřetržitou expozici uvedené v tabulkách č. 1, 2 a 3.

Pro frekvence vyšší než 10 GHz se pro hodnocení krátkodobé expozice použije doba průměrování T_{st} uvedená pod tabulkou č. 6.

Okamžité hodnoty polí a zářivých toků však nesmějí překročit mezní referenční úrovně uvedené v tabulkách č. 7, 8 a 9.

Tabulka č. 7

Mezní referenční intenzita elektrického pole E_{mez} (amplituda)			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
frekvence f [Hz]	E [$V \cdot m^{-1}$]	frekvence f [Hz]	E [$V \cdot m^{-1}$]
10^5	915	10^5	130
$10^5 - 10^6$	$0,438 \cdot f^{0,67}$	$10^5 - 10^6$	$0,0605 \cdot f^{0,67}$
10^6	4226	10^6	603
$10^6 - 10^7$	$4,3514 \cdot 10^5 / f^{0,335}$	$10^6 - 10^7$	$56,03 \cdot f^{0,17}$
10^7	1952	10^7	896
$10^7 - 4 \cdot 10^8$	1952	$10^7 - 4 \cdot 10^8$	896
$4 \cdot 10^8$	1952	$4 \cdot 10^8$	896
$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$0,098 \cdot f^{1/2}$	$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$0,0448 \cdot f^{1/2}$
$2 \cdot 10^9$	4384	$2 \cdot 10^9$	1952
$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	4384	$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	1952

Tabulka č. 8

Mezní referenční hodnota magnetické indukce B_{mez} (amplituda)			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
frekvence f [Hz]	B [T]	frekvence f [Hz]	B [T]
10^5	$30 \cdot 10^{-6}$	10^5	$9,375 \cdot 10^{-6}$
$10^5 - 10^6$	$1,427 \cdot 10^{-3} / f^{0,335}$	$10^5 - 10^6$	$0,1619 \cdot 10^{-3} / f^{0,247}$
10^6	$1,385 \cdot 10^{-5}$	10^6	$5,3 \cdot 10^{-6}$
$10^6 - 10^7$	$0,001427 / f^{0,335}$	$10^6 - 10^7$	$0,1619 \cdot 10^{-3} / f^{0,247}$
10^7	$6,4 \cdot 10^{-6}$	10^7	$3 \cdot 10^{-6}$
$10^7 - 4 \cdot 10^8$	$6,4 \cdot 10^{-6}$	$10^7 - 4 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^{-6}$
$4 \cdot 10^8$	$6,4 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^{-6}$
$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$3,2 \cdot 10^{-10} f^{1/2}$	$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$1,5 \cdot 10^{-10} \cdot f^{1/2}$
$2 \cdot 10^9$	$14,4 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^9$	$6,4 \cdot 10^{-6}$
$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	$14,4 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	$6,4 \cdot 10^{-6}$

Tabulka č. 9

Mezní referenční hustota zářivého toku* S_{mez} (amplituda)			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
frekvence f [Hz]	S [W.m ⁻²]	frekvence f [Hz]	S [W.m ⁻²]
$10^7 - 4 \cdot 10^8$	10000	$10^7 - 4 \cdot 10^8$	2000
$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$25 \cdot 10^{-6} f$	$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$5 \cdot 10^{-6} \cdot f$
$2 \cdot 10^9$	50000	$2 \cdot 10^9$	10000
$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	50000	$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	10000

* Tato veličina je použitelná jen pro postupnou vlnu. V indukční zóně zdroje je třeba použít mezní referenční úrovně pro E a B uvedené v tabulkách č. 4 a 5.

7. Mezní referenční úrovně pro expozici polím s několika frekvencemi

Při expozici polím s více frekvencemi musí okamžité hodnoty intenzity elektrického pole E_i , magnetické indukce B_i a hustoty zářivého toku S_i splňovat pro všechna i nerovnosti

$$\sum_i E_i / E_{mez} \leq 1 \quad \text{a} \quad \sum_j B_j / B_{mez} \leq 1, \text{ případně}$$

$$\sum_i S_i / S_{mez} \leq 1.$$

E_{mez} , B_{mez} a S_{mez} jsou mezní referenční úrovně uvedené v tabulkách č. 7, 8 a 9.

8. Referenční úrovně pro efektivní hodnotu kontaktního proudu s frekvencí f , vznikajícího při dotyku fyzické osoby s elektricky vodivým předmětem, přičemž buď předmět nebo fyzická osoba se nacházejí v elektrickém poli nebo v časově proměnném magnetickém poli, jsou stanoveny v tabulce č. 10.

Tabulka č.10

Kontaktní proud I – referenční úrovně			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
frekvence f [Hz]	proud I [A]	frekvence f [Hz]	proud I [A]
< 2500	0,001	< 2500	0,0005
2500 – 10^5	$4 \cdot 10^{-7} \cdot f$	2500 – 10^5	$2 \cdot 10^{-7} \cdot f$
$10^5 – 1,1 \cdot 10^8$	0,04	$10^5 – 1,1 \cdot 10^8$	0,02

9. Indukovaný proud

Tabulka č.11

Referenční úrovně pro indukovaný proud i *			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
frekvence f [Hz]	indukovaný proud i [A]	frekvence f [Hz]	indukovaný proud i [A]
$10^7 – 1,1 \cdot 10^8$	0,1	$10^7 – 1,1 \cdot 10^8$	0,045

* proud tekoucí kteroukoli končetinou

10. Nepřesnost zjištěných hodnot, způsobená nepřesností výpočtu, přibližností teoretického modelu nebo nepřesností měření použitým přístrojem a podmínkami měření se pro srovnání s nejvyššími přípustnými hodnotami nebo s referenčními úrovněmi započte takto:

10.1 Je-li střední relativní chyba výpočtu nebo měření příslušné veličiny menší než 1 dB (tj. přibližně 25 % u výkonových veličin a 12,5 % u ostatních), pokládá se nejvyšší přípustná hodnota nebo referenční úroveň za dodrženu, je-li vypočtená nebo naměřená hodnota rovna nejvyšší přípustné hodnotě nebo referenční úrovni, nebo je-li nižší.

10.2 Je-li střední relativní chyba zjišťované veličiny větší než 1 dB, pokládá se nejvyšší přípustná hodnota nebo referenční úroveň za splněnou, je-li vypočtená nebo změřená hodnota příslušné veličiny nižší než její nejvyšší přípustná hodnota nebo referenční úroveň aspoň o tolik decibelů, o kolik decibelů přesahuje střední relativní chyba 1 dB. Stejně pravidlo platí, je-li pro zjištění, zda nejsou překročeny nejvyšší přípustné hodnoty nebo referenční úrovně, nutné použít kombinace dvou nebo více zjištěných hodnot podle vztahů uvedených v této příloze.

11. Upozornění: při dodržení stanovených referenčních úrovní nelze vyloučit ovlivnění některých elektronických zařízení implantovaných do těla, například kardiostimulátorů, protéz obsahujících feromagnetické materiály a podobně.

**Nejvyšší přípustné hodnoty expozice zaměstnanců a ostatních osob
ultrafialovému, viditelnému a infračervenému záření
nelaserových technologických zdrojů**

Biofyzikálně významné hodnoty expozice optickému záření je možno stanovit pomocí níže uvedených vzorců. Výběr vzorců závisí na rozsahu záření vyzářovaného zdrojem a výsledky je třeba porovnat s odpovídajícími nejvyššími přípustnými hodnotami expozice uvedenými v tabulce 1.

Označení a) až o) odkazuje na odpovídající řádky tabulky 1.

$$(a) H_{\text{eff}} = \int_0^t \int_{\lambda=180 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt \quad (H_{\text{eff}} \text{ platí pouze v rozsahu 180 nm až 400 nm})$$

$$(b) H_{\text{UVA}} = \int_0^t \int_{\lambda=315 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt \quad (H_{\text{UVA}} \text{ platí pouze v rozsahu 315 nm až 400 nm})$$

$$(c), (d) L_B(t) = \int_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} L_{\lambda}(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda \quad (L_B \text{ platí pouze v rozsahu 300 nm až 700 nm})$$

$$(e), (f) E_B(t) = \int_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda \quad (E_B \text{ platí pouze v rozsahu 300 nm až 700 nm})$$

$$(g) \text{ až } (l) L_R(t) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda}(\lambda, t) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda \quad (\text{Příslušné hodnoty } \lambda_1 \text{ a } \lambda_2 \text{ jsou uvedeny v tabulce 1})$$

$$(m), (n) E_{\text{IR}}(t) = \int_{\lambda=780 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \quad (E_{\text{IR}} \text{ platí pouze v rozsahu 780 nm až 3000 nm})$$

$$(o) H_{\text{kůžce}} = \int_0^t \int_{\lambda=380 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt \quad (H_{\text{kůžce}} \text{ platí pouze v rozsahu 380 nm až 3000 nm})$$

Pro účely této směrnice lze výše uvedené vzorce nahradit následujícími výrazy s použitím nespojitých hodnot stanovených v následujících tabulkách:

$$(a) E_{\text{eff}}(t) = \sum_{\lambda=180 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda \quad a \quad H_{\text{eff}} = \sum_{\tau=0}^{\tau=t} E_{\text{eff}}(\tau) \cdot \Delta\tau$$

$$(b) E_{UVA}(t) = \sum_{\lambda=315nm}^{\lambda=400nm} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot \Delta\lambda$$

$$a \quad H_{UVA} = \sum_{\tau=0}^{\tau=t} E_{UVA}(\tau) \cdot \Delta\tau$$

$$(c), (d) L_B(t) = \sum_{\lambda=300nm}^{\lambda=700nm} L_{\lambda}(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

$$(e), (f) E_B(t) = \sum_{\lambda=300nm}^{\lambda=700nm} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

$$(g) \text{ až } (l) L_R(t) = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda}(\lambda, t) \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

(Příslušné hodnoty λ_1 a λ_2 jsou uvedeny

v tabulce 1

$$(m), (n) E_{IR}(t) = \sum_{\lambda=780nm}^{\lambda=3000nm} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot \Delta\lambda$$

$$(o) E_{kůže}(t) = \sum_{\lambda=380nm}^{\lambda=3000nm} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot \Delta\lambda$$

$$a \quad H_{kůže} = \sum_{\tau=0}^{\tau=t} E_{kůže}(\tau) \cdot \Delta\tau$$

Použité veličiny

$E_{\lambda}(\lambda, t)$ *spektrální hustota zářivého toku*: zářivý tok na jednotku plochy kolmou ke směru šíření a na zvolený interval vlnové délky, vyjádřený ve wattech na metr čtvereční na nanometr ($W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$),

$E_{eff}(t)$ *efektivní hustota zářivého toku v rozsahu UV*: vypočtená hustota zářivého toku v rozsahu vlnových délek ultrafialového záření 180 nm až 400 nm spektrálně vážená koeficientem $S(\lambda)$, vyjádřená ve wattech na metr čtvereční ($W \cdot m^{-2}$),

H *expozice záření*: integrál hustoty zářivého toku v čase, vyjádřený v joulech na metr čtvereční ($J \cdot m^{-2}$),

H_{eff} *efektivní expozice záření*: expozice záření spektrálně vážená koeficientem $S(\lambda)$, vyjádřená v joulech na metr čtvereční ($J \cdot m^{-2}$),

$E_{UVA}(t)$ *celková hustota zářivého toku pro UVA*: vypočtená hustota zářivého toku v rozsahu vlnových délek UVA 315 nm až 400 nm, vyjádřená ve wattech na metr čtvereční ($W \cdot m^{-2}$),

H_{UVA} *expozice záření*, integrál nebo součet hustoty zářivého toku přes čas a vlnovou délku ve vlnovém rozsahu UVA 315 nm až 400 nm, vyjádřený v joulech na metr čtvereční ($J \cdot m^{-2}$),

$S(\lambda)$ *spektrální váhový koeficient* zohledňující závislost účinků UV záření na oči a kůži na vlnové délce,

- $L_{\lambda}(\lambda, t)$ *spektrální zář zdroje*, vyjádřená ve wattech na metr čtvereční na steradián na nanometr ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot nm^{-1}$),
- $R(\lambda)$ *spektrální váhový koeficient* zohledňující závislost tepelného poškození oka způsobeného viditelným nebo infračerveným zářením na vlnové délce,
- $L_R(t)$ *efektivní zář (tepelné poškození)*: vypočtená zář spektrálně vážená koeficientem $R(\lambda)$, vyjádřená ve wattech na metr čtvereční na steradián ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$),
- $B(\lambda)$ *spektrální váhový koeficient* zohledňující závislost fotochemického poškození oka způsobeného zářením modrého světla na vlnové délce,
- $L_B(t)$ *efektivní zář pro modré světlo*: vypočtená zář spektrálně vážená koeficientem $B(\lambda)$, vyjádřená ve wattech na metr čtvereční na steradián ($W \cdot m^{-1} \cdot sr^{-1}$),
- $E_B(t)$ *efektivní hustota zářivého toku v rozsahu modrého světla*: vypočtená hustota zářivého toku v rozsahu vlnových délek ultrafialového záření 300 nm až 700 nm spektrálně vážená koeficientem $B(\lambda)$, vyjádřená ve wattech na metr čtvereční ($W \cdot m^{-2}$),
- $E_{IR}(t)$ *celková hustota zářivého toku pro tepelné poškození*: vypočtená hustota zářivého toku v rozsahu vlnových délek infračerveného záření 780 nm až 3 000 nm, vyjádřená ve wattech na metr čtvereční ($W \cdot m^{-2}$),
- $E_{kůže}(t)$ *celková hustota zářivého toku pro viditelné záření, záření IRA a IRB*: vypočtená hustota zářivého toku v rozsahu vlnových délek viditelného a infračerveného záření 380 nm až 3 000 nm, vyjádřená ve wattech na metr čtvereční ($W \cdot m^{-2}$),
- $H_{kůže}$ *expozice záření*, integrál nebo součet hustoty zářivého toku přes čas a vlnovou délku ve vlnovém rozsahu viditelného a infračerveného záření 380 nm až 3 000 nm, vyjádřený v joulech na metr čtvereční ($J \cdot m^{-2}$),
- α *zorný úhel*: zorný úhel zdroje, skutečného nebo virtuálního, vytvářejícího nejmenší možný obraz na sítnici, viděného z určitého bodu v prostoru, vyjádřený v miliradiánech (mrad).

Tabulka č. 1 Nejvyšší přípustné hodnoty expozice pro nekoherentní optické záření

Index	Vlnová délka [nm]	Nejvyšší přípustná hodnota	Jednotky	Poznámka	Část těla	Riziko
a.	180 - 400 (UVA, UVB a UVC)	$H_{eff} = 30$ denní hodnota 8 hodin	[$J \cdot m^{-2}$]		oko rohovka spojivka čočka kůže	fotokeratitida zánět spojivek vznik očního zákalu erytém elastóza rakovina kůže
b.	315 - 400 (UVA)	$H_{UVA} = 10^4$ denní hodnota 8 hodin	[$J \cdot m^{-2}$]		oko - čočka	vznik očního zákalu

Index	Vlnová délka [nm]	Nejvyšší přípustná hodnota	Jednotky	Poznámka	Část těla	Riziko
c.	300 – 700 (modré světlo) viz poznámka 1	$L_B = \frac{10^6}{t}$ pro $t \leq 10\ 000$ s	L_B : [W.m ⁻² .sr ⁻¹] t: [s]	Pro $\alpha \geq 11$ mrad $L_{B,j}$ je časově střední hodnota z $L_B(t)$	oko - sítnice	fotoretinitida, zánět sítnice vlivem intenzivního světla
d.	300 - 700 (modré světlo) viz poznámka 1	$L_B = 100$ pro $t > 10\ 000$ s	[W.m ⁻² .sr ⁻¹]			
e.	300 - 700 (modré světlo) viz poznámka 1	$E_B = \frac{100}{t}$ pro $t \leq 10\ 000$ s	E_B : [W.m ⁻²] t: [s]	pro $\alpha < 11$ mrad viz poznámka 2		
f.	300 - 700 (modré světlo) viz poznámka 1	$E_B = 0,01$ t > 10 000 s	[W.m ⁻²]	$E_{B,j}$ je časově střední hodnota z $E_B(t)$		
g.	380 - 1 400 (viditelné a IRA)	$L_R = \frac{2,8 \cdot 10^7}{C_\alpha}$ Pro $t > 10$ s	[W.m ⁻² .sr ⁻¹]	$C_\alpha = 1,7$ pro $\alpha \leq 1,7$ mrad $C_\alpha = \alpha$ pro $1,7 \leq \alpha \leq 100$ mrad $C_\alpha = 100$ pro $\alpha > 100$ mrad	oko - sítnice	popálení sítnice
h.	380 - 1 400 (viditelné a IRA)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha t^{0,25}}$ Pro $10 \mu s \leq t \leq 10$ s	L_R : [W.m ⁻² .sr ⁻¹] t: [s]			
i.	380 - 1 400 (viditelné a IRA)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha}$ Pro $t < 10 \mu s$	[W.m ⁻² .sr ⁻¹]	$\lambda_1 = 380$ nm; $\lambda_2 = 1400$ nm		
j.	780 - 1 400 (IRA)	$L_R = \frac{6 \cdot 10^6}{C_\alpha}$ pro $t > 10$ s	[W.m ⁻² .sr ⁻¹]	$C_\alpha = 11$ pro $\alpha \leq 11$ mrad	oko - sítnice	popálení sítnice
k.	780 - 1 400 (IRA)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha t^{0,25}}$ pro $10 \mu s \leq t \leq 10$ s	L_R : [W.m ⁻² .sr ⁻¹] t: [s]	$C_\alpha = \alpha$ pro $11 \leq \alpha \leq 100$ mrad $C_\alpha = 100$ pro $\alpha > 100$ mrad		
l.	780 - 1 400 (IRA)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha}$ pro $t < 10 \mu s$	[W.m ⁻² .sr ⁻¹]	(zorné pole pro měření: 11 mrad) $\lambda_1 = 780$ nm; $\lambda_2 = 1\ 400$ nm $L_{R,j}$ je časově střední hodnota z $L_R(t)$		
m.	780 - 3 000 (IRA a IRB)	$E_{IR} = 18\ 000 t^{-0,75}$ pro $t \leq 1\ 000$ s	E: [W.m ⁻²] t: [s]	$E_{IR,j}$ je časově střední hodnota z $E_{IR}(t)$	oko - rohovka čočka	popálení rohovky vznik očního zákalu
n.	780 - 3 000 (IRA a IRB)	$E_{IR} = 100$ pro $t > 1\ 000$ s	[W.m ⁻²]			
o.	380 - 3 000 (viditelné, IRA a IRB)	$H_{kúže} = 20\ 000 t^{0,25}$ pro $t < 10$ s	H: [J.m ⁻²] t: [s]		kůže	popálení

Poznámka 1: Rozsah 300 nm až 700 nm zahrnuje část UVB, celé UVA a většinu viditelného záření; související rizika se však běžně označují jako rizika „modrého světla“, které zahrnuje rozsah přibližně 400 nm až 490 nm.

Poznámka 2: V případě pevné fixace velmi malých zdrojů se zorným úhlem < 11 mrad může být $L_B(t)$ převedeno na $E_B(t)$. To zpravidla platí pro oftalmologické přístroje nebo stabilizované oko během narkózy. Maximální doba „upřeného pohledu“ na zdroj se vypočte podle vzorce: $t_{max} = 100 / E_B(t)$, kde $E_B(t)$ je vyjádřeno ve $W m^{-2}$.

Tabulka č. 2 S (λ) [bezrozměrný], 180 nm až 400 nm

λ [nm]	S (λ)	λ [nm]	S (λ)	λ [nm]	S (λ)	λ [nm]	S (λ)	λ [nm]	S (λ)
180	0,0120	228	0,1737	276	0,9434	324	0,000520	372	0,000086
181	0,0126	229	0,1819	277	0,9272	325	0,000500	373	0,000083
182	0,0132	230	0,1900	278	0,9112	326	0,000479	374	0,000080
183	0,0138	231	0,1995	279	0,8954	327	0,000459	375	0,000077
184	0,0144	232	0,2089	280	0,8800	328	0,000440	376	0,000074
185	0,0151	233	0,2188	281	0,8568	329	0,000425	377	0,000072
186	0,0158	234	0,2292	282	0,8342	330	0,000410	378	0,000069
187	0,0166	235	0,2400	283	0,8122	331	0,000396	379	0,000066
188	0,0173	236	0,2510	284	0,7908	332	0,000383	380	0,000064
189	0,0181	237	0,2624	285	0,7700	333	0,000370	381	0,000062
190	0,0190	238	0,2744	286	0,7420	334	0,000355	382	0,000059
191	0,0199	239	0,2869	287	0,7151	335	0,000340	383	0,000057
192	0,0208	240	0,3000	288	0,6891	336	0,000327	384	0,000055
193	0,0218	241	0,3111	289	0,6641	337	0,000315	385	0,000053
194	0,0228	242	0,3227	290	0,6400	338	0,000303	386	0,000051
195	0,0239	243	0,3347	291	0,6186	339	0,000291	387	0,000049
196	0,0250	244	0,3471	292	0,5980	340	0,000280	388	0,000047
197	0,0262	245	0,3600	293	0,5780	341	0,000271	389	0,000046
198	0,0274	246	0,3730	294	0,5587	342	0,000263	390	0,000044
199	0,0287	247	0,3865	295	0,5400	343	0,000255	391	0,000042
200	0,0300	248	0,4005	296	0,4984	344	0,000248	392	0,000041
201	0,0334	249	0,4150	297	0,4600	345	0,000240	393	0,000039
202	0,0371	250	0,4300	298	0,3989	346	0,000231	394	0,000037
203	0,0412	251	0,4465	299	0,3459	347	0,000223	395	0,000036
204	0,0459	252	0,4637	300	0,3000	348	0,000215	396	0,000035
205	0,0510	253	0,4815	301	0,2210	349	0,000207	397	0,000033
206	0,0551	254	0,5000	302	0,1629	350	0,000200	398	0,000032
207	0,0595	255	0,5200	303	0,1200	351	0,000191	399	0,000031
208	0,0643	256	0,5437	304	0,0849	352	0,000183	400	0,000030
209	0,0694	257	0,5685	305	0,0600	353	0,000175		
210	0,0750	258	0,5945	306	0,0454	354	0,000167		
211	0,0786	259	0,6216	307	0,0344	355	0,000160		
212	0,0824	260	0,6500	308	0,0260	356	0,000153		
213	0,0864	261	0,6792	309	0,0197	357	0,000147		
214	0,0906	262	0,7098	310	0,0150	358	0,000141		
215	0,0950	263	0,7417	311	0,0111	359	0,000136		
216	0,0995	264	0,7751	312	0,0081	360	0,000130		
217	0,1043	265	0,8100	313	0,0060	361	0,000126		
218	0,1093	266	0,8449	314	0,0042	362	0,000122		
219	0,1145	267	0,8812	315	0,0030	363	0,000118		
220	0,1200	268	0,9192	316	0,0024	364	0,000114		
221	0,1257	269	0,9587	317	0,0020	365	0,000110		
222	0,1316	270	1,0000	318	0,0016	366	0,000106		
223	0,1378	271	0,9919	319	0,0012	367	0,000103		
224	0,1444	272	0,9838	320	0,0010	368	0,000099		
225	0,1500	273	0,9758	321	0,000819	369	0,000096		
226	0,1583	274	0,9679	322	0,000670	370	0,000093		
227	0,1658	275	0,9600	323	0,000540	371	0,000090		

Tabulka č. 3 B (λ), R (λ) [bezrozměrný]

λ [nm]	B (λ)	R (λ)
$300 \leq \lambda < 380$	0,01	—
380	0,01	0,1
385	0,013	0,13
390	0,025	0,25
395	0,05	0,5
400	0,1	1
405	0,2	2
410	0,4	4
415	0,8	8
420	0,9	9
425	0,95	9,5
430	0,98	9,8
435	1	10
440	1	10
445	0,97	9,7
450	0,94	9,4
455	0,9	9
460	0,8	8
465	0,7	7
470	0,62	6,2
475	0,55	5,5
480	0,45	4,5
485	0,32	3,2
490	0,22	2,2
495	0,16	1,6
500	0,1	1
$500 < \lambda \leq 600$	$10^{0,02 \cdot (450 - \lambda)}$	1
$600 < \lambda \leq 700$	0,001	1
$700 < \lambda \leq 1050$	—	$10^{0,002 \cdot (700 - \lambda)}$
$1050 < \lambda \leq 1150$	—	0,2
$1150 < \lambda \leq 1200$	—	$0,2 \cdot 10^{0,02 \cdot (1150 - \lambda)}$
$1200 < \lambda \leq 1400$	—	0,02

Nejvyšší přípustné hodnoty záření laserů

1. Nejvyšší přípustné hodnoty expozice záření laserů

Nejvyšší přípustné hodnoty expozice záření laserů pro přímý pohled do svazku nebo do svazku zrcadlově odraženého jsou upraveny v tabulce č. 1, pro pohled na difúzní rozptylující plochu ozářenou laserem v tabulce č. 2. Tabulka č. 3 upravuje nejvyšší přípustné hodnoty hustot zářivého toku, případně hustot zářivé energie pro působení laserového záření na kůži. Korekční faktory C_1 až C_5 a kritické doby T_1 a T_2 použité v tabulkách č. 1 až 3 jsou vyjádřeny vzorci v tabulkách č. 4 a 5. Kritické doby T_1 a T_2 určují, podle kterého vztahu je třeba přípustnou hodnotu záření stanovit.

2. Korekce pro opakovanou expozici

Každé ze tří následujících pravidel se použije pro všechny expozice vyskytující se u opakovaně pulzujících nebo skenujících laserových systémů.

2.1. Expozice kterémukoli jednotlivému pulsu ve sledu pulsů nesmí překročit nejvyšší přípustnou hodnotu expozice pro jeden pulz s dobou trvání uvedeného pulsu.

2.2. Expozice kterékoli skupině pulsů (nebo podskupině pulsů ve sledu) o době T nesmí překročit nejvyšší přípustnou hodnotu expozice pro čas t .

2.3. Expozice kterémukoli jednotlivému pulsu v rámci skupiny pulsů nesmí překročit nejvyšší přípustnou hodnotu expozice pro jeden pulz násobenou faktorem kumulativní tepelné korekce $C_p = N^{-0,25}$, kde N se rovná počtu pulsů. Toto pravidlo platí pouze pro nejvyšší přípustné hodnoty expozice na ochranu před tepelným poškozením, kde se všechny pulsy vyzářené za dobu kratší než T_{\min} považují za jeden pulz. Hodnota T_{\min} je definována v tabulce č. 7.

3. Svazek záření laseru, který je z úrovně oka pozorovatele viděn pod úhlem větším, než je úhel α_{\min} vyjádřený vzorcem v tabulce č. 6, se pokládá za záření plošného zdroje. Nejvyšší přípustné hodnoty záření takového zdroje jsou dány přípustnými hodnotami uvedenými v tabulkách č. 1 až 3, které se dále korigují násobením bezrozměrným faktorem C_E :

$$C_E = \alpha / \alpha_{\min} \text{ pro } \alpha_{\min} < \alpha \leq 0,1 \text{ rad}$$

$$C_E = \alpha^2 / (\alpha_{\min} \cdot \alpha_{\max}) \text{ pro } \alpha > \alpha_{\max}; \alpha_{\max} = 0,1 \text{ rad};$$

α je v radiánech

Tabulka č. 1 Nejvyšší přípustná hodnota expozice při přímém působení laserového záření na rohovku oka (přímý pohled do svazku)

Doba expozice t [s]	$< 10^{-9}$	10^{-9} až 10^{-7}	10^{-7} až $1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$ až $5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$ až 10	10 až 10^3	10^3 až 10^4	10^4 až $3 \cdot 10^4$
Vlnová délka λ [nm]	$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$							
180 až 302,5	$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$							
302,5 až 315	$3 \cdot 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$t \geq T_1$	$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		
315 až 400		$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$t < T_1$	$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
400 až 550						$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
550 až 700	$5 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$18 \cdot t^{0,75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^{-2} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^{-2} \cdot C_3$	$\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^{-2} \cdot C_3$ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
700 až 1050	$5 \cdot 10^6 \cdot C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3} \cdot C_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$18 \cdot C_4 \cdot t^{0,75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$t < T_2$			$3,2 \cdot C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
1050 až 1400	$5 \cdot 10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$90 \cdot t^{0,75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$16 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
1400 až 10^6	$10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$5600 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$				$1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

Tabulka č. 2 - Nejvyšší přípustné ozáření rohovky oka při pozorování plošného laserového zdroje nebo laserového svazku po difúzním odrazu

Doba expozice t [s]	$< 10^{-9}$	10^{-9} až 10^{-7}	10^{-7} až 10	10 až 10^3	10^3 až 10^4	10^4 až $3 \cdot 10^4$	30 J.m ⁻²	
							C_1 J.m ⁻²	C_2 J.m ⁻²
Vlnová délka λ [nm]								
200 až 302,5								
302,5 až 315	$3 \cdot 10^{10} \text{ W.m}^{-2}$	$C_1 \text{ J.m}^{-2}$	$C_2 \text{ J.m}^{-2}$	$t > T_1$	$t > T_1$	$C_2 \text{ J.m}^{-2}$		
315 až 400		$C_1 \text{ J.m}^{-2}$	$C_1 \text{ J.m}^{-2}$	$t < T_1$			10^4 J.m^{-2}	10 W.m^{-2}
400 až 550							$2,1 \cdot 10^3 \text{ J.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$21 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$
550 až 700	$10^{11} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$10^3 \cdot t^{0,33} \text{ J.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$					$2,1 \cdot C_3 \cdot 10^5 \text{ J.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$21 \cdot C_3 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$
							$t < T_2$	$21 \cdot C_3 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$
							$3,8 \cdot 10^4 \cdot t^{0,75} \text{ J.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	
700 až 1050	$10^{11} \cdot C_4 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$10^5 \cdot C_4 \cdot t^{0,33} \text{ J.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$10^5 \cdot C_4 \cdot t^{0,33} \text{ J.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$				$3,8 \cdot 10^4 \cdot C_4 \cdot t^{0,75} \text{ J.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$6,4 \cdot 10^3 \cdot C_4 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$
1050 až 1400	$5 \cdot 10^{11} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$5 \cdot 10^5 \cdot t^{0,33} \text{ J.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$5 \cdot 10^5 \cdot t^{0,33} \text{ J.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$				$1,9 \cdot 10^5 \cdot t^{0,75} \text{ J.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$3,2 \cdot 10^4 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$
1400 až 10^6	10^{11} W.m^{-2}	100 J.m^{-2}	$5600 \cdot t^{0,25} \text{ J.m}^{-2}$					1000 W.m^{-2}

Tabulka č. 3 - Nejvyšší přípustné ozáření při expozici laserového záření na kůži

Doba expozice t [s] Vlnová délka λ [nm]	$< 10^{-9}$	10^{-9} až 10^{-7}	10^{-7} až 10	10 až 10^3	10^3 až $3 \cdot 10^4$
200 až 302,5	$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$				
302,5 až 315	$3 \cdot 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$t < T_1$	$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$t > T_1$	$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$
315 až 400		$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
400 až 1400	$2 \cdot 10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$200 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$11 \cdot 10^3 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
1400 až 10^6	$10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	

Tabulka č. 4

Parametr	Vlnová délka λ [nm]	
	od	do
$C_1 = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$	302,5	400
$T_1 = 10^{0,8(\lambda - 295)} \cdot 10^{-15} \text{ s}$	302,5	315
$C_2 = 10^{0,2(\lambda - 295)}$	302,5	315
$T_2 = 10 \cdot 10^{0,02(\lambda - 550)} \text{ s}$	550	700
$C_3 = 10^{0,015(\lambda - 550)}$	550	700
$C_4 = 10^{(\lambda - 700) / 500}$	700	1050

Tabulka č. 5

Parametr	Opakovací frekvence impulzů N
$C_5 = N^{-0,5}$	$N = 1 \text{ s}^{-1}$ až 278 s^{-1}
$C_5 = 0,06$	$N > 278 \text{ s}^{-1}$

Tabulka č. 6

Parametr	Doba expozice t [s]
$\alpha_{\min} = 8,5 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$	$t < 10^{-9}$
$\alpha_{\min} = 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot t^{-0,17} \text{ rad}$	$10^{-9} \leq t < 18 \cdot 10^{-6}$
$\alpha_{\min} = 15 \cdot 10^{-3} \cdot t^{0,21} \text{ rad}$	$18 \cdot 10^{-6} \leq t < 10$
$\alpha_{\min} = 24,3 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$	$t \geq 10$

Poznámka: pro $\lambda > 1050 \text{ nm}$ a $t < 50 \cdot 10^{-6} \text{ s}$ je nutné korigovat vztah pro α_{\min} násobením faktorem 1,4 a použít tedy vzorec $\alpha_{\min} = 0,25 \cdot 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot t^{-0,17} \text{ rad}$.

Tabulka č. 7

Spektrální rozsah [nm]	T_{\min} [s]
$315 < \lambda \leq 400$	10^{-9}
$400 < \lambda \leq 1\ 050$	$18 \cdot 10^{-6}$
$1\ 050 < \lambda \leq 1\ 400$	$50 \cdot 10^{-6}$
$1\ 400 < \lambda \leq 1\ 500$	10^{-3}
$1\ 500 < \lambda \leq 1\ 800$	10
$1\ 800 < \lambda \leq 2\ 600$	10^{-3}
$2\ 600 < \lambda \leq 10^6$	10^{-7}

Tabulka č. 8 Limity přístupné emise pro laserová zařízení třídy I

Délka vyzá- řování t [s]	$< 10^{-9}$	10^{-9} až 10^{-7}	10^{-7} až 10^{-6}	10^{-6} až $1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$ až $5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$ až 10	10 až 10^3	10^3 až 10^4	10^4 až $3 \cdot 10^4$	
										$2,4 \cdot 10^{-5} \text{ J}$
Vlnová délka λ [nm]	$2,4 \cdot 10^{-5} \text{ J}$									
180 až 302,5	$7,9 \cdot 10^{-7} C_2 \text{ J}$ $t > T_1$									
302,5 až 315	$2,4 \cdot 10^4 \text{ W}$ $7,9 \cdot 10^{-7} C_1 \text{ J}$ $t < T_1$									
315 až 400	$7,9 \cdot 10^{-7} C_1 \text{ J}$ $7,9 \cdot 10^{-6} \text{ W}$									
400 až 550	200 W $10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$2 \cdot 10^{-7} \text{ J}$ $10^5 t^{0,33} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$7 \cdot 10^{-4} t^{0,75} \text{ J}$ $7,9 \cdot 10^{-3} \text{ J}$	$7 \cdot 10^{-4} t^{0,75} \text{ J}$ $3,9 \cdot 10^{-3} \text{ J}$	$7,9 \cdot 10^{-7} C_1 \text{ J}$ $2,1 \cdot 10^5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$7,9 \cdot 10^{-4} t^{0,75} \text{ J}$ $2,1 \cdot 10^5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$7,9 \cdot 10^{-3} \text{ J}$ $3,9 \cdot 10^{-3} \text{ J}$	$7,9 \cdot 10^{-7} C_2 \text{ J}$ $3,9 \cdot 10^{-3} \text{ J}$	$7,9 \cdot 10^{-6} \text{ W}$ $3,9 \cdot 10^{-7} \text{ W}$	
550 až 700	200 W $10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$2 \cdot 10^{-7} \text{ J}$ $10^5 t^{0,33} \text{ J} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{sr}^{-1}$	$7 \cdot 10^{-4} t^{0,75} \text{ J} (t < T_2)$ $7,9 \cdot 10^{-3} C_3 \text{ J} (t > T_2)$	$7 \cdot 10^{-4} t^{0,75} \text{ J} (t < T_2)$ $3,9 \cdot 10^5 C_3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} (t > T_2)$	$7,9 \cdot 10^{-7} C_1 \text{ J}$ $3,9 \cdot 10^3 C_3 \text{ J} (t > T_2)$	$7,9 \cdot 10^{-4} t^{0,75} \text{ J}$ $3,9 \cdot 10^5 C_3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} (t > T_2)$	$7,9 \cdot 10^{-3} \text{ J}$ $3,9 \cdot 10^3 C_3 \text{ J} (t > T_2)$	$7,9 \cdot 10^{-7} C_2 \text{ J}$ $3,9 \cdot 10^{-7} C_3 \text{ W}$	$7,9 \cdot 10^{-6} \text{ W}$ $3,9 \cdot 10^{-7} C_3 \text{ W}$	
700 až 1050	200 $C_4 \text{ W}$ $10^{11} C_4$ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$2 \cdot 10^{-7} C_4 \text{ J}$ $10^5 t^{0,33} C_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$7 \cdot 10^{-4} t^{0,75} \text{ J}$ $7 \cdot 10^{-4} t^{0,75} C_4 \text{ J}$	$7 \cdot 10^{-4} t^{0,75} \text{ J}$ $3,9 \cdot 10^4 t^{0,75} C_4 \text{ J}$	$7,9 \cdot 10^{-7} C_1 \text{ J}$ $3,9 \cdot 10^4 t^{0,75} C_4 \text{ J}$	$7,9 \cdot 10^{-4} t^{0,75} \text{ J}$ $3,9 \cdot 10^4 t^{0,75} C_4 \text{ J}$	$7,9 \cdot 10^{-3} \text{ J}$ $1,2 \cdot 10^{-4} C_4 \text{ W}$	$7,9 \cdot 10^{-7} C_2 \text{ J}$ $6,4 \cdot 10^3 C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$7,9 \cdot 10^{-6} \text{ W}$ $1,2 \cdot 10^{-4} C_4 \text{ W}$	
1050 až 1400	$2 \cdot 10^3 \text{ W}$ $5 \cdot 10^{11}$ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$2 \cdot 10^{-6} \text{ J}$ $5 \cdot 10^5 t^{0,33} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$3,5 \cdot 10^{-3} t^{0,75} \text{ J}$ $1,9 \cdot 10^5 t^{0,75} \text{ J}$	$3,5 \cdot 10^{-3} t^{0,75} \text{ J}$ $1,9 \cdot 10^5 t^{0,75} \text{ J}$	$7,9 \cdot 10^{-7} C_1 \text{ J}$ $3,9 \cdot 10^3 C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$7,9 \cdot 10^{-4} t^{0,75} \text{ J}$ $3,9 \cdot 10^3 C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$7,9 \cdot 10^{-3} \text{ J}$ $6 \cdot 10^4 \text{ W}$	$7,9 \cdot 10^{-7} C_2 \text{ J}$ $3,2 \cdot 10^4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$7,9 \cdot 10^{-6} \text{ W}$ $6 \cdot 10^4 \text{ W}$	
1400 až 1530	$8 \cdot 10^4 \text{ W}$	$8 \cdot 10^{-5} \text{ J}$ $8 \cdot 10^{-3} \text{ J}$	$4,4 \cdot 10^{-3} t^{0,25} \text{ J}$ $4,4 \cdot 10^{-3} t^{0,25} \text{ J}$	$4,4 \cdot 10^{-3} t^{0,25} \text{ J}$ $4,4 \cdot 10^{-3} t^{0,25} \text{ J}$	$8 \cdot 10^{-5} \text{ J}$ $8 \cdot 10^{-3} \text{ J}$	$8 \cdot 10^{-5} \text{ J}$ $8 \cdot 10^{-3} \text{ J}$	$8 \cdot 10^{-5} \text{ J}$ $8 \cdot 10^{-3} \text{ J}$	$8 \cdot 10^{-4} \text{ W}$	$8 \cdot 10^{-4} \text{ W}$	
1530 až 1550	$8 \cdot 10^4 \text{ W}$	$8 \cdot 10^{-5} \text{ J}$	$4,4 \cdot 10^{-3} t^{0,25} \text{ J}$	$4,4 \cdot 10^{-3} t^{0,25} \text{ J}$	$8 \cdot 10^{-5} \text{ J}$	$8 \cdot 10^{-5} \text{ J}$	$8 \cdot 10^{-5} \text{ J}$	$8 \cdot 10^{-4} \text{ W}$	$8 \cdot 10^{-4} \text{ W}$	
1550 až 10^5	10^7 W	10^{-2} J	$0,56 t^{0,25} \text{ J}$	$0,56 t^{0,25} \text{ J}$	10^{-2} J	10^{-2} J	10^{-2} J	$0,1 \text{ W}$	$0,1 \text{ W}$	

Tabulka č. 9 Limity přístupné emise pro laserová zařízení třídy II

Vlnová délka λ [nm]	Délka vyzařování t [s]	Limit přístupné emise
400 až 700	$t < 0,25$	stejně jako pro třídu I
	$t \geq 0,25$	10^{-3} W

Tabulka č. 10 Limity přístupné emise pro laserová zařízení třídy IIIa

Vlnová délka λ [nm]	Délka vyzářování t [s]	$< 10^{-9}$	10^{-9} až 10^{-7}	10^{-7} až 10^{-6}	10^{-6} až $1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$ až $5,10^{-5}$	$5,10^{-5}$ až $0,25$	$0,25$ až 10	10 až 10^4	10^4 až $3 \cdot 10^4$
180 až 302,5		$3 \cdot 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$							
302,5 až 315		$1,2 \cdot 10^5 \text{ W}$ a $3 \cdot 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$(t > T_1) \quad 4 \cdot 10^{-6} C_2 \text{ J}$ a $C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ $(t < T_1)$							
315 až 400		$3 \cdot 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$4 \cdot 10^{-6} C_1 \text{ J}$ a $C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$							
400 až 700		1000 W a $5 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	10^{-6} J $5 \cdot 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-3} \cdot t^{0,25} \text{ J}$ $18 \cdot C_4 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-3} \cdot t^{0,25} \text{ J}$ $18 \cdot C_4 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3} \text{ W}$ a $25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2} \text{ J}$ a $10^1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$4 \cdot 10^{-5} \text{ W}$ a $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	(pro délku záření větší než $0,25 \text{ s}$ je zrak chráněn působením mrkacího reflexu)	
700 až 1050		$1000 \cdot C_4 \text{ W}$ a $5 \cdot 10^6 \cdot C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^6 \cdot C_4 \text{ J}$ a $5 \cdot 10^{-3} \cdot C_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-3} \cdot t^{0,25} \text{ J}$ $18 \cdot C_4 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-3} \cdot C_4 \cdot t^{0,25} \text{ J}$ a $18 \cdot C_4 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$6 \cdot 10^{-4} \cdot C_4 \text{ W}$ a $3,2 \cdot C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$				
1050 až 1400		10^4 W a $5 \cdot 10^2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	10^{-5} J a $5 \cdot 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-2} \cdot t^{0,25} \text{ J}$ a $90 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-2} \cdot t^{0,25} \text{ J}$ a $90 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3} \text{ W}$ a $16 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$				
1400 až 1530		$4 \cdot 10^5 \text{ W}$ a $10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$4 \cdot 10^{-4} \text{ J}$ a $100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2,2 \cdot 10^2 \cdot t^{0,25} \text{ J}$ a $5600 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2,2 \cdot 10^2 \cdot t^{0,25} \text{ J}$ a $5600 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$4 \cdot 10^{-5} \text{ W}$ a $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$				
1530 až 1550		$4 \cdot 10^5 \text{ W}$ a $10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$1,0 \cdot 10^1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2,2 \cdot 10^2 \cdot t^{0,25} \text{ J}$ a $5600 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2,2 \cdot 10^2 \cdot t^{0,25} \text{ J}$ a $5600 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$4 \cdot 10^{-5} \text{ W}$ a $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$				
1550 až 4000		$4 \cdot 10^5 \text{ W}$ a $10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$4 \cdot 10^{-4} \text{ J}$ a $100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2,2 \cdot 10^2 \cdot t^{0,25} \text{ J}$ a $5600 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2,2 \cdot 10^2 \cdot t^{0,25} \text{ J}$ a $5600 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$4 \cdot 10^{-5} \text{ W}$ a $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$				
4000 až 10^6		$10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5600 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5600 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$				

Tabulka č. 11 Limity přístupné emise pro laserová zařízení třídy IIIb

Délka vyzařování t [s] Vlnová délka [nm]	$< 10^{-9}$	10^{-9} až 0,25	0,25 až $3 \cdot 10^4$
180 až 302,5	$3,8 \cdot 10^5$ W	$3,8 \cdot 10^{-4}$ J	$1,5 \cdot 10^{-3}$ W
302,5 až 315	$1,25 \cdot 10^4 C_2$ W	$1,25 \cdot 10^{-5} C_2$ J	$5 \cdot 10^{-5} C_2$ W
315 až 400	$1,25 \cdot 10^8$ W	0,125 J	0,5 W
400 až 700	$3,14 \cdot 10^{11}$ W.m ⁻²	$3,14 \cdot 10^5 t^{0,33}$ J.m ⁻² a $< 10^3$ J.m ⁻²	0,5 W
700 až 1050	$3,14 \cdot 10^{11} C_4$ W.m ⁻²	$3,14 \cdot 10^5 C_4 t^{0,33}$ J.m ⁻² a $< 10^5$ J.m ⁻²	0,5 W
1050 až 1400	$1,57 \cdot 10^{12}$ W.m ⁻²	$1,57 \cdot 10^6 t^{0,33}$ J.m ⁻² a $< 10^5$ J.m ⁻²	0,5 W
1400 až 10^6	10^{14} W.m ⁻²	10^5 J.m ⁻²	0,5 W