

## LIMITNÉ HODNOTY EXPOZÍCIE A AKČNÉ HODNOTY EXPOZÍCIE

### 1. Limitné hodnoty expozície

Na účely stanovenia limitných hodnôt expozície elektromagnetickému poľu sa v závislosti od frekvencie používajú nasledujúce fyzikálne veličiny:

- limitné hodnoty expozície pre prúdovú hustotu časovo premenných polí do 1 Hz sú stanovené z dôvodu ochrany srdcovocievneho a centrálného nervového systému,
- limitné hodnoty expozície pre prúdovú hustotu v oblasti medzi 1 Hz až 10 MHz sú stanovené s cieľom predchádzať vplyvu expozície na funkcie centrálného nervového systému,
- limitné hodnoty expozície pre SAR v oblasti medzi 100 kHz až 10 GHz sú stanovené s cieľom predchádzať celotelovému tepelnému stresu a nadmernému miestnemu zahrievaniu tkanív; v oblasti medzi 100 kHz až 10 MHz sú stanovené limitné hodnoty expozície pre prúdovú hustotu aj pre SAR,
- limitná hodnota expozície pre hustotu toku výkonu (výkonovú hustotu) v oblasti medzi 10 GHz až 300 GHz je stanovená s cieľom predchádzať nadmernému prehrievaniu tkanív na povrchu alebo v blízkosti povrchu tela.

Tabuľka č. 1

Limitné hodnoty expozície (musia byť splnené všetky podmienky)

Frekvenčný rozsah	Prúdová hustota pre hlavu a trup J (mA/m <sup>2</sup> ) (efektívna hodnota)	Priemerný SAR pre celé telo (W/kg)	Lokalizovaný SAR (hlava a trup) (W/kg)	Lokalizovaný SAR (končatiny) (W/kg)	Hustota žiarivého toku S (W/m <sup>2</sup> )
do 1 Hz	40	–	–	–	–
1 Hz < 4 Hz	40/f	–	–	–	–
4 Hz < 1 000 Hz	10	–	–	–	–
1 000 Hz < 100 kHz	f/100	–	–	–	–
100 kHz < 10 MHz	f/100	0,4	10	20	–
10 MHz < 10 GHz	–	0,4	10	20	–
10 < 300 GHz	–	–	–	–	50

Poznámka:

Uvedené hodnoty neplatia pre činnosti spojené s používaním, obsluhou a údržbou prístrojov magnetickej rezonancie.

Poznámky:

- f je frekvencia v hertzoch.
- Limitné hodnoty expozície prúdovej hustoty sú stanovené na ochranu pred účinkami akútnej expozície na tkanivá centrálného nervového systému hlavy a trupu tela. Limitné hodnoty expozície vo frekvenčnej oblasti medzi 1 Hz až 10 MHz sú založené na preukázaných nepriaznivých účinkoch expozície na centrálny nervový systém. Takéto akútne účinky sú v podstate okamžité a neexistuje žiadne vedecké opodstatnenie meniť limitné hodnoty expozície pre krátkodobú expozíciu. Pretože sa však limitné hodnoty expozície týkajú nepriaznivých účinkov na centrálny nervový systém, tieto limitné hodnoty expozície môžu za tých istých podmienok expozície povoliť vyššie hodnoty prúdovej hustoty pre iné tkanivá ľudského tela, než je centrálny nervový systém.
- Vzhľadom na elektrickú nehomogénnosť ľudského tela by prúdová hustota mala byť vypočítaná ako priemerná hodnota pre 1 cm<sup>2</sup> plochy kolmej na smer šírenia prúdu.

4. Pre frekvencie do 100 kHz sa špičková hodnota prúdovej hustoty stanovuje vynásobením efektívnej hodnoty hodnotou  $2^{1/2}$ .
5. Pre frekvencie do 100 kHz a pre impulzné magnetické polia možno maximálnu hustotu impulzného prúdu stanoviť z počtu impulzov a z derivácie magnetickej indukcie. Indukovaná prúdová hustota môže byť potom porovnávaná s príslušnými limitnými hodnotami expozície. Pre impulzy s dĺžkou trvania  $t_p$  môže byť ekvivalentná frekvencia, ktorú je možné aplikovať na limitné hodnoty expozície, vypočítaná podľa vzťahu  $f = 1/(2 t_p)$ .
6. Všetky hodnoty SAR sa musia spriemerovať za ľubovoľný 6-minútový interval.
7. Priemernú hmotnosť pre lokalizovaný SAR tvorí akýchkoľvek 10 g príľahlého (susediaceho) tkaniva; takto získaný maximálny SAR predstavuje hodnotu používanú pre odhad expozície. Týchto 10 g tkaniva je určených ako hmotnosť príľahlého tkaniva s takmer homogénnymi elektrickými vlastnosťami. Pri určovaní hmotnosti príľahlého tkaniva sa pripúšťa, že táto veličina sa môže používať v počítačovej dozimetrii, ale pri priamych fyzikálnych meraniach môže predstavovať problémy. Môže sa použiť jednoduchá geometria, ako je objemová hmotnosť tkaniva, za predpokladu, že vypočítané dozimerické veličiny majú v porovnaní s odporúčaniami pre expozíciu mierne hodnoty.
8. Aby sa odstránilo a obmedzilo pôsobenie na sluch, ktoré je zapríčinené termoelastickou rozťažnosťou, je pre pulznú expozíciu v oblasti frekvencií od 0,3 do 10 GHz a pre lokalizovanú expozíciu hlavy odporúčaná ďalšia limitná hodnota expozície. To znamená, že SA by nemalo prekročiť 10 mJ/kg spriemerované na 10 g tkaniva.
9. Hustota toku výkonu (výkonová hustota) sa musí spriemerovať na ľubovoľných 20 cm<sup>2</sup> exponovanej plochy a za ľubovoľný 68/f<sup>1.05</sup>-minútový interval (pričom f je v GHz), aby sa vyvážilo progresívne sa znižujúce prenikanie do hĺbky v závislosti od zvyšujúcej sa frekvencie. Priestorové maximálne výkonové hustoty spriemerované na 1 cm<sup>2</sup> by nemali prekročiť 20-násobok hodnoty 50 W/m<sup>2</sup>.
10. Vzhľadom na pulzné alebo premenlivé elektromagnetické polia alebo vo všeobecnosti vzhľadom na súčasnú expozíciu poliam s viacerými frekvenciami je na posudzovanie, meranie alebo výpočet potrebné použiť primerané metódy, ktoré umožňujú analyzovanie charakteristík vln a povahy biologických interakcií.

## 2. Akčné hodnoty expozície

Akčné hodnoty uvádzané v tabuľke 2 sú získané z limitných hodnôt expozície v súlade so závermi, ktoré použila Medzinárodná komisia pre ochranu pred neionizujúcim žiarením (ICNIRP) vo svojich odporúčaní na obmedzenie expozície neionizujúcemu žiareniu (ICNIRP 7/99).

Tab. 2 Akčné hodnoty (efektívne hodnoty pre nepretržitú expozíciu)

Frekvenčný rozsah	Intenzita elektrického poľa E (V/m)	Intenzita magnetického poľa H (A/m)	Magnetická indukcia B (μT)	Hustota toku výkonu ekvivalentnej rovinatej vlny S <sub>eq</sub> (W/m <sup>2</sup> )	Kontaktný prúd I <sub>c</sub> (mA)	Indukovaný prúd (končatiny) I <sub>L</sub> (mA)
0 Hz < 1 Hz	–	1,63x10 <sup>5</sup>	2x10 <sup>5</sup>	–	1,0	–
1 Hz < 8 Hz	20 000	1,63x10 <sup>5</sup> /f <sup>2</sup>	2x10 <sup>5</sup> /f <sup>2</sup>	–	1,0	–
8 Hz < 25 Hz	20 000	2x10 <sup>4</sup> /f	2,5x10 <sup>4</sup> /f	–	1,0	–
0,025 kHz < 0,82 kHz	500/f	20/f	25/f	–	1,0	–
0,82 kHz < 2,5 kHz	610	24,4	30,7	–	1,0	–
2,5 kHz < 65 kHz	610	24,4	30,7	–	0,4 f	–
65 kHz < 100 kHz	610	1 600/f	2 000/f	–	0,4 f	–
0,1 MHz < 1 MHz	610	1,6/f	2/f	–	40	–
1 MHz < 10 MHz	610/f	1,6/f	2/f	–	40	–
10 MHz < 110 MHz	61	0,16	0,2	10	40	100
110 MHz < 400 MHz	61	0,16	0,2	10	–	–
400 MHz < 2 000 MHz	3f <sup>1/2</sup>	0,008 f <sup>1/2</sup>	0,01 f <sup>1/2</sup>	f/40	–	–
2 GHz < 300 GHz	137	0,36	0,45	50	–	–

## Poznámky:

1.  $f$  je frekvencia v jednotkách uvádzaných v stĺpci frekvenčného rozsahu.
2. Pre frekvencie v oblasti 100 kHz až 10 GHz musia byť  $S_{eq}$ ,  $E^2$ ,  $H^2$ ,  $B^2$  a  $I_L^2$  spriemerované za 6-minútový interval.
3. Pre frekvencie nad 10 GHz musia byť  $S_{eq}$ ,  $E^2$ ,  $H^2$  a  $B^2$  spriemerované za  $68/f^{1.05}$ -minútový interval ( $f$  v GHz).
4. Pre frekvencie do 100 kHz vrátane sa špičkové akčné hodnoty pre intenzitu poľa vypočítajú vynásobením príslušných efektívnych hodnôt hodnotou  $2^{1/2}$ . Pre impulzy v trvaní  $t_p$  sa ekvivalentná frekvencia uplatňovaná pre akčné hodnoty vypočíta ako  $f = 1/(2t_p)$ .  
Pre frekvencie v oblasti 100 kHz až 10 MHz vrátane sa špičkové hodnoty pre intenzitu poľa vypočítajú vynásobením príslušných efektívnych hodnôt hodnotou  $10^a$ ,  
kde  $a = (0,665 \log(f/10^5) + 0,176)$ , pričom  $f$  je v Hz.  
Pre frekvencie v oblasti 10 MHz až 300 GHz sa špičkové hodnoty vypočítavajú vynásobením zodpovedajúcej efektívnej hodnoty intenzity poľa hodnotou 32 a pre výkonovú hustotu ekvivalentnej rovinnej vlny hodnotou 1 000.
5. Vzhľadom na impulzné alebo premenlivé elektromagnetické polia alebo vo všeobecnosti vzhľadom na súčasnú expozíciu poliam s viacerými frekvenciami je na posudzovanie, meranie alebo výpočet potrebné použiť primerané metódy, ktoré umožňujú analyzovanie charakteristík vln a povahy biologických interakcií.
6. Pre špičkové hodnoty pulzne modulovaných elektromagnetických polí platí, že pre nosné frekvencie vyššie ako 10 MHz by  $S_{eq}$  spriemerované na šírku pulzu nemalo presiahnuť 1 000-násobok akčných hodnôt  $S_{eq}$  alebo intenzita poľa by nemala presiahnuť 32-násobok akčných hodnôt intenzity poľa nosnej frekvencie.

### 3. Súčasná expozícia poliam niekoľkých zdrojov s rôznymi frekvenciami

#### 3.1. Podmienky na stanovenie limitných hodnôt

- a) Ak má pole zložky s rôznymi frekvenciami, je pri hodnotení expozície nutné posudzovať oddelene elektrickú stimuláciu tkaniva vyvolanú hustotou indukovaného elektrického prúdu, ktorá sa uplatňuje v oblasti frekvencií od 0 Hz do 10 MHz, a tepelné pôsobenie poľa, ktoré sa uplatňuje od frekvencie 100 kHz vyššie.
- b) Pre elektrickú stimuláciu je požiadavka neprekročenia limitnej hodnoty indukovanej prúdovej hustoty splnená, ak platí nerovnosť:

$$\sum J_i / J_{L,i} \leq 1,$$

kde

$J_i$  je prúdová hustota indukovaná zložkou poľa  $i$ -tej frekvencie,

$J_{L,i}$  je limitná hodnota pre  $i$ -tú frekvenciu.

Počíta sa cez prítomné frekvenčné zložky od hodnoty 0 Hz do hodnoty 10 MHz.

- c) Pre určenie tepelného pôsobenia zdrojov s rôznymi frekvenciami, ktoré sa uplatňuje pri frekvenciách vyšších ako 100 kHz, je nutné vypočítať celkový merný absorbovaný výkon sčítaním príspevkov  $SAR_i$  od zdrojov s frekvenciami z intervalu od 100 kHz do 10 GHz a celkovú hustotu toku výkonu sčítaním príspevkov  $S_j$  od zdrojov s frekvenciami z intervalu od  $f > 10$  GHz do 300 GHz. Limitná hodnota nie je prekročená, ak je súčet pomeru celkového merného absorbovaného výkonu k jeho limitnej hodnote  $SAR_L$  a pomeru celkovej hustoty toku výkonu k jej limitnej hodnote  $S_L$  menší ako jedna alebo rovný jednej:

$$\sum_{100\text{kHz}}^{10\text{GHz}} SAR_i / SAR_L + \sum_{f>10\text{GHz}}^{300\text{GHz}} S_j / S_L \leq 1.$$

#### 3.2. Podmienky na stanovenie akčných hodnôt

Pre posudzovanie expozície pri súčasnem pôsobení elektrického a magnetického poľa rovnakej frekvencie alebo poľa s rôznymi frekvenciami podľa zistených frekvenčných úrovní je nutné posudzovať oddelene vplyv elektrickej stimulácie, ktorá sa uplatňuje v intervale frekvencií od 0 Hz do 10 MHz, a tepelného pôsobenia poľa, ktoré sa uplatňuje v intervale frekvencií od 100 kHz do 300 GHz.

- a) Elektrická stimulácia vyvolaná hustotou indukovaného elektrického prúdu v tkanive neprekračuje akčné hodnoty, ak spĺňajú zistené úrovne polí nerovnosti:

$$\sum_{10\text{kHz}}^{1\text{MHz}} (E_i / E_{L,i}) + \sum_{f>1\text{MHz}}^{10\text{MHz}} E_i / a \leq 1$$

a

$$\sum_{1\text{Hz}}^{65\text{MHz}} (B_j / B_{L,j}) + \sum_{f > 6,5\text{MHz}}^{10\text{MHz}} B_i / b \leq 1,$$

kde

$E_i$  označuje intenzitu elektrického poľa s frekvenciou  $i$ ,

$E_{L,i}$  je akčná hodnota intenzity elektrického poľa pre  $i$ -tú frekvenciu,

$B_j$  je magnetická indukcia s frekvenciou  $j$ ,

$B_{L,j}$  je akčná hodnota magnetickej indukcie pre  $j$ -tú frekvenciu,

$a$  je 610 V/m,

$b$  je  $30,7 \cdot 10^{-6}$  T.

(Konštantné hodnoty  $a$  a  $b$  sú v tomto prípade použité aj pre frekvenciu vyššiu ako 1 MHz, pretože súčet sa týka hustoty indukovaných prúdov a nezahŕňa tepelné pôsobenie poľa.)

- b) Tepelné pôsobenie, ktoré sa uplatňuje pri frekvenciách vyšších ako 100 MHz, neprekračuje akčnú hodnotu, ak sú splnené nerovnosti:

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

a

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

kde

$c = 610 \cdot 10^6 / f$  V/m,

$d = 2 / f$  T,  $f$  je v hertzoch.

### 3.3. Podmienky na stanovenie akčných hodnôt pre krátkodobú expozíciu

Tepelné pôsobenie expozície elektrickému a magnetickému poľu neprekračuje akčnú hodnotu, ak doby expozície  $t_i$  a zistené úrovne polí  $E_i$  a  $B_i$  z intervalu frekvencií od 100 kHz do 10 GHz spĺňajú nerovnosti:

$$\sum (E_i^2 \cdot t_i) \leq (6 \cdot E_{L,i}^2) \text{ v jednotkách } (\text{V/m})^2 \cdot \text{min}$$

a

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

alebo ak hustota toku výkonu rovnakého frekvenčného intervalu spĺňa nerovnosť:

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

kde

$t_i$  je doba  $i$ -tej expozície v minútach,

$E_i$  je intenzita elektrického poľa pri  $i$ -tej expozícii v jednotkách V/m,

$B_i$  je magnetická indukcia pri  $i$ -tej expozícii v jednotkách T,

$S_i$  je hustota toku výkonu pri  $i$ -tej expozícii v jednotkách W/m<sup>2</sup>,

$E_{L,i}$ ,  $B_{L,i}$ ,  $S_{L,i}$  sú akčné hodnoty intenzity elektrického poľa, magnetickej indukcie a hustoty toku výkonu pre nepretržitú expozíciu uvedené v tabuľke.

Okamžité hodnoty intenzity, magnetickej indukcie a hustoty toku výkonu nesmú prekročiť špičkové akčné hodnoty.

## 4. Spoločné ustanovenia

### 4.1. Spôsob zisťovania neprekročenia limitných a akčných hodnôt expozície

- 4.1.1. Neprekročenie limitných hodnôt pre indukovanú prúdovú hustotu, merný absorbný výkon alebo mernú absorbovanú energiu a hustotu toku výkonu sa zisťuje
    - a) výpočtom,
    - b) meraním na modeloch ľudského tela alebo jeho časti,
    - c) porovnávaním intenzity elektrického poľa, magnetickej indukcie, hustoty toku výkonu, kontaktného prúdu a indukovaného prúdu tečúceho ktoroukoľvek končatinou alebo hustoty dopadajúcej žiarivej energie zistenej pre posudzovanú situáciu výpočtom alebo meraním s akčnými úrovňami týchto veličín uvedenými v tabuľkách 1 až 7. Neprekročenie akčných úrovní zaručuje, že nie sú prekročené limitné hodnoty uvedené v prílohe č. 2. Akčné úrovne môžu byť prekročené, ak sa spôsobom uvedeným v písmene a) alebo b) preukázalo, že nie sú prekročené limitné hodnoty.
  - 4.1.2. Akčné hodnoty pre intenzity elektrického a magnetického poľa, magnetickú indukciu a pre hustotu toku výkonu alebo pre hustotu žiarivej energie uvedené v tejto prílohe platia pre pole neporušené prítomnosťou osôb v posudzovanom priestore. Ak je pole priestorovo silne nehomogénne, porovnáva sa s akčnými hodnotami priemerná intenzita poľa v oblasti zodpovedajúcej polohe srdca a hlavy exponovanej osoby alebo sa na porovnanie s akčnou hodnotou použije hodnota v geometrickom strede tejto oblasti. Neprekročenie akčnej hodnoty pre kontaktný prúd sa zistí priamym meraním kontaktného prúdu u príslušnej osoby alebo meraním prúdu rezistorom napodobňujúcim impedanciu ľudského tela.
  - 4.1.3. Vzťahy určujúce podmienky splnenia akčných hodnôt pri súčasnej expozícii človeka elektrickému a magnetickému poľu a pri súčasnej expozícii človeka poliam od viacerých zdrojov sú uvedené v bode 3.
  - 4.1.4. Ak nie je uvedené inak, stanovené akčné hodnoty expozície sú udané v efektívnych hodnotách príslušných veličín.
- 4.2. Požadovaná presnosť
- 4.2.1. Nepresnosť zistených hodnôt spôsobená nepresnosťou výpočtu, približnosťou teoretického modelu alebo nepresnosťou merania použitým prístrojom a podmienkami merania sa pre porovnanie s akčnými hodnotami započíta takto:
    - a) ak je stredná relatívna chyba výpočtu alebo merania príslušnej veličiny menšia ako 1 dB, t. j. približne 12,5 % pri intenzite poľa a 25 % pri výkonových veličinách, pokladá sa limitná hodnota alebo akčná hodnota za dodržanú, ak je vypočítaná alebo nameraná hodnota rovnaká ako limitná alebo akčná hodnota alebo je nižšia,
    - b) ak je stredná relatívna chyba zisťovanej veličiny väčšia ako 1 dB, pokladá sa limitná alebo akčná hodnota za splnenú, ak je vypočítaná alebo nameraná hodnota príslušnej veličiny nižšia ako jej limitná alebo akčná hodnota aspoň o toľko dB, o koľko dB presahuje stredná relatívna chyba 1 dB. Rovnaké pravidlo platí, ak je na zistenie, či nie sú prekročené limitné alebo akčné hodnoty, potrebné použiť kombináciu dvoch alebo viacerých zistených hodnôt podľa vzťahov uvedených v tejto prílohe.
  - 4.2.2. Pri overovaní neprekročenia akčných hodnôt meraním sa musia používať prístroje kalibrované aspoň raz za päť rokov a po každej oprave. Pri kalibrácii meracej sondy je potrebné zmerať aj uhlovú závislosť sondy.
  - 4.2.3. Ani pri dodržaní stanovených limitných alebo akčných hodnôt expozície nemožno vylúčiť ovplyvnenie niektorých zariadení implantovaných do tela, napríklad kardiostimulátorov, protéz obsahujúcich feromagnetické materiály a pod.