

LIMITNÉ HODNOTY EXPOZÍCIE A AKČNÉ HODNOTY EXPOZÍCIE

1. Limitné hodnoty expozície

Na účel stanovenia limitných hodnôt expozície elektromagnetickému poľu sú v závislosti od frekvencie používané tieto fyzikálne veličiny:

- limitné hodnoty expozície pre hustotu elektrického prúdu časovo premenných polí do frekvencie 1 Hz sú stanovené z dôvodu ochrany srdcovocievneho a centrálneho nervového systému,
- limitné hodnoty expozície pre hustotu elektrického prúdu v oblasti medzi 1 Hz až 10 MHz sú stanovené s cieľom predchádzať vplyvu expozície na funkcie centrálneho 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 hustotu elektrického prúdu aj pre SAR,
- limitná hodnota expozície pre hustotu toku výkonu v oblasti medzi 10 GHz až 300 GHz je stanovená s cieľom predchádzať nadmernému prehrievaniu tkanív na povrchu alebo v blízkosti povrchu tela.

Limitné hodnoty expozície uvedené v tabuľke č. 1 sú stanovené s prihliadnutím na neurčitosť v citlivosti jednotlivcov, s prihliadnutím na okolité podmienky a na skutočnosť, že vek a zdravotný stav jednotlivcov sú rôzne.

Tabuľka č. 1

Limitné hodnoty expozície pre elektrické, magnetické a elektromagnetické polia (musia byť splnené všetky podmienky)

Frekvenčný rozsah	Magnetická indukcia (mT)	Hustota elektrického prúdu (mA/m ²) (efektívna hodnota)	Priemerná hodnota SAR pre celé telo (W/kg)	Lokálna hodnota SAR (hlava a trup) (W/kg)	Lokálna hodnota SAR (končatiny) (W/kg)	Hustota toku výkonu (W/m ²)
0 Hz	40	-	-	-	-	-
> 0 Hz až < 1Hz	-	8	-	-	-	-
1 Hz až < 4Hz	-	8/f	-	-	-	-
4 Hz až < 1000 Hz	-	2	-	-	-	-
1000 Hz až < 100 kHz	-	f/500	-	-	-	-
100 kHz až < 10 MHz	-	f/500	0,08	2	4	-
10 MHz až < 10 GHz	-		0,08	2	4	-
10 GHz až 300 GHz	-	-	-	-	-	10

Poznámky:

1. f je frekvencia v hertzoch (Hz).
2. Limitné hodnoty expozície hustoty elektrického prúdu sú stanovené na ochranu pred účinkami akútnej expozície na tkanivá centrálneho 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. Keďže sa limitné hodnoty expozície týkajú nepriaznivých účinkov na centrálny nervový systém, tieto limitné hodnoty expozície môžu za tých istých podmienok expozície povoliť vyššie hodnoty hustoty elektrického prúdu pre iné tkanivá ľudského tela, ako je centrálny nervový systém.
3. Vzhľadom na elektrickú nehomogénnosť ľudského tela by hustota elektrického prúdu mala byť vypočítaná ako priemerná hodnota pre 1 cm^2 plochy kolmej na smer šírenia prúdu.
4. Pre frekvencie do 100 kHz sa špičková hodnota hustoty elektrického prúdu stanovuje vynásobením efektívnej hodnoty hodnotou $2^{1/2}$.
5. Pre frekvencie do 100 kHz a pre impulzné magnetické polia možno maximálnu hustotu impulzného elektrického prúdu stanoviť z počtu impulzov a z derivácie magnetickej indukcie. Hustota indukovaného elektrického prúdu sa môže potom porovnať s príslušnými limitnými hodnotami expozície. Pre impulzy s dĺžkou trvania t_p sa môže ekvivalentná frekvencia, ktorú možno aplikovať na limitné hodnoty expozície, vypočítať 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 príahlého (susediaceho) tkaniva; takto získaný maximálny SAR predstavuje hodnotu pre odhad expozície. Týchto 10 g tkaniva je určených ako hmotnosť príahlého tkaniva s takmer homogénnymi elektrickými vlastnosťami. Pri určovaní hmotnosti príahlého tkaniva sa priprúšta, 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 dozimetrickej veličiny majú v porovnaní s odporúčaniami (guidelinami) pre expozíciu mierne hodnoty.
8. Aby sa odstránilo a obmedzilo pôsobenie na sluch, ktoré je zapríčinené termoelastickou rozťažnosťou, pre impulznú expozíciu v oblasti frekvencií od 0,3 do 10 GHz a pre lokalizovanú expozíciu hlavy je odporúčaná ďalšia limitná hodnota expozície. To znamená, že hodnota SA by nemala prekročiť 2 mJ/kg, spriemerovaná na 10 g tkaniva.

2. Akčné hodnoty expozície

Akčné hodnoty expozície sa uvádzajú na účel porovnania s nameranými veličinami. Dodržiavaním všetkých stanovených akčných hodnôt expozície sa zabezpečí splnenie požiadaviek určených limitnými hodnotami expozície.

Ak sú namerané veličiny vyššie, ako sú akčné hodnoty expozície, nemusí to nevyhnutne znamenať prekročenie limitných hodnôt expozície. V takom prípade treba stanoviť, či úroveň expozície je pod limitnými hodnotami expozície.

V určitých situáciách, keďže expozícia lokálna ako v prípade telefónov, ktoré sa držia v ruke a v blízkosti hlavy človeka, nie je používanie akčných hodnôt expozície vhodné. V takých prípadoch treba dodržiavanie lokálnych limitných hodnôt expozície stanovovať priamo.

Tabuľka č. 2

Akčné hodnoty expozície pre elektrické, magnetické a elektromagnetické polia (efektívne hodnoty pre nepretržitú expozíciu)

Frekvenčný rozsah	Intenzita elektrického poľa E (V/m)	Intenzita magnetického poľa H (A/m)	Magnetická indukcia B (μ T)	Hustota toku výkonu ekvivalentnej rovinnej vlny S_{eq} (W/m ²)
0 Hz až < 1 Hz	-	$3,2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	-
1 Hz až < 8 Hz	10 000	$3,2 \cdot 10^4/f^2$	$3,2 \cdot 10^4/f^2$	-
8 Hz až < 25 Hz	10 000	$4 000/f$	$5 000/f$	-
0,025 kHz až < 0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	-

Frekvenčný rozsah	Intenzita elektrického poľa E (V/m)	Intenzita magnetického poľa H (A/m)	Magnetická indukcia B (μ T)	Hustota toku výkonu ekvivalentnej rovinnej vlny S_{eq} (W/m ²)
0,8 kHz až < 3 kHz	250/ f	5	6,25	–
3 kHz až < 150 kHz	87	5	6,25	–
0,15 MHz až < 1MHz	87	0,73/ f	0,92/ f	–
1 MHz až < 10 MHz	87/ $f^{1/2}$	0,73/ f	0,92/ f	–
10 MHz až < 400MHz	28	0,073	0,092	2
400 MHz až < 2 000 MHz	1,375 . $f^{1/2}$	0,0037 . $f^{1/2}$	0,0046 . $f^{1/2}$	$f / 200$
2 GHz až 300 GHz	61	0,16	0,20	10

Poznámky:

1. f je frekvencia, ako je uvedená v stĺpci frekvenčného rozsahu.
2. Pre frekvencie v oblasti 100 kHz až 10 GHz vrátane musia byť hodnoty \mathbf{S}_{eq} , \mathbf{E}^2 , \mathbf{H}^2 a \mathbf{B}^2 spriemerované za 6-minútový interval.
3. Pre frekvencie nad 10 GHz musia byť hodnoty \mathbf{S}_{eq} , \mathbf{E}^2 , \mathbf{H}^2 a \mathbf{B}^2 spriemerované za $68/f^{1.05}$ -minútový interval (f v GHz).
4. Akčná hodnota expozície pre statické elektrické pole nie je zavedená; pri pobytu v silnom statickom elektrickom poli treba znížiť vplyv neprijemného pocitu spôsobeného elektrickým nábojom indukovaným na povrchu tela a zabrániť sršaniu výbojov z povrchu tela.
5. Pre frekvencie do 100 kHz vrátane sa špičkové akčné hodnoty expozície 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 expozície vypočíta ako $f = 1/(2t_p)$.
6. 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 $a = (0,665 \cdot \log(f/10^5) + 0,176)$, pričom f je v Hz.
7. Pre frekvencie v oblasti 10 MHz až 300 GHz sa špičkové hodnoty vypočítavajú vynásobením zodpovedajúcej efektívnej hodnoty intenzity poľa hodnotou 32 a pre hustotu toku výkonu ekvivalentnej rovinnej vlny hodnotou 1 000.
8. 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, pričom sa berú do úvahy európske harmonizované normy vypracované CENELEC-om.
9. Pre špičkové hodnoty pulzne modulovaných elektromagnetických polí platí, že pre nosné frekvencie vyššie ako 10 MHz by \mathbf{S}_{eq} , spriemerované na šírku pulzu nemalo presiahnuť 1 000-násobok akčných hodnôt \mathbf{S}_{eq} alebo intenzita poľa by nemala presiahnuť 32-násobok akčných hodnôt intenzity poľa nosnej frekvencie.

Tabuľka č. 3

Akčné hodnoty expozície pre kontaktný elektrický prúd

Frekvenčný rozsah	Maximálny kontaktný prúd I (mA)
0 Hz až < 2,5 kHz	0,5
2,5 kHz až < 100 kHz	0,2 f
100 kHz až 110 MHz	20

Akčná hodnota pre plošnú hustotu elektromagnetickej energie

Akčná hodnota pre plošnú hustotu elektromagnetickej energie, ktorá dopadne na povrch tela pri žiareni a poliach s dobowou trvaním $t \leq 30 \mu\text{s}$ s frekvenciou vyššou ako 300 MHz, je **0,02 J/m²**.

Akčná hodnota pre indukovaný elektrický prúd

Pre frekvencie od 10 MHz do 110 MHz je akčná hodnota pre indukovaný prúd **i** tečúci ktoroukoľvek končatinou **0,045 A**.

3. Súčasná expozícia poliam niekoľkých zdrojov s rôznymi frekvenciami

3.1 Podmienky na stanovenie limitných hodnôt expozície

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

$$\sum \mathbf{J}_i / \mathbf{J}_{L,i} \leq 1,$$

kde

\mathbf{J}_i je hustota elektrického prúdu indukovaná zložkou poľa i-tej frekvencie,

$\mathbf{J}_{L,i}$ je limitná hodnota pre i-tú frekvenciu.

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

- Na určenie tepelného pôsobenia zdrojov s rôznymi frekvenciami, ktoré sa uplatňuje pri frekvenciach vyšších ako 100 kHz, treba vypočítať celkový hmotnostný absorbovaný výkon sčitaním príspevkov SAR_i od zdrojov s frekvenciami z intervalu od 100 kHz do 10 GHz a celkovú hustotu toku výkonu sčitaním príspevkov \mathbf{S}_i od zdrojov s frekvenciami z intervalu od $f > 10 \text{ GHz}$ do 300 GHz. Limitná hodnota nie je prekročená, ak je súčet pomeru celkového hmotnostného absorbovaného výkonu k jeho limitnej hodnote SAR_L a pomeru celkovej hustoty toku výkonu k jej limitnej hodnote \mathbf{S}_L menší ako jedna alebo rovný jednej:

$$\sum_{100\text{kHz}}^{10\text{GHz}} SAR_i / SAR_L + \sum_{f>10\text{GHz}}^{300\text{GHz}} \mathbf{S}_i / \mathbf{S}_L \leq 1$$

3.2 Podmienky na stanovenie akčných hodnôt expozície

Na posudzovanie expozície pri súčasnom pôsobení elektrického a magnetického poľa rovnakej frekvencie alebo poľa s rôznymi frekvenciami podľa zistených akčných úrovni treba 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.

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

$$\sum_{1\text{Hz}}^{1\text{MHz}} (\mathbf{E}_i / \mathbf{E}_{L,i}) + \sum_{f>1\text{MHz}}^{10\text{MHz}} (\mathbf{E}_i / a) \leq 1$$

a

$$\sum_{1\text{Hz}}^{65\text{kHz}} (\mathbf{B}_j / \mathbf{B}_{L,j}) + \sum_{f>65\text{kHz}}^{10\text{MHz}} (\mathbf{B}_j / b) \leq 1,$$

kde

\mathbf{E}_i označuje intenzitu elektrického poľa s frekvenciou i,

$\mathbf{E}_{L,i}$ je akčná hodnota intenzity elektrického poľa pre i-tú frekvenciu,

\mathbf{B}_j je magnetická indukcia s frekvenciou j,

$\mathbf{B}_{L,j}$ je akčná hodnota magnetickej indukcie pre j-tú frekvenciu,

a je 87 V/m,

b je $6,25 \cdot 10^{-6}$ T.

(Konštantné hodnoty a a b sú v tomto prípade použité aj pre frekvenciu vyššiu ako 1 MHz, keďže súčet sa týka hustoty indukovaných elektrických prúdov a nezáhrňa tepelného pôsobenia poľa.)

- Tepelné pôsobenie, ktoré sa uplatňuje pri frekvenciach vyšších ako 100 MHz, neprekračuje limitnú hodnotu, ak sú splnené nerovnosti:

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

a

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

kde

$$c = 87 \cdot 10^3 / f^{0.5} \text{ V/m},$$

d = 0,92 / f T, f je v hertzoch.

3.3 Podmienky na stanovenie akčných hodnôt pre krátkodobú expozíciu

Tepelné pôsobenie expozície elektrickému a magnetickému poľu, ktorá je kratšia ako čas určený na stredovanie, prípadne séria krátkodobých expozícii pôsobiacich počas doby kratšej ako čas určený na stredovanie, neprekračuje akčnú hodnotu, ak doby expozície t_i a zistené úrovne polí \mathbf{E}_i a \mathbf{B}_i z intervalu frekvencií od 100 kHz do 10 GHz splňajú nerovnosti:

$$\sum_i (\mathbf{E}_i^2 t_i) \leq (6 \mathbf{E}_{L,i})^2 \quad \text{v jednotkách } [(\text{V/m})^2 \text{ min}]$$

a

$$\sum_i (\mathbf{B}_i^2 t_i) \leq (6 \mathbf{B}_{L,i})^2 \quad \text{v jednotkách } [\text{T}^2 \text{ min}]$$

alebo ak hustota toku výkonu rovnakého frekvenčného intervalu spĺňa nerovnosť:

$$\sum_i (\mathbf{S}_i t_i) \leq (6 \mathbf{S}_{L,i}) \quad \text{v jednotkách } [\text{W/m}^2 \text{ min}],$$

kde

t_i je doba i-tej expozície v minútach,
 \mathbf{E}_i je intenzita elektrického poľa pri i-tej expozícii v jednotkách (V/m),
 \mathbf{B}_i je magnetická indukcia pri i-tej expozícii v jednotkách (T),
 \mathbf{S}_i je hustota toku výkonu pri i-tej expozícii v jednotkách (W/m^2),
 $\mathbf{E}_{L,i}, \mathbf{B}_{L,i}, \mathbf{S}_{L,i}$ sú akčné hodnoty intenzity elektrického poľa, magnetickej indukcie a hustoty toku výkonu pre nepretržitú expozíciu uvedené v tabuľke č. 2.

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 hustotu indukovaného elektrického prúdu, hmotnostný absorbovaný výkon alebo hmotnostnú absorbovanú energiu a hustotu toku výkonu sa zisťuje

- výpočtom,
- meraním na modeloch ľudského tela alebo jeho časti,
- porovnávaním intenzity elektrického poľa, magnetickej indukcie, hustoty toku výkonu, kontaktného elektrického prúdu a indukovaného elektrického prúdu tečúceho ktoroukoľvek končatinou alebo hustoty dopadajúcej žiarivej energie zistenej pre posudzovanú situáciu výpočtom alebo meraním s akčnými úrovňami týchto veličín. Neprekročenie akčných úrovni zaručuje, že nie sú prekročené limitné hodnoty. 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 prilohe 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 porov-

nanie s akčnou hodnotou použije hodnota v geometrickom strede tejto oblasti. Neprekročenie akčnej hodnoty pre kontaktný elektrický prúd sa zistí priamym meraním kontaktného elektrického prúdu u príslušnej osoby alebo meraním elektrického 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, pre krátkodobú expozíciu v bode 3.3.
- 4.1.4 Ak nie je uvedené inak, stanovené akčné hodnoty expozície sú udané v efektívnych hodnotách príslušných veľičín.

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 na 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 hodnota alebo akčná hodnota alebo je nižšia,
 - b) ak je stredná relatívna chyba zisťovanej veličiny väčšia ako 1 dB, pokladá sa limitná hodnota alebo akčná hodnota za splnenú, ak je vypočítaná alebo nameraná hodnota príslušnej veličiny nižšia ako jej limitná hodnota 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 hodnoty 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 treba zmerať aj uhlovú závislosť sondy.
- 4.2.3 Ani pri dodržaní stanovených limitných hodnôt alebo akčných hodnôt expozície nemožno vylúčiť ovplyvnenie niektorých zariadení implantovaných do tela, napríklad kardiostimulátorov, protéz obsahujúcich feromagnetické materiály a podobne.