

## ELEKTROMAGNETICKÉ POLIA V PRIEMYSLE

*Jedným z fyzikálnych faktorov pracovného prostredia sú elektrické polia a magnetické polia generované rôznymi priemyselnými zariadeniami a elektromagnetické polia vyžarované vysielacími zariadeniami. Na zaistenie bezpečnosti a ochrany zdravia zamestnancov v súvislosti s expozíciou elektromagnetickému poľu sú v NV SR č. 329/2006 Z.z. ustanovené minimálne zdravotné a bezpečnostné požiadavky, vzťahujúce sa na nepriaznivé účinky expozície elektromagnetickému poľu na ľudský organizmus.*

### Úvod

Pod pojmom elektromagnetické pole sa rozumie statické magnetické pole a časovo premenné elektrické pole, magnetické a elektromagnetické pole s frekvenciou do 300 GHz. Z hľadiska frekvenčného rozsahu sa polia rozdeľujú na:

- statické magnetické a elektrické pole s frekvenciou nižšou ako 1 Hz,
- magnetické a elektrické pole s extrémne nízkou frekvenciou (ELF) nad 1 Hz do 60 Hz,
- nízkofrekvenčné elektromagnetické pole s frekvenciou nad 60 Hz do 10 kHz,
- vysokofrekvenčné pole s frekvenciou nad 10 kHz do 300 GHz.

Elektromagnetické polia v priemysle vznikajú pri výrobe, distribúcii a spotrebe striedavej elektrickej energie alebo ako sprievodný jav technologických procesov (elektrolýza) založených na prechode jednosmerného elektrického prúdu. V niektorých výrobných aplikáciách sa priamo generujú v generátoroch a využívajú sa ich účinky (vysokofrekvenčný ohrev, ...).

### Šírenie a dosah elektromagnetických polí

Statické (jednosmerné) elektrické pole v prostredí je vytvorené rozdielom potenciálov napr. medzi doskami s rozdielnym elektrickým potenciálom a statické magnetické pole je vytvorené v okolí permanentných magnetov alebo v okolí elektrických vodičov, ktorými pretekajú jednosmerné prúdy (jednosmerné elektromagnety). Striedavé elektrické pole a magnetické pole v prostredí je vytvorené v okolí elektrických zariadení, ktorými pretekajú striedavé prúdy napr. transformátory, tlmivky, striedavé elektromagnety a pod.

Elektromagnetické striedavé polia v prostredí sú vytvorené elektromagnetickými vlnami o rôznych vlnových dĺžkach a sú charakterizované veľkosťou a smerom svojich zložiek - elektrickou a magnetickou zložkou. V prípade, že vektory elektrickej zložky a magnetickej zložky poľa sú navzájom kolmé a ležia v rovine kolmej na smer šírenia vlny hovoríme o rovinnej vlne.

Z hľadiska vzdialenosti od zdroja sa pri šírení a posudzovaní elektromagnetických polí rozdeľuje priestor na oblasť (zónu) blízkeho poľa a oblasť (zónu) vzdialeného poľa (zóna žiarenia).

Oblasť (zóna) blízkeho poľa sa uvažuje do vzdialenosti trojnásobku vlnovej dĺžky a v tejto oblasti sa vyhodnocuje samostatne elektrická zložka poľa a magnetická zložka poľa, nakoľko jednotlivé zložky poľa nie sú vzájomne zviazané.

Vo vzdialenej oblasti (viac ako trojnásobok vlnovej dĺžky) sú elektrická i magnetická zložka poľa zviazané, sú vo fáze, na seba i na smer šírenia kolmé. Pri meraní sa objektivizuje elektrická zložka poľa a výpočtom sa stanovuje magnetická zložka.

V prípade, že ide o superpozíciu dvoch alebo viacerých fázovo nekoherentných zložiek elektromagnetického poľa s rôznymi frekvenciami, hovoríme o poli s niekoľkými frekvenciami.

### **Veličiny charakterizujúce elektromagnetické polia**

Priamo merateľnými veličinami (parametrami), ktoré charakterizujú zložky elektromagnetických polí sú:

- intenzita elektrického poľa  $E$  vo [V/m] - pre elektrickú zložku poľa,
- magnetická indukcia  $B$  v [T] - pre magnetickú zložku poľa,
- intenzita magnetického poľa  $H$  v [A/m] – pre magnetickú zložku poľa.

Odvodené veličiny charakterizujúce účinky elektromagnetických polí na ľudský organizmus, určené podľa zodpovedajúcich vzťahov pre danú frekvenčnú oblasť sú:

- hustota toku výkonu  $S$  vo [W/m<sup>2</sup>].
- hustota elektrického prúdu  $J$  v [A/m<sup>2</sup>],
- indukovaný prúd  $I_L$  v [mA],
- hmotnostný absorbovaný výkon  $SAR$  v [J/kg.s].

### **Biologické účinky elektromagnetického poľa**

Rozsiahle štatistiky a experimenty vykonávané v rámci výskumných programov na celom svete preukázali interakciu medzi elektromagnetickým poľom a živou hmotou. Ľudský organizmus je charakterizovaný ako komplexné a premenlivé prostredie zložené z vodných roztokov elektrolytov, koloidov a buniek, pričom ľudské orgány (tkanivá) sú suspenziou buniek v elektrolytoch. Účinky elektromagnetického poľa na ľudský organizmus sa delia na:

- netepelné účinky - ovplyvňujúce koloidné štruktúry bunkového obsahu a menia elektrické vlastnosti buniek, hovoríme o elektrickej stimulácii tkaniva.
- tepelné účinky - prejavujúce sa otepľovaním tkanív pri veľkých výkonových hustotách.

Netepelné účinky elektromagnetických polí súvisia s elektrickými vlastnosťami biologických systémov, čo sa pri dlhodobom pôsobení môže prejavovať telesnou slabosťou, pocitom vyčerpanosti, zvýšenou únavou, zhoršením pamäte, poruchami spánku a bolesťami hlavy.

Tepelné účinky elektromagnetických polí súvisia s absorpciou energie pri veľkých výkonových hustotách, čo spôsobuje nárast teploty lokálnej časti tela napr. končatín alebo celého tela. V publikovaných podkladoch sa ako následok tepelných účinkov najčastejšie uvádza poškodenie vnútorného ucha, zakalenie očnej šošovky a poškodenie rohovky ako následok oteplenia očí.

## Význam limitných hodnôt expozície

Na ochranu zdravia zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou elektromagnetickému poľu s frekvenciou od 0 Hz do 300 GHz sú stanovené limitné a akčné hodnoty expozície.

Limitné hodnoty expozície, t.j. limitné hodnoty veličín opisujúcich expozíciu elektromagnetickému poľu sú stanovené na základe dokázaných účinkov na zdravie a na základe biologických porovnaní, pričom súlad s týmito hodnotami zaručuje, že zamestnanci vystavení elektromagnetickému poľu sú chránení pred všetkými doteraz známymi škodlivými účinkami na zdravie. V závislosti od frekvencie elektromagnetických polí sú limitné hodnoty veličín stanovené takto:

- pre polia s frekvenciou do 1 Hz sú limitné hodnoty stanovené pre prúdovú hustotu  $J$  z dôvodu ochrany srdcovocievneho a centrálného nervového systému,
- pre polia s frekvenciou v oblasti medzi 1 Hz až 10 MHz sú limitné hodnoty stanovené pre prúdovú hustotu  $J$  s cieľom predchádzať vplyvu expozície na funkciu (činnosť) centrálného nervového systému,
- pre polia s frekvenciou v oblasti medzi 100 kHz až 10 GHz sú limitné hodnoty stanovené pre hmotnostný absorbovaný výkon  $SAR$  s cieľom predchádzať celotelovému tepelnému stresu a nadmernému miestnemu zahrievaniu tkanív, pričom pre oblasť medzi 100 kHz až 10 MHz sú stanovené pre prúdovú hustotu  $J$  aj pre  $SAR$ ,
- pre polia s frekvenciou v oblasti medzi 10 GHz až 300 GHz sú limitné hodnoty stanovené pre hustotu toku výkonu  $S$  s cieľom predchádzať nadmernému prehrievaniu tkanív na povrch alebo v blízkosti povrchu tela.

Limitné hodnoty veličín charakterizujúcich expozície elektromagnetickému poľu v závislosti na frekvenčnom rozsahu polí sú uvedené v prílohe č. 2 k nariadeniu vlády s podrobným popisom ich aplikácie.

## Význam akčných hodnôt expozície

Akčné hodnoty expozície elektromagnetickému poľu sú stanovené na priame porovnanie s nameranými hodnotami veličín za predpokladu, že pri meraní sa zohľadnila homogenita polí a s tým súvisiaca voľba miest (bodov) merania. Akčné hodnoty veličín boli získané z limitných hodnôt a súlad s týmito hodnotami zaručuje aj súlad so zodpovedajúcimi limitnými hodnotami. V závislosti od frekvencie elektromagnetických polí sú akčné hodnoty veličín stanovené takto:

- pre polia s frekvenciou do 1 Hz sú akčné hodnoty stanovené pre intenzitu magnetického poľa  $H$ , magnetickú indukciu  $B$  a kontaktný prúd  $I_C$ ,
- pre polia s frekvenciou nad 1 Hz do 10 MHz sú akčné hodnoty stanovené pre intenzitu elektrického poľa  $E$ , intenzitu magnetického poľa  $H$ , magnetickú indukciu  $B$  a kontaktný prúd  $I_C$ ,
- pre polia s frekvenciou nad 10 MHz do 110 MHz sú akčné hodnoty stanovené pre intenzitu elektrického poľa  $E$ , intenzitu magnetického poľa  $H$ , magnetickú indukciu  $B$ , hustotu toku výkonu  $S_{eq}$ , kontaktný prúd  $I_C$  a indukovaný prúd  $I_L$ ,
- pre polia s frekvenciou nad 110 MHz do 300 GHz sú akčné hodnoty stanovené pre intenzitu elektrického poľa  $E$ , intenzitu magnetického poľa  $H$ , magnetickú indukciu  $B$  a hustotu toku výkonu ekvivalentnej rovinatej vlny  $S_{eq}$ .

Akčné hodnoty veličín charakterizujúcich expozíciu elektromagnetickému poľu v závislosti na frekvenčnom rozsahu polí sú uvedené v prílohe č. 2 k nariadeniu vlády s podrobným popisom ich aplikácie. Akčné hodnoty veličín platia pre pole neporušené prítomnosťou osôb v posudzovanom priestore a sú udávané v efektívnych hodnotách príslušných veličín.

### **Súčasná expozícia od zdrojov s rôznymi frekvenciami**

Pri súčasnom pôsobení elektrického a magnetického poľa s rôznymi frekvenciami je pri posudzovaní expozície nutné oddelene posudzovať:

- elektrickú stimuláciu tkaniva vyvolanú hustotou indukovaného elektrického prúdu, ktorá sa uplatňuje v intervale frekvencií od 0 Hz do 10 MHz,
- tepelné pôsobenie poľa, ktoré sa uplatňuje v intervale frekvencií od 100 kHz do 300 MHz.

Elektrická stimulácia tkaniva a tepelné pôsobenie pre zistené úrovne elektrického a magnetického poľa v intervale uvedených frekvencií nie je významná, ak sú splnené podmienky pre nerovnosti uvedené v prílohe č. 2 nariadenia vlády.

### **Spôsob zisťovania neprekročenia limitných hodnôt expozície**

Neprekročenie limitných hodnôt pre prúdovú hustotu, SAR alebo hustotu toku výkonu sa zisťuje:

- výpočtom,
- meraním na modeloch ľudského tela alebo jeho častí,
- porovnávaním hodnôt intenzity elektrického poľa, magnetickej indukcie, hustoty toku výkonu, kontaktného a indukovaného prúdu tečúceho končatinami s akčnými hodnotami týchto veličín získaných meraním a výpočtom.

### **Spôsob zisťovania neprekročenia akčných hodnôt expozície**

Neprekročenie akčných hodnôt pre intenzitu elektrického poľa a magnetickú indukciu sa zisťuje priamym meraním hodnôt intenzity elektrického poľa a hodnôt magnetickej indukcie s možnosťou následného výpočtu hodnoty intenzity magnetického poľa a hustoty toku výkonu. Neprekročenie akčnej hodnoty pre kontaktný prúd sa zistí priamym meraním kontaktného prúdu u príslušnej osoby alebo meraním prúdu rezistorom napodobňujúcim impedanciu ľudského tela.

Ak je pole priestorovo silne nehomogénne, porovnávajú sa s akčnými hodnotami namerané alebo vypočítané hodnoty veličín zistené v oblasti zodpovedajúcej polohe srdca a hlavy exponovanej osoby, alebo sa na porovnanie použije hodnota v geometrickom strede tejto oblasti.

### **Prevenia pred účinkami elektrických a magnetických polí a elektromagnetického žiarenia**

U zamestnancov, ktorí pri vykonávaní pracovných činností sú vystavení účinkom elektrických a magnetických polí alebo elektromagnetickému (neionizujúcemu) žiareniu a ich expozícia je vyššia ako 0,3 násobok akčnej hodnoty niektorej veličiny expozície, ale neprekračuje jej akčnú hodnotu sa pracovné činnosti (profesie) podľa NV SR č. 357/2006 Z.z.

zaraďujú do 2. kategórie prác. V prípade, že expozícia poliam a žiareniu u zamestnancov prekračuje niektorú z akčných hodnôt veličín expozície, potom sa tieto pracovné činnosti zaraďujú do 3. kategórie prác, pričom táto kategória má charakter rizikových prác.

Na zaistenie bezpečnosti a ochrany zdravia tých zamestnancov, ktorí sú zaradení do 3. kategórie prác je zamestnávateľ v zmysle ustanovení uvedených v NV SR č. 329/2006 Z.z. povinný plniť rad technických a organizačných opatrení na odstránenie alebo zníženie expozície a zabezpečiť primeraný zdravotný dohľad pre evidovaných zamestnancov.

### Príklady zdrojov elektromagnetických polí v priemysle

Zdroje statického magnetického poľa	Frekvenčné pásmo
Permanentné magnety, elektromagnety	0 Hz
Magnetické separátory (kovov, odpadu)	0 Hz
Magnetizéry (zmagnetizovanie polotovarov na ich uchytenie)	0 Hz
Elektrolýza <ul style="list-style-type: none"> <li>- galvanické pokovovanie</li> <li>- elektrometalurgia – výroba čistých kovov</li> <li>- rafinácia – čistenie kovov</li> </ul>	0 Hz
Magnetické nadľahčovanie (rýchlovlakov)	0 Hz

Zdroje elektrického a magnetického poľa	Frekvenčné pásmo
Trakčné elektrické vedenia	50 Hz a vyššie harmonické
Vzdušné distribučné el. vedenia 400 kV, 220 kV, 110 kV a 22 kV	50 Hz a vyššie harmonické
Elektrické stanice (transformátorové stanice, rozvodne)	50 Hz a vyššie harmonické
Demagnetizéry zvyškového magnetizmu	1 - 50 Hz
Elektrické pece (odporové, oblúkové)	50 Hz
Indukčné pece	do 500 Hz 500 Hz – 10 kHz viac ako 10 kHz
Elektrické oblúkové zvaranie	50 Hz
Vysokofrekvenčný ohrev (spájanie, zvaranie, ohrev, sušenie, formovanie)	5 Hz – 200 kHz 200 kHz – 2 MHz 13,56 MHz 27,12 MHz 40,68 MHz 2,45 GHz

### Záver

Požiadavky na zabezpečenie bezpečnosti a ochrany zdravia zamestnancov v súvislosti s expozíciou elektromagnetickému poľu ustanovené v NV SR č. 329/2006 Z.z. vychádzajú zo smernice Rady Európy 2004/40/EC zo dňa 29. apríla 2004. Nové poznatky o účinkoch magnetických a elektrických polí a elektromagnetického žiarenia na ľudský organizmus prinesú upresňovanie kritérií na posúdenie úrovne expozície, aby sa zaistila dostatočná miera ochrany zdravia zamestnancov.