

***Nízkofrekvenčné magnetické polia
v pracovnom prostredí***

© Oravec Milan, Lipovský Pavol, Šmelko Miroslav.

Nízkofrekvenčné magnetické polia v pracovnom prostredí

Na predkladanú prácu sa vzťahuje Autorský zákon. Kopírovanie v akejkoľvek forme, bez povolenia autorov je zakázané. Autori nepreberajú zodpovednosť za tlač materiálu. Nároky na odškodnenie na základe zmien sú vylúčené.

Recenzenti :

Dr.h.c. prof. Ing. Dušan Malindžák, CSc.

prof. Ing. Karol Balog, PhD.

doc. Ing. Vilém Adamec, Ph.D.

Vydal : SPBI

ISBN : 978-80-7385-199-6

Tlač : Equilibria s.r.o.

Náklad : 150 ks

*Všetkým, ktorí nám umožnili
napísať túto publikáciu*

Príroda nám dáva mnohokrát tak veľa, že nie sme schopní to vidieť

Samostatné poďakovanie patrí oponentom

Predslov

Elektromagnetické polia (EMG polia) s rozvojom technických vied priniesli problémy, ktoré je potrebné poznať, kvantifikovať a minimalizovať. Súčasné poznanie v tejto oblasti je sústredené len na vonkajšie okamžité prejavy. Vplyv EMG polí na človeka a zariadenia je možné za určitých podmienok skúmať oddelene. Závisí to od frekvencie, ktorou je prenášaná energia. V technickej praxi sa využívajú prevažne zariadenia vytvorené človekom s frekvenciami 50/60 Hz. Dátové prenosy sa realizujú na frekvenciách v GHz pásmach. Nízkofrekvenčným magnetickým poliam (MLF) je venovaná malá pozornosť, nakoľko je to oblasť kde sa pomerne ťažšie aplikujú merania, nie je dostatok právnych noriem a v neposlednom rade aj fakt, že daná oblasť je nepreskúmaná.

Adaptabilita človeka, zvierat, rastlín na magnetické pole Zeme spôsobila, že neexistujú výrazné problémy pri zmenách týchto polí, výnimku tvoria energetické výboje zo Slnka. Rozvoj zariadení vytvorených človekom (InTech zariadení, postupov) na zabezpečenie produkcie, vytvára nové lokálne polia. Na tieto podnety sa človek nevie rýchlo prispôbiť a vznikajú dysfunkcie nie len v rámci biologických organizmov, ale aj technických zariadení. Sú to zdroje umelo vytvorené človekom, postupy, pri ktorých zmena parametrov poľa je rýchlejšia ako proces adaptovania sa okolia na tieto podnety. Už z minulosti sú známe prípady, kedy v zmysle poznania a neznalosti fyziky, chémie sa vytvorili neželané stavy, napr. Dr. Alexander každý mesiac vytvoril röntgenovú snímku plodu vlastného potomka.

Magnetické pole, zvlášť MLF, je doposiaľ málo prebádané. Toto tvrdenie je možné dokázať na niektorých pokusoch, ktoré boli matematikom a fyzikom dávno známe, ale neboli k dispozícii meracie prístroje, ktorými by sa dali preukázať príslušné tvrdenia.

Orientácia väčšiny živočíchov, vrátane človeka je založená na magnetickom poli Zeme. Dnes sa tieto adaptačné vymoženosti využívajú a napriek tomu nie sú známe tak, aby sa využili v prospech ďalšieho rozvoja technickej praxe. Nepoznanie týchto základných zákonitostí a tvorba InTech zariadení, nám bude prinášať problémy aj v blízkej budúcnosti.

Autorský kolektív, ktorý vytvoril túto publikáciu je interdisciplinárny. Snaha po poznaní kauzality v širšom kontexte, umožnila spojiť vzájomné sily za účelom prezentovania získaných poznatkov, ako z oblasti nízkofrekvenčných magnetických polí, tak aj z pohľadu posudzovania rizík.

Publikácia je určená pre rozšírenie vedomostí v oblasti pôsobenia nízkofrekvenčných magnetických polí na človeka a okolie. Predpokladá sa, že čitateľ má základné znalosti z oblasti elektromagnetizmu.

Obsah

	<i>Skratky</i>	
	<i>Označenia</i>	
	<i>Úvod</i>	
1	<i>Vybrané poznatky z teórie elektromagnetických a nízkofrekvenčných magnetických polí</i>	<i>...1</i>
1.1	<i>Teoretické východiská</i>	<i>...1</i>
1.2	<i>Zobrazenie a meranie MLF pre potreby súčasnej technickej praxe</i>	<i>...5</i>
1.3	<i>Modely pôsobenia EMG polí a ELF na človeka</i>	<i>...6</i>
1.4	<i>Doporučené postupy pre meranie EMG polí a MLF</i>	<i>...7</i>
1.4.1	<i>Počiatkové posúdenie</i>	<i>...7</i>
1.4.2	<i>Postupnosť krokov pre výber zariadenia - zdroja MLF</i>	<i>...8</i>
2	<i>Magnetické polia a ich meranie</i>	<i>...11</i>
2.1	<i>Vybrané princípy používané v magnetometrii</i>	<i>...12</i>
2.1.1	<i>Princíp magnetometra so vzduchovými cievkami</i>	<i>...13</i>
2.1.2	<i>Princíp magnetometra s Hallovým sensorom</i>	<i>...14</i>
2.1.3	<i>Princíp magnetometra s magnetorezistívnymi senzormi</i>	<i>...16</i>
2.1.3.1	<i>Princíp magnetometra s AMR senzormi</i>	<i>...16</i>
2.1.3.2	<i>Princíp magnetometra s GMR senzormi</i>	<i>...18</i>
2.1.4	<i>Princíp fluxgate magnetometra</i>	<i>...19</i>
2.1.5	<i>Princíp relaxačného magnetometra</i>	<i>...21</i>
2.2	<i>Magnetometer VEMA-041</i>	<i>...23</i>
2.2.1	<i>Konštrukcia magnetometra VEMA-041</i>	<i>...23</i>
2.2.2	<i>Vlastnosti magnetometra VEMA-041</i>	<i>...26</i>
2.2.3	<i>Prevodové charakteristiky a frekvenčná charakteristika magnetometra VEMA-041</i>	<i>...27</i>
2.2.4	<i>Šumové vlastnosti magnetometra VEMA-041</i>	<i>...28</i>
2.3	<i>Súčasný vývoj magnetometrov série VEMA</i>	<i>...28</i>
2.3.1	<i>Mikrodrôtové magnetometre (VEMA-MW)</i>	<i>...29</i>
2.4	<i>Čiastkový záver</i>	<i>...31</i>
3	<i>Vývoj názorov na limitné hodnoty EML</i>	<i>...35</i>
3.1	<i>Norma ENV 50166/1995</i>	<i>...35</i>
3.2	<i>Doporučenia INCIRP</i>	<i>...36</i>
3.3	<i>Smernica o EMG poliach 2013/35/EU</i>	<i>...39</i>
3.4	<i>Príručka k Smernici o EMG poliach 2013/35/EU</i>	<i>...40</i>
3.5	<i>Smernica EUROPEAM</i>	<i>...42</i>
3.6	<i>Doporučenie SMB - 2008/2015</i>	<i>...43</i>
3.7	<i>Súčasná normatívy, zhrnutie</i>	<i>...44</i>
4	<i>Interakcia EMG poľa s okolím</i>	<i>...47</i>
4.1	<i>Interakcia EMG poľa s biologickým materiálom</i>	<i>...47</i>
4.2	<i>Vplyv nízkofrekvenčných EMG polí na človeka</i>	<i>...48</i>
4.2.1	<i>Vplyv EMG polí na organizmus a biochémiu organizmu</i>	<i>...49</i>
4.2.2	<i>Stimulácia nervových vlákien</i>	<i>...49</i>
4.2.3	<i>Sietnica</i>	<i>...49</i>
4.2.4	<i>Vplyv na poznávacie funkcie</i>	<i>...50</i>
4.2.5	<i>Centrálna nervová sústava</i>	<i>...50</i>

4.2.6	<i>Kardiovaskulárne poruchy</i>	...51
4.2.7	<i>Krvný tlak</i>	...51
4.2.8	<i>Imunitný systém a hematológia</i>	...52
4.2.9	<i>Reprodukcia</i>	...52
4.3	<i>Čiastkový záver</i>	...53
5	<i>Magnetické pole Zeme a EMG pole technických zariadení</i>	...59
5.1	<i>Magnetické pole Zeme</i>	...59
5.1.1	<i>Prirodzené magnetické pozadie – poruchy</i>	...59
5.2	<i>Umelé magnetické polia pod 50 Hz v priemysle</i>	...61
5.2.1	<i>Prenos elektrickej energie</i>	...61
5.2.2	<i>Napájanie budov a objektov elektrickou energiou</i>	...63
5.2.3	<i>Napájanie rodinných domov elektrickou energiou</i>	...63
5.2.4	<i>Podzemné vedenia v kolektoroch</i>	...64
5.2.5	<i>Transformátory a meniče</i>	...65
5.2.6	<i>Železničná doprava</i>	...65
5.2.7	<i>Priemysel - indukčné ohrevy</i>	...66
5.2.8	<i>Oblúkové a bodové zváranie</i>	...67
5.3	<i>Zdroje MLF v domácnosti</i>	...70
5.4	<i>Zastúpenie zdrojov s intenzitou mag. poľa v pracovných činnostiach</i>	...71
5.5	<i>Elektromobily</i>	...75
5.6	<i>Diagnostika pomocou magnetickej rezonancie</i>	...79
5.7	<i>Čiastkový záver</i>	...80
6	<i>Identifikovanie prejavov statických a dynamických magnetických polí v našom okolí</i>	...85
6.1	<i>Statické polia</i>	...85
6.1.1	<i>Príroda a jej prejavy, zmeny vplyvom lokálneho poľa Zeme</i>	...87
6.2	<i>Dynamické polia</i>	...90
6.2.1	<i>Magnetické polia v pracovných priestoroch</i>	...90
6.3	<i>Magnetoterapia a jej možnosti</i>	...91
6.3.1	<i>Nízkofrekvenčné magnetoterapeutické zariadenia</i>	...91
6.4	<i>Senzibili a ich vnímanie magnetického poľa</i>	...93
6.4.1	<i>Rýchlosť zmeny vnímania poľa</i>	...96
6.5	<i>Opatrenia pre minimalizovanie, modifikovanie magnetických polí</i>	...98
6.6	<i>Čiastkový záver</i>	...100
7	<i>Diskusia</i>	...101
	<i>Záver</i>	...109
	<i>Prílohy</i>	

Skratky	Popis
AGNIR	<i>Advisory Group on Non-Ionising Radiation</i>
AÚ	<i>akčné úrovne</i>
CCD	<i>charge coupled device, nábojovo viazané zariadenie</i>
CNS	<i>Centrálna nervová sústava</i>
CPLD	<i>Complex Programmable Logic Device, komplexné programovateľné logické zariadenie</i>
DAÚ	<i>dolné akčné úrovne</i>
EEG	<i>Elektroencefalografia</i>
ELF	<i>Extremely Low Frequency, extrémne nízka frekvencia</i>
EMC	<i>Electro Magnetic Compatibility, elektromagnetická kompatibilita</i>
EMG	<i>Elektromagnetické polia</i>
Fe	<i>železo, chemický prvok</i>
FPGA	<i>Field Programmable Gate Array, programovateľné hradlové pole</i>
GFÚ SAV	<i>Geofyzikálny ústav Slovenskej akadémie vied</i>
GLE	<i>Ground Level Events, javy v blízkosti povrchu Zeme</i>
GMR	<i>Giant Magnetoresistance, obrovská magnetorezistivita</i>
GPIO	<i>General Purpose Input Output, vstupy/výstupy pre všeobecné použitie</i>
HAÚ	<i>horné akčné úrovne</i>
HRV	<i>heart rate variability, variabilita zmeny srdcového tepu</i>
IDW	<i>Inverse Distance Weighting, inverzné dištančné váhovanie</i>
IEA	<i>International Energy Agency, Medzinárodná agentúra pre energiu</i>
INCIRP	<i>International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Medzinárodná komisia pre ochranu pred neionizujúcim žiarením</i>
I/O	<i>vstupno / výstupný (-é)</i>
InTech	<i>Umelo vytvorené technológie a produkty</i>
LHV	<i>Limitné hodnoty vystavenia</i>
LSD	<i>Linear Spectral Density, lineárna spektrálna hustota, tiež niekedy označovaná ako amplitúdová spektrálna hustota</i>
M	<i>magnetizácia</i>
- M_s	<i>hodnota zápornej saturačnej magnetizácie</i>
+ M_s	<i>hodnota kladnej saturačnej magnetizácie</i>
MLF	<i>Nízkofrekvenčné magnetické polia</i>
MRI	<i>Magnetic Resonance Imaging, zobrazovanie magnetickou rezonanciou</i>
Ni	<i>nikel, chemický prvok</i>
NIEHS	<i>National Institute of Environmental Health Sciences, Národný inštitút vied environmentálneho zdravia</i>
NORAD	<i>North American Aerospace Defense Command, Severoamerické veliteľstvo vzdušnej obrany</i>
NRL	<i>Národné referenčné laboratórium</i>
NRPB	<i>National Radiological Protection Board, Národná rada rádiologickej ochrany</i>
PSD	<i>Power Spectral Density, výkonová spektrálna hustota</i>
R	<i>rádus, polomer kružnice, gule</i>
RMS	<i>Root mean square, efektívna hodnota</i>
SEU	<i>Single Event Upset, narušenie jednou udalosťou</i>
SQUID	<i>Superconducting quantum interference device, Supravodivé kvantové interferenčné zariadenie</i>

<i>T</i>	<i>totál, celková veľkosť vektora</i>
<i>THP</i>	<i>Technicko hospodársky pracovník</i>
<i>UKCCSI</i>	<i>UK Childhood Cancer Study Investigators, Vyšetrovatelia štúdie rakoviny v detstve v UK</i>
<i>VEMA MW</i>	<i>VEktorový MAgnetometer s magnetickými mikrodrôťmi (microwires)</i>
<i>VEMA-041</i>	<i>štvorkanálový VEktorový MAgnetometer</i>
<i>WHO</i>	<i>World Health Organization, Svetová zdravotnícka organizácia</i>
<i>X, Y, Z</i>	<i>označenie osí kartézkeho súradnicového systému</i>

Označenie	Popis	Jednotka
B	magnetická indukcia	[T]
D	elektrická indukcia	[C.m ⁻²]
E	intenzita elektrického poľa	[V.m ⁻¹]
H	intenzita magnetického poľa	[A.m ⁻¹]
H_0	intenzita meraného magnetického poľa	[A.m ⁻¹]
H_E	intenzita budiaceho poľa	[A.m ⁻¹]
H_x	merané magnetické pole, v smere osi X	[A.m ⁻¹]
H_y	merané magnetické pole, v smere osi Y	[A.m ⁻¹]
I	inklinácia, uhol medzi rovinou a vektorom magnetického poľa	[rad ¹]
I	prúd konštantnej hodnoty	[A]
i_0	počiatočný prúd	[A]
i_D	prúd tečúci diódou	[A]
$I_s(t)$	budiaci prúd ako funkcia času	[A]
j	prúdová hustota	[A.m ⁻²]
J_n	prúdová hustota	[A.m ⁻²]
K	koeficient väzby jadra k magnetickému poľu	[-]
L	indukčnosť	[H]
l	dĺžka ferosondy	[m]
μ	permeabilita magnetika	[H.m ⁻¹]
μ_0	permeabilita vákua	[H.m ⁻¹]
μ_p	relatívna permeabilita magnetika	[-]
N	počet závitov snímacieho vinutia, počet závitov cievky	[-]
N_k	koeficient demagnetizácie	[-]
q	náboj nosiča	[C]
q_n	elementárny náboj	[C]
ρ	objemová hustota elektrického náboja	[C.m ⁻³]
R_{anti}	ohmický odpor pri antiparalelnej orientácii magnetizácií vrstiev	[Ω]
r_H	Hallov faktor rozptylenia	
R_H	Hallova konštanta materiálu	
R_{par}	ohmický odpor pri paralelnej orientácii magnetizácií vrstiev	[Ω]
S	plocha prierezu jadra, plocha závitú	[m ²]
SAR	Specific absorbtion rate, špecifická rýchlosť absorpcie energie	[W.kg ⁻¹]
T	Tesla, jednotka intenzity magnetického poľa	[T]
t	časový interval trvania záporného relaxačného impulzu	[s]
t^+	časový interval trvania kladného relaxačného impulzu	[s]
t_0	čas odoznenia budiaceho impulzu, počiatočný čas	[s]
U_D	napätová strata na dióde	[V]
U_H	Hallove napätie	[V]
U_i	indukované napätie	[V]
U_T	prahové napätie diódy	[V]
V	objem jadra ferosondy	[m ⁻³]
v	driftová rýchlosť nosiča náboja	[m.s ⁻¹]
V_{dn}	driftová rýchlosť nosičov náboja	[m.s ⁻¹]

ΔW	<i>zmena energie magnetického poľa</i>	<i>[J]</i>
θ	<i>uhol medzi magnetizáciou dvoch feromagnetických vrstiev</i>	<i>[rad]</i>
ρ_k	<i>ohmický odpor v smere kolmom na smer magnetizácie</i>	<i>[Ω]</i>
ρ_r	<i>ohmický odpor v smere paralelnom k smeru magnetizácie</i>	<i>[Ω]</i>

Úvod

Extremely Low Frequency (ELF) je názov pre polia s extrémne nízkymi frekvenciami v rozsahu 0-300 Hz. V bežnej praxi sa používajú polia s frekvenciou 50/60 Hz. Len niektoré zariadenia používajú zdroje s frekvenciami pod 50 Hz. Existujú aj procesy, pri ktorých vznikajú nižšie frekvencie ako 50 Hz (demagnetizácia, zváranie, špeciálne pohony, ap.). Týmto zdrojom je venovaná minimálna pozornosť. InTech zdroje môžu vplyvať na okolie a to na technické zariadenia a človeka. Problematikou vplyvu na technické zariadenia sa zaoberá oblasť kompatibility. Druhou oblasťou je vplyv elektromagnetických polí na človeka, či už ako obsluhu zariadenia, alebo ako na človeka v priestore s EMG poľami. Touto problematikou sa zaoberá bezpečnosť práce, pracovného prostredia, hygiena práce.

Cieľom publikácie je poukázať na vplyv InTech zariadení, postupov v oblasti MLF v kontexte pôsobenia na okolie a kvantifikovať ich prejavy na človeka a jeho blízke okolie. Úlohou publikácie nie je riešiť problematiku elektromagnetickej kompatibility. Poznanie kauzality v oblasti teórie rizík je kľúčové, z tohto pohľadu je nutný nie len kvalitatívny opis deja, ale aj kvantifikácia jednotlivých parametrov pri používaní zariadení so zdrojmi MLF.

Publikácia z pohľadu bezpečnosti práce poukazuje na nízkofrekvenčné magnetické polia, ktorým je v praxi venovaná malá pozornosť, napriek tomu, že tento druh poľa je na Zemi od počiatku. Človek sa po stáročia vývoja dokázal prispôbovať okolitým nízkofrekvenčným magnetickým poľiam. Rozvoj priemyselnej výroby priniesol nové InTech zariadenia, postupy, na ktoré sa človek nedokáže adaptovať tak rýchlo, ako sa tieto zariadenia vyvíjajú.

V príručke ICNIRP [1] nie sú zohľadnené štúdie dotýkajúce sa zmien funkcionalít založených na zmenách chemizmu v príslušných vnútorných orgánoch, napr. CNS, počas jednotlivých chemických reakcií, vplyvom MLF. Jedná sa prevažne o tvorbu voľných radikálov vplyvom MLF. Príručka INCIRP [1], ako aj následné dokumenty, ktoré sú jej derivátom (napr. Smernica 35/2013/EU), majú v záhlaví definovanú formuláciu, že tieto dokumenty neriešia chronické prejavy. V tejto príručke [1] nie sú zohľadnené poznatky napr. epidemiologické štúdie, ktoré sú dostupné na stránkach WHO.

Tieto zistenia je možné sumarizovať :

- pokusy, ktoré sa uskutočnili na ľuďoch boli prevažne pri frekvenciách 50/60 Hz,
- neskúmali sa podrobne prejavy v rozmedzí 1-50 Hz, napr. zváranie, indukčné ohrevy, ap.. Konštatovalo sa len o fosfénach, ktoré vznikajú pri frekvenciách 16-25 Hz,
- pokles limitných hodnôt parametrov EMG poľa v rozsahu 1-25-50 Hz nezodpovedá dnešnému poznaniu. Z tohto dôvodu bola [1] revidovaná v roku 2014 INCIRP [2] vydala *Guidelines for limiting exposure to electric fields induced by movement of the human body in a static magnetic field and by time-varying magnetic fields below 1 Hz*, ktorá už zohľadňuje rýchlosť zmeny indukcie v čase, ale len v rozsahu do 1 Hz,
- poznatky z psychológie [3,4] jednoznačne popisujú javy v rozsahu alfa, beta hladín a príčin ich vzniku,
- v štúdiách WHO boli preukázané prejavy vplyvom MLF v rozsahu 1-25 Hz, ktoré vznikajú pri nižších hodnotách indukcie ako je limitná hodnota v intervale 1-8 Hz,

- rozdiel polí (smer a veľkosť) medzi okolím a objektom určuje výsledný efekt. Tok magnetického poľa je rozhodujúci, preto je potrebné poznať smer a veľkosť magnetického poľa v konkrétnom analyzovanom mieste,
- hodnota indukovaného elektrického poľa a prúd závisia na orientácii vonkajšieho magnetického poľa a polohy tela (objektu),
- indukované polia v tele sú najväčšie, keď magnetické pole prechádza kolmo na najväčšiu plochu tela (spredu/dozadu). Obdobne to platí aj pre jednotlivé orgány tela, t.j. pri konštantnej polohe tela a magnetického toku v závislosti na polohe orgánu v tele, môže dôjsť k rôznej expozícii,
- rozdelenie indukovaného elektrického poľa je ovplyvnené rozdielnou vodivosťou orgánov a tkanív v tele.

[1] ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz - 100 kHz), 2010, published in: *Health Physics* 99(6):818-836; 2010.

[2] ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Electric Fields Induced by Movement of the Human body in a static magnetic field and by time-varying magnetic fields below 1 Hz, published in: *Health Physics* 106(3):418-425.

[3] Krivulka, P.: *Moduly, teória a výskum NFT. Modul 6, učebný text Biofeedback a neurofeedback. Úvod do aplikovanej psychológie. Psychotrend, 2003.*

[4] Jancurová, A.: *Možnosti aplikácie EEG biofeedbacku na senzomotoriku u jednotlivcov s viacnásobným postihnutím, PF, UK, 2013.*

http://dubravska.sk/wp-content/uploads/2013/11/dizertacna_praca_final_verzia.pdf