

Elektromagnetický smog

Jaroslav Filip

Bakalářská práce
2007



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství ochrany živ. prostředí

akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jaroslav FILIP**

Studijní program: **B 2808 Chemie a technologie materiálů**

Studijní obor: **Chemie a technologie materiálů**

Téma práce: **Elektromagnetický smog**

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte dostupnou literaturu týkající se problematiky elektromagnetického smogu (zdroje, účinky na zdraví lidí a na životní prostředí, legislativa).
2. Nalezené informace kriticky zhodnoťte a přehledně uspořádejte.
3. Rozsah práce by měl činit asi 20 stran formátu A4.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Vratislav Bednařík, Ph.D.

Ústav inženýrství ochrany živ. prostředí

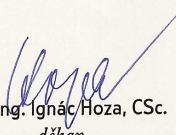
Datum zadání bakalářské práce:

5. února 2007

Termín odevzdání bakalářské práce:

11. června 2007

Ve Zlíně dne 1. února 2007


prof. Ing. Ignác Hoza, CSc.
děkan




doc. Ing. Jaromír Hoffmann, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Z možného negativního působení elektromagnetického smogu, tedy lidmi produkovaných nežádoucích elektromagnetických polí, panují díky neustálému technologickému rozvoji čím dál větší obavy. Účelem mé bakalářské práce je shrnout základní poznatky o těchto polích, především o jejich rozšíření, intenzitě, způsobech interakce s živými organismy a z toho vyplývajících možných negativních vlivů na zdraví a životní prostředí. Dále shrnuje legislativní rámec ochrany veřejnosti před těmito vlivy jak v České republice, tak v mezinárodním měřítku.

Klíčová slova:

Elektromagnetické pole, elektromagnetický smog

ABSTRACT

Because of technological progress the worries about the possible adverse health effects of electromagnetic smog (human-made unwanted electromagnetic fields) have risen. My bachelor thesis has summarized the basic knowledges about these fields, including where they can be found, what intensity are they, the ways of their interaction with living organisms and consequential adverse effects on health and on the environment. It has also summarized the legislation related with protection from these effects as in the Czech republic, as internationally.

Keywords:

Electromagnetic field, electromagnetic smog

OBSAH

ÚVOD.....	7
I TEORETICKÁ ČÁST	8
1 ZÁKLADNÍ VZTAHY, DEFINICE A JEDNOTKY	9
1.1 ELEKTRICKÉ POLE	9
1.2 MAGNETICKÉ POLE.....	9
1.3 POHYB ELEKTRICKY NABÍTÝCH ČÁSTIC V ELEKTROMAGNETICKÉM POLI.....	10
1.4 ELEKTROMAGNETICKÉ VLNĚNÍ.....	10
1.4.1 Vlastnosti elektromagnetického vlnění	11
1.4.2 Spektrum elektromagnetického vlnění.....	11
2 NEJBĚŽNĚJŠÍ ZDROJE EMF	13
2.1 STATICKÉ POLE.....	13
2.1.1 Přírodní statické elektrické pole.....	13
2.1.2 Přírodní statické magnetické pole	13
2.1.3 Antropogenní statické elektrické pole.....	14
2.1.4 Antropogenní statické magnetické pole	15
2.2 NÍZKOFREKVENČNÍ ELEKTROMAGNETICKÁ POLE.....	16
2.2.1 Přírodní zdroje ELF/EMF	16
2.2.2 Antropogenní ELF/EMF	17
2.2.2.1 Elektrická složka ELF/EMF	17
2.2.2.2 Magnetická složka ELF/EMF	19
2.3 ELEKTROMAGNETICKÁ POLE O STŘEDNÍ FREKVENCI.....	21
2.3.1 Přírodní zdroje IF záření	21
2.3.2 Antropogenní zdroje IF záření	21
2.4 ELEKTROMAGNETICKÉ POLE O RÁDIOVÉ FREKVENCI	22
2.4.1 Přírodní zdroje RF/EMF	22
2.4.2 Antropogenní zdroje RF/EMF	22
3 INTERAKCE A ÚČINKY ELEKTROMAGNETICKÝCH POLÍ.....	24
3.1 STATICKÉ ELEKTRICKÉ POLE.....	24
3.2 STATICKÉ MAGNETICKÉ POLE	24
3.2.1 Elektrodynamická interakce	25
3.2.2 Magnetomechanická interakce	25
3.2.3 Vliv na radikálové meziprodukty.....	26
3.3 ELEKTRICKÁ SLOŽKA ELF/EMF	27
3.4 MAGNETICKÁ SLOŽKA ELF/EMF.....	27
3.4.1 Dětská leukémie	28
3.4.2 Ostatní rakovinná onemocnění.....	28
3.4.3 Neurodegenerativní onemocnění.....	28
3.4.4 Ostatní epidemiologické výzkumy.....	28

3.5	IF/EMF	29
3.5.1	Netermální působení	29
3.5.2	Termální působení.....	30
3.5.3	Komplexní fyziologické reakce.....	30
3.6	RF/EMF.....	30
3.6.1	Fyziologické dopady termálního působení.....	31
3.6.2	Epidemiologické výzkumy.....	32
3.7	MOŽNÉ DOPADY NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	32
3.7.1	Vliv na živočichy	33
3.7.2	Dopad na rostliny	34
4	LEGISLATIVNÍ ZABEZPEČENÍ OCHRANY PŘED EMF.....	35
4.1	SMĚRNICE ICNIRP	35
4.2	MEZINÁRODNÍ NORMY ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY	36
4.3	LEGISLATIVA V ČR.....	37
4.3.1	Ochrana obyvatel před EMF	37
4.3.2	Technické normy pro EMC platné v ČR.....	37
	ZÁVĚR	39
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	40
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	43
	SEZNAM PŘÍLOH.....	45

ÚVOD

V současné době je lidská společnost charakterizována enormní regresí trendu, který se začal uplatňovat již v minulém století a to zvyšováním životní úrovně „nepřírodními“ technologiemi. To je příčinou komplexního antropogenního tlaku na životní prostředí. Za jednu ze složek této environmentální zátěže jsou považována i elektromagnetická pole (EMF - Electromagnetic fields), která jsou přirozenou součástí životního prostředí (viz kapitola 2), ovšem v míře o mnoho menší, než je jejich produkce lidmi. Obecně to souvisí s masovým rozvojem používání zařízení a technologických postupů, které využívají elektrickou energii.

Nepřírodní elektromagnetická pole jsou dnes rozšířena do té míry, že v běžně zalidněných oblastech se jim prakticky nelze vyhnout a vytváří tak víceméně konzistentní „šum“, pro který se vžil název elektromagnetický smog (zkráceně elektrosmog). Růst množství zdrojů těchto polí, signifikantní zejména od 70. let, koresponduje s rostoucími obavami veřejnosti z jejich negativních dopadů na zdravotní stav a s množstvím vědeckých prací a studií, zabývajících se tímto tématem. Počet těchto prací je podle WHO (World Health Organization – Světová zdravotnická organizace) kolem 25 000, což je víc, než o kterékoliv chemické sloučenině a dokazuje to rozsah problému. Výsledky těchto výzkumů vykazují ovšem určitou míru nejistoty a poukazují na „mezery ve znalostech.“

Cílem mé práce je shromáždit nejdůležitější fakta, která vyplývají z dosavadního výzkumu působení elektromagnetických polí na živé organismy a obecně jejich rušivého vlivu. Stejně jako většina těchto prací jsem se omezil na frekvenční rozsah 0 – 300 GHz, který v sobě zahrnuje elektromagnetické záření emitované nejrozšířenějšími zdroji elektrosmogu, tedy rozvody a používání elektrické energie a komunikace – mobilní telefony, vysílače, radary, atd.

První kapitola uvádí nejdůležitější fyzikální veličiny a jejich jednotky vztahující se k elektromagnetickým polím. Druhá kapitola uvádí nejběžnější zdroje elektromagnetického záření, jejich intenzitu a specifika pro jednotlivé frekvenční oblasti. Pro srovnání uvádí i intenzitu přírodních polí. Třetí kapitola se zabývá způsoby interakce polí s živými organismy, jejich předpokládaným vlivem na člověka a životní prostředí. Čtvrtá kapitola pak shrnuje legislativní ošetření této problematiky v mezinárodním měřítku a v České republice.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁKLADNÍ VZTAHY, DEFINICE A JEDNOTKY

V této kapitole jsou definovány jevy elektrické a magnetické pole, jejich vlastnosti, veličiny a jednotky, které se vyskytují v dalším textu. Uvedené informace jsou přebrány z [1] a [2], kde je tato problematika popsána podrobněji, včetně příslušných rovnic.

1.1 Elektrické pole

Vlastností některých částic je kladný nebo záporný elektrický náboj, který se projeví silovým působením na elektrické náboje v jeho okolí. Velikost tohoto silového působení je dána Coulombovým zákonem [1]. Souhrnné silové působení určitého souboru částic se nazývá elektrické pole. Je charakterizováno veličinou intenzita elektrického pole E ($\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$).

Elektrické pole je dále definováno hodnotou potenciálu V , což je práce, kterou vykoná elektrostatické pole při přenosu jednotkového náboje do místa s nulovým potenciálem. Jednotkou potenciálu je volt (V). Rozdíl potenciálů dvou bodů v prostoru pak označujeme jako napětí U , jednotkou je rovněž V.

Elektrické pole se šíří vakuem i hmotným prostředím, přičemž jeho intenzita závisí na materiálové vlastnosti prostředí – relativní permitivitě ϵ_r . Vlivem vnějšího elektrického pole na vnitřní náboje nevodivé látky (dielektrika) dochází k tzv. polarizaci dielektrika. Ve vodivých látkách způsobuje elektrické pole pohyb nábojů, tedy elektrický proud. K popisu takto indukovaných proudů se používá veličina proudová hustota J ($\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$).

1.2 Magnetické pole

Magnetické pole je generováno pouze elektrickým nábojem, který je v pohybu, tedy např. vodičem, kterým protéká elektrický proud nebo v přírodně magnetických látkách, kde je tato podmínka splněna pohybujícími se elektrony. Zdrojem magnetického pole je i časově proměnné elektrické pole.

Vektorová veličina, která charakterizuje magnetické pole se nazývá magnetická indukce B (tesla – T). Pro indukci magnetického pole vyvolaného elementem proudovodiče platí Biot-Savartův zákon[1].

Magnetické pole můžeme definovat pomocí magnetického (indukčního) toku ϕ (weber – Wb). Další definující veličinou je intenzita magnetického pole H ($A \cdot m^{-1}$), která určuje vlastnosti magnetického pole v závislosti na prostředí, kterým se šíří.

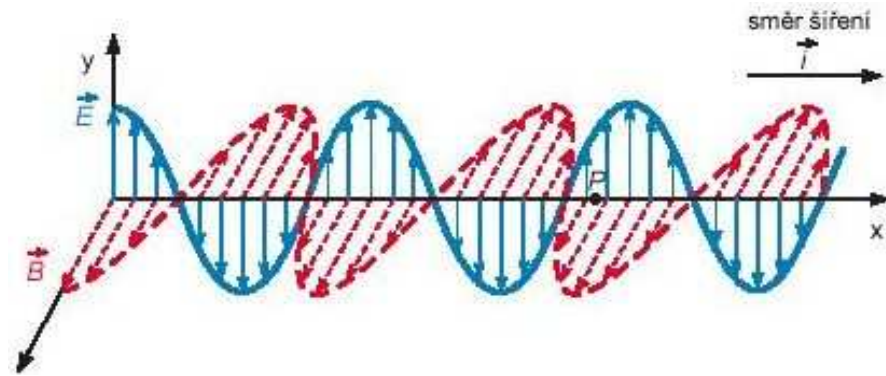
1.3 Pohyb elektricky nabitých částic v elektromagnetickém poli

Na pohybující se nabitou částici v elektromagnetickém poli působí tzv. Lorentzova síla [1], což je souhrnné vyjádření silového působení elektrického i magnetického pole. Magnetická složka může měnit pouze dráhu částice, elektrická pak její rychlost. Možnosti ovlivnění pohybu částic se využívá např. v televizních obrazovkách, elektronových mikroskopech, v cyklotronech, důsledkem Lorentzovy síly je rovněž tzv. Hallův jev, který spočívá v indukci napětí na plochém vodiči ve směru kolmém k protékajícímu proudu I i k vnějšímu magnetickému poli. Bude-li vodič i protékající proud kalibrovaný, bude velikost indukovaného napětí záviset jen na indukci vnějšího magnetického pole, což umožňuje její měření.

1.4 Elektromagnetické vlnění

Vztah mezi elektrickým a magnetickým polem je dán Faradayovým zákonem – každá změna indukčního toku vnějšího magnetického pole vytvoří ve vodiči indukované elektrické pole, které silovým působením na nabitě částice vytváří elektrický proud. Alternací vnějšího magnetického pole (častěji však pohybem vodiče ve statickém magnetickém poli) vznikají tedy časově proměnné proudy, elektrické i magnetické pole jsou funkcemi času. Podél takových vodičů se rychlostí světla šíří tzv. elektromagnetické rozruchy, které jsou původem elektromagnetického vlnění podobně jako mechanické rozruchy způsobují mechanické vlnění a stejně tak jej lze i popsat vlnovou funkcí, která je řešením vhodné vlnové rovnice.

Nejjednodušší případ elektromagnetické vlny je příčná rovinná vlna, která se šíří homogenním nevodivým prostředím rychlostí světla – viz obr. 1:



Obr. 1 Rovinná elektromagnetická vlna [2]

Vektory E a B jsou na sebe kolmé a oba jsou kolmé ke směru šíření. Mění-li se E harmonicky, mění se harmonicky i B , vektory jsou ve fázi.

1.4.1 Vlastnosti elektromagnetického vlnění

Magnetická a elektrická složka jsou ve vzájemném vztahu, který definují tzv. Maxwellovy rovnice[2]. Z jejich řešení vyplývá, že úbytek vektoru B v čase vede k nárůstu vektoru E ve směru osy x a naopak, (což jednoznačně prokazuje vztah mezi E a B), dále se jejich řešením určí rychlost šíření elektromagnetického vlnění v homogenním prostředí.

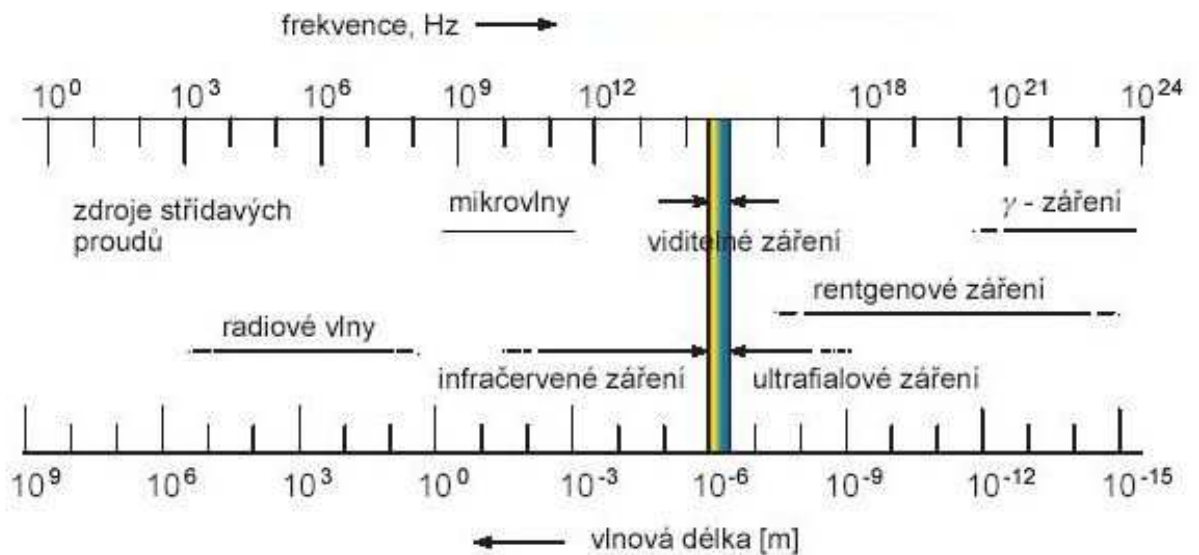
Při šíření elektromagnetického vlnění dochází k transportu energie, kterou mohou přijímat předměty, které záření absorbují. Množství energie dW transportované za jednotku času jednotkovou plochou kolmou ke směru záření se nazývá intenzita vlnění I (W/m^2). Pro elektromagnetické vlnění je výhodnější popisovat intenzitu tzv. Poyntingovým vektorem S [2].

Stejně jako mechanické vlnění, i elektromagnetické může interferovat, odrážet se nebo být pohlcováno v závislosti na vlastnostech prostředí, kterým prochází.

1.4.2 Spektrum elektromagnetického vlnění

Jako mechanické vlnění i elektromagnetické je charakterizováno vlnovou délkou λ (metr) nebo frekvencí f (hertz Hz), přičemž součin $\lambda \cdot f$ udává rychlost šíření v m/s. Rozsah frekvencí elektromagnetického záření je teoreticky neomezený spodní ani horní hranicí, prakticky je však v současné době známo spektrum o rozsahu asi 30 řádů. To se podle používaných zdrojů a detektorů dělí na několik frekvenčních oborů, přičemž záření z různých obo-

rů mají velmi odlišné vlastnosti co se týká šíření vlnění, prostupnosti a přenášené energie. Rozdělení celého frekvenčního spektra – viz obr. 2:



Obr.2 Frekvenční oblasti elektromagnetického spektra [2]

Podle intenzity vlnění je možné rozdělit spektrum na oblast neionizujícího záření a ionizujícího, které má chemické účinky (tzn. přenáší dostatek energie na to, aby ovlivnilo chemické vazby v látkách). Spodní hranice frekvence ionizujícího záření je cca 10^{15} Hz.

Podrobnější popis zdrojů a účinků záření z jednotlivých frekvenčních oborů, které se vztahují k tématu elektromagnetický smog, je obsahem následujících kapitol.

2 NEJBĚŽNĚJŠÍ ZDROJE EMF

V této části jsou uvedeny nejběžnější zdroje elektromagnetického záření a jejich intenzity. Uvedené rozdělení do jednotlivých frekvenčních oborů je používáno ve většině textů zabývajících se tímto tématem.

2.1 Statické pole

Jejich intenzita je nezávislá na čase, pokud se mění tak jen velmi pomalu. Tato pole bývají považována za složku ELF/EMF s frekvencí 0 Hz.

2.1.1 Přírodní statické elektrické pole

Statické elektrické pole naměřitelné nad povrchem Země vzniká rozdílem nábojů ionosféry a Země, která je z tohoto hlediska považována za vodič. Od ionosféry je oddělena vrstvou vzduchu, který má zanedbatelnou vodivost. Intenzita tohoto pole je velmi závislá jednak na vzdálenosti od povrchu Země (typická hodnota na povrchu je udávána $130 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$, 100 m nad povrchem je $100 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$, ve výšce 1 km pak $45 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$), dále závisí na vlastnostech vzduchu (vlhkost, teplota a složení – vliv má hlavně obsah iontů). Poměrně velké výkyvy způsobují rovněž klimatické jevy jako např. bouřka, kdy může lokálně dojít nejprve k nárůstu intenzity elektrického pole až na hodnotu $3 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ a následně až k jeho inverzi, která je taky časově omezená. Mlhy a dešťové srážky mohou způsobit odchylky od normální intenzity přírodního el. pole v rozmezí až 200% [3].

2.1.2 Přírodní statické magnetické pole

Statické magnetické pole je způsobováno hlavně vnitřní stavbou Země. Díky elektrickým proudům vznikajícím v tekutém jádře se Země chová jako permanentní magnet s průměrnou intenzitou magnetického pole kolísající v závislosti na geografické poloze od $35 \mu\text{T}$ na rovníku po $70 \mu\text{T}$ na magnetických pólech.

Nerovnoměrné proudění kapalných složek jádra pak způsobuje fluktuace, jejichž rychlost je obvykle v řádu týdnů a intenzitou nepřesahující většinou několik procent z celkové intenzity magnetického pole Země. Součástí samotného procesu generace magnetického pole Země jsou i pomalejší, avšak intenzivnější změny, kdy může docházet až k téměř úplnému

vymizení geomagnetického pole a jeho následnému přepólování. Periody těchto změn jsou v rámci statisíců let.

Nejrychlejší změny probíhají díky vnějším vlivům, hlavně slunečním erupcím, kdy dochází k interakci slunečního větru (proudu protonů) s horními vrstvami atmosféry, čímž dojde k fluktuaci zde vnikajících elektrických proudů, které ovlivňují geomagnetické pole Země. Celková intenzita takto indukovaných změn je ještě menší, než u změn vyvolaných nerovnoměrným prouděním tekutin v jádře, nedosahují ani $1 \mu\text{T}$.

2.1.3 Antropogenní statické elektrické pole

intenzivním zdrojem jsou vedení stejnosměrného proudu, kdy přímo pod vedením vysokého napětí (500 kV) byla zjištěna hodnota statického elektrického pole přibližně $20 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$, což je téměř 200násobek přírodní hodnoty. Intenzita tohoto pole klesá se vzdáleností od zdroje (ve vzdálenosti 400 m cca $2 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$, ve vzdálenosti 800 m cca $1 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$). Pod 450 kV vedením byla pak naměřena průměrná intenzita $13,7 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ s maximální hodnotou $23,3 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$. Vedení stejnosměrného proudu nejsou ale tak často používána, neboť zde dochází k mnohem větším ztrátám, než při vedení střídavého elektrického proudu.

Dalším zdrojem statického elektrického pole jsou dopravní prostředky, využívající jako zdroj energie stejnosměrný proud. To se týká zejména metra, tramvají a vlaků, kdy ve vzdálenosti 5 m od 600 V vedení stejnosměrného proudu dosahuje intenzita elektrického pole cca $30 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$ [3].

Elektrická energie bývá vedena i podmořskými kabely, přičemž spousta z nich distribuuje stejnosměrný proud. I přes izolaci a kovové stínění se zde indukuje statické elektrické pole, které může dosahovat a přesahovat přírodní hodnoty (v Severním moři $25 \mu\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$) a to hlavně u tzv. monopolárních systémů, kde je zpětný proud veden volně mořskou vodou pomocí elektrod (většinou grafitová anoda a titanová katoda). Ve vzdálenosti 10 cm od katody je přibližná hodnota intenzity elektrického pole $1 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$, ve vzdálenosti 1 m pak $0,07 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$. Ve větší vzdálenosti jsou pak udávány hodnoty intenzity $1\text{-}50 \mu\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$ [4].

Významným zdrojem statického elektrického pole jsou díky svému poměrně velkému rozšíření v mnoha domácnostech elektrická zařízení používající stejnosměrný proud, mezi nimiž jsou nejvýznamnější emitory televizní obrazovky a PC monitory. Intenzita těchto zdrojů je velmi různorodá v závislosti na druhu spotřebiče a taky na okolních podmínkách

– např. vlhkost ovzduší a uzemnění. Obvyklá hodnota intenzity el. statického pole ve vzdálenosti 5 cm od obrazovky je v rozpětí $100 - 300 \text{ kV.m}^{-1}$, ve vzdálenosti 30 cm pak $10 - 20 \text{ kV.m}^{-1}$. Intenzitu tohoto pole lze velmi dobře zredukovat až na hodnotu několika kV.m^{-1} bezprostředně u obrazovky stíněním uzemněnou vodivou clonou.

Elektrický potenciál může být akumulován i chůzí po nevodivém povrchu a jeho velikost může dosáhnout až několika kilovoltů. Toto napětí pak generuje elektrické pole o intenzitě $10 - 500 \text{ kV.m}^{-1}$ [3].

2.1.4 Antropogenní statické magnetické pole

Nejčastěji je generováno spolu se statickým elektrickým polem, pořadí zdrojů co do intenzity je však odlišné. Nejvíce se na vzniku magnetického pole podílí doprava, konkrétně tramvaje, metra a elektrifikovaná železniční doprava. Typická hodnota indukce v místech pro cestující bývá mezi $30 - 60 \mu\text{T}$, v závislosti na typu dopravního prostředku může být i vyšší (např. [3] udává indukci u podlahy prostoru pro cestující v Londýnském metru $100 - 2000 \mu\text{T}$)

Veřejnost může být dále konfrontována se statickým magnetickým polem (SMF – static magnetic field) vznikajícím vedením stejnosměrného proudu, což ovšem není příliš běžné. Navíc generované pole je poměrně málo intenzivní - $22 \mu\text{T}$ pod 500 kV vedením.

V domácnostech se statická magnetická pole vyskytují poměrně zřídka a většinou jen o nízké intenzitě. Zdroje mohou být běžně používané permanentní magnety, zde však klesá intenzita z uváděných $1 - 10 \text{ mT}$ uvnitř magnetu velmi rapidně se vzdáleností. Potencionální riziko expozice by mohly představovat magnety používané v blízkosti těla, tedy např. ty, které jsou v reproduktorech mobilních i pevných telefonů a sluchátek. Podle studie EC z roku 1996 může indukce na jejich povrchu nabývat hodnot $0,3 - 1 \text{ mT}$.

Působení SMF o intenzitě silně převyšující přírodní hodnoty jsou vystaveni pracovníci v některých odvětvích průmyslu. Jedná se zejména o výrobu hliníku, při které se používá stejnosměrný proud na elektrolyzu taveniny bauxitu a při které se generuje SMF o indukci až 100 mT , pracovníci jsou však podle dostupných měření průměrně vystavováni polím $<20 \text{ mT}$. Podobné hodnoty jsou typické i pro jiné elektrolytické průmyslové procesy.

Dalším významným průmyslovým zdrojem SMF je obloukové svařování, při kterém byla ve vzdálenosti 1 cm od přívodních kabelů naměřena hodnota 5 mT .

Mezi další lidské činnosti, které tak jako průmysl generováním SMF ohrožují pouze určitou skupinu lidí, patří obecně metody, které SMF přímo využívají. Ve zdravotnictví je velmi rozšířeno zobrazování tkání magnetickou rezonancí (Magnetic Resonance Imaging – MRI) a funkční magnetickou rezonancí (fMRI). V obou metodách se využívá toho, že jádra atomů s magnetickým spinem se chovají jako magnetické dipóly. Osy těchto dipólů jsou při normálních podmínkách uspořádány náhodně, naproti tomu v homogenním magnetickém poli mohou být tyto atomy buď v excitovaném (vysokoenergetickém) stavu, kdy osa jejich dipólu je orientována proti vnějšímu magnetickému poli nebo v základním stavu (dipól je orientován souhlasně s vnějším magnetickým polem). Při přechodech mezi těmito stavy dochází k emisi energie o frekvenci, která je charakteristická pro jednotlivé atomy (prvky) a jejíž měření nám umožňuje vlastní detekci či analýzu. Magnetická pole pro tuto zobrazovací metodu jsou generována permanentními magnety nebo supravodivými magnety a jejich indukce je v rozmezí 0,2 – 3 T. Toto pole přímo působí na vyšetřovaného pacienta, většinou ovšem jen po dobu několika minut.

I přes stínění magnetů využívaných při této metodě může indukce nežádoucího, „unikajícího“ magnetického pole dosahovat hodnoty cca 1T, přičemž tato hodnota klesá průměrně na 30 mT ve vzdálenosti 2 m od magnetů a na ovládacím stanovišti nepřekračuje 5 mT .

SMF o vysokých intenzitách je dále používáno pro výzkumné účely např. při spektroskopické analýze látek nukleární magnetickou rezonancí, která využívá stejný princip jako fMRI. Pro tuto metodu jsou vyvíjeny magnetická pole o indukci až 20 T, přičemž v dostupném okolí magnetu může být indukce až 2 T (18 cm radiálně od 18,8 T magnetu, pro vzdálenost 52 cm je intenzita 600 mT)[3]. Dále jsou supravodivé magnety používány v urychlovačích částic, kde je však možné riziko expozice poměrně malé a navíc je soustředěno na velmi malou cílovou skupinu osob.

2.2 Nízkofrekvenční elektromagnetická pole

Rozsah frekvencí je 0 – 300 Hz. Označují se jako ELF (Extremely Low Frequency) elektromagnetická pole (ELF/EMF)

2.2.1 Přírodní zdroje ELF/EMF

Přírodní zdroje elektromagnetických polí s velmi nízkou frekvencí změn souvisí s výše popsanými způsoby alternace přírodních statických EMF. Jsou tedy dány hlavně stavbou

Zemského jádra (fluktuační magnetického pole), nepravidelnostmi sluneční aktivity a lokálními klimatickými podmínkami (fluktuační elektrického pole). Vzhledem k velmi nízké frekvenci bývají považovány za statickou složku přírodních ELF/EMF s intenzitou elektrického a magnetického pole stejnou, jako u přírodních statických polí (viz. 2.1.1, 2.1.2). Časově proměnná složka přírodního elektromagnetického pole pak obsahuje i rozmezí frekvencí 50 – 60 Hz, což je pásmo, kterému díky využívání elektřiny dominují antropogenní zdroje. V tomto rozmezí frekvencí je intenzita přírodního elektrického pole cca 10^{-4} V.m⁻¹ a magnetického pole průměrně 10^{-6} μT.

Souhrnně klesá indukce přírodního magnetického pole z 5 – 10.10⁻² μT při frekvenci 5 – 7 Hz na hodnotu řádově 10⁻⁸ μT při frekvencích 3 kHz [5].

2.2.2 Antropogenní ELF/EMF

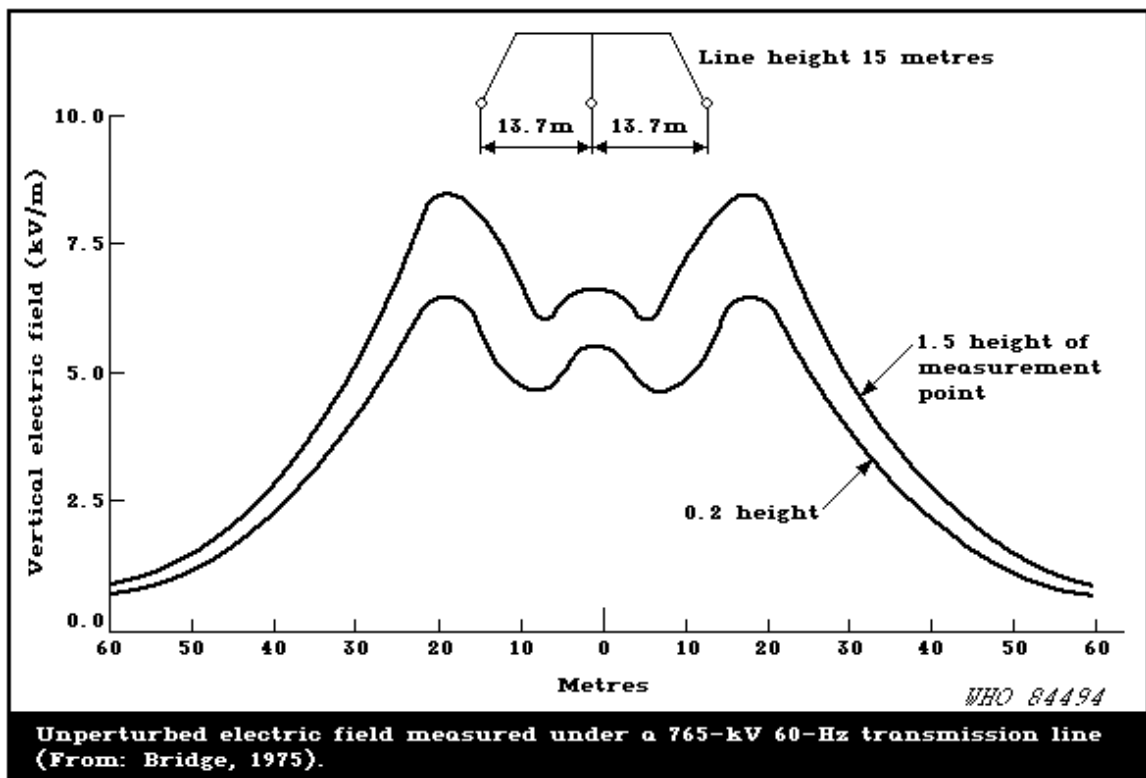
Co do intenzity a rozšíření mají absolutní převahu nad přírodními zdroji. Generují se hlavně při výrobě, transportu a využívání elektřiny, jejíž spotřeba (a tedy i expozice ELF/EMF) v souvislosti se zvyšujícími se nároky na životní úroveň lidí neustále roste. Spolu s elektromagnetickými poli o radiové frekvenci jsou považovány za nejrozšířenější environmentální polutant, stávají se nevyhnutelnou součástí moderního životního stylu.

2.2.2.1 Elektrická složka ELF/EMF

Jelikož jeho intenzita závisí přímo úměrně na napětí, pomocí kterého je indukováno, je nasnadě, že nejintenzivnější zdroje ELF elektrického pole bude tzv. nadřazená přenosová soustava – tedy distribuční síť velmi vysokých napětí (v ČR 400 a 220 kV) - a obecně zařízení související s touto distribuční sítí, např. transformátory. Intenzita el. pole u zemského povrchu bezprostředně pod vodiči takto vysokých napětí nepřesahuje 10 kV/m, ve vzdálenosti 50 m pak klesá řádově na jednotky až desetiny kV/m. Přesnější údaje viz tab. 1 a obr. 3.

Tab. 1 Intenzita el. pole pro vybrané vzdálenosti od vedení vysokého napětí (převzato z [5])

Napětí vedení	E ve vzdálenosti 30 m (kV/m)	E ve vzdálenosti 60 m (kV/m)
115 kV	0,07	0,01
230 kV	0,3	0,05
500 kV	1,0	0,3



Obr. 3 Závislost intenzity el. pole na laterální vzdálenosti od vedení 765 kV [5]

Podmínky, které nejvíce ovlivňují intenzitu tohoto pole jsou kromě laterální vzdálenosti od vodiče jeho výška nad povrchem, geometrie vodičů a aktuální napětí. Intenzita je dále snižována pevnými překážkami, tedy i zdmi domů. Díky tomu je intenzita takto generovaného pole uvnitř budov situovaných v blízkosti vedení vysokého napětí o 1 – 2 řády nižší, než v terénu.

Obecně se uvnitř budov elektrické pole o frekvenci 50/60 Hz generuje díky používání všech druhů elektrických spotřebičů a přístrojů. Intenzita pole bude velmi variabilní

v závislosti na druhu přístroje a vzdálenosti od těla, průměrná hodnota intenzity elektrického pole v běžných domácnostech je 0 – 10 V/m.

2.2.2.2 Magnetická složka ELF/EMF

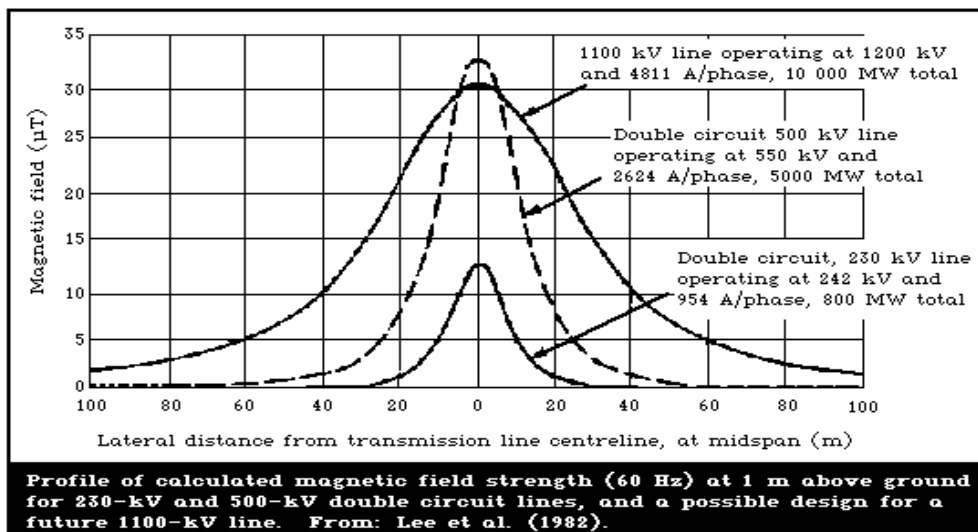
Je považováno za tu složku ELF/EMF, která může mít negativní dopady na lidské zdraví, proto je mu ve většině studií, zabývajících se dopady distribuce a používání elektřiny věnována větší pozornost než poli elektrickému.

Jeho nejintenzivnější zdroje jsou jako u elektrického pole vedení velmi vysokého napětí, přičemž hlavní směr šíření je kolmo na osu vodiče. Maximální hodnota indukce závisí na velikosti protékajícího proudu (udává se cca 0,1 mT/kA) a podobně jako u el. pole na geometrii a vzájemné poloze vodičů, kdy magnetické pole klesá při snižování horizontální vzdálenosti mezi dvěma vodiči s opačným průběhem proudu. Průměrné hodnoty indukce magnetického pole v okolí vedení velmi vysokého napětí udává tabulka:

Tab. 2 Indukce magnetického pole pro vybrané vzdálenosti od vedení vysokého napětí (z [5])

Napětí vedení	B ve vzdálenosti 30 m (μT)	B ve vzdálenosti 60 m (μT)
115 kV	0,17	0,04
230 kV	0,71	0,18
500 kV	1,26	0,32

Tvar závislosti indukce magnetického pole na laterální vzdálenosti od vodiče je zřejmý z obr. 4.



Obr. 4 Závislost magnetické indukce na laterální vzdálenosti od vedení vysokého napětí [5]

Magnetická pole indukovaná vedením vysokého napětí se díky své prostupnosti většinou materiálů podílí i na celkové expozici v domácnostech či na pracovištích. Podle měření z r. 1993 je průměrná hodnota magnetického pole v domácnosti (měřeno v USA) $0,09 \mu\text{T}$, přičemž v 50% domácností nepřekročila indukce $0,06 \mu\text{T}$ a v 1% domácností byla větší než $0,66 \mu\text{T}$. Tyto hodnoty byly zjišťovány při vypnutých elektrospotřebičích, zahrnují tedy především magnetická pole vzniklá distribucí elektrické energie. Používáním elektrických zařízení pak vznikají pole, jejichž intenzita může významně překročit daný průměr – viz tab. 3. Uvedené hodnoty platí pro vzdálenost několika centimetrů od přístrojů.

Tab. 3 Velikost magnetického pole indukovaného běžnými el. spotřebiči [5]

60 Hz magnetické pole o průměrné indukci:			
0,01 – 0,1 mT	0,1 – 0,5 mT	0,5 – 1,0 mT	1,0 – 2,5 mT
Drtič odpadků	Barevná televize	El. otvůrák konzerv	325 wattová pájka
Sušička prádla	Kuchyňský mixér	Kuchyňský sporák	Fén na vlasy
Vysavač	Elektrická vrtačka	El. holící strojek	
Elektrický topinkovač		Stolní zářivka	

2.3 Elektromagnetická pole o střední frekvenci

Rozsah frekvencí je 300 Hz – 10 MHz. Tento interval bývá označován jako IF (Intermediate Frequencies) elektromagnetické pole (IF/EMF).

2.3.1 Přírodní zdroje IF záření

EMF se generují v atmosféře díky klimatickým jevům, především bouřkám. Tato elektromagnetická pole mívají frekvenci 2 - 30 MHz a jejich výskyt je silně ovlivněn geografickými a klimatickými podmínkami. Obecně mají největší intenzitu v rovníkové a nejmenší v polární oblasti.

2.3.2 Antropogenní zdroje IF záření

Používání zařízení, pracujících v odpovídajícím rozsahu frekvencí není tak masovou záležitostí jako zařízení, emitující nízkofrekvenční pole nebo pole o rádiové frekvenci. Běžné zdroje IF/EMF v domácnostech jsou indukční varné desky, kde se kovové (magnetické) dno nádoby ohřívá vířivými proudy, které jsou indukovány díky lokálnímu elektromagnetickému poli. Další běžný zdroj jsou televizní obrazovky a PC monitory, dále čtečky čipových karet a podobné identifikační systémy. Emitování IF/EMF využívají taky detektory kovů, detekční bezpečnostní zařízení a zařízení určená k detekci či identifikaci výrobků (např. pokladny a kontrolní zóny v nákupních střediscích). Obecně nejsou elektromagnetická pole generována touto skupinou zařízení příliš intenzivní, magnetická pole objektů, u kterých bylo prováděno měření, nepřekročila směrnice ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – Mezinárodní komise na ochranu před neionizujícím zářením)[6].

Možné zdroje minoritní expozice IF/EMF můžou pocházet taky z některých částí vybavení nemocnic či jiných zdravotnických zařízení. Svá specifika, která byla zohledněna při tvorbě směrnic ICNIRP, má expozice IF/EMF pracovníků v určitých odvětvích průmyslu, resp. při určitých výrobních procesech, jako je například svařování plastů, operace s plazmou či při práci v okolí určitých typů vysílačů. Vysílání s využitím IF/EMF je však více než veřejného sektoru záležitostí armády, konkrétně se jedná např. o systém komunikace ponorek Amerického námořnictva [4].

2.4 Elektromagnetické pole o rádiové frekvenci

Frekvenční rozsah je 10 MHz – 300 GHz, bývá označováno jako RF (Radiofrequency) elektromagnetické pole (RF/EMF).

2.4.1 Přírodní zdroje RF/EMF

Formálně můžeme do této kategorie zařadit záření, které vzniká v atmosféře díky klimatickým jevům (viz 2.3.1) a které má frekvenci vyšší, než 10 MHz. Jako emitore RF/EMF se chová podle Rayleigh-Jeansova zákona každé těleso s teplotou větší, než 0 K, tedy i Země. Intenzita vyzařování tohoto tzv. tepelného šumu je (integrálně pro všechny frekvence do 300 GHz) $0,003 \text{ W/m}^2$.

Další zdroje RF/EMF jsou extraterestrické povahy, jejich nejintenzivnějším (protože nejbližším) emitorem je Slunce. Díky selektivní prostupnosti atmosféry mají frekvenční rozsah cca 10 MHz – 37,5 GHz, průměrná intenzita záření dopadajícího na zemský povrch je menší než $0,01 \text{ mW/m}^2$ [7].

2.4.2 Antropogenní zdroje RF/EMF

Hlavní podíl na množství RF/EMF v životním prostředí obecně a především pak v urbanizovaných oblastech mají zařízení umožňující komunikaci, ať už se jedná o základnové stanice mobilních telefonů (base stations – GSM BS), vysílače a zesilovače radiového a televizního vysílání, vysokorychlostní internetové připojení nebo navigační systémy – radary a satelitní navigace (GPS). V domácnostech či veřejných budovách se pak na expozici většinou podílí i interní zdroje – základny bezdrátových telefonů, používání mobilních telefonů, některá zabezpečovací zařízení, PC monitory, televizní obrazovky nebo mikrovlnné trouby (mají-li vadné stínění). Jakkoliv elektromagnetická pole o frekvencích 10 MHz – 300 GHz jsou emitována (ať už primárně nebo jako „vedlejší produkt“) různými přístroji běžně používanými v domácnostech či na pracovištích, tyto zdroje mají na svědomí spíše minoritní podíl na celkové expozici rádiofrekvenčnímu elektromagnetickému záření.

Hlavními zdroji jsou tedy rozhlasové a televizní vysílače, které mohou mít vyzářený výkon až v řádech MW a GSM základnové stanice. Ty mívají díky vyšší použité frekvenci nižší výkon, typická hodnota přiváděného výkonu je 10 W. Problematika míry expozice těmito

zdroji je poměrně komplexní, je třeba brát v potaz např. časový faktor (intenzita vyzařování základnových stanic má v noci minimum a přes den dvě maxima – 10:00 – 13:00 a 18:00 – 22:00[8]), dále směrové parametry antény a její výška nad povrchem, resp. relativní výška vůči okolní zástavbě. Většina stanic vysílá úzce směřovaný hlavní paprsek, jenž probíhá ve výšce antény; pokud tedy je dostatečný výškový rozdíl mezi anténou a okolní zástavbou, bývají budovy blíže základnové stanici paradoxně méně exponovány. K časově omezenému zvýšení expozice může dojít díky interferenci emitovaného elektromagnetického pole způsobené odrazem od blízkých kovových předmětů nebo zdí[9].

Jiný charakter má expozice zářením, které vysílá během doby hovoru mobilní telefon. Vzhledem k relativně mnohem menší vzdálenosti od zdroje je zde úroveň ozáření několikrát vyšší, není však časově homogenní a působí lokálně. Úroveň expozice z těchto zdrojů závisí jednak na vzdálenosti od těla (při použití hands-free sady dojde k řádovému snížení lokální expozice mozkových buněk) a taky na vlastním vyzářeném výkonu. Ten v praxi nepřesahuje maximální hodnotu 0,6 W (v závislosti na modelu může být tato hodnota i 0,2 W) a významně se snižuje v lokacích s dobrým dosahem signálu základnových stanic. Z toho vyplývá, že současný trend zhušťování sítě GSM ve svém důsledku vede ke snižování vysílaného výkonu jak základnových stanic, tak mobilních telefonů[10].

3 INTERAKCE A ÚČINKY ELEKTROMAGNETICKÝCH POLÍ

3.1 Statické elektrické pole

Neproniká dovnitř vodivých předmětů, neovlivňuje tedy ani vnitřní fyziologii živých organismů. Výsledkem expozice je indukované povrchové napětí.

Statické elektrické pole je detekovatelné lidskými smysly, přičemž jako průměrná spodní hranice je udávána hodnota 45,1 kV/m v nepřítomnosti iontů, tedy elektrického proudu a 36,9 kV/m při proudové hustotě 300 nA/m²[3]. Tyto hodnoty mají vzhledem k rozdílům v konstituci jednotlivců poměrně velký rozptyl. Pokud je statickým elektrickým polem exponována osoba (nebo obecně vodivý objekt) izolovaná od země, dochází ke kumulaci povrchového náboje, který při kontaktu s uzemněným objektem způsobí elektrický výboj, tzv. mikrošok.

Podle výsledků in vivo výzkumů vlivu expozice statickým elektrickým polem není toto záření spojeno s akutními negativními zdravotními následky. Rovněž nejsou žádné studie, které by dokazovaly statickému elektrickému poli subakutní toxicitu, zodpovědnost za vznik zdravotních problémů chronického rázu nebo rakoviny[3].

3.2 Statické magnetické pole

Na rozdíl od elektrického pole prostupuje pevnými předměty (tedy i živočišnými tkáněmi), jeho intenzita je téměř stejná uvnitř exponovaného předmětu jako ve vnějším prostředí. Díky tomu dochází při interakcích pole s živým organismem k biologickým změnám na chemické či fyzikální bázi. Zkoumání biologických dopadů expozice zahrnuje magnetické pole o různých intenzitách a s odlišnými způsoby fyzické interakce, typické oblasti zkoumání jsou např.: navigace zvířat a obecně vliv statického magnetického pole na chování živočichů; údajné terapeutické účinky statického magnetického pole, ať už samotného či v kombinaci s farmaky; statická pole vznikající výrobou a používáním stejnosměrného proudu a silná magnetická pole využívána při výzkumných či léčebných aplikacích nukleární magnetické rezonance. Vlastní interakce magnetického pole s živou tkání se děje třemi způsoby:

- 1) elektrodynamická interakce
- 2) magnetomechanická interakce

3) vliv na meziprodukty některých typů radikálových metabolických reakcí

3.2.1 Elektrodynamická interakce

Na elektrický náboj v pohybu, je-li v magnetickém a zároveň elektrickém poli, působí Lorentzova síla, která mění jeho směr, ale ne rychlost, přičemž se indukuje elektrický potenciál.

V živém organismu je tento elektrický náboj v pohybu představován hlavně ionty, které jsou obsaženy v proudící krvi, proto při expozici živočichů a lidí statickým magnetickým polem dochází k „magnetohydrodynamickému“ jevu (tedy indukci sil, působících proti směru průtoku), který má za následek redukci krevního průtoku řádově o 1% při 5 T, 5% při 10 T a o 10% při 15 T. Magnetohydrodynamický jev může pravděpodobně ovlivnit i funkci vestibulárního orgánu vnitřního ucha, což může vyústit v závrať a nauzeu. Při expozici velmi silným magnetickým polem (prahová hodnota cca 24 T) by mohl být ovlivněn transport iontů v iontových kanálech buněčných membrán.

Magnetohydrodynamický jev může mít významnější fyziologické dopady až při expozici magnetickými poli příliš intenzivními na to, aby jim byli jedinci běžně vystavováni.

Další důsledek působení statického magnetického pole na proudící krev je indukce napětí v okolí hlavních cév a srdce. Jakkoliv je takto indukované napětí měřitelné, jeho fyziologické důsledky nejsou zatím zcela prozkoumány. Obecně ovlivňuje toto napětí svalovinu srdce, což může způsobovat arytmií či jiné srdeční dysfunkce, přičemž větší fyziologický význam je přičítán napětí indukovanému v koronárních tepnách než napětí v aortě. Tato napětí jsou měřitelná již při expozici magnetickému poli cca 0,1 T. Při silnější expozici (2 – 4 T), které je běžná např. při tomografickém vyšetření se nepříznivě projevuje i elektrické napětí způsobeno pohybem celého těla nebo některých jeho částí. Intenzita tohoto jevu závisí na rychlosti a způsobu pohybu těla a na gradientu magnetického pole. Jako symptomy jsou uváděny krátkodobá nevolnost a nauzea, popřípadě mírné zrakové poruchy a kovová chuť v ústech[3].

3.2.2 Magnetomechanická interakce

Magnetické momenty makromolekul či prostorově uspořádaných molekulárních útvarů látek, které vykazují magnetickou anizotropii, mají ve stacionárním magnetickém poli sna-

hu natáčet se v závislosti na směru vektoru vnějšího pole tak, aby zaujaly energeticky nejvýhodnější stav. Toto způsobí vzrůst potenciální energie magnetického momentu. V případě, že se jsou magnetomechanicky interagovány součásti koenzymů nebo prostetické skupiny proteinů, může dojít k ovlivnění rychlosti reakce. Tento jev by nastal v případě, kdy by potenciální energie magnetického momentu byla větší, než kinetická energie molekuly.

V živém organismu se látky schopné takovýchto interakcí vyskytují jen sporadicky, příkladem mohou být např. srpkovité erythrocyty, kde magnetomechanický efekt působí na redukovaný hemoglobin (ten je paramagnetický). Podle výpočtů by neměla magnetomechanická interakce tohoto typu mít zásadní vliv na lidské zdraví, pokud by indukce vnějšího pole nepřesáhla 10 T.

Dalším příkladem magnetomechanické interakce je translační pohyb magnetických dipólů způsobený gradientem vnějšího stacionárního magnetického pole, přičemž ovlivňované magnetické dipóly mohou být buď permanentní (feromagnetické látky) nebo indukované vnějším magnetickým polem. Dopady na lidský organismus může mít tento efekt při dostatečně velkém gradientu hlavně v případě implantátů, protéz, působit může i na amalgámy v zubních plombách.

3.2.3 Vliv na radikálové meziprodukty

Statické magnetické pole o intenzitě 10 – 100 mT může způsobit změny elektronového spinu či změnu energetické hladiny. To může způsobit rekombinaci radikálových meziproduktů při některých biologických reakcích, což má za následek inhibici tvorby výsledného produktu z těchto radikálů.

Radikály nebo paramagnetické molekuly jsou meziprodukty u více než 60 enzymatických reakcí, ovšem magnetickou senzitivitu vykazují podle dosavadních výzkumů pouze některé z nich a jen za určitých, nefyziologických podmínek. Změny koncentrace a toku volných radikálů nevykazují fyziologické dopady na funkci živého organismu či jednotlivých buněk[3].

3.3 Elektrická složka ELF/EMF

Při přímé interakci působí na elektrické náboje v živé tkáni, které se začnou pohybovat, indukuje se tedy elektrický proud, jehož intenzita závisí jednak na konduktivitě tkáně a taky na velikosti a postavení exponovaného objektu vzhledem k vektoru vnějšího pole. Prokazatelné biologické účinky takto indukovaného proudu jsou minimální vzhledem k velmi malé prostupnosti elektrického pole živou tkání. Aby se uvnitř tkáně indukoval proud o proudové hustotě dostatečné ke stimulaci periferních nervů, byl by zapotřebí buď přímý kontakt se zdrojem elektrické energie nebo elektrické pole o intenzitě řádově 100 kV/m [11].

Na povrchu exponovaných předmětů se stejně jako v případě statických polí indukuje povrchové napětí s účinky, které byly popsány v kapitole 3.1, přičemž „expozice elektrickým polem o intenzitě menší než 5 kV/m s sebou nese malé riziko bolestivého vybití z povrchu těla do země [12].“

3.4 Magnetická složka ELF/EMF

Přímé účinky na živý organismus se neuvažují, hlavní způsob interakce je indukce vířivých elektrických proudů a elektrického pole uvnitř organismu (na rozdíl od proudů indukovaných elektrickým polem). Jeho intenzita závisí na vlastnostech exponované tkáně (vodivost a její distribuce), na amplitudě a frekvenci magnetického pole a na poloměru křivky, přes kterou se proud indukuje (největší indukce je na povrchu těla, kde je poloměr největší). Biologické účinky pak vyplývají z interakcí těchto polí s elektricky excitovatelnými buňkami, především nervové, svalové a gliové buňky, ale i buňky některých endokrinních žláz. Prahová hodnota intenzity elektrického pole dostatečné k ovlivnění průchodu iontů membránou buňky, tedy k přímé excitaci (teoretický výpočet je 5 – 25 V/m; závisí na typu tkáně) je základem pro odvození limitních hodnot expozice ELF/EMF[12]. Fyziologické dopady této interakce nejsou vzhledem ke komplexnosti problému jednoznačné, jejich exaktní klasifikace je předmětem epidemiologických studií, které se zaměřují především na dále uvedené symptomy.

3.4.1 Dětská leukémie

Onemocnění nejvíce diskutované v souvislosti s expozicí EMF indukovanými vedeními velmi vysokého napětí. Výsledky epidemiologických průzkumů ukazují že dlouhodobější expozice cca 0,4 μ T 50/60Hz magnetickým polem je spojena s dvojnásobným zvýšením rizika tohoto onemocnění. Doposud však není jasný mechanismus takového působení, není tedy ani jisté, zda leukémii způsobuje samotné EMF nebo je-li zde pouze jako kofaktor. Svou roli v ne zcela jednoznačných závěrech hraje i relativně nízký počet případů leukémie, což snižuje přesnost statistického vyhodnocování. ELF EMF nejsou tedy klasifikovány jako činitel přímo způsobující leukémii u dětí[12].

3.4.2 Ostatní rakovinná onemocnění

Jako v předchozím případě ani zde není znám přesný způsob, jakým by se elektromagnetické pole podílelo na vzniku či rozvoji těchto nemocí. Výsledky in vivo a in vitro výzkumů nejsou dostatečně konzistentní na to, aby bylo možné jednoznačně klasifikovat ELF/EMF jako karcinogen. Některé studie ale uvádějí jistou korelaci mezi expozicí a výskytem rakoviny, proto je ELF/EMF řazena Mezinárodní agenturou pro výzkum rakoviny (IARC – The International Agency for Research on Cancer) do kategorie 2B – možný lidský karcinogen[12].

3.4.3 Neurodegenerativní onemocnění

Epidemiologické studie se zaměřily především na Parkinsonovu chorobu, kde podle AGNIR není souvislost mezi ELF/EMF a onemocněním, dále na Alzheimerovu chorobu, kde výsledky některých studií poukazují na mírně zvýšené riziko u pracovníků vystavovaných expozici ELF/EMF. Statistická korelace je zde však velmi slabá. Mnohem významnější korelaci vykazují průzkumy vlivu expozice na amyotrofickou laterální sklerózu, zde však může být příčinou zvýšené riziko elektrického šoku spíše než dlouhodobé působení ELF/EMF samo o sobě[11].

3.4.4 Ostatní epidemiologické výzkumy

Několik studií se zabývalo vztahem mezi zvýšenou expozicí a depresemi a sebevraždami, výsledky však byly příliš nekonzistentní na označení elektromagnetického pole jako příčinu zkoumaných problémů. Podobně statisticky nepřesvědčivé závěry plynou i

z epidemiologických studií vlivu expozice na kardiovaskulární onemocnění, kožní choroby a možnost malformace a samovolného potratu.

Poměrně velká nejednoznačnost výsledků velké většiny epidemiologických studií znemožňuje jejich použití pro odvození bezpečnostních limitů expozice ELF/EMF, za determinující je zde tedy považována hodnota indukované proudové hustoty, která ještě způsobí excitaci buněk centrální nervové soustavy.

3.5 IF/EMF

V tomto intervalu frekvencí jsou za dominantní považovány dva způsoby interakce kompletní elektromagnetické vlny (neposuzují se zvlášť účinky elektrické a magnetické složky) s živými organismy – indukce elektrického pole a elektrických proudů (netermální působení) a absorpce energie přenášené elektromagnetickým vlněním (termální působení). Oba mechanismy jsou dostatečně popsány, slouží jako základ pro odvození limitu expozice IF/EMF.

Další možná zdravotní rizika vyplývají z nebiologických interakcí, především z možnosti vlivu vnějšího pole na správný chod kardiostimulátorů a jiných implantovaných zařízení.

3.5.1 Netermální působení

Princip i kvantitativní závislost na podmínkách expozice jsou stejné jako u interakce s nízkofrekvenčními poli, opět se zde díky lepší prostupnosti uplatňuje především magnetická složka elektromagnetického vlnění. Tento způsob interakce převládá u frekvencí do 100 kHz.

Přesáhne-li indukované napětí procházející buněčnou membránou tzv. dielektrickou sílu membrány, v této se vytvoří póry. V závislosti na době expozice a velikosti indukovaného napětí může být tento efekt reverzibilní, pak se jej využívá např. při aplikaci léčiv nebo genetických kódů do buněk. Je-li ireverzibilní, dochází k apoptóze a/nebo nekróze. Takové poškození tkáně připadá ovšem v úvahu jen při expozici EMF o mnohem větší intenzitě, než jaká je obvyklá v běžném prostředí i v průmyslových provozech[11].

3.5.2 Termální působení

Termální působení je dominantní pro elektromagnetické vlnění, které nese dostatek energie. Tato energie je absorbována molekulami tkání, čímž dojde ke zvýšení vnitřní energie, tedy k nárůstu celkové teploty. Frekvenční oblast pro tento způsob interakce je nad 100 kHz a intenzita efektu se zvyšuje s rostoucí frekvencí (tedy přenášenou energií). Naopak s klesající frekvencí roste prostupnost EMF, IF je tedy schopno ovlivňovat vnitřní teplotu tkáně/organismu a míru tohoto efektu lze vyjádřit tzv. měrným absorbovaným výkonem SAR (Specific energy absorption rate) [W/kg], který udává míru výkonu elektromagnetického pole ve wattech, který byl absorbován jedním kilogramem tkáně.

Vliv má taky kontinuita aplikovaného EMF – pulzní pole má oproti kontinuálnímu poli o stejné frekvenci větší netermální účinky. Vzhledem ke komplikovanějšímu časovému průběhu se pro termální účinky pulzních polí používá měrná absorbovaná energie SA (Specific energy absorption) [J/kg]. Tato jednotka zahrnuje celkové množství energie, které bylo absorbováno jednotkovou hmotností tkáně.

3.5.3 Komplexní fyziologické reakce

Některé in vivo studie zabývající se vlivem IF/EMF na reprodukční cyklus a vývoj zárodku poukazují na možnost vzniku skeletálních anomálií, přímá souvislost expozice se vznikem malformací nebyla ovšem statisticky potvrzena.

Dosavadní epidemiologické studie zaměřené především na průběh těhotenství a stav zraku neprokázaly negativní dopady déleodobější expozice IF/EMF emitované zobrazovacími jednotkami. Při expozici intenzivnějšími poli (výzkum se týkal telegrafních a rádiových operátorek) poukazují výsledky výzkumu na možnost nepatrného zvýšení rizika rakoviny prsu, přičemž stejně jako v případě dětské leukemie a ELF/EMF nelze určit, jaký podíl má samotná expozice na rozvoj tohoto onemocnění[11,13].

3.6 RF/EMF

Za dominantní způsob interakce s organismem je u tohoto záření považováno pouze zvyšování vnitřní energie (teploty) mechanismem, jehož princip je uveden v kapitole 3.5.2.

Dynamika tohoto procesu je na rozdíl od elektromagnetické interakce pomalá, křivka závislosti teploty zasažené tkáně na době expozice vykazuje maximum v čase přibližně 6 minut, od této doby se teplota dále nezvyšuje.

Nebiologické působení pak opět spočívá v možnosti nežádoucí interference vlnění, kdy může docházet např. k rušení komunikace (což obecně snižuje míru pohodlí, ale může mít i mnohem vážnější důsledky, je-li snižena možnost komunikace např. posádek vozů rychlé záchranné služby nebo hasičských jednotek), citlivé na elektromagnetické rušení RF/EMF mohou být např. kardiostimulátory, implantované defibrilátory nebo některá naslouchadla, hypoteticky nelze vyloučit ani vliv RF/EMF na elektroniku letadel [10].

3.6.1 Fyziologické dopady termálního působení

Jsou důsledkem jednak samotného zvýšení teploty příslušné exponované tkáně a taky fyziologického napětí vyvolaného snahou přirozeného termoregulačního systému o vyrovnaní teplot. Při menším zahřátí dochází ke zvýšení průtoku krve ve velmi jemné síti kožních vlásečnic. Tím se přebytečné teplo konvekčním mechanismem redistribuuje zpět do prostředí. Dochází-li k větší tepelné zátěži, uplatňuje se termoregulace pomocí odpařování potu, což má za následek dehydrataci, porušení iontové rovnováhy v organismu (s potem se z těla vylučují i různé ionty) a zvýšenou možnost tvorby krevních sraženin. Při teplotě lidského těla nad 38°C (tedy při zvýšení o více než 1°C nad průměrnou hodnotu) se dopady termoregulačních pochodů projeví podstatným zvýšením rizika úpalu, pozorovatelná je i snížená kvalita komplexnějších kognitivních funkcí. Nejzávažnější kardiovaskulární odpověď na tepelný stres je srdeční selhání způsobené porušením rovnováhy v objemu proudící krve (více krve teče v periferních vlásečnicích). Toto selhání bývá často fatální.

Jako další negativní dopady nadměrného zahřívání organismu jsou uváděny snížená plodnost u mužů (snížená spermatogeneze), negativní vliv na průběh těhotenství a oční zákal[11].

Záření o frekvencích nad 10 GHz má pak malou penetrační schopnost, jeho tepelné účinky se projeví pouze na povrchu (popálení pokožky, poškození sítnice a rohovky). Pro jeho kvantitativní popis je vhodnější než *SAR* hustota zářivého toku S [W/m^2], vyjadřující míru energetického působení EMF na jednotku plochy.

3.6.2 Epidemiologické výzkumy

Biologické změny uvedené v předcházející kapitole souvisí se zvýšením teploty o více než 1 °C, respektive s expozicí RF/EMF, které mají dostatečnou intenzitu na vyvolání takových změn. Majoritní zájem veřejnosti je však zaměřen na působení elektromagnetických polí s nižší intenzitou, které jsou běžné nejen v pracovním prostředí, ale i v domácnostech a ve volné přírodě. Především se jedná o velmi diskutovanou a médii často zveličovanou otázku možné karcinogenity RF/EMF využívaných při přenosu signálu mobilních telefonů. Dosavadní epidemiologické studie na toto téma prokázaly, že „...je nepravděpodobné, že by expozice těla takovým RF polím, jaká jsou vyzařována mobilními telefony a jejich základnovými stanicemi, způsobovala nebo podporovala vznik nádorových onemocnění.[10]“ Podobně se neprokázala ani souvislost výskytu nádorových onemocnění a geografické vzdálenosti od vysílačů rádiového a televizního vysílání. Nepravidelné kumulace výskytu těchto onemocnění v určitých oblastech jsou pro jejich plošné rozšíření typické, vzhledem k relativně velkému množství základnových stanic a vysílačů je tedy statisticky pravděpodobné, že v okolí některých z nich bude zvýšený výskyt nádorových onemocnění, což může vést k nesprávným závěrům o karcinogenitě RF/EMF. Kumulovaný výskyt nádorových onemocnění se navíc většinou týkal různých druhů karcinomů, což utvrzuje roli náhody. Přesto v tomto směru probíhají další epidemiologické výzkumy zaměřené především na zpřesnění měření či výpočtu celkové úrovně expozice RF/EMF, není například jisté, do jaké míry je obyčejná dichotomie (vlastní/nevlastní mobilní telefon) dostačující pro posouzení vlivu tak komplexního jevu, jako je expozice EMF[8].

Další epidemiologické studie zkoumaly dopad EMF na zaměstnance, kteří jsou během pracovní doby vystavováni nadprůměrné expozici (např. obsluha radarů, údržba vysílacích antén apod.). I zde výsledky potvrdily platnost dosavadních výzkumů – negativní fyziologické dopady nastávají až při expozici vyšší, než je doporučený limit.

3.7 Možné dopady na životní prostředí

Současný stav znalostí by mohl opravňovat k domněnce, že negativní dopady antropogenních EMF na faunu a flóru nastávají až při expozicích, které jsou vyšší než expozice považované za bezpečné pro člověka. Chybí však komplexnější studie, která by se zabývala charakteristickými dopady expozice alespoň pro vybrané druhy volně žijících zvířat. Tyto

studie by spolu se studii o dopadu na lidské zdraví měly následně vést k vypracování environmentálních limitů expozice EMF[15].

3.7.1 Vliv na živočichy

Výzkumných prací, zabývajících se dopadem expozice celé frekvenční škály EMF z antropogenních zdrojů na ostatní součásti biosféry, bylo doposud publikováno mnohem méně, než těch, které zkoumají vztah EMF k člověku. Většina z nich jsou laboratorní experimenty na zvířatech sloužící právě k odvození nejpravděpodobnějších interakcí EMF u lidí, před fyziologickými efekty způsobenými těmito interakcemi by tedy měla být většina živočichů chráněna (stejně jako lidé) dodržováním doporučených limitů expozice. Tyto limity bývají ale překračovány v bezprostřední (a veřejnosti většinou nepřístupné) blízkosti mnohých zdrojů a nelze dostatečně účinně zabránit tomu, aby se do exponovaných oblastí nedostávali např. ptáci, hmyz, popřípadě dobytek či jiná fauna.

Negativní dopady na faunu v blízkosti vedení vysokých napětí spočívají hlavně v možnosti indukce silného povrchového elektrického pole a následného vybití při kontaktu s uzemněným objektem. Tímto efektem bývá vysvětlován statisticky větší úhyn včel, jejichž úly jsou pod vedením vysokého napětí.

Některé druhy ryb mají receptory, které jim umožňují vnímat slabé (řádově 1 $\mu\text{V}/\text{m}$) elektrické pole indukované pohybem vody (mořské proudy nebo řeky) v geomagnetickém poli. Mohlo by tedy docházet ke změnám chování těchto živočichů, nachází-li se v dosahu elektrického pole indukovaného podmořskými kabely vedení stejnosměrného proudu, to však zatím žádné studie jednoznačně neprokázaly[4].

Chování závislé na vektoru geomagnetického pole vykazují některé bakterie, které obsahují biomagnetické částice. Ty se vyskytují i v buňkách některých vyšších živočichů (včetně lidského mozku), kde slouží rovněž k detekci magnetického pole Země. Míra této senzitivity u jednotlivých druhů je předmětem zkoumání, stejně jako dopady antropogenního magnetického pole na chování těchto živočichů, zejména je diskutovaná otázka míry narušení orientačního smyslu tažných ptáků a včel.

WHO k tomuto problému uvádí, že „dosavadní vědecké studie našly jen málo důkazů o vlivu EMF na faunu, není-li překročen limit stanovený ICNIRP[15].“

3.7.2 Dopad na rostliny

Výsledky některých laboratorních studií poukazují na možnost zvýšení klíčivosti semen při působení jak magnetického, tak elektrického pole o nízké frekvenci, nejsou však známy možné mechanismy takového působení a navíc nebyly podobné závěry potvrzeny jinými studii.

Venkovní studie zkoumající vliv ELF/EMF (maximální expozice 3,9 kV/m, 4,5 μ T) na některé zemědělské plodiny rovněž neprokázaly větší rozdíly v kvalitě růstu ani v jiných kritériích, než ty, které by mohly být přičteny nuancím v lokálních klimatických a půdních podmínkách. V elektrickém poli o intenzitě 20 kV/m se na listech tvoří korónové výboje, čímž dochází k poškození a snížení celkové asimilační plochy. To vede k pomalejšímu růstu hlavně u stromů (pozorováno u listnatých stromů rostoucích v bezprostřední blízkosti zkušebního 1100 kV vedení i u jehličnanů v blízkosti extrémně výkonných radarů)[4].

4 LEGISLATIVNÍ ZABEZPEČENÍ OCHRANY PŘED EMF

4.1 Směrnice ICNIRP

Ochrana obyvatel před negativními dopady elektromagnetických polí je v současné době zajišťována dodržováním expozičních limitů, které zaručují, že nenastane žádný ze známých negativních biologických účinků popsanych v kapitole 3. Směrnici pro expozici neionizujícím zářením a elektrickým a magnetickým polím v rozsahu frekvencí 0 – 300 GHz vypracovala na základě všech dostupných vědeckých informací ICNIRP a Světová zdravotnická organizace (WHO) ji v roce 1999 uznala jako kompetentní pro posuzování zdravotních rizik souvisejících s expozicí lidí EMF. V tomtéž roce je schválila jako závazné i Rada Evropy a do svých legislativ je implementovala většina členských států Evropského společenství[17].

Úkolem této směrnice je eliminovat hustotu indukovaných proudů v těle a ohřev tkáně celého těla nebo jeho části na hodnoty, které ještě neškodí lidskému zdraví. Tyto kritické hodnoty jsou nazývány základní limity a v závislosti na frekvenci je popisují veličiny proudová hustota J [A/m^2] pro frekvence do 10 MHz, měrný absorbovaný výkon SAR [W/kg] pro frekvence 100 kHz – 10 GHz, měrná absorbovaná energie SA [J/kg] pro pulzní pole o frekvencích 300 MHz – 10 GHz a hustota zářivého toku S [W/m^2] pro frekvence 10 GHz – 300 GHz. Jejich měření většinou vyžaduje speciální techniku, odvozují se proto tzv. referenční úrovně dobře měřitelných hodnot – intenzity elektrického pole E , magnetického pole (magnetická indukce B) a rovněž hustoty zářivého toku S . Jak základní limity, tak referenční úrovně jsou stanoveny zvlášť pro běžnou veřejnost („ostatní osoby“) a pro zaměstnance na takových pracovních pozicích, jejichž součástí je zvýšená expozice EMF („zaměstnanci“). Předpokládá se, že zaměstnanci jsou na rozdíl od veřejnosti vystaveni známé, více prozkoumané úrovni expozice, používají vhodné ochranné prostředky a jsou lépe proškoleni o možných rizicích, proto jsou v tomto případě základní limity i referenční úrovně vyšší. Hodnoty pro zaměstnance i pro veřejnost tak, jak je stanovila ICNIRP jsou uvedeny v příloze P1.

Dodržování referenčních úrovní tedy zaručuje, že nenastane kritická expozice, která by měla negativní zdravotní dopady. Referenční úrovně však mohou být překročeny, prokázeli se výpočtem nebo měřením, že nebyly překročeny základní limity. Nejběžnější případ je

lokální expozice RF/EMF během hovoru mobilním telefonem, kdy je většinou překročena referenční úroveň jak pro veřejnost, tak pro zaměstnance, hodnota *SAR* ovšem nepřekračuje základní limit (který je navíc ještě jištěn poměrně vysokým bezpečnostním faktorem – v tomto případě 50 – prokázané negativní dopady by tedy nastaly až při padesátinásobném překročení základního limitu)[10].

4.2 Mezinárodní normy elektromagnetické kompatibility

Vzhledem k neustále se zvyšujícímu množství používaných elektrických spotřebičů a zařízení, kdy každé z nich je potenciálním vysílačem i přijímačem elektromagnetického záření, je pochopitelná snaha o taková konstrukční řešení výrobků, která by zajišťovala jednak co nejmenší možnost poruchy vlivem vnějších EMF (tedy maximální odolnost) a taky co nejmenší míru vlastního vyzařování. Pojem elektromagnetická kompatibilita (EMC) zahrnuje jednak vzájemný vliv technologických, ale i biologických systémů, zabývá se tedy i ergonomií ve smyslu nepřekračování limitů ICNIRP.

V 80. letech přestal být tento problém díky rozvoji mezinárodního obchodu a vytváření evropského volného trhu efektivně řešitelný pouze pomocí relevantních národních norem, proto bylo nutné jejich sjednocení.

Mezinárodní normy pro elektrotechnická zařízení vyvíjí a vydává jako součást ISO Mezinárodní elektrotechnická komise IEC (International Electrotechnical Commission), v jejímž rámci se elektromagnetickou kompatibilitou zabývá hlavně Výbor pro rádiovou interferenci CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques). Vydané normy jsou přejímány jinými komisemi a mají buď závazný (např. v Evropě směrnice č. 89/336/EEC, v USA normy Federální komunikační komise FCC) nebo jen doporučující charakter.

V Evropě jsou doporučující normy přebírány Evropskou komisí pro normalizaci v elektrotechnice CENELEC (Comité Européen de Normalisation en Electrotechnique) (součást Evropská komise pro normalizaci CEN) a jsou obsaženy i ve směrnici rady Evropy č. 89/336/EEC (později upřesněnou směrnicí 92/31/EEC), která zavazuje všechny výrobce prokázat konformitu svých výrobků s normami v této směrnici obsaženými. Takto kompatibilní výrobky jsou označeny certifikátem CE – viz obr. 5:



Obr. 5 Certifikát CE [18]

4.3 Legislativa v ČR

4.3.1 Ochrana obyvatel před EMF

Do 1. 1. 2001 byl legislativní rámec ochrany před neionizujícím zářením reprezentován vyhláškou č. 408/90 Sb. Hodnocení úrovně expozice zde vycházelo jen z vlastností vnějších polí (intenzita elektrického pole, magnetická indukce a hustota zářivého toku). Rovněž se zde chybně předpokládalo kumulativní působení účinků EMF střední a vysoké frekvence, limity celodenní expozice byly díky tomu stanoveny neadekvátně nízko.

V současné době je v platnosti nařízení Ministerstva zdravotnictví České republiky č. 480/2000 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, které přejímá výše zmiňované směrnice ICNIRP jak ve způsobu hodnocení expozice, tak ve výši základních limitů (ty jsou zde označovány jako nejvyšší přípustné hodnoty) a referenčních úrovní. Navíc zahrnuje i ochranu před zářením o frekvenci nad 300 GHz, tedy optickým zářením (hlavně lasery) a krátkovlnným krajem UV záření (do $1,7 \cdot 10^{15}$ Hz)[19].

4.3.2 Technické normy pro EMC platné v ČR

V souvislosti se vstupem ČR do EU byl přijat zákon č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky (později novelizován a doplněn zákonem č. 71/2000 Sb.), který mimo jiné nařizuje závaznost českých norem ČSN. Jeho prováděcí vyhlášky legislativně ošetřují i elektromagnetickou kompatibilitu výrobků a to v souladu se směrnicí rady Evropy č. 89/336/EEC. Překlad této směrnice je obsažen ve vyhlášce č. 169/1997 Sb., která stanoví technické požadavky na výrobky z hlediska jejich elektromagnetické kompatibility, ve znění nařízení vlády č. 282/2000 Sb. Je zde taky obsažen seznam tzv. stanovených výrobků, které musí být atestovány z hlediska EMC způsobem, jaký je uveden v zákoně 22/1997 Sb. Takto konformní výrobky jsou označeny značkou CCZ – viz obr. 6:



Obr. 6 Certifikát CCZ [18]

Samotné normy ČSN jsou českým normalizačním institutem (ČNI) revidovány a harmonizovány s Evropskými normami. Názvy takto harmonizovaných norem pak obsahují i zkratky institucí, od kterých byly přejaty, v oblasti EMC jsou to hlavně normy ČSN IEC, ČSN CISPR a ČSN EN. Podrobnější seznam těchto norem je obsažen v příloze P2.

ZÁVĚR

Dosavadní výzkumy negativního působení neionizujícího elektromagnetického záření na zdraví lidí a na životní prostředí kvalitativně i kvantitativně objasňují běžné interakce těchto polí s živými organismy. Zůstávají zde však určité mezery ve znalostech a nejednoznačnosti, hlavně co se týká epidemiologických výzkumů a chronických či subakutních účinků nízkofrekvenčních magnetických polí. V legislativním rámci ochrany obyvatel před EMF jsou tyto nejistoty zohledněny příslušnými bezpečnostními faktory, takže k expozicím, které by vyvolaly některé z fyziologických změn popsanych v kapitole 3 by nemělo docházet. Navíc jsou výsledky všech dalších výzkumů účinků EMF shromažďovány a kriticky hodnoceny komisí ICNIRP, která je připravena změnit současné směrnice, bude-li to na základě těchto výzkumů nutné.

Vnímání rizikovosti elektromagnetického smogu veřejností je přesto poměrně neadekvátní, hraničící místy až s hysterií. Některé státy Evropské Unie (např. Itálie) zavedly limity expozice nižší, než ty, které jsou doporučené směrnicí ICNIRP. Tato opatření jsou většinou výsledkem podlehnutí zodpovědných činitelů tlaku veřejnosti a nezakládají se na seriózních vědeckých poznacích. Nemalé investice spojené se zaváděním takových limitů pak pochopitelně mohou být považovány za zbytečné a irelevantní a celý proces pak za znevažování vědecké práce. Klíčovou úlohu zde hraje nedostatečná informovanost veřejnosti, média riziko velmi často zveličují, vyvozují chybné závěry a předkládají fakta vytržená z původních kontextů.

O povaze veřejného vnímání elektromagnetického smogu svědčí i fenomén lidí, trpících tzv. elektromagnetickou hypersenzitivitou. Ti uvádí, že i pole o velmi nízkých intenzitách jim způsobuje různé zdravotní problémy (bolest hlavy, nespavost, nesoustředěnost, atd.), bylo však prokázáno, že výskyt uváděných symptomů nijak nesouvisí s přítomností elektromagnetického pole, jejich příčina je psychosomatického původu.

Obavy veřejnosti z elektromagnetických polí jsou však dány nejen neinformovaností, ale taky rozsahem problému. Na rozdíl od jiných typů znečištění je téměř nemožné se při zachování standardní životní úrovně vyhnout této civilizační zátěži, což může působit do jisté míry klaustrofobně.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Hofmann J., Urbanová M.: Fyzika I. Verze 1.0. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2005. [cit. 2007-05-25] <http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_ekniha-001/pages-img/>
- [2] Hofman, J.; Urbanová, M.: Fyzika II, vydavatelství VŠCHT Praha 2000, 1. vydání, ISBN 80-7080-372-X
- [3] WHO environmental health kriteria 232 – Static fields, 2006, ISBN 92-4-157232-9 [online] [cit. 2007-05-25] <http://www.who.int/peh-emf/publications/EHC_232_Static_Fields_full_document.pdf>
- [4] Foster, K. R.; Repacholi, M. H.: Environmental Impacts of Electromagnetic Fields From Major Electrical Technologies [online] [cit. 2007-05-25] <http://www.who.int/peh-emf/publications/reports/en/env_impact_emf_from_major_elect_tech_foster_repacholi.pdf>
- [5] WHO Environmental Health Kriteria 35: Extremely low frequency EMF, 1984, ISBN 92-4-154095-8 [online] [cit. 2007-05-25] <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc35.htm>>
- [6] ICNIRP statement relatad to the use of security and similar device utilizing electromagnetic field, 2004, s. 187–196, [online] [cit. 2007-05-25] <<http://www.icnirp.de/documents/EASD.pdf>>
- [7] WHO Fact sheet 183: Electromagnetic Fields and Public Health – Health Effect of Radiofrequency Fields, 1998, [online] [cit. 2007-05-25] <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs183/en/>>
- [8] Epidemiology of Health Effects of Radiofrequency Exposure: ICNIRP Environmental Health perspectives, volume 112, number 17, 2004, str.1741-1754 [online] [cit. 2007-05-25], dostupné z adresy <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1253668>>

- [9] Health Effects of Telephone Masts – EFRT (European Fast Response Team) document, 2004, [online] [cit. 2007-05-25]
<<http://www.jrc.cec.eu.int/emf%2Dnet/doc/EFRTDocuments/EMF-NET%20FRT%20Phone%20masts%2016DIC2004.pdf>>
- [10] Informace NRL (Národní referenční laboratoř pro neionizující elektromagnetická pole a záření) č. 9/2001 – WHO k údajné škodlivosti mobilních telefonů, citace z MOBILE PHONES AND THEIR BASE STATIONS - WHO Fact Sheet No 193, June 2000 [online] [cit. 2007-05-25]
<<http://www.hygpaha.cz/odbory/nrl/nrl8.htm>>
- [11] Review of the Scientific Evidence for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (0–300 GHz) – Documents of the NRPB: Volume 15, No. 3, 2004, ISBN 0-85951-533-8 [online] [cit. 2007-05-25]
<http://www.hpa.org.uk/radiation/publications/documents_of_nrbp/pdfs/doc_15_3.pdf>
- [12] Advice on Limiting Exposure to Electromagnetic fields (0 - 300 GHz) – Documents of the NRPB: Volume 15, No. 3, 2004, ISBN 0-85951-532-X [online] [cit. 2007-05-25]
<http://www.hpa.org.uk/radiation/publications/documents_of_nrbp/pdfs/doc_15_2.pdf>
- [13] Electromagnetic Fields and Public Health – Intermediate Frequencies (IF), WHO Information Sheet, 2005, [online] [cit. 2007-05-25]
<<http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/intmedfrequencies/en/index.html>>
- [14] Base Stations and Wireless Technologies – WHO Fact Sheet No 304, 2006 [online] [cit. 2007-05-25]
<<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs304/en/index.html>>
- [15] Effects of EMF on the Environment – WHO Information Sheet, 2005,[online] [cit. 2007-05-25]

<http://www.who.int/peh-emf/publications/reports/en/env_impact_emf_from_major_elect_tech_foster_repa_choli.pdf>

- [16] ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz), 1998, s. 494 - 522 [online] [cit. 2007-05-25] <<http://www.icnirp.de/documents/emfgdl.pdf>>
- [17] Rada Evropy schválila směrnice ICNIRP pro elektromagnetická pole – Informace NRL č. 1/1999 [online] [cit. 2007-05-25]
- <<http://www.hygp Praha.cz/odbory/nrl/nrl1.htm>>
- [18] Encyklopedie elektromagnetické kompatibility – internetový projekt Ústavu radioelektroniky FEKT VUT v Brně, 2004 [online] [cit. 2007-05-25]
- <<http://www.urel.feec.vutbr.cz/EncyklopedieEMC/index.php>>
- [19] Směrování k jednotným hygienickým limitům pro neionizující záření – Informace NRL č. 13/2002 [online] [cit. 2007-05-25]
- <<http://www.hygp Praha.cz/odbory/nrl/nrl13.htm>>
- [20] Základní principy GSM v souvislosti s posuzováním expozičních situací v okolí základnových stanic – Informace NRL č. 10/2001 [online] [cit. 2007-05-25]
- <<http://www.hygp Praha.cz/odbory/nrl/nrl10.htm>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AGNIR	Advisory Group on Non-Ionizing Radiation (Poradní skupina pro neionizující záření)
CEN	Comité Europeen de Normalisation (Evropská komise pro normalizaci)
CENELEC	Comité Europeén de Normalisation en Electrotechnique (Evropská komise pro normalizaci v elektrotechnice)
CISPR	Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques (Výbor pro rádiovou interferenci)
ČNI	Český normalizační institut
EC	Evropská komise
ELF/EMF	Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields (elektromagnetická pole o extrémně nízkých frekvencích)
EMC	Electromagnetic Kompatibility (elektromagnetická kompatibilita)
EMF	Electromagnetic Field (elektromagnetické pole)
FCC	Federal Communications Commission (Federální komunikační komise)
fMRI	Function Magnetic Resonance Imaging (funkční magnetická rezonance)
GSM BS	GSM Base Station (základnová stanice sítě GSM)
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Mezinárodní komise na ochranu před neionizujícím zářením)
IEC	International Electrotechnical Commission (Mezinárodní elektrotechnická komise)
IF/EMF	Intermediate Frequencies Electromagnetic Fields (elektromagnetická pole o středních frekvencích)
ISO	International Standard Organization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)
MRI	Magnetic Resonance Imaging (magnetická rezonance)
RF/EMF	Radiofrequency Electromagnetic Fields (elektromagnetická pole o rádiových

frekvencích)

SA	Specific Energy Absorption (měrná absorbovaná energie)
SAR	Specific Energy Absorption Rate (měrný absorbovaný výkon)
SMF	Static Magnetic Field (statické magnetické pole)
WHO	World Health Organization (Světová zdravotnická organizace)

SEZNAM PŘÍLOH

- P I Nejvyšší přípustné hodnoty a referenční úrovně podle směrnice ICNIRP
- P II Výběr harmonizovaných českých norem EMC

PŘÍLOHA P I: NEJVYŠŠÍ PŘÍPUSTNÉ HODNOTY A REFERENČNÍ ÚROVNĚ PODLE SMĚRNICE ICNIRP

Tab. 4 Nejvyšší přípustné hodnoty J a SAR (celkový a lokální) [7]

Exposure characteristics	Frequency range	Current density for head and trunk (mA m^{-2}) (rms)	Whole-body average SAR (W kg^{-1})	Localized SAR (head and trunk) (W kg^{-1})	Localized SAR (limbs) (W kg^{-1})
Occupational exposure	up to 1 Hz	40	—	—	—
	1–4 Hz	$40/f$	—	—	—
	4 Hz–1 kHz	10	—	—	—
	1–100 kHz	$f/100$	—	—	—
	100 kHz–10 MHz	$f/100$	0.4	10	20
	10 MHz–10 GHz	—	0.4	10	20
General public exposure	up to 1 Hz	8	—	—	—
	1–4 Hz	$8/f$	—	—	—
	4 Hz–1 kHz	2	—	—	—
	1–100 kHz	$f/500$	—	—	—
	100 kHz–10 MHz	$f/500$	0.08	2	4
	10 MHz–10 GHz	—	0.08	2	4

Nejvyšší přípustné hodnoty hustoty zářivého toku S :

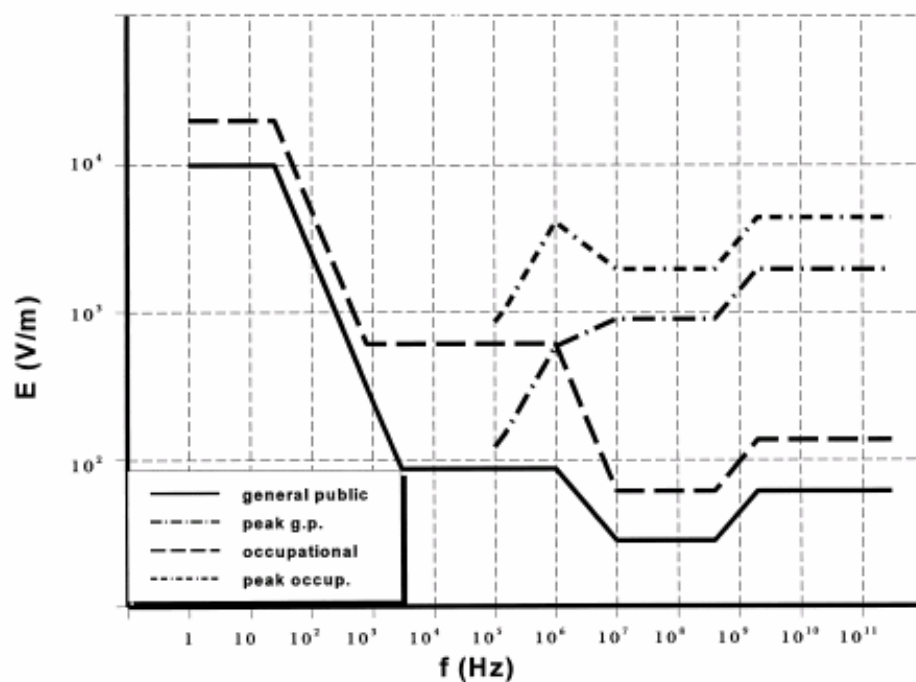
- pro zaměstnance – 50 W/m^2
- pro veřejnost – 10 W/m^2

Tab. 5 Referenční úrovně E , B , H a S pro zaměstnance [7]

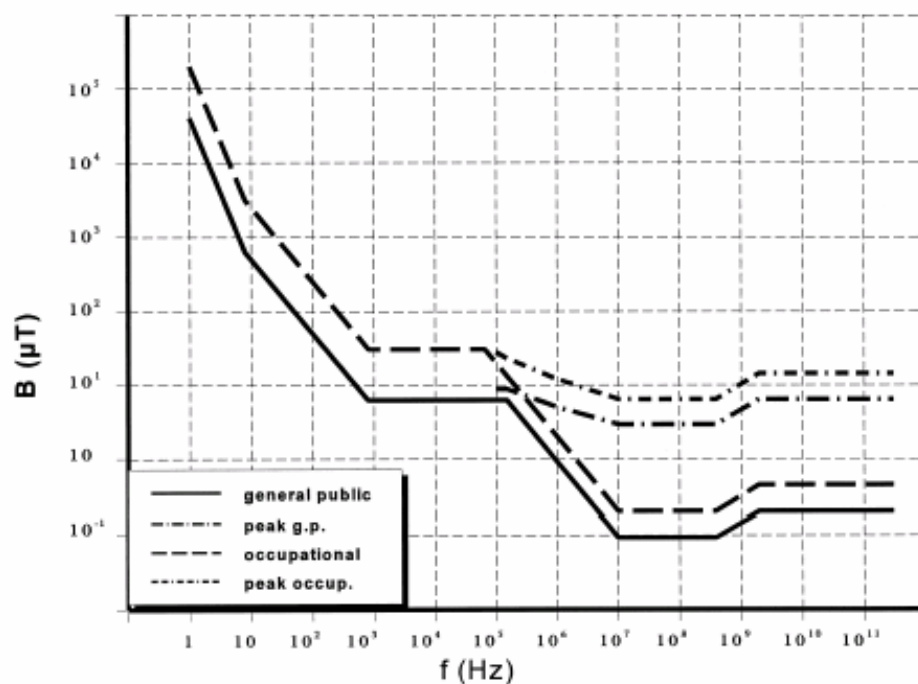
Frequency range	E-field strength (V m^{-1})	H-field strength (A m^{-1})	B-field (μT)	Equivalent plane wave power density S_{eq} (W m^{-2})
up to 1 Hz	—	1.63×10^5	2×10^5	—
1–8 Hz	20,000	$1.63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$	—
8–25 Hz	20,000	$2 \times 10^4/f$	$2.5 \times 10^4/f$	—
0.025–0.82 kHz	$500/f$	$20/f$	$25/f$	—
0.82–65 kHz	610	24.4	30.7	—
0.065–1 MHz	610	$1.6/f$	$2.0/f$	—
1–10 MHz	$610/f$	$1.6/f$	$2.0/f$	—
10–400 MHz	61	0.16	0.2	10
400–2,000 MHz	$3f^{-1/2}$	$0.008f^{-1/2}$	$0.01f^{-1/2}$	$f/40$
2–300 GHz	137	0.36	0.45	50

Tab. 6 Referenční úrovně E , B , H a S pro veřejnost [7]

Frequency range	E-field strength (V m^{-1})	H-field strength (A m^{-1})	B-field (μT)	Equivalent plane wave power density S_{eq} (W m^{-2})
up to 1 Hz	—	3.2×10^4	4×10^4	—
1–8 Hz	10,000	$3.2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	—
8–25 Hz	10,000	$4,000/f$	$5,000/f$	—
0.025–0.8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	—
0.8–3 kHz	$250/f$	5	6.25	—
3–150 kHz	87	5	6.25	—
0.15–1 MHz	87	$0.73/f$	$0.92/f$	—
1–10 MHz	$87f^{-1/2}$	$0.73/f$	$0.92/f$	—
10–400 MHz	28	0.073	0.092	2
400–2,000 MHz	$1.375f^{-1/2}$	$0.0037f^{-1/2}$	$0.0046f^{-1/2}$	$f/200$
2–300 GHz	61	0.16	0.20	10



Obr. 7 Graf závislosti referenčních úrovní elektrického pole na frekvenci [7]



Obr. 8 Graf závislosti referenčních úrovní magnetické indukce na frekvenci pole [7]

PŘÍLOHA P II: VÝBĚR HARMONIZOVANÝCH ČESKÝCH NOREM EMC

Tab. 7 Výběr harmonizovaných českých norem EMC – všeobecné normy, elektromagnetické prostředí[18]

Označení normy	Název normy	Rok vydání
ČSN IEC 50	Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kap. 161: Elektromagnetická kompatibilita.	1993
ČSN IEC 1000-1-1	Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 1: Všeobecně. Oddíl 1: Použití a interpretace základních definic a termínů.	1992
ČSN EN 50081-1	EMC. Všeobecná norma týkající se vyzařování.	1994
ČSN EN 50081-2	Část 1: Prostory obytné, obchodní a lehkého průmyslu. Část 2: Průmyslové prostředí.	1996
ČSN EN 50082-1	EMC. Všeobecná norma týkající se odolnosti.	1994
ČSN EN 50082-2	Část 1: Prostory obytné, obchodní a lehkého průmyslu. Část 2: Průmyslové prostředí.	1996

Tab. 8 Výběr harmonizovaných českých norem EMC – společné normy pro odolnost a vf. rušení[18]

Označení normy	Název normy	Rok vydání
ČSN CISPR 16	Specifikace CISPR pro přístroje a metody měření vysokofrekvenčního rušení.	1996
ČSN CISPR 16-1	Specifikace metod a přístrojů na měření rádiového rušení a odolnosti proti rádiovému rušení. Část 1: Přístroje na měření rádiového rušení a odolnosti proti rádiovému rušení.	1996
ČSN CISPR 16-2	Specifikace metod a přístrojů na měření rádiového rušení a odolnosti proti rádiovému rušení. Část 2: Metody měření vf. rušení a odolnosti proti rušení.	1998

Tab. 9 Výběr harmonizovaných českých norem EMC – nízkofrekvenční (nf.) rušení[18]

Označení normy	Název normy	Rok vydání
ČSN IEC 1000-2-1	Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 2: Prostředí. Oddíl 1: Elektromagnetické prostředí pro nf. rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích.	1997
ČSN IEC 1000-2-2	Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 2: Prostředí. Oddíl 2: Kompatibilní úrovně pro nf. rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích nízkého napětí.	1997
ČSN IEC 1000-2-3	Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 2: Prostředí. Oddíl 3: Popis prostředí vyzařovaných jevů a jevů šířených vedením a nevztahujících se k síťovému kmitočtu.	1997
ČSN EN 61000-2-4	Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 3: Meze. Oddíl 4: Kompatibilní úrovně pro nf. rušení šířené vedením v průmyslových závodech.	1997
ČSN EN 61000-3-2	Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 3: Meze. Oddíl 2: Meze pro emise harmonických proudů spotřebičů pro domácnost, které mají vstupní fázový proud $\leq 16\text{A}$.	1997
ČSN EN 61000-3-3	Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 3: Meze. Oddíl 3: Omezování kolísání napětí a blikání v rozvodných sítích nízkého napětí pro zařízení se jmenovitým proudem $\leq 16\text{A}$.	1997

Tab. 10 Výběr harmonizovaných českých norem EMC – vysokofrekvenční (vf.) rušení[18]

Označení normy	Název normy	Rok vydání
ČSN EN 55011	Meze a metody měření charakteristik elektromagnetického rušení od průmyslových, vědeckých a lékařských (PVL) vf. zařízení.	1991
ČSN EN 55013	Meze a metody měření charakteristik rádiového rušení způsobného rozhlasovými a televizními přijímači a přidruženými zařízeními.	1990
ČSN EN 55014	Meze a metody měření charakteristik rádiového rušení způsobného zařízením s elektrickým pohonem, tepelným zařízením pro domácnost a podobné účely, elektrickým nářadím a podobnými elektrickými přístroji.	1995
ČSN EN 55015	Meze a metody měření charakteristik rádiového rušení způsobného elektrickými svítilny a podobným zařízením.	1995
ČSN EN 55022	Meze a metody měření charakteristik rádiového rušení způsobných zařízeními informační techniky.	1998
ČSN PENV 55102-1	Požadavky na EMC pro koncová zařízení ISDN. Část 1: Požadavky na vyzářování.	1996
ČSN CISPR 12	Meze a metody měření charakteristik vf. rušení motorovými vozidly, motorovými čluny a zařízeními poháněnými zážehovými motory.	1995
ČSN CISPR 18-1	Charakteristiky rušení od venkovních vedení a zařízení vysokého napětí. Část 1: Popis jevů.	1995
ČSN CISPR 18-2	Charakteristiky rušení od venkovních vedení a zařízení vysokého napětí. Část 2: Metody měření pro určení mezí.	1995
ČSN CISPR 18-3	Charakteristiky rušení od venkovních vedení a zařízení vysokého napětí. Část 3: Praktické způsoby pro omezení vzniku vf. šumu.	1995
ČSN CISPR 23	Stanovení mezních hodnot pro průmyslové, vědecké a lékařské přístroje.	1996

Tab. 11 Výběr harmonizovaných českých norem EMC – normy výrobků a skupin výrobků[18]

Označení normy	Název normy	Rok vydání
ČSN EN 50083-2	Kabelové distribuční systémy pro televizní a rozhlasové signály. Část 2: Elektromagnetická kompatibilita pro součásti.	1995
ČSN EN 50091-1	Zdroje nepřerušovaného napájení (UPS). Část 1: Požadavky EMC – nf. a vf. rušení.	1995
ČSN EN 50091-2	Zdroje nepřerušovaného napájení (UPS). Část 2: Požadavky EMC – odolnost.	1995
ČSN EN 55103-2	Elektromagnetická kompatibilita: Normy skupiny výrobků audio, video, audiovizuální přístroje a řídicí přístroje zábavního osvětlení pro profesionální použití. Část 2: Odolnost.	1996
ČSN EN 60118-13	Sluchadla. Část 13: Elektromagnetická kompatibilita (EMC).	1997
ČSN EN 60601-1-2	Zdravotnické elektrické přístroje. Část 1: Všeobecné požadavky na bezpečnost. Oddíl 2: Elektromagnetická kompatibilita. Požadavky a zkoušky.	1993
ČSN EN 61326-1	Elektrická měřicí, řídicí a laboratorní zařízení: Požadavky na elektromagnetickou kompatibilitu (EMC). Část 1: Všeobecné požadavky.	1997
ČSN EN 61547	Zařízení pro všeobecné osvětlovací účely – EMC: Požadavky odolnosti.	1995
ČSN IEC 939-1	Úplné vf. odrušovací filtry. Část 1: Všeobecné požadavky.	1994
ČSN IEC 939-2	Úplné vf. odrušovací filtry. Část 2: Dílčí specifikace. Výběr zkušebních metod a všeobecné požadavky.	1994
ČSN IEC 940	Používání kondenzátorů, rezistorů, tlumivek a úplných filtrů pro potlačení vf. rušení.	1994

Tab. 12 Výběr harmonizovaných českých norem EMC – odolnost proti rušení[18]

Označení normy	Název normy	Rok vydání
ČSN EN 61000-4-1	Oddíl 1: Přehled zkoušek odolnosti. Základní norma EMC.	1996
ČSN EN 61000-4-2	Oddíl 2: Elektrostatický výboj – zkouška odolnosti.	1997
ČSN EN 61000-4-3	Oddíl 3: Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole – zkouška odolnosti.	1997
ČSN EN 61000-4-4	Oddíl 4: Elektrický rychlý přechodný jev/skupina impulzů – zkouška odolnosti.	1996
ČSN EN 61000-4-5	Oddíl 5: Rázový impulz – zkouška odolnosti.	1997
ČSN EN 61000-4-6	Oddíl 6: Rušení indukovaná vf. poli a šířená vedením – zkouška odolnosti.	1999
ČSN EN 61000-4-7	Oddíl 7: Všeobecný pokyn o měření a měřicích přístrojích harmonických a meziharmonických pro rozvodné sítě a zařízení připojovaná do nich.	1994
ČSN EN 61000-4-8	Oddíl 8: Magnetické pole síťového kmitočtu – zkouška odolnosti.	1996
ČSN EN 61000-4-9	Oddíl 9: Pulzy magnetického pole – zkouška odolnosti.	1997
ČSN EN 61000-4-10	Oddíl 10: Tlumené kmity magnetického pole – zkouška odolnosti.	1996
ČSN EN 61000-4-11	Oddíl 11: Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí – zkouška odolnosti.	1996
ČSN EN 61000-4-12	Oddíl 12: Oscilační vlny – zkouška odolnosti.	1996
ČSN EN 61000-4-14	Oddíl 14: Kolísání napětí – zkouška odolnosti.	2000
ČSN EN 61000-4-15	Oddíl 15: Měřič blikání – specifikace funkce a dimenzování.	1999
ČSN EN 61000-4-16	Oddíl 16: Zkouška odolnosti proti nesymetrickým rušením šířeným vedením v kmitočtovém rozsahu 0 Hz – 150 kHz.	1999
ČSN EN 61000-4-17	Oddíl 17: Zvlnění na stejnosměrném napájecím vstupu – zkouška odolnosti.	2000
ČSN EN 61000-4-24	Oddíl 24: Zkušební metody pro ochranné prostředky pro rušení HEMP šířené vedením – základní norma EMC.	1998
ČSN EN 61000-4-28	Oddíl 28: Kolísání síťového kmitočtu – zkouška odolnosti.	2000
ČSN EN 55020	Měření odolnosti rozhlasových a televizních přijímačů a přidružených zařízení.	1996

Tab. 13a Výběr harmonizovaných českých norem EMC – telekomunikační normy[18]

Označení normy	Název normy	Rok vydání
ČSN ETS 300 220-1	Elektromagnetická kompatibilita a rádiové spektrum (ERM) – Přístroje s krátkým dosahem – Zkušební metody pro rádiová zařízení pracující v kmitočtovém rozsahu 25 MHz až 1000 MHz s výkonem do 500 mW. Část 1: Parametry určené pro předpisové účely.	1997
ČSN ETS 300 224	EMC a rádiové spektrum (ERM) – Služba místního pagingu – Technické a funkční vlastnosti systémů místního pagingu včetně zkušebních metod.	1998
ČSN ETS 300 279	Rádiová zařízení a rádiové systémy (RES) – Elektromagnetická kompatibilita (EMC) soukromých pozemních pohyblivých rádiových (PMR) a přidružených zařízení (hovorových a/nebo nehovorových).	1996
ČSN ETS 300 329	Rádiová zařízení a systémy (RES) – Elektromagnetická kompatibilita (EMC) zařízení digitálních globálních bezšňůrových telekomunikací (DECT).	1997
ČSN ETS 300 340	Rádiová zařízení a rádiové systémy (RES) - Elektromagnetická kompatibilita (EMC) přijímačů evropského systému rádiového přenosu zpráv (ERMES)	1994
ČSN ETS 300 385	Rádiová zařízení a rádiové systémy (RES) – Norma pro elektromagnetickou kompatibilitu (EMC) pevných digitálních rádiových spojů a přidruženého zařízení s přenosovou rychlostí okolo 2 Mbit/s a vyšší.	1996
ČSN ETS 300 386-2	EMC a rádiové spektrum (ERM) – Zařízení telekomunikační sítě – Požadavky EMC. Část 2: Norma skupiny výrobků.	1997
ČSN ETS 300 445	Rádiová zařízení a rádiové systémy (RES) – Norma pro elektromagnetickou kompatibilitu (EMC) bezdrátových mikrofونů a podobných vysokofrekvenčních (RF) zařízení pro přenos zvuku.	1996
ČSN ETS 300 446	Rádiová zařízení a rádiové systémy (RES) - EMC bezšňůrových telefonních přístrojů druhé generace (CT2) provozovaných v kmitočtovém pásmu 864,1 MHz - 868,1 MZz včetně služeb veřejného přístupu.	1997
ČSN ETS 300 447	Rádiová zařízení a rádiové systémy (RES) - Elektromagnetická kompatibilita (EMC) rozhlasových vysílačů VHF FM.	1997

Tab. 13b Výběr harmonizovaných českých norem EMC – telekomunikační normy[18]

Označení normy	Název normy	Rok vydání
ČSN ETS 300 673	Rádiová zařízení a systémy (RES) – Elektromagnetická kompatibilita (EMC) koncových zařízení 4/6 GHz a 11/12/14 GHz s velmi malou aperturou (VSAT) a zařízení 11/12/13/14 GHz převozných pozemských stanic (TES) pro družicové shromažďování zpráv (SNG).	1997
ČSN ETS 300 680-1	Rádiová zařízení a systémy (RES) - Norma pro elektromagnetickou kompatibilitu (EMC) rádiových a přidružených zařízení provozovaných v občanském pásmu (CB) (hovorových a/nebo nehovorových) - Část 1: S úhlovou modulací.	1997
ČSN ETS 300 680-2	Rádiová zařízení a systémy (RES) - Norma pro elektromagnetickou kompatibilitu (EMC) rádiových a přidružených zařízení provozovaných v občanském pásmu (CB) (hovorových a/nebo nehovorových) - Část 2: S oběma postranními pásmy (DSB) a/nebo s jedním postranním pásmem (SSB).	1997
ČSN ETS 300 682	Rádiová zařízení a systémy (RES) – Elektromagnetická kompatibilita (EMC) zařízení místního pagingu.	1997
ČSN ETS 300 684	Rádiová zařízení a systémy (RES) – Elektromagnetická kompatibilita (EMC) obchodně dostupných radioamatérských zařízení	1997
ČSN ETS 300 741	Elektromagnetická kompatibilita a rádiové spektrum (ERM) - Norma pro elektromagnetickou kompatibilitu (EMC) zařízení velkoplošného pagingu.	1998
ČSN ETS 300 826	Elektromagnetická kompatibilita a rádiové spektrum (ERM) - Norma elektromagnetické kompatibility (EMC) pro šir kopásmové přenosové systémy 2,4 GHz a pro zařízení vysokovýkonové rádiové místní sítě (HIPERLAN).	1997
ČSN ETS 300 829	EMC a rádiové spektrum (ERM) – EMC námořních pohyblivých pozemských stanic (MMES), pracujících v pásmech 1,5/1,6 GHz, zajišťujících datové spojení s nízkou rychlostí (LBRDC) pro globální námořní tísňový a bezpečnostní systém (GMDSS).	1998
ČSN ETS 300 831	Elektromagnetická kompatibilita a rádiové spektrum (ERM) - Elektromagnetická kompatibilita (EMC) pohyblivých pozemských stanic (MES) používaných v družicových sítích osobních komunikací (S-PCN), pracujících v kmitočtových pásmech 1,5/1,6/2,4 GHz a 2 GHz	1998