

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vliv elektromagnetických polí na člověka

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin HÁS**
Osobní číslo: **E12B0259P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**
Název tématu: **Vliv elektromagnetických polí na člověka**
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Stručně shrňte poznatky o účincích elektromagnetického pole na člověka.
2. Zpracujte přehledně obsah norem a doporučení - uveďte limity vztahující se k dané problematice.
3. Porovnejte standardy platné v ČR s mezinárodními standardy či doporučeními.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

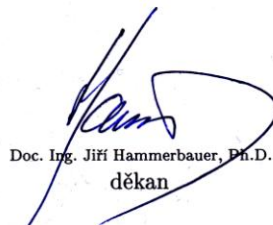
Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Kubík, Ph.D.


Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: 29. června 2015

Termín odevzdání bakalářské práce: 20. srpna 2015


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Dr. Ing. Vjaceslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 29. června 2015

Anotace

Tato bakalářská práce je zaměřena na shrnutí poznatků o vlivu elektromagnetických polí na člověka, a to především vlivu neionizujícího elektromagnetického záření člověkem běžně používaného pro komunikační účely.

V první části se práce věnuje popisu elektromagnetického pole pomocí Maxwellových rovnic a popisu druhů elektromagnetického záření. V další části se zmiňuje o známých účincích ionizujícího a optického záření, vysvětluje principy a účinky tepelného působení elektromagnetických polí na člověka a shrnuje dosavadní vědecké poznatky o netepelném působení elektromagnetických polí. Dále se věnuje hygienickým normám a limitům pro neionizující elektromagnetické záření daných legislativou ČR a jejich srovnání s mezinárodními doporučeními a zahraničními limity.

Klíčová slova

elektromagnetické pole, neionizující záření, vliv elektromagnetických polí na člověka, biofyzikální vliv elektromagnetických polí, legislativa pro elektromagnetická pole

Abstract

This bachelor thesis focuses on summarizing knowledge about the influence of the electromagnetic fields on human beings, especially on the influence of the non-ionizing electromagnetic radiation commonly used for the communication purposes.

The first part deals with describing the electromagnetic field using Maxwell's equations and describing various kinds of electromagnetic radiation. In the next part thesis mentions well known effects of the ionizing and optical radiation, explains the principles and impacts of the thermal effects of electromagnetic fields on human body and summarizes existing scientific knowledge about the non-thermal effects of electromagnetic fields. This thesis further deals with hygienic standards and limits for the non-ionizing radiation set by the legislation of the Czech Republic and their comparison to the international recommendations and foreign limits.

Key words

electromagnetic field, non-ionizing radiation, effects of electromagnetic fields on human body, biophysical effects of electromagnetic fields, legislation for electromagnetic fields

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne 18. 8. 2015

Martin Hás

.....

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	8
SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
1 ELEKTROMAGNETICKÉ POLE	13
1.1 POPIS ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE POMOCÍ MAXWELLOVÝCH ROVNIC.....	13
1.1.1 První Maxwellova rovnice	13
1.1.2 Druhá Maxwellova rovnice a Lenzův zákon	14
1.1.3 Třetí Maxwellova rovnice	15
1.1.4 Čtvrtá Maxwellova rovnice	16
1.2 ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ.....	16
1.2.1 Rychlost šíření.....	17
1.2.2 Vlnová délka.....	17
1.2.3 Fotony a jejich energie	18
1.2.4 Druhy elektromagnetického záření	18
2 VLIV ELEKTROMAGNETICKÝCH POLÍ NA ČLOVĚKA	21
2.1 TEPELNÉ VLIVY	22
2.2 NETEPELNÉ VLIVY	26
3 NORMY PRO ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ	29
ZÁVĚR	41
POUŽITÁ LITERATURA	42

Úvod

Tato bakalářská práce si klade za cíl shrnout vlivy a působení elektromagnetických polí na člověka, a to především působení neionizujících elektromagnetických polí, která člověk běžně využívá především ke komunikačním účelům a jež jsou dnes neustále přítomna v každodenním životě člověka. Dále si práce klade za cíl věnovat pozornost legislativním normám a limitům v České republice vztahujícím se ke zmíněným elektromagnetickým polím a jejich stručnému porovnání s mezinárodními doporučeními a vybranými zahraničními předpisy.

Práce si naopak neklade za cíl zjišťovat nové skutečnosti či vyslovovat hypotézy v oblasti výzkumu působení elektromagnetických polí na člověka, ale především sumarizovat a prezentovat věci dříve objasněné. Stejně tak se snaží o stavění na důvěryhodných faktech. Pokud už práce bude náhodou zmiňovat či se věnovat ne nutně potvrzeným výzkumům a prokazatelným studiím, pak to vždy bude v práci zmíněno. Studií, zabývajících se problematikou zjišťování vlivu elektromagnetických polí na člověka, či legislativy s tímto tématem související lze v rozličných pramenech dohledat nepřehledné množství a ne všechny mohou mít vypovídající hodnotu či být stále aktuální. Není v moci autora této práce věnovat se každé zvlášť – většinu zdrojů, použitých k vytvoření této práce, proto tvoří souhrnné publikace od odborných kapacit v tomto oboru.

Téma, jímž se tato bakalářská práce zabývá, se dnes jeví jako nadmíru aktuální a zdá se pravděpodobné, že v nejbližších desítkách let tomu nebude jinak. Navíc lze říci, že je dnes nutná potřeba určité popularizace tématu vlivu elektromagnetických polí na člověka i v kruzích veřejnosti, neboť diskuze na toto téma dokáže vyvolávat mnoho emocí. Proto se tato práce bude snažit dosáhnout jak dostatečné srozumitelnosti, tak i odpovídající odborné úrovně.

První kapitola této práce se zabývá definicí pojmu elektromagnetického pole. Věnuje se popisu pole pomocí Maxwellových rovnic, vysvětlení pojmu elektromagnetického záření a jeho rozdělení v elektromagnetickém spektru. Další kapitola se věnuje samotnému vlivu elektromagnetických polí na člověka. Rozděluje je na tepelné a netepelné účinky, u první skupiny objasňuje principy a u obou se snaží shrnout dosažené poznatky. Poslední kapitola se zabývá legislativními limity České republiky pro expozici osob elektromagnetickému poli. Kapitola dále prezentuje mezinárodní doporučení a existující zahraniční limity na toto téma a porovnává je s limity stanovenými v České republice.

Seznam obrázků

OBR. 1 <i>SILOČÁRY MAGNETICKÉHO POLE V OKOLÍ NEKONEČNĚ DLOUHÉHO VODIČE, PROTÉKANÉHO PROUDEM I. PŘEVZATO Z [3].</i>	14
OBR. 2 <i>VYJÁDRĚNÍ LENZOVA ZÁKONA. PŘEVZATO Z [5].</i>	15
OBR. 3 <i>RŮZNÉ GAUSSOVY PLOCHY SE STEJNOU VELIKOSTÍ TOKU VEKTORU ELEKTRICKÉ INTENZITY. PŘEVZATO Z [6].</i> ..	16
OBR. 4 <i>ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ. PŘEVZATO Z [8].</i>	17
OBR. 5 <i>ELEKTROMAGNETICKÉ SPEKTRUM S DETAILEM VIDITELNÉHO ZÁŘENÍ A S PŘIBLIŽNĚ ODPOVÍDAJÍCÍMI ÚDAJI VLNOVÝCH DÉLEK A FREKVENCÍ. PŘEVZATO Z [10].</i>	20
OBR. 6 <i>ZNÁZORNĚNÍ PRINCIPU INDUKČNÍHO OHŘEVU. PŘEVZATO Z [13].</i>	23
OBR. 7 <i>ZNÁZORNĚNÍ PRINCIPU DIELEKTRICKÉHO OHŘEVU. PŘEVZATO Z [15].</i>	24

Seznam tabulek

TAB. 1 MEZNÍ HODNOTY PRO MODIFIKOVANOU PROUDOVOU HUSTOTU V CENTRÁLNÍM NERVOVÉM SYSTÉMU. VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ DLE [22].	29
TAB. 2 MEZNÍ HODNOTY PRO MĚRNÝ ABSORBOVANÝ VÝKON. VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ DLE [22].	30
TAB. 3 MEZNÍ HODNOTY PRO HUSTOTU ZÁŘIVÉHO TOKU. VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ DLE [22].	30
TAB. 4 REFERENČNÍ ÚROVNĚ INTENZITY ELEKTRICKÉHO POLE PŘI NEPŘETRŽITÉ EXPOZICI. VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ DLE [22].	31
TAB. 5 REFERENČNÍ ÚROVNĚ PRO MAGNETICKOU INDUKCI PŘI NEPŘETRŽITÉ EXPOZICI. VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ DLE [22].	32
TAB. 6 REFERENČNÍ ÚROVNĚ PRO HUSTOTU ZÁŘIVÉHO TOKU PŘI NEPŘETRŽITÉ EXPOZICI. VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ DLE [22].	32
TAB. 7 MEZNÍ REFERENČNÍ ÚROVNĚ INTENZITY ELEKTRICKÉHO POLE. VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ DLE [22].	35
TAB. 8 MEZNÍ REFERENČNÍ ÚROVNĚ MAGNETICKÉ INDUKCE. VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ DLE [22].	35
TAB. 9 MEZNÍ REFERENČNÍ HUSTOTA ZÁŘIVÉHO TOKU. VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ DLE [22].	36
TAB. 10 REFERENČNÍ ÚROVNĚ KONTAKTNÍHO PROUDU. VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ DLE [22].	36
TAB. 11 REFERENČNÍ ÚROVNĚ INDUKOVANÉHO PROUDU. VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ DLE [22].	37
TAB. 12 DOPORUČENÍ PRO MEZNÍ HODNOTY ČASOVĚ PROMĚNNÝCH ELEKTRICKÝCH A MAGNETICKÝCH POLÍ DLE ICNIRP . VLASTNÍ TVORBA DLE [24].	38
TAB. 13 NEJVYŠŠÍ HODNOTY SAR U NĚKTERÝCH TYPŮ AKTUÁLNĚ PRODÁVANÝCH MOBILNÍCH TELEFONŮ DLE RŮZNÝCH ZPŮSOBŮ MĚŘENÍ. VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ DLE HODNOT UDÁVANÝCH VÝROBCI.	39

Seznam symbolů a zkratek

B [T].....	Magnetická indukce
c [m·s ⁻¹].....	Rychlost světla ve vakuu (299 792 458 m·s ⁻¹)
D [C·m ⁻²].....	Indukce elektrického pole
E [J].....	Energie
E [V·m ⁻¹].....	Intenzita elektrického pole
f [Hz].....	Frekvence
h [J·s].....	Planckova konstanta (6,626·10 ⁻³⁴ J·s)
H [A·m ⁻¹].....	Intenzita magnetického pole
I [A].....	Elektrický proud
j [A·m ⁻²].....	Proudová hustota
J _{mod} [A·m ⁻²].....	Modifikovaná proudová hustota
Q [C].....	Elektrický náboj
Q [J].....	Jouleovo teplo
R [Ω].....	Elektrický odpor
S [W·m ⁻²].....	Hustota zářivého toku
SAR [W·kg ⁻¹]...	Měrný absorbovaný výkon
t [s].....	Čas
T _{st} [s].....	Doba průměrování
U [V].....	Elektrické napětí
u _i [V].....	Indukované napětí
v [m·s ⁻¹].....	Rychlost
ε [F·m ⁻¹].....	Permitivita
	$\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0$
ε ₀ [F·m ⁻¹].....	Permitivita vakua (8,854·10 ⁻¹² F·m ⁻¹)
ε _r [-].....	Relativní permitivita
ε _r ^{''} [-].....	Imaginární část komplexní relativní permitivity
λ [nm].....	Vlnová délka
μ [H·m ⁻¹].....	Permeabilita
	$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$
μ ₀ [H·m ⁻¹].....	Permeabilita vakua (4π10 ⁻⁷ H·m ⁻¹)
μ _r [-].....	Relativní permeabilita

ρ [$\text{C}\cdot\text{m}^{-3}$]	Objemová hustota náboje
σ [$\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$]	Konduktivita
Φ [Wb]	Magnetický indukční tok
Ψ [C]	Elektrický indukční tok

CENELEC	Evropský výbor pro normalizaci v elektrotechnice (Comité Européen de Normalisation Électrotechnique)
EM	Elektromagnetické
FCC	Federální komise pro komunikace (Federal communications commission)
ICNIRP	Mezinárodní komise pro ochranu před neionizujícím zářením (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)
IR	Infračervené (Infra-red)
RMS	Efektivní hodnota (Root mean square)
SAR	Měrný absorbovaný výkon (Specific absorption rate)
UV	Ultrafialové (Ultra-violet)

1 Elektromagnetické pole

Ke zkoumání vlivu elektromagnetických (EM) polí na člověka je nejprve nutné objasnit základní principy vzniku, charakteru a chování EM pole, stejně tak jeho šíření prostorem ve formě EM záření.

Elektromagnetické pole je fyzikální pole, které je vytvořeno elektricky nabitými částicemi. Ovlivňuje chování nabitých částic v okolí tohoto pole. EM pole se rozprostírá prostorem do nekonečna a popisuje elektromagnetickou interakci jako jednu ze čtyř základních interakcí. [1]

EM pole se skládá ze dvou fyzikálně propojených polí – elektrického pole (charakterizovaného vektorem intenzity elektrického pole E) a magnetického pole (charakterizovaného vektorem intenzity magnetického pole H). Elektrické pole je primárně vytvořeno stacionárním elektrickým nábojem, zatímco magnetické pole pohybujícím se elektrickým nábojem. Způsob, jakým elektrické náboje a proudy interagují s EM polem, vyjadřují Maxwellovy rovnice.

1.1 Popis elektromagnetického pole pomocí Maxwellových rovnic

Maxwellovy rovnice jsou souhrnem zákonů, vyjadřující způsoby vzniku elektrického a magnetického pole, jejich charakter a jejich vzájemné působení mezi sebou. Mohou být vyjádřeny v integrálním tvaru (kdy popisují EM pole v jisté uzavřené oblasti) či diferenciálním tvaru (kdy popisují EM pole v daném bodě). Maxwellovy rovnice budou v této práci pro názornost uvedeny ve zjednodušeném integrálním tvaru. [2]

Magnetické a elektrické pole je v Maxwellových rovnicích mimo vektorů H a E charakterizováno ještě vektory B (indukcí magnetického pole) a D (indukcí elektrického pole). Tyto spolu souvisejí dle následujících vztahů:

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$$

$$\vec{D} = \varepsilon \cdot \vec{E}$$

kde μ je permeabilita prostředí a ε je permitivita prostředí.

1.1.1 První Maxwellova rovnice

První Maxwellova rovnice je známa též jako Ampérův zákon či Zákon celkového proudu.

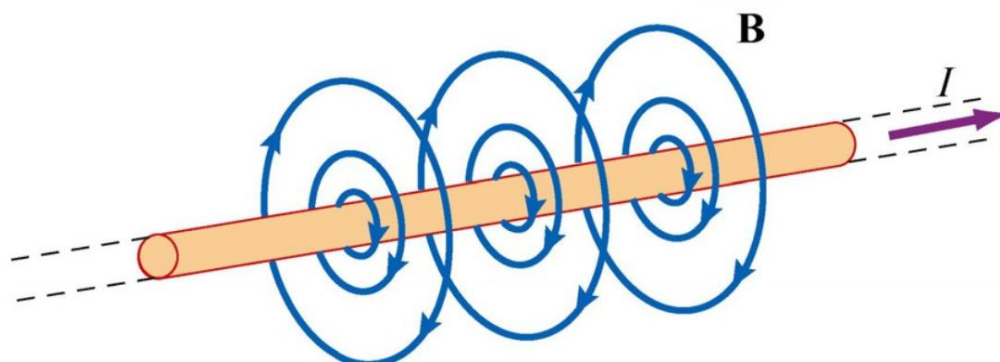
$$\oint_c \vec{H} d\vec{l} = I + \frac{d\Psi}{dt},$$

kde

$$I = \int_s \vec{j} \cdot d\vec{S}$$

$$\Psi = \int_s \vec{D} \cdot d\vec{S}$$

Tato Maxwellova rovnice nám říká, že cirkulace vektoru H po libovolně orientované uzavřené křivce c je rovna součtu celkového elektrického proudu I a časové změně toku elektrického pole. Křivka c a libovolná plocha S, obepínající tuto křivku, jsou vzájemně pravotočivě orientovány. [2] Jinými slovy lze vyjádřit, že magnetické pole je vyvoláno proudem I (tj. pohybujícím se elektrickým nábojem) a zároveň i změnou toku elektrického pole. Tato rovnice mimo jiné dokazuje vírovost magnetického pole.



Obr. 1 Siločáry magnetického pole v okolí nekonečně dlouhého vodiče, protékaného proudem I. Převzato z [3].

1.1.2 Druhá Maxwellova rovnice a Lenzův zákon

Druhá Maxwellova rovnice je známa též jako Faradayův indukční zákon či Zákon elektromagnetické indukce.

$$\oint_c \vec{E} d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt},$$

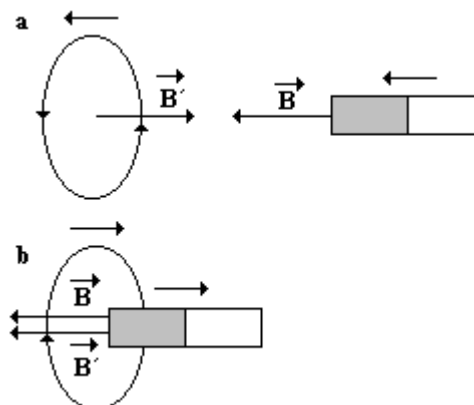
kde

$$\Phi = \int_s \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

Tuto Maxwellovu rovnici lze vysvětlit tak, že cirkulace vektoru E po libovolně orientované uzavřené křivce c je rovna záporné časové změně magnetického indukčního toku spřaženého s touto křivkou. Křivka c a libovolná plocha S , obepínající tuto křivku, jsou vzájemně pravotočivě orientovány. [2] Jinými slovy lze vyjádřit, že elektrické pole je zde tvořeno časovou změnou magnetického pole.

S druhou Maxwellovou rovnicí velice úzce souvisí Lenzův zákon. Ten nám říká, že pokud je elektricky vodivý závit umístěn v proměnném toku magnetického pole a dle druhé Maxwellovy rovnice je do něj indukováno elektrické napětí, směr následného indukovaného elektrického proudu v závitě je takový, že magnetické pole jím vyvolané vytváří změnu toku opačného směru (působí proti změně, která ho vyvolala). [4] Pro lepší představu lze říci toto:

- Pokud $\frac{d\Phi}{dt} > 0$, pak indukované napětí má takovou polaritu, že indukovaný proud vytváří magnetické pole s opačným směrem indukčních čar. [5]
- Pokud $\frac{d\Phi}{dt} < 0$, pak indukované napětí má takovou polaritu, že indukovaný proud vytváří magnetické pole se souhlasným směrem indukčních čar. [5]



Obr. 2 Vyjádření Lenzova zákona. Převzato z [5].

1.1.3 Třetí Maxwellova rovnice

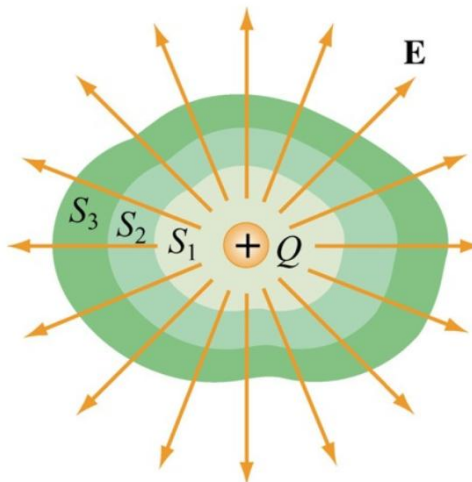
Třetí Maxwellova rovnice je známa též jako Gaussův zákon elektrostatiky.

$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = Q,$$

kde

$$Q = \int_V \rho \cdot dV$$

Z této Maxwellovy rovnice vyplývá, že elektrický indukční tok libovolnou vně orientovanou plochou S (tzv. Gaussova plocha) je roven celkovému volnému náboji Q v prostorové oblasti V ohraničené plochou S . [2] Tato Maxwellova rovnice dokazuje zřídlovost elektrického pole.



Obr. 3 Různé Gaussovy plochy se stejnou velikostí toku vektoru elektrické intenzity. Převzato z [6].

1.1.4 Čtvrtá Maxwellova rovnice

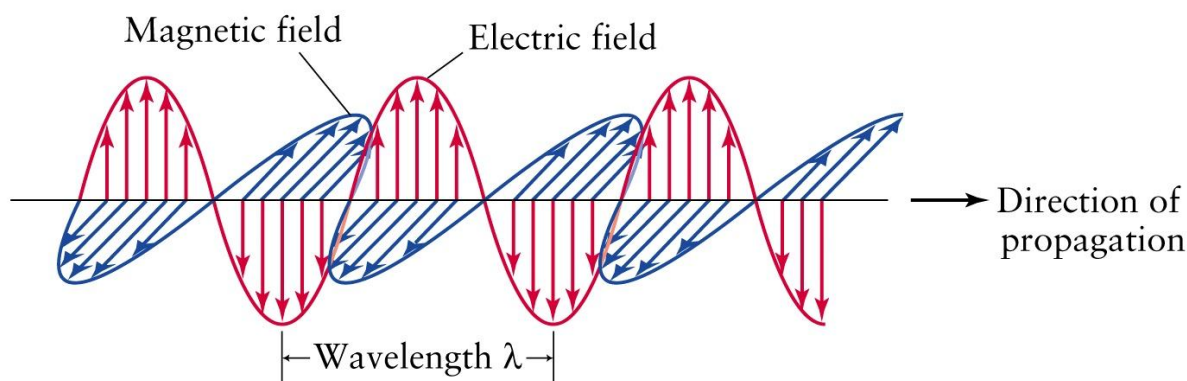
Čtvrtou Maxwellovu rovnici lze nazvat též Zákonem spojitosti indukčního toku či Zákonem o neexistenci magnetických nábojů.

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$$

Z této Maxwellovy rovnice vyplývá, že magnetický indukční tok libovolnou uzavřenou orientovanou plochou S je roven nule. [2]

1.2 Elektromagnetické záření

Pokud vodičem prochází časově proměnný elektrický proud, stává se takovýto vodič vlastně anténou a vyzařuje EM pole ve formě postupného EM vlnění. Toto EM vlnění sestává z elektrické a magnetické složky vlnění, jež jsou na sebe navzájem kolmé (viz obr. dále). Zároveň jsou obě tyto složky kolmé na směr šíření. Za EM záření je většinou považováno to EM vlnění, jež je schopno se samo šířit (zářit) bez nutnosti stálého vlivu pohybujícího se náboje, jímž bylo vyvoláno, protože získalo dostatečnou vzdálenost od tohoto náboje. Proto je EM záření často označováno za vzdálené pole. Za blízké pole je poté považováno EM pole poblíž náboje či proudu, jenž toto EM pole přímo vytváří. [7]



Obr. 4 Elektromagnetické záření. Převzato z [8].

1.2.1 Rychlost šíření

EM záření se šíří rychlostí v , která závisí na druhu prostředí, jímž se toto záření šíří. Tuto rychlost lze vyjádřit jako:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \cdot \mu}},$$

kde ε je permitivita prostředí a μ je jeho permeabilita.

Pokud se za dané prostředí považuje vakuum, tak po dosazení konstant ε_0 za ε a μ_0 za μ přechází tato rychlost v rychlost světla c :

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Rychlost světla je zároveň nejvyšší rychlostí, jakou se EM záření může šířit. Rychlost šíření EM záření ve vzduchu (který je nejběžnějším přenosovým prostředím pro EM záření) je velice blízká rychlosti šíření EM záření ve vakuu, a proto se obecně považuje za ekvivalentní.

1.2.2 Vlnová délka

Vzdálenost mezi sousedními body elektrické či magnetické vlny s totožnou fází udává vlnovou délku EM záření λ (viz obr. 4). Vztah mezi vlnovou délkou záření a jeho frekvencí (respektive frekvencí zdroje tohoto záření) je inverzní funkce přes rychlost šíření tohoto záření daným prostředím:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Tedy EM vlny o vysoké frekvenci mají kratší vlnovou délku, zatímco vlny o nízké frekvenci mají vlnovou délku delší. Ačkoliv to většinou není explicitně řečeno, vlnová délka EM záření se obvykle předpokládá pro rychlost záření ve vakuu.

1.2.3 Fotony a jejich energie

Z důvodu vysvětlení některých nejasností mezi teorií o vlnění a vyzařováním tzv. absolutně černých těles byl zaveden foton jako elementární částice, jíž popisujeme kvantum EM energie. Jeden takový foton nese energii přímo úměrnou frekvenci či nepřímo úměrnou vlnové délce:

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda},$$

kde h je Planckova konstanta. [7]

Podle energie nesené jedním fotonem lze EM záření rozdělit na neionizující a ionizující záření. Ionizující záření je takové EM záření, jehož částice nesou dostatečnou energii na to, aby dokázali vytrhnout elektron z atomu (proces tzv. ionizace) či narušit molekulární vazbu. Toto ionizující záření je nebezpečné živým organismům, protože narušuje buňky. Oproti tomu neionizující záření má energii dostatečnou pouze k excitaci elektronu na vyšší energetickou hladinu, nikoliv k jeho úplnému vytržení z atomu či narušení molekulární vazby.

1.2.4 Druhy elektromagnetického záření

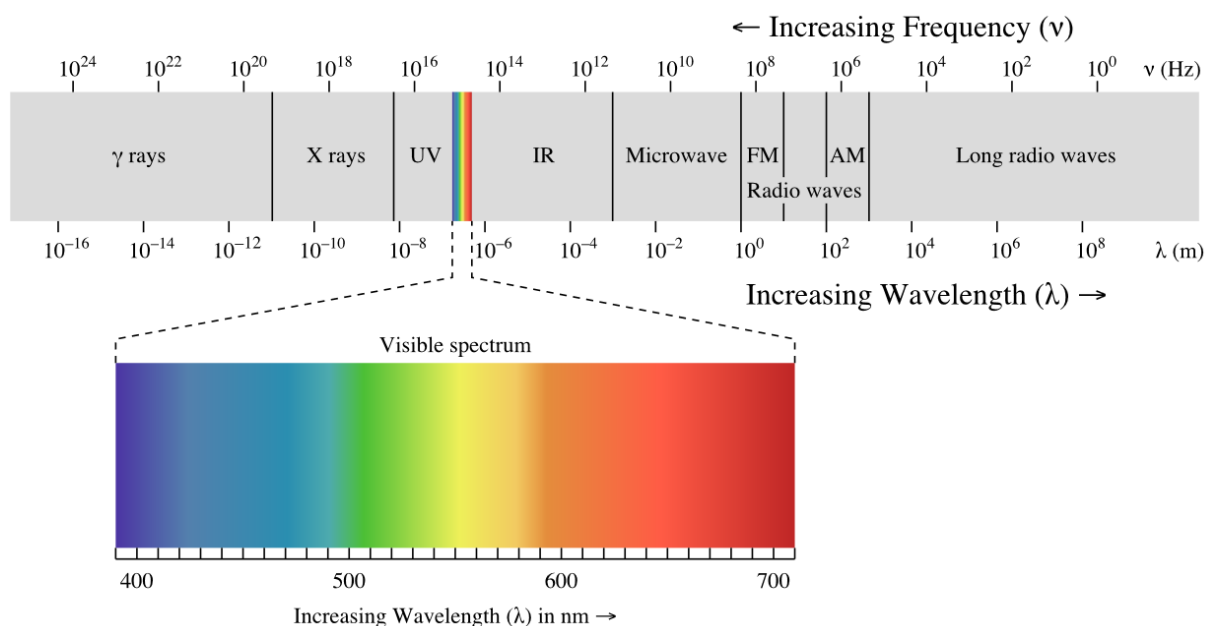
EM záření je děleno do různých skupin podle jejich vlnové délky a frekvence a tomu odpovídající energie jejich fotonů. Souhrn všech těchto EM záření dohromady se nazývá elektromagnetické spektrum. Hranice mezi jednotlivými druhy záření EM spektra nejsou přesně definovány, protože jednotlivé druhy záření mají mezi sebou pozvolné přechody a například záření v těchto přechodech můžou velmi často nést vlastnosti obou hraničících záření.

EM záření lze rozdělit do těchto skupin a podskupin (čím níže, tím kratší vlnová délka) [9]:

- Rádiové vlny – V přírodě mohou být generovány atmosférickými jevy či astronomickými objekty. Využívány člověkem k rádiové a satelitní komunikaci, plošnému vysílání, v navigačních systémech a mnohých dalších aplikacích.
 - Extrémně dlouhé vlny
 - Velmi dlouhé vlny
 - Dlouhé vlny
 - Střední vlny
 - Krátké vlny
 - Velmi krátké vlny

- Mikrovlny – V porovnání s rádiovými vlnami jsou jednodušěji úzce zaměřitelné. Jsou využívány například k dvoubodové komunikaci, v radarech či k ohřevu potravin.
 - Ultra krátké vlny
 - Super krátké vlny
 - Extrémně krátké vlny
- Infračervené (IR) záření – Generováno především objekty s velkou tepelnou energií. Díky tomu je užíváno v astronomii, vojenství či medicíně. Je využíváno také pro komunikaci na velmi krátké vzdálenosti.
 - Vzdálené
 - Střední
 - Blízké
- Viditelné světlo – Je jako jediné detekovatelné lidským okem. Podle jeho vlnové délky ho oko dokáže rozlišit jako jednu ze základních spektrálních barev:
 - Červená
 - Oranžová
 - Žlutá
 - Zelená
 - Modrá
 - Fialová
- Ultrafialové (UV) záření – Přirozeně je přítomno ve slunečních paprscích (z něhož je většina zachycena zemskou atmosférou), uměle je generováno speciálními lampami či například elektrickým obloukem. Až na výjimky nemá dostatečnou sílu k ionizaci atomů, ale kromě ohřevu může způsobovat různé chemické reakce. Lidem způsobuje opálení, při delší expozici i popáleniny či zvýšení rizika rakoviny kůže.
 - UVA
 - UVB
 - UVC
- Rentgenové záření – Jedná se o ionizující záření. Od následujícího gama záření se odlišuje (kromě delších vlnových délek a nižší energie fotonů) pouze svým zdrojem, kterým jsou elektrony. Přirozeně se vyskytuje ve vesmíru. Rentgenové záření má schopnost účinně pronikat objekty relativně velkých tloušťek. V malých dávkách je využíváno v lékařství. Při vyšších expozicích je nebezpečné.

- Měkké
- Tvrdé
- Gama záření – Je ionizujícím zářením. Jeho zdrojem jsou jaderné reakce. Tvoří velkou část přirozeně se vyskytujícího kosmického záření. Řízeně je využíváno v lékařství. Samo o sobě je pro člověka nejnebezpečnějším EM zářením.



Obr. 5 Elektromagnetické spektrum s detailem viditelného záření a s přibližně odpovídajícími údaji vlnových délek a frekvencí. Převzato z [10].

2 Vliv elektromagnetických polí na člověka

Při zkoumání vlivu EM polí na člověka je v základu nutné rozlišovat vlivy neionizujícího a ionizujícího záření na lidský organismus. Ionizující záření obecně působí na živé organismy destruktivně, zatímco vlivy neionizujícího záření nejsou tak jednoznačné.

Biologické vlivy ionizujícího záření – respektive vlivy rentgenových paprsků a gama záření spolu se zářením alfa, beta a neutronovým zářením (jež nejsou považována přímo za EM záření, ačkoliv jejich biologické působení je obdobné) – jsou pozorovány již přes sto let, během nichž byly dostatečně popsány a zdokumentovány. Dnes jsou velmi dobře zapsány v podvědomí veřejnosti, a to především díky ničivým účinkům atomových zbraní či dobře známým haváriím jaderných reaktorů. Pokud dojde k ionizaci atomů v živých buňkách, mohou nastat tři případy: buňka buďto odumře, či se sama po nějaké době opět opraví, popřípadě může dojít k její mutaci vlivem poškození DNA. Přitom ne každé buňky jsou ovlivňovány shodným způsobem – obecně nejvíce náchylné jsou například buňky, jež se nejvíce množí a jsou nejméně specializované (jako jsou např. většina buněk plodu v děloze). [11] Ačkoliv radioaktivní částice ionizujícího záření jsou přítomny v zemi všude kolem nás, celoživotní vystavení se takto malému počtu radioaktivních částic není považováno za škodlivé. Až expozice vyšším dávkám ionizujícího záření může způsobit například některé následující projevy [12]:

- oslabení imunitního systému
- vypadání vlasů
- poškození štítné žlázy
- neplodnost
- poškození trávicího systému
- smrt

S delší expozicí ionizujícímu záření se také výrazně zvyšuje pravděpodobnost výskytu rakoviny. Ovšem i člověku nebezpečné ionizující záření nachází své uplatnění v medicíně, kde se například pomocí dobře zacílené expozice gama záření ničí některá nádorová onemocnění.

Člověku nebezpečný charakter ionizujícího záření je tedy zjevný. Co se neionizujícího záření týče, vlivům UV záření, viditelného světla a IR záření je člověk z vývojového hlediska vystaven odjakživa, protože všechny tyto složky jsou přirozeně emitovány Sluncem a dopadají na Zemi (ačkoliv většina jejich energie je pohlcena zemskou atmosférou). I když i tato záření mohou být ve větším množství člověku nebezpečné (např. nebezpečí poškození

zraku, spáleniny vlivem UV záření), klade si tato práce za cíl především shrnout poznatky o biologickém působení rádiových vln a mikrovln na člověka, protože právě ty jsou člověkem záměrně využívány ke komunikačním účelům a navíc jsou vyzařovány veškerým dnešním elektronickým zařízením.

Prakticky všechna místa v životě moderního člověka jsou protkána sítěmi šířícími rozhlasové a televizní vysílání či zajišťujícími mobilní spojení nebo wi-fi signál. Navíc neustále žijeme obklopeni spotřební elektronikou, v práci, na veřejnosti, v autě, ale i v domácnosti a to i během spánku. A každé elektronické zařízení je samo osobě i zdrojem EM záření. Toto EM záření ovšem většinou není samo o sobě dostatečně výkonově silné, aby bylo jeho působení na člověka na první pohled zřejmé. Bylo by ovšem chybou automaticky předpokládat, že díky tomu nemají tyto EM pole na lidi žádný vliv. Jedna z dlouhodobě nejaktuálnějších otázek v této oblasti se týká především používání mobilních telefonů. Ty člověk nosí neustále u sebe a během telefonování si je přikládá blízko k hlavě. Navíc výkonová spotřeba mobilních telefonů neustále roste. Na případě mobilních telefonů proto lze nejlépe demonstrovat nutnost zjišťování vlivů EM polí na člověka.

Obecným zvykem bývá rozlišovat účinky EM záření do dvou skupin – na účinky tepelné a netepelné. Tepelné účinky jsou projev ohřevu živé tkáně při vystavení se velkým intenzitám EM polí. Oproti tomu netepelné účinky nejsou tak jednoznačně definovatelné, považují se za ně méně zjevné vlivy způsobené během dlouhodobé expozici nízkým intenzitám EM polí. Ačkoliv ve skutečnosti nelze tyto účinky od sebe úplně oddělit, protože jejich vliv na člověka je provázán, pro účely této práce budeme jejich působení jasně rozlišovat.

2.1 Tepelné vlivy

Prvním z dvou vlivů působení EM polí na člověka a zároveň tím lépe popsaným a zřejmým je tepelné působení EM polí. Existují dva principy tepelného ohřevu materiálů vlivem EM pole – indukční ohřev a dielektrický ohřev.

Indukční ohřev fyzikálně vyplývá z Faradayova zákona. Vlivem působení střídavého magnetického pole se v materiálu indukuje elektrické napětí. Indukované napětí je úměrné rychlosti změny magnetického toku, jež odpovídá frekvenci působícího EM pole.

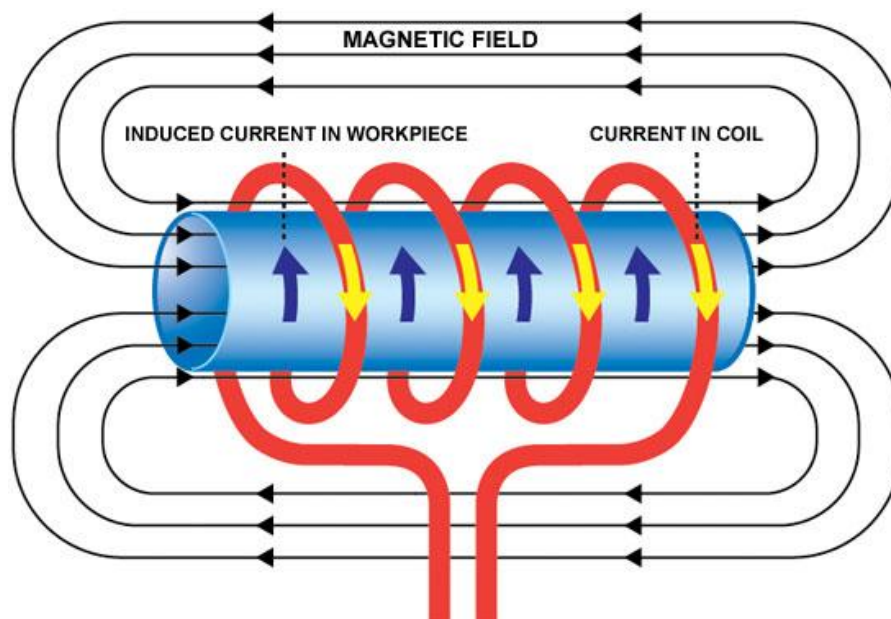
$$u_i = -\frac{d\phi}{dt}$$

Toto indukované napětí poté vyvolává průtok elektrického proudu materiálem. Velikost tohoto proudu je dle Ohmova zákona závislá na rezistivitě materiálu – čím je tato rezistivita

nižší, tím je vyvolaný proud vyšší. Průchodem elektrického proudu materiálem o určité rezistivitě poté vzniká Jouleovo teplo a materiál se zahřívá.

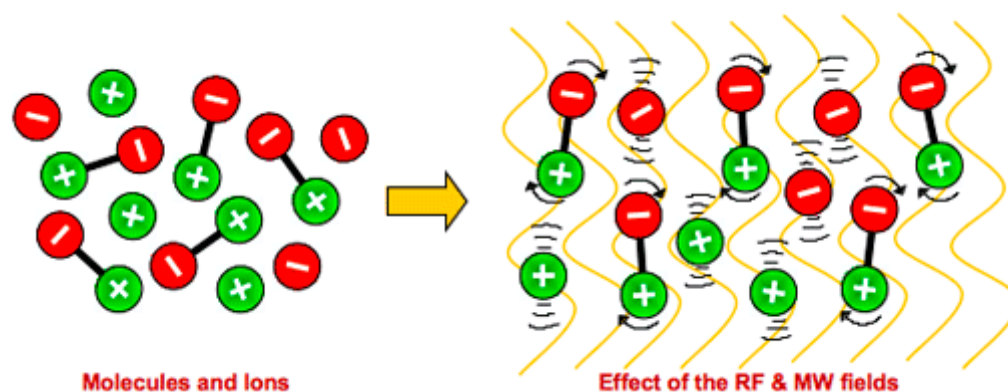
$$Q = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{u}_i \cdot \mathbf{i} \cdot dt$$

Indukční ohřev se tedy uplatňuje především při účinku vysokofrekvenčních EM polí na vodivé materiály. Tohoto principu ohřevu se běžně využívá například v průmyslu v indukčních pecích či v kuchyni u indukčních vaříčů.



Obr. 6 Znárodnění principu indukčního ohřevu. Převzato z [13].

Dielektrický ohřev se naproti tomu uplatňuje především u izolantů. Ty v sobě mohou obsahovat polární molekuly, mající stálý nenulový dipólový moment (např. voda). Následkem toho se tyto molekuly magneticky natáčejí ve směru působení EM pole. Pokud EM pole osciluje ve vlně, rotují tyto molekuly spolu s ním. Proměnné EM pole navíc působí na iontové částice přítomné v materiálech (opět především voda), jež mají stálý kladný či záporný elektrický náboj a vlivem působení proměnného EM pole vibrují. Těmito procesy je generováno teplo, které se postupně šíří celým materiálem. [14] Je zřejmé, že velikost takto generovaného tepla je závislá na velikosti intenzity působícího EM pole a také na jeho frekvenci. Dielektrický ohřev je člověkem uměle využíván například při ohřevu pokrmů v mikrovlnných troubách či v průmyslovém tavení plastů.



Obr. 7 Znárodnění principu dielektrického ohřevu. Převzato z [15].

Množství tepla na jednotku objemu, které vznikne dielektrickým ohřevem, je úměrné podle vzorce:

$$Q = \omega \cdot \epsilon_r'' \cdot \epsilon_0 \cdot E^2,$$

kde ω je úhlová frekvence působícího EM záření a ϵ_r'' je imaginární část komplexní relativní permitivity absorbujícího materiálu (je frekvenčně závislá, udává schopnost dielektrického materiálu měnit energii EM pole v teplo). [16]

Pokud je vodivost materiálu σ malá, či když je frekvence EM pole vysoká, tedy pokud

$$\sigma \ll \omega \cdot \epsilon,$$

kde

$$\epsilon = \epsilon_r' \cdot \epsilon_0,$$

poté je dielektrický ohřev dominantní mechanismus ohřevu materiálu vlivem působícího EM pole. [16]

Vzhledem k faktu, že například průměrný dospělý člověk je zhruba z 50–70 % svojí hmotnosti tvořen vodou, která je slabě elektricky vodivá (záleží na počtu příměsí v ní obsažených), a velmi výrazně na ní působí princip dielektrického ohřevu, je evidentní, že ohřev lidského těla může být způsoben dielektrickým i indukčním ohřevem. Přitom indukční ohřev má za následek spíše ohřev povrchového charakteru, zatímco dielektrický ohřev je schopen pronikat více do hloubky (ačkoliv vždy záleží na vlastnostech daného působícího EM pole, a to především na jeho frekvenci).

Ke zdatelným tepelným účinkům EM polí na člověka ovšem dochází až při působení EM polí velkých intenzit, čímž se rozumí řádově stovky $V \cdot m^{-1}$ pro pásmo vysokých frekvencí. [17] Obyčejný člověk v běžném prostředí nemá šanci se s tak vysokými hodnotami EM pole setkat. Vliv EM polí následkem ohřevu živé tkáně se tak týká především například pracovníků

v obsluze rádiových vysílačů, kteří tráví delší čas v blízkosti EM polí vysokých intenzit a vysokých frekvencí.

Pokud intenzita EM pole překročí úroveň, kdy se lidské tělo nedokáže dostatečně rychle ochlazovat, začne se zvyšovat celková tělesná teplota a může dojít i k poškození orgánů či smrti. Lidské tělo se ochlazuje přes kůži a vnitřní tělesné orgány jsou proto více ohroženy celkovou vzrůstající teplotou organismu. Oproti tomu se ale vlivem působícího EM pole více ohřívají vnější, exponovanější části lidského organismu. Nejvíce náchylné na tyto změny teploty jsou oči, mozek, pohlavní orgány a kardiovaskulární systém, a to mimo jiné především proto, že některé z nich jsou z velké části tvořeny tekutinou: [17]

- Oči nejsou schopny dostatečně rychlé termoregulace a jsou teplotně zřejmě nejvíce náchylným orgánem. U obsluhy rádiových vysílačů velmi vysokých frekvencí byla například prokázána větší náchylnost k šedému zákalu (onemocnění oka vlivem zakalení čočky) vlivem EM pole, které podporuje určité nepříznivé proteinové chemické reakce uvnitř oka způsobené jeho zvýšenou teplotou. Lze přímo pozorovat, že při delší expozici tomuto záření se také přímo projevuje dočasná únava očí a zhoršení zraku. [17]
- Mozková tkáň je velice náchylná na výskyt horkých míst na svém povrchu. Bylo prokázáno, že povrch hlavy se dokáže mírně ohřát i při dlouhém volání mobilním telefonem přiloženým u ucha, ačkoliv tento jev není pro člověka krátkodobě nebezpečný. Při větším ohřátí mozkové tkáně může docházet k poruchám neuronových spojů a může tak třeba být negativně ovlivněn psychický stav člověka. Zajímavým fenoménem je tzv. elektrofonický efekt, díky kterému je možné vyvolat „slyšitelný“ podnět vlivem působení EM pole, a to třeba i u hluchých lidí.
- Kardiovaskulární systém musí během zvýšené teploty těla zlepšit schopnost termoregulace organismu, což vede k vyššímu proudění krve v cévách. Z toho vyplývá větší zátěž na oběhovou soustavu. EM pole vysoké intenzity také působí na samotný oběhový systém, kdy rozšiřuje cévy. Tím působí fluktuace krevního tlaku v lidském těle, jež opět vede k vyšší zátěži kardiovaskulárního systému. Samo srdce pumpuje krev do oběhového systému ve svém srdečním rytmu, jenž může být negativně ovlivněn interferencí se silným vnějším EM polem. Pokud ovšem nedojde k vážnému ovlivnění základní funkce oběhového systému, jsou tyto projevy většinou pouze dočasné a mizejí spolu s působícím EM polem. Obecně dobře známé je navíc nebezpečí, které může výskyt silnějšího EM pole způsobit osobám s kardiostimulátorem.

- Reprodukční orgány jsou citlivé na změny teplot vlivem EM pole, neboť může v nich docházet k poškození citlivé reprodukční tkáně. Také hrozí velké nebezpečí možnosti poškození plodu v děloze těhotných matek.
- Mezi další citlivé orgány patří ledviny, játra či štítná žláza. Navíc se při ozáření EM polem velké intenzity a dané frekvence může projevit tzv. rozměrová rezonance, kdy dotyčný orgán má rozměry shodné s vlnovou délkou působícího EM záření, čímž tepelný efekt nabývá na síle.

2.2 Netepelné vlivy

Netepelné vlivy jsou takové vlivy EM polí na člověka, které nelze jednoznačně připsat projevům přímého ohřevu tkáně vlivem působícího záření. Za tyto netepelné vlivy jsou považovány projevy, které vznikají dlouhodobým vystavením člověka EM polím nízkých intenzit. Na rozdíl od vlivů tepelných, které se týkají především například lidí, jen přicházejí často do styku s vysokofrekvenčními poli o vysoké intenzitě, jsou tyto záležitosti, která se může týkat prakticky každého civilizovaného člověka na planetě. Typickou osobu, na níž by se mělo vztahovat ohrožení netepelnými vlivy EM pole, si lze představit jako moderního člověka, který se denně alespoň nějaký čas věnuje telefonování s mobilním telefonem přiloženým k uchu, v práci i ve volném čase tráví značné množství času u počítače a obecně tráví majoritu svého života v těsném sousedství elektronických zařízení.

Z předchozího odstavce vyplývá, že zkoumání netepelných vlivů EM polí na člověka je velmi těžko postižitelná věc, neboť se pracuje s velmi dlouhými časovými intervaly (klenoucími se třeba i přes období celého lidského života). Také je problematické rozlišovat, který jev je důsledkem dlouhodobého působení EM pole a který je důsledkem jiných přičiňujících okolností. V neposlední řadě je třeba zmínit spornost výzkumu prováděného v těchto oblastech na zvířatech, neboť fyziologie jakéhokoliv jiného živočicha je dosti odlišná od lidské, a proto lze takovéto výsledky označit pouze za orientační.

Jedním z dlouhodobě nejdiskutovanějších otázek na toto téma je možný vliv EM pole na výskyt nádorových onemocnění u člověka. V roce 2010 zveřejnila Světová zdravotnická organizace výsledky rozsáhlého výzkumu (studie Interphone, [18]), zabývajícího se spojitostí mezi častým používáním mobilních telefonů a výskytu některých typů nádorů v mozku. Deset let trávající studie poukázala na možnost, že dlouhodobé časté používání mobilních telefonů u dospělých lidí může mírně zvýšit pravděpodobnost výskytu gliomu (druh nádoru nervové soustavy, nejčastěji se vyskytující v mozku; tvoří až 80 % všech zhoubných nádorů) až o 40 %. Toto se týkalo lidí, kteří v desetiletém rozpětí používali mobilní telefon k volání

celkově kolem 1640 hodin (což činí v průměru zhruba půl hodiny volání denně). [19] Pravděpodobnost výskytu nádoru byla navíc vyšší na té straně hlavy, na které daný člověk používal mobilní telefon. Tato studie ovšem také dodává, že vzhledem k nepřesnostem v délce času užívání mobilních telefonů u jednotlivých testovaných subjektů nejsou tato data prokazatelná. Studie dále doporučuje další výzkum následků častého dlouhodobého používání mobilních telefonů. Do eventuálních dalších, v budoucnu provedených výzkumů lze tedy pouze konstatovat, že rakovinná onemocnění u člověka, způsobená EM polem, nejsou jednoznačně prokázána ani vyvrácena. Následkem výsledků studie Interphone ovšem Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny (IARC) klasifikovala EM pole rádiových frekvencí do skupiny „2B: Podezřelý karcinogen pro člověka“. [20]

Dalším z dlouhodobě znepokojujících vlivů EM pole je jeho vliv na centrální nervovou soustavu. Mozek sám přenáší informace nervovou soustavou pomocí neuronů a mezineuronových spojů (synapsí), které pracují s napětími jednotek či desítek milivoltů a frekvencemi o jednotkách hertzů. Tyto přenosy informací jsou měřitelné i zvnějšku ve formě mozkových vln, jejichž forma odpovídá momentální duševní činnosti člověka. Je jasné, že díky tomuto relativně nízkému pracovnímu napětí musí být naše nervová soustava velmi náchylná na vnější rušení. U naprosté většiny lidí ovšem přímé důsledky okolního rušení nejsou přímo pozorovány. Mezi lidmi se však mohou vzácně vyskytovat i tzv. elektromagneticky hypersenzitivní lidé (či pejorativně nazýváni idiopaticky environmentálně nesnášenlivými). Ti na sobě údajně i po vystavení EM polím, které nemusejí překračovat hygienické limity, mohou pozorovat příznaky jako únava, bolesti hlavy aj. Důvod tohoto jevu není dosud vysvětlen a většinou odborné veřejnosti je i jeho samotná existence zpochybňována. Ovšem i v případě lidí, kteří na sobě nikdy nepozorovali přímé důsledky EM pole, jsou známy mnohé údajné případy vlivu EM polí na nervovou soustavu. Mezi některými lze uvést například zhoršení psychického i fyzického stavu osoby po výskytu rádiového vysílače či drátů přenosové soustavy v okolí. Zaznamenány jsou dokonce i případy výskytu psychických problémů u lidí v domácnostech s kolísavou frekvencí v rozvodné síti. Ve většině podobných případů je však velice problematické prokázat skutečnou spojitost mezi případným vlivem EM pole a danými následky na centrální nervovou soustavu. Stejně jako v případě možné karcinogenity EM pole, i v této oblasti není mnoho známo o samotném principu působení EM pole a proto jsou i zde nutné detailní výzkumy.

Možný vliv EM pole na lidskou reprodukci je dalším z otázek visících okolo této problematiky. Proběhly studie snažící se o spojení zahrnující například spontánní potraty, váhu dítěte při narození, poměr pohlaví či vrozené vady s účinky EM pole. Ačkoliv byly

nalezeny některé nahodilé pozitivní shody, žádná výrazná spojitost při expozicích EM polím nižších intenzit nebyla spolehlivě prokázána. Pozornost se také výrazně věnuje vlivu EM polí na děti i mladší adolescenty, kteří se aktuálně mohou jevit jako potencionálně nejohroženější skupina (vzhledem k rozšiřování mobilních telefonů ke stále mladším jedincům) a u kterých by působení EM polí mohlo vyvolat nežádoucí problémy během vývinu. Mozky u dětí jsou díky zvýšené koncentraci vody prokazatelně vodivější a penetrace EM pole je u nich v poměru k velikosti hlavy větší, takže nutnost vyššího důrazu na prevenci je na místě. [21]

3 Normy pro elektromagnetické záření

V dnešní době má mnoho civilizovaných zemí na světě ochranu před EM zářením ukotvenou v legislativě či alespoň zpracovanou formou formálního doporučení. V České republice se hygienickými limity pro neionizující záření zabývá nařízení vlády č. 1/2008 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, které nabylo účinnosti 30. dubna 2008 a nahradilo tak starší nařízení vlády č. 480/2000 Sb. z ledna 2001. Toto nařízení bylo ještě posléze mírně upraveno nařízením vlády 106/2010 Sb. ze dne 29. března 2010.

Nařízení vlády č. 1/2008 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, definuje neionizující záření jako „statická magnetická a časově proměnná elektrická, magnetická a elektromagnetická pole a záření s frekvencemi od 0 Hz do $1,7 \cdot 10^{15}$ Hz“. Pro lepší představu mezní hodnota $1,7 \cdot 10^{15}$ Hz odpovídá vlnové délce zhruba 176,35 nm, která zasahuje přibližně do půlky rozsahu vlnových délek UV záření. Nařízení zaručuje, že nejvyšší přípustné hodnoty mezní hodnoty expozice vycházejí z prokázaných účinků na lidské zdraví a při jejich nepřekročení jsou exponované osoby chráněné a nemůže u nich dojít k žádným zdravotně škodlivým účinkům. Dále stanovuje, že referenční hodnoty pro expozice fyzických osob EM zářením v komunálním prostředí (tzv. osoby ostatní) se stanovují ve frekvenční oblasti od 0 Hz do $3 \cdot 10^{11}$ Hz (tj. od jednoho milimetru vlnové délky výše, tedy v oblasti zahrnující rádiové vlny a mikrovlny) měřitelnými veličinami jako jsou intenzita elektrického pole, intenzita magnetického pole, magnetická indukce a hustota zářivého toku. Referenční hodnoty pro tyto frekvenční rozsahy a mezní limity pro expozici EM polem jsou dále rozvedeny v příloze č. 1 k tomuto nařízení, kde jsou všechny tyto veličiny podrobně definovány a vyčísleny. Tyto limity jsou zvláště rozlišovány pro zaměstnance, u kterých se předpokládá pohyb v pracovním prostředí s EM záření a je u nich proto povolena vyšší expozice, a pro osoby ostatní. U mezních hodnot jsou zároveň užívány různé veličiny odpovídající různým frekvenčním rozsahům. [22]

Tab. 1 Mezní hodnoty pro modifikovanou proudovou hustotu v centrálním nervovém systému. Vlastní zpracování dle [22].

Modifikovaná proudová hustota v centrálním nervovém systému (J_{mod})			
Frekvenční interval od 0 Hz do 10 MHz			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
f [Hz]	J_{mod} [$\text{A} \cdot \text{m}^{-2}$]	f [Hz]	J_{mod} [$\text{A} \cdot \text{m}^{-2}$]
300 - 10^7	$\sqrt{2} \cdot 10^{-2}$	0 - 10^7	$0,283 \cdot 10^{-2}$
Pozn.: V ostatních částech trupu nesmí překročit pětinašobek daných hodnot pro frekvence vyšší než 1 Hz.			

„Modifikovaná proudová hustota J_{mod} je definována jako proudová hustota, tj. proud tekoucí k rovné ploše s obsahem 100 mm^2 dělený obsahem této plochy, která je modifikována filtrem s frekvenční charakteristikou

$$\frac{\beta + j2\pi f}{4\beta + j2\pi f} \quad \alpha$$

$$\frac{\beta + j2\pi f}{4\beta + j2\pi f} \quad \sqrt{2} \alpha + j2\pi f$$

, kde $\alpha = 2000\pi \text{ s}^{-1}$, $\beta = 7 \text{ s}^{-1}$ a j je imaginární jednotka, tedy $j = \sqrt{-1}$.“ [22]

Tab. 2 Mezní hodnoty pro měrný absorbovaný výkon. Vlastní zpracování dle [22].

Měrný absorbovaný výkon (SAR – specific absorption rate)			
Frekvenční interval od 100 kHz do 10 GHz			
	SAR – průměrovaný přes kterýkoliv šestiminutový interval a celé tělo [$\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$]	SAR – průměrovaný přes kterýkoliv šestiminutový interval a pro kterýchkoliv 10 g tkáně s výjimkou rukou, zápěstí, chodidel a kotníků [$\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$]	SAR – průměrovaný přes kterýkoliv šestiminutový interval a pro kterýchkoliv 10 g tkáně rukou, zápěstí, chodidel a kotníků [$\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$]
Zaměstnanci	0,4	10	20
Ostatní osoby	0,08	2	4

Pozn.: Daných 10 g tkáně nutno volit jako krychli. V případě působícího EM pole v podobě pulzů kratších $30 \mu\text{s}$ o frekvenci 300 MHz – 10 GHz doporučení zavést omezení 10 mJ/kg .

„Doba průměrování pro měrný absorbovaný výkon je 6 minut. Při krátkodobé expozici (kratší než 6 minut) není tedy nejvyšší přípustná hodnota měrného absorbovaného výkonu překročena, je-li pro zaměstnance splněna nerovnost

$$\sum_i (\text{SAR}_i \cdot t_i) \leq 2,4 \text{ W} \cdot \text{min} \cdot \text{kg}^{-1}$$

a pro ostatní osoby nerovnost

$$\sum_i (\text{SAR}_i \cdot t_i) \leq 0,48 \text{ W} \cdot \text{min} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

SAR_i je měrný absorbovaný výkon při i -té expozici ve $\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$ a t_i je doba trvání i -té expozice v minutách.“ [22]

Tab. 3 Mezní hodnoty pro hustotu zářivého toku. Vlastní zpracování dle [22].

Hustota zářivého toku (S)			
Frekvenční interval od 10 GHz do 300 GHz			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
f [Hz]	S [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]	f [Hz]	S [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]
$10^{10} - 3 \cdot 10^{11}$	50	$10^{10} - 3 \cdot 10^{11}$	10

„Doba průměrování pro frekvence 10 GHz až 300 GHz je $T_{st} = 1,92 \cdot 10^{11} / f^{1,05}$; f je v hertzech, T_{st} v minutách. S je průměrná hodnota hustoty zářivého toku dopadajícího na plochu rovnou 20 cm^2 kterékoli části těla exponované fyzické osoby. Maximální průměrná hodnota S vztažená na 1 cm^2 exponovaného povrchu nesmí při tom překročit dvacetinásobek hodnot uvedených v tabulce č. 3.“ [22]

Dále uváděné referenční hodnoty v tabulkách jsou platné pouze pro EM pole v prostoru bez přítomnosti osob.

„Je-li pole prostorově silně nehomogenní, srovnává se s referenční úrovní buď intenzita pole průměrovaná přes oblast odpovídající poloze páteře nebo průměrovaná přes oblast odpovídající poloze hlavy exponované fyzické osoby, nebo se pro srovnání s referenční úrovní bere hodnota v geometrickém středu této oblasti. Nepřekročení referenční hodnoty kontaktního proudu se zjistí buď přímým měřením kontaktního proudu u příslušné fyzické osoby, nebo měřením proudu rezistorem napodobujícím impedanci lidského těla.

Pokud není výslovně uvedeno jinak, jsou stanovené referenční úrovně v efektivních hodnotách příslušných veličin.“ [22]

Tab. 4 Referenční úrovně intenzity elektrického pole při nepřetržité expozici. Vlastní zpracování dle [22].

Referenční úrovně intenzity elektrického pole E – nepřetržitá expozice			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
f [Hz]	E [$\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$]	f [Hz]	E [$\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$]
< 1	– *	< 1	– *
1 – 8	20000	1 – 8	10000
8 – 25	20000	8 – 25	10000
25 – 820	$5 \cdot 10^5 / f$	25 – 820	$2,5 \cdot 10^5 / f$
50	10000	50	$5000 / f$
820 – $3 \cdot 10^3$	610	820 – $3 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^5 / f$
$3 \cdot 10^3$ – $65 \cdot 10^3$	610	$3 \cdot 10^3$ – $150 \cdot 10^3$	87
$65 \cdot 10^3$ – 10^6	610	$150 \cdot 10^3$ – 10^6	87
10^6 – 10^7	$610 \cdot 10^6 / f$	10^6 – 10^7	$87 \cdot 10^3 / f^{0,5}$
10^7 – $4 \cdot 10^8$	61	10^7 – $4 \cdot 10^8$	28
$4 \cdot 10^8$ – $2 \cdot 10^9$	$3 \cdot 10^{-3} \cdot f^{0,5}$	$4 \cdot 10^8$ – $2 \cdot 10^9$	$1,375 \cdot 10^{-3} \cdot f^{0,5}$
$2 \cdot 10^9$ – $3 \cdot 10^{11}$	137	$2 \cdot 10^9$ – $3 \cdot 10^{11}$	61
* Pro statické pole nezavedeno. Při pobytu v takovém silném poli nutnost snížit vliv nepříjemného pocitu a zabránit sršení výbojů z povrchu těla.			

Tab. 5 Referenční úrovně pro magnetickou indukci při nepřetržité expozici. Vlastní zpracování dle [22].

Referenční úrovně pro magnetickou indukci B – nepřetržitá expozice			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
f [Hz]	B [T]	f [Hz]	B [T]
< 1	0,28 *	< 1	0,056 *
1 – 8	0,2 / f ²	1 – 8	0,04 / f ²
8 – 25	0,025 / f	8 – 25	0,005 / f
25 – 820	25·10 ⁻³ / f	25 – 820	0,005 / f
50	500·10 ⁻⁶	50	100·10 ⁻⁶
820 – 3·10 ³	30,7·10 ⁻⁶	820 – 3·10 ³	6,25·10 ⁻⁶
3·10 ³ – 65·10 ³	30,7·10 ⁻⁶	3·10 ³ – 150·10 ³	6,25·10 ⁻⁶
65·10 ³ – 10 ⁶	2 / f	150·10 ³ – 10 ⁶	0,92 / f
10 ⁶ – 10 ⁷	2 / f	10 ⁶ – 10 ⁷	0,92 / f
10 ⁷ – 4·10 ⁸	0,2·10 ⁻⁶	10 ⁷ – 4·10 ⁸	0,092·10 ⁻⁶
4·10 ⁸ – 2·10 ⁹	10 ⁻¹¹ · f ^{0,5}	4·10 ⁸ – 2·10 ⁹	4,6·10 ⁻¹² · f ^{0,5}
2·10 ⁹ – 3·10 ¹¹	0,45·10 ⁻⁶	2·10 ⁹ – 3·10 ¹¹	0,2·10 ⁻⁶
* Amplituda			

„Při expozici jen rukou nebo nohou je přípustné referenční hodnoty zvýšit nepřímo úměrně poměru lineárního rozměru exponované části těla k lineárnímu rozměru trupu.“ [22]

Při současném výskytu magnetického a elektrického pole je pro posouzení nutné postupovat dle později uvedené expozice polí s několika frekvencemi.

Tab. 6 Referenční úrovně pro hustotu zářivého toku při nepřetržité expozici. Vlastní zpracování dle [22].

Referenční úrovně pro hustotu zářivého toku S – nepřetržitá expozice			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
f [Hz]	S [W·m ⁻²]	f [Hz]	S [W·m ⁻²]
10 ⁷ – 4·10 ⁸	10	10 ⁷ – 4·10 ⁸	2
4·10 ⁸ – 2·10 ⁹	f / 4·10 ⁷	4·10 ⁸ – 2·10 ⁹	f / 2·10 ⁸
2·10 ⁹ – 3·10 ¹¹	50	2·10 ⁹ – 3·10 ¹¹	10
Pozn.: Veličina použitelná jen pro postupnou vlnu. V reaktivních zónách nutno posuzovat E a B.			

„V intervalu frekvencí od hodnoty 10 GHz do hodnoty 300 GHz je hustota zářivého toku nejvyšší přípustnou hodnotou. Doba průměrování pro frekvence 10 GHz až 300 GHz je $T_{st} = 1,92 \cdot 10^{11} / f^{1,05}$; f je v hertzech, doba průměrování v minutách.“ [22]

„Expozice polí s několika frekvencemi

Pro posouzení expoziční situace podle zjištěných referenčních úrovní při působení elektrického a/nebo magnetického pole s více různými frekvence se uvažuje odděleně přímá stimulace, která se uplatňuje v intervalu frekvencí od 0 Hz do 10 MHz, a tepelné působení pole, které se uplatňuje v intervalu frekvencí od 100 kHz do 300 GHz. Elektrická stimulace vyvolaná hustotou indukovaného elektrického proudu v tkáni nepřekračuje referenční hodnoty, splňují-li zjištěné úrovně polí nerovnosti:

$$\sum_{1\text{Hz}}^{1\text{MHz}} \frac{E_i}{E_{L,i}} + \sum_{f>1\text{MHz}}^{10\text{MHz}} \frac{E_i}{a} \leq 1$$

$$\sum_{1\text{Hz}}^{65\text{kHz}} \frac{B_j}{B_{L,j}} + \sum_{f>65\text{kHz}}^{10\text{MHz}} \frac{B_j}{b} \leq 1,$$

E_i označuje intenzitu elektrického pole s frekvencí i ,

$E_{L,i}$ – referenční úroveň intenzity elektrického pole pro i -tou frekvenci,

B_j – magnetickou indukci s frekvencí j ,

$B_{L,j}$ – referenční hodnotu magnetické indukce pro j -tou frekvenci,

$a = 610 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ pro expozici zaměstnance a $87 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ pro expozici ostatních osob,

$b = 30,7 \cdot 10^{-6} \text{ T}$ pro expozici zaměstnance a $6,25 \cdot 10^{-6} \text{ T}$ pro expozici ostatních osob.

(Konstantní hodnoty a a b jsou v tomto případě použity i pro frekvence vyšší než 65 kHz resp. 1 MHz, protože součet se týká hustot indukovaných proudů a nezahrnuje tepelné působení pole.)

Tepelné působení, které se uplatňuje při frekvencích vyšších než 100 kHz, nepřekračuje přípustnou hodnotu, jsou-li splněny nerovnosti:

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

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

$c = 610 \cdot 10^6 / f \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ pro expozici zaměstnance a $87 \cdot 10^3 / f^{0,5} \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ pro expozici ostatních osob, a $d = 2 / f \text{ T}$ pro expozici zaměstnance a $0,92 / f \text{ T}$ pro expozici ostatních osob. Frekvence f je v hertzech.“ [22]

„Krátkodobá expozice

Tepelné působení expozice elektrickému a magnetickému poli kratší než je doba určená pro průměrování, případně série krátkodobých expozic působících v době kratší než je doba určená pro průměrování, nepřekračuje referenční hodnotu, jestliže doby expozice t_i a zjištěné úrovně polí E_i a B_i z intervalu frekvencí od 100 kHz do 10 GHz splňují nerovnosti

$$\sum_i (E_i^2 \cdot t_i) \leq (6 \cdot E_{L,i}^2) \text{ v jednotkách } (V \cdot m^{-1})^2 \cdot \text{min}$$

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

případně splňuje-li hustota zářivého toku téhož intervalu frekvencí nerovnost

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

t_i je doba i -té expozice v minutách.

Použitými symboly byly označeny:

E_i – intenzita elektrického pole během i -té expozice v jednotkách $V \cdot m^{-1}$,

B_i – magnetická indukce během i -té expozice v jednotkách T,

S_i – hustota zářivého toku během i -té expozice v jednotkách $W \cdot m^{-2}$,

$E_{L,i}$, $B_{L,i}$, $S_{L,i}$ – referenční úrovně intenzity elektrického pole, magnetické indukce a hustoty zářivého toku pro nepřetržitou expozici uvedené v tabulkách č. 4, 5 a 6.

Pro frekvence vyšší než 10 GHz se pro hodnocení krátkodobé expozice použije doba průměrování T_{st} uvedená pod tabulkou č. 6.

Okamžité hodnoty polí a zářivých toků však nesmějí překročit mezní referenční úrovně uvedené v tabulkách č. 7, 8 a 9.“ [22]

Tab. 7 Mezní referenční úrovně intenzity elektrického pole. Vlastní zpracování dle [22].

Mezní referenční intenzita elektrického pole E_{mez} (amplituda)			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
f [Hz]	E [$V \cdot m^{-1}$]	f [Hz]	E [$V \cdot m^{-1}$]
10^5	915	10^5	130
$10^5 - 10^6$	$0,438 \cdot f^{0,67}$	$10^5 - 10^6$	$0,0605 \cdot f^{0,67}$
10^6	4226	10^6	603
$10^6 - 10^7$	$4,3514 \cdot 10^5 / f^{0,335}$	$10^6 - 10^7$	$56,03 \cdot f^{0,17}$
10^7	1952	10^7	896
$10^7 - 4 \cdot 10^8$	1952	$10^7 - 4 \cdot 10^8$	896
$4 \cdot 10^8$	1952	$4 \cdot 10^8$	896
$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$0,098 \cdot f^{0,5}$	$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$0,0448 \cdot f^{0,5}$
$2 \cdot 10^9$	4384	$2 \cdot 10^9$	1952
$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	4384	$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	1952

Tab. 8 Mezní referenční úrovně magnetické indukce. Vlastní zpracování dle [22].

Mezní referenční hodnota magnetické indukce B_{mez} (amplituda)			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
f [Hz]	B [T]	f [Hz]	B [T]
10^5	$30 \cdot 10^{-6}$	10^5	$9,375 \cdot 10^{-6}$
$10^5 - 10^6$	$1,427 \cdot 10^{-3} / f^{0,335}$	$10^5 - 10^6$	$0,1619 \cdot 10^{-3} / f^{0,247}$
10^6	$1,385 \cdot 10^{-5}$	10^6	$5,3 \cdot 10^{-6}$
$10^6 - 10^7$	$0,001427 / f^{0,335}$	$10^6 - 10^7$	$0,1619 \cdot 10^{-3} / f^{0,247}$
10^7	$6,4 \cdot 10^{-6}$	10^7	$3 \cdot 10^{-6}$
$10^7 - 4 \cdot 10^8$	$6,4 \cdot 10^{-6}$	$10^7 - 4 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^{-6}$
$4 \cdot 10^8$	$6,4 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^{-6}$
$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$3,2 \cdot 10^{-10} \cdot f^{0,5}$	$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$1,5 \cdot 10^{-10} \cdot f^{0,5}$
$2 \cdot 10^9$	$14,4 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^9$	$6,4 \cdot 10^{-6}$
$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	$14,4 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	$6,4 \cdot 10^{-6}$

Tab. 9 Mezní referenční hustota zářivého toku. Vlastní zpracování dle [22].

Mezní referenční hustota zářivého toku S_{mez} (amplituda)			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
f [Hz]	S [$W \cdot m^{-2}$]	f [Hz]	S [$W \cdot m^{-2}$]
$10^7 - 4 \cdot 10^8$	10000	$10^7 - 4 \cdot 10^8$	2000
$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$25 \cdot 10^{-6} \cdot f$	$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$5 \cdot 10^{-6} \cdot f$
$2 \cdot 10^9$	50000	$2 \cdot 10^9$	10000
$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	50000	$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	10000

Pozn.: Veličina použitelná jen pro postupnou vlnu. V indukčních zónách nutno posuzovat E a B dle tabulek č. 4 a 5.

„Mezní referenční úrovně pro expozici polím s několika frekvencemi

Při expozici polím s více frekvencemi musí okamžité hodnoty intenzity elektrického pole E_i , magnetické indukce B_i , a hustoty zářivého toku S_i splňovat pro všechna i nerovnosti

$$\sum_i \frac{E_i}{E_{mez}} \leq 1$$

$$\sum_j \frac{B_j}{B_{mez}} \leq 1,$$

$$\text{popřípadě } \sum_j \frac{S_j}{S_{mez}} \leq 1$$

E_{mez} , B_{mez} a S_{mez} jsou mezní referenční úrovně uvedené v tabulkách č. 7, 8 a 9.“ [22]

„Referenční úrovně pro efektivní hodnotu kontaktního proudu s frekvencí f , vznikajícího při dotyku fyzické osoby s elektricky vodivým předmětem, přičemž buď předmět, nebo fyzická osoba se nacházejí v elektrickém poli nebo v časově proměnném magnetickém poli, jsou stanoveny v tabulce č. 10.“ [22]

Tab. 10 Referenční úrovně kontaktního proudu. Vlastní zpracování dle [22].

Kontaktní proud I – referenční úrovně			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
f [Hz]	I [A]	f [Hz]	I [A]
< 2500	0,001	< 2500	0,0005
$2500 - 10^5$	$4 \cdot 10^{-7} \cdot f$	$2500 - 10^5$	$2 \cdot 10^{-7} \cdot f$
$10^5 - 1,1 \cdot 10^8$	0,04	$10^5 - 1,1 \cdot 10^8$	0,02

Tab. 11 Referenční úrovně indukovaného proudu. Vlastní zpracování dle [22].

Referenční úrovně pro indukovaný proud i (proud tekoucí kteroukoliv končetinou)			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
f [Hz]	i [A]	f [Hz]	i [A]
$10^7 - 1,1 \cdot 10^8$	0,1	$10^7 - 1,1 \cdot 10^8$	0,045

„Nepřesnost zjištěných hodnot, způsobená nepřesností výpočtu, přibližností teoretického modelu nebo nepřesností měření použitým přístrojem a podmínkami měření se pro srovnání s nejvyššími přípustnými hodnotami nebo s referenčními úrovněmi započte takto:

- 1) Je-li střední relativní chyba výpočtu nebo měření příslušné veličiny menší než 1 dB (tj. přibližně 25 % u výkonových veličin a 12,5 % u ostatních), pokládá se nejvyšší přípustná hodnota nebo referenční úroveň za dodrženu, je-li vypočtená nebo naměřená hodnota rovna nejvyšší přípustné hodnotě nebo referenční úrovni, nebo je-li nižší.
- 2) Je-li střední relativní chyba zjišťované veličiny větší než 1 dB, pokládá se nejvyšší přípustná hodnota nebo referenční úroveň za splněnou, je-li vypočtená nebo změřená hodnota příslušné veličiny nižší než její nejvyšší přípustná hodnota nebo referenční úroveň aspoň o tolik decibelů, o kolik decibelů přesahuje střední relativní chyba 1 dB. Stejně pravidlo platí, je-li pro zjištění, zda nejsou překročeny nejvyšší přípustné hodnoty nebo referenční úrovně, nutné použít kombinace dvou nebo více zjištěných hodnot podle vztahů uvedených v této příloze.

Upozornění: při dodržení stanovených referenčních úrovní nelze vyloučit ovlivnění některých elektronických zařízení implantovaných do těla, například kardiostimulátorů, protéz obsahujících feromagnetické materiály a podobně.“ [22]

Dodržení referenčních hodnot dle této přílohy 1 nařízení znamená, že nebyly překročeny ani mezní limity pro expozici EM záření. V případě překročení referenčních hodnot EM pole na pracovišti pro určení dodržení mezních hodnot, a z toho vyplývající zajištění bezpečnosti osob exponovaných, musí zaměstnavatel zaručit speciálně dodržení nejvyšších přípustných hodnot modifikované proudové hustoty v těle, měrného v těle absorbovaného výkonu a hustoty zářivého toku buďto provedením měření na modelu těla či srovnáním hodnot intenzity elektrického pole, magnetické indukce, hustoty zářivého toku, kontaktního a indukovaného proudu tekoucího kteroukoliv končetinou a jejich porovnáním s referenčními úrovněmi (tab. 4–11). Referenční hodnoty tedy mohou být eventuálně překročeny, nejvyšší přípustné nikoliv. Zaměstnavatel se také nemusí zvlášť ujistovat o bezpečnosti zaměstnanců

vlivem EM pole, ujistil-li se již takto o bezpečnosti osob ostatních, které se na pracovišti vyskytují. [22]

Zbytek nařízení se věnuje především postupům zaměstnavatele vzhledem k zaměstnancům a dále limitům pro nekoherentní optické záření od $3 \cdot 10^{11}$ Hz do $1,7 \cdot 10^{15}$ Hz (tedy v IR, viditelné a UV oblasti) a pro nejvyšší přípustné záření laserů. Tato práce mu již dále nebude věnovat pozornost.

Všechny nejvyšší přípustné a referenční hodnoty z nařízení vlády č. 1/2008 Sb. jsou až na některé detaily naprosto shodné s hodnotami uvedenými ve starším nařízení vlády č. 480/2000 Sb. [23] Toto starší nařízení vychází z doporučující Směrnice pro omezení expozice střídavým elektrickým, magnetickým a elektromagnetickým polím Mezinárodní komise pro ochranu před neionizujícím zářením (ICNIRP – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) z roku 1998 [24], k jejímuž vypracování bylo pečlivě posouzeno obrovské množství studií. Nejvyšší přípustné hodnoty expozice s velkou rezervou refletovaly dosažené poznatky o tepelných účincích EM záření. Například nevyšší mezní hodnota ukazatele měrného absorbovaného výkonu SAR v případě zaměstnanců byla stanovena desetkrát menší, než je hodnota, jež dokáže člověka během nepřetržité expozice delší šesti minut ohřát o jeden stupeň Celsia. [25]

Tab. 12 Doporučení pro mezní hodnoty časově proměnných elektrických a magnetických polí dle ICNIRP. Vlastní tvorba dle [24].

Druh expozice	Frekvenční rozsah [Hz]	Proudová hustota pro hlavu a trup [$\text{mA} \cdot \text{m}^{-2}$] RMS	SAR průměrovaný pro celé tělo [$\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$]	Lokální SAR (hlava a trup) [$\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$]	Lokální SAR (končetiny) [$\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$]
Expozice v zaměstnání	< 1	40	–	–	–
	1 – 4	40 / f	–	–	–
	4 – 10^3	10	–	–	–
	10^3 – 10^5	f / 100	–	–	–
	10^5 – 10^7	f / 100	0,4	10	20
	10^7 – 10^{10}	–	0,4	10	20
Expozice široké veřejnosti	< 1	8	–	–	–
	1 – 4	8 / f	–	–	–
	4 – 10^3	2	–	–	–
	10^3 – 10^5	f / 500	–	–	–
	10^5 – 10^7	f / 500	0,08	2	4
	10^7 – 10^{10}	–	0,08	2	4

Mobilní telefony například v České republice převážně využívají frekvenční pásma kolem 900 MHz, 1800 MHz a 2100 MHz. Dle tabulek nejvyšších přípustných hodnot se na ně proto vztahuje právě ukazatel měrného absorbovaného výkonu SAR.

Ten se v naprosté většině evropských zemí udává dle Evropského výboru pro normalizaci v elektrotechnice (CENELEC - Comité Européen de Normalisation Électrotechnique) ve formě třetího sloupce tabulky č. 2, a to tedy jako průměrovaný přes kterýkoliv šestiminutový interval a pro kterýchkoliv 10 g krychlové tkáně s výjimkou rukou, chodidel a kotníků, který pro běžné osoby činí $2 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$. Tento ukazatel by měl zaručovat, že ohřev tkáně hlavy vlivem vyzařování mobilního telefonu během telefonování by měl být minimální a v žádném případě nemůže dojít k tepelnému poškození tkáně mozku. [25] Hodnoty SAR u mobilních telefonů musí být změřeny pro každý model na specializovaném pracovišti a musí být k dispozici před uvedením telefonu do prodeje. Jednotlivé hodnoty SAR se v případě stejného modelu mobilního telefonu mohou lišit mezi sebou z důvodu různých používaných frekvenčních pásem a rozdílného vyzářeného výkonu v nich (pak se jako jednotlivá udávaná hodnota SAR pro daný model píše hodnota z těchto nejvyšší).

Druhým ve světě používaným způsobem měření SAR u mobilních telefonů je systém USA. USA tyto hodnoty měří dle směrnice Federální komise pro komunikace (FCC - Federal Communications Commission) z roku 1997. Tento systém je ve většině věcí shodný s evropským systémem, na rozdíl od něho se však měří pouze přes 1 g tkáně. FCC také nařídila, aby musely být zvlášť uváděny hodnoty naměřené pro hlavu a zvlášť pro celé tělo. Hodnoty SAR, naměřené tímto způsobem, jsou proto velice obtížně porovnatelné s hodnotami evropskými (viz srovnání v tabulce č. 13). Je nutné je porovnávat opět s mezní hodnotou, udávanou pro tento způsob měření, která činí $1,6 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Tab. 13 Nejvyšší hodnoty SAR u některých typů aktuálně prodávaných mobilních telefonů dle různých způsobů měření. Vlastní zpracování dle hodnot udávaných výrobci.

Model telefonu	EU [$\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$]	USA (hlava) [$\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$]	USA (celé tělo) [$\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$]
Samsung Galaxy S5	0,56	1,2	1,58
Apple iPhone 5	0,95	1,25	1,18
Lenovo P70	0,554	0,384	0,467
LG G3	0,23	0,39	0,48

Při dlouhodobé expozici celého těla u obecné veřejnosti v České republice je v případě všech běžných komunikačních frekvencí elektronických zařízení brán v potaz ukazatel SAR v druhém sloupci tabulky č. 2, a tedy jako měrný absorbovaný výkon průměrovaný přes kterýkoliv šestiminutový interval a celé tělo, jehož nejvyšší dovolená hodnota pro obecnou veřejnost činí $0,08 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$. Tato hodnota opět vychází z doporučení ICNIRP (viz tabulka č. 12).

Co se Evropské unie týče, limity pro neionizující záření komunikačních frekvencí vycházející ze stejného zdroje jako Česká republika (doporučený Evropskou komisí dle směrnic ICNIRP) mají v legislativě zavedeny Kypr, Itálie, Chorvatsko, Lotyšsko, Litva, Rumunsko a Slovensko. Finsko užívá ještě starší limity z roku 1991, hodnotově ovšem velice podobné. Ochranu před tímto zářením formou limitů zakotvených v legislativě prozatím nemá Rakousko, Belgie, Dánsko, Francie, Německo, Řecko, Maďarsko, Irsko, Malta, Nizozemsko, Portugalsko, Slovensko, Španělsko a Velká Británie. Některé z těchto zemí mají ovšem doporučení či standardy dané vládou, profesionálními organizacemi nebo pojišťovny, které mohou být používány pro hodnocení rizik tohoto záření (Rakousko, Dánsko, Francie, Německo, Maďarsko, Malta, Velká Británie). Bulharsko má stanoveny limity výkonové hustoty na frekvencích nad 300 MHz, které jsou nižší než doporučené (např. o 44 % na 900 MHz). Estonsko má omezení intenzity elektrického pole na frekvencích vyšší než 30 MHz, které je zhruba poloviční než doporučené; expoziční limity má podobné. Lucembursko má svoje vlastní limity, které se doporučeným hodnotově značně podobají. Polsko má omezení intenzity elektrického a magnetického pole nižší než doporučené a navíc má časové limity pro omezení možných následků dlouhodobých expozic. Švédsko má limit pro elektrické pole, který je nižší než doporučený. [26]

Z dalších států má například Švýcarsko limity pro zaměstnance a ostatní osoby vycházející z evropských doporučení, ovšem limity pro expozici veřejnosti v určitých prostranstvích má nastavené velice nízko. Rusko má obecně o dost přísnější limity, než jsou ty stanovené u nás. V USA naopak platí limity, které připouštějí vyšší intenzitu elektrického a magnetického pole, což je způsobeno mimo jiné i odlišnou metodikou jejich zjišťování. Austrálie užívá limity prakticky totožné s našimi. [26]

Závěr

V první části se práce věnovala shrnutí poznatků o účincích elektromagnetických polí na člověka. Tyto účinky byly klasicky rozděleny na účinky tepelné a netepelné. V oblasti tepelných účinků byl technicky zdůvodněn ohřev tkáně způsobem indukčního i dielektrického ohřevu a uvedeny vztahy pro takto vzniknuvší teplo. Bylo řečeno, že ohřev tkáně vlivem elektromagnetického pole vzniká až při jeho velkých intenzitách, což se týká prakticky pouze lidí pracujících v jeho okolí. Tepelný ohřev představuje největší nebezpečí především pro orgány jako oči a mozek a oběhovou soustavu. Tepelný ohřev je dobře popsán a známý projev elektromagnetického pole.

V oblasti netepelných účinků naopak práce zmínila pouze některé náznaky možných projevů na rakovinné bujení, centrální nervovou soustavu a rozmnožování. Zde je výsledek jasný – o této oblasti projevů elektromagnetického pole na člověka není známo mnoho. Ačkoliv stále přetrvávají domněnky, že nějaký způsob netepelného účinku na člověka existovat musí, většina výzkumů, jež byla provedena, nedokázala nikdy spolehlivě potvrdit žádný takovýto negativní efekt. Není ani objasněn žádný fyzikální princip, jak by mohl takový projev na člověka působit. Celá odborná veřejnost se shoduje na jediném závěru: jsou nutné další výzkumy. A to výzkumy mnohem rozsáhlejší a komplexnější, aby bylo pro jednu možné definitivně potvrdit či vyvrátit existenci netepelných vlivů elektromagnetických polí na člověka.

V poslední části práce byla věnována pozornost hygienickým limitům pro elektromagnetické pole. V legislativě České republiky se tomuto věnuje nařízení vlády č. 1/2008 Sb., jehož důležité části (z hlediska této práce) jsou uvedeny. Tato norma stanovuje mezní hodnoty expozice elektromagnetickému poli, jež nesmí být nikdy překročeny a referenční hodnoty elektromagnetického pole. Nařízení rozděluje lidi na zaměstnance a osoby ostatní, které mají proti zaměstnancům povoleny zhruba pětkrát nižší mezní hodnoty. Tyto limity reflektují tepelné působení elektromagnetického pole na člověka tak, že při jejich dodržení nikdy nemůže dojít k ani výraznému ohřátí živé tkáně. Legislativa České republiky v ochraně před neionizujícím zářením koresponduje se směrnicemi doporučovanými Evropskou unií. V práci bylo uvedeno srovnání těchto limitů s některými odlišnými regulacemi existujícími jak v Evropské unii, tak ve světě. Jeví se jako významné, aby legislativní normy dokázaly spolehlivě a flexibilně reflektovat jakékoliv možné budoucí průlomové objevy v oblasti výzkumu vlivu elektromagnetických polí na člověka.

Použitá literatura

- [1] Wikipedia: the free encyclopedia. *Electromagnetic field* [online]. San Francisco, California: Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 22. 4. 2015]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_field
- [2] Wikipedia: the free encyclopedia. *Maxwellovy rovnice* [online]. San Francisco, California: Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 22. 4. 2015]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Maxwellovy_rovnice
- [3] Aldebaran Group for Astrophysics. *Elektrina a magnetismus: Zdroje magnetických polí* [online]. Praha: FEL ČVÚT, 2000 [cit. 28. 4. 2015]. Dostupné z: http://www.aldebaran.cz/elmg/kurz_09_mgpo.pdf
- [4] Aldebaran Group for Astrophysics. *Elektrina a magnetismus: Faradayův indukční zákon* [online]. Praha: FEL ČVÚT, 2000 [cit. 8. 5. 2015]. Dostupné z: http://www.aldebaran.cz/elmg/kurz_10_fara.pdf
- [5] Jaroslav Reichl and Martin Všetečka. *Encyklopedie fyziky: Indukovaný proud* [online]. Praha, 2006, [cit. 11. 5. 2015]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/306-indukovany-proud>
- [6] Aldebaran Group for Astrophysics. *Elektrina a magnetismus: Gaussův zákon* [online]. Praha: FEL ČVÚT, 2000 [cit. 11. 5. 2015]. Dostupné z: http://www.aldebaran.cz/elmg/kurz_04_gauss.pdf
- [7] Wikipedia: the free encyclopedia. *Electromagnetic radiation* [online]. San Francisco, California: Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 13. 5. 2015]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_radiation
- [8] Shaw, J. Scott. *emwave.jpg* [online]. Athens, Georgia: University of Georgia, 2012 [cit. 13. 5. 2015]. Dostupné z: <http://www.physast.uga.edu/~jss/1010/ch5/emwave.jpg>
- [9] HyperPhysics. *The Electromagnetic Spectrum* [online]. Guelph, Canada: AAPT, 2000 [cit. 13. 5. 2015]. Dostupné z: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/ems1.html>
- [10] Ronan, Philip. *EM spectrum.svg*. Wikimedia Commons, the free media repository [online]. San Francisco, California: Wikimedia Foundation, 2007 [cit. 13. 5. 2015]. Dostupné z: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f1/EM_spectrum.svg
- [11] Doss, H. M. *Ionizing radiation and humans – The Basics* [online]. College Park, Maryland: American Physical Society, 2014 [14. 5. 2015]. Dostupné z: <http://www.physicscentral.com/explore/action/radiationandhumans.cfm>
- [12] atomicarchive.org. *Effects of radiation on human body* [online]. AJ Software & Multimedia, 2015 [cit. 14. 5. 2015]. Dostupné z: <http://www.atomicarchive.com/Effects/radeffects.shtml>
- [13] Petrie heating technologies. *inductionc.jpg* [online]. Lancashire, UK: Petrie, 2009 [cit. 17. 5. 2015]. Dostupné z: <http://www.petrield.com/uploads/images/technologies/inductionc.jpg>
- [14] Stalam. *How do the RF & MW technologies work?* [online]. Nove, Italy: Stalam S.p.A, 2013 [cit. 18. 5. 2015]. Dostupné z: <http://www.stalam.it/technologies/radio-frequency-and-micro-waves.html>

- [15] Stalam. *Dielectric_heating.gif* [online]. Nove, Italy: Stalam S.p.A, 2013 [cit. 18. 5. 2015]. Dostupné z: http://www.stalam.it/images/grafici/Dielectric_heating.gif
- [16] Wikipedia: the free encyclopedia. *Dielectric heating* [online]. San Francisco, California: Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 18. 5. 2015]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Dielectric_heating
- [17] Pokorný, Tomáš. *Biofyzikální působení elektromagnetických polí*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2000 [cit. 22. 5. 2015]. Diplomová práce.
- [18] Wild, Christopher. *IARC Report to the Union for International Cancer Control (UICC) on the Interphone Study* [online]. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 2011 [cit. 8. 8. 2015]. Dostupné z: http://interphone.iarc.fr/UICC_Report_Final_03102011.pdf
- [19] Sage, Cindy. *Evidence for Inadequacy of the Standards* [online]. Santa Barbara, California: BioInitiative Working Group, 2012 [cit. 8. 8. 2015]. Dostupné z: http://www.bioinitiative.org/report/wp-content/uploads/pdfs/sec04_2012_Evidence_for_Inadequacy_of_the_Standards.pdf
- [20] International Agency for Research on Cancer. *IARC Classifies Radiofrequency Electromagnetic Fields as Possibly Carcinogenic to Humans* [online]. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 2011 [cit. 10. 8. 2015]. Dostupné z: http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208_E.pdf
- [21] Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. *Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF) on Human Health* [online]. Brussels, Belgium: European Commission, 2007 [cit. 11. 8. 2015]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihp/docs/scenihp_o_007.pdf
- [22] *Nářizení vlády č. 1/2008 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením* [cit. 12. 8. 2015]. Dostupné z: http://zony.vbrne.info/1_2008sb.pdf
- [23] *Nářizení vlády č. 480/2000 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením* [cit. 14. 8. 2015]. Dostupné z: aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=5724
- [24] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. *ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields* [online]. Oberschleissheim, Germany: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 1998 [cit. 14. 8. 2015]. Dostupné z: <http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>
- [25] Pekárek, Luděk. *Zdraví a mobilní telefony* [online]. Praha: Státní zdravotní ústav, 2007 [cit. 14. 8. 2015]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/zdravi-a-mobilni-telefony>
- [26] Stam, Rianne. *Comparison of international policies on electromagnetic fields (power frequency and radiofrequency fields)* [online]. Bilthoven, Netherlands: National Institute for Public Health and the Environment, the Netherlands, 2011 [cit. 15. 8. 2015]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/health/electromagnetic_fields/docs/emf_comparison_policies_en.pdf