

**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**  
Zadávající 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: **15. října 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2015**

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



  
Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

## **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 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 se 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 radiation, explains the principles and impacts of the heating effects of electromagnetic fields on human body and summarizes existing scientific knowledge about the non-heating 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 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 diplomovou/bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne 8.6.2015

Jméno příjmení

.....

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>9</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>10</b>
<b>ELEKTROMAGNETICKÉ POLE</b> .....	<b>11</b>
1.1 POPIS ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE POMOCÍ MAXWELLOVÝCH ROVNIC.....	11
1.1.1 První Maxwelllova rovnice .....	11
1.1.2 Druhá Maxwelllova rovnice a Lenzův zákon .....	12
1.1.3 Třetí Maxwelllova rovnice .....	13
1.1.4 Čtvrtá Maxwelllova rovnice .....	14
1.2 ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ.....	14
1.2.1 Rychlost šíření.....	15
1.2.2 Vlnová délka.....	15
1.2.3 Fotony a jejich energie .....	16
1.2.4 Druhy elektromagnetického záření .....	16
<b>2 VLIV ELEKTROMAGNETICKÝCH POLÍ NA ČLOVĚKA</b> .....	<b>19</b>
2.1 TEPELNÉ VLIVY .....	20
2.2 NETEPELNÉ VLIVY .....	22
<b>3 NORMY PRO ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ</b> .....	<b>23</b>
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>24</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>25</b>

## 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 nejenom ke komunikačním účelům a jež jsou dnes neustále přítomny v každodenním životě člověka. Dále si práce klade za cíl věnovat pozornost legislativním normám a limitům v České republice, vztahujících se ke zmíněným elektromagnetickým polím a snahu o jejich stručné porovnání s vybranými zahraničními předpisy.

Práce si naopak neklade za cíl zjišťovat nové skutečnosti či vyslovovat hypotézy, ale především sumarizovat věci dříve objasněné. Stejně tak se snaží o stavění na důvěryhodných datech, a pokud už se práce bude věnovat ne nutně potvrzeným výzkumům a studiím, pak to vždy bude v práci zmíněno. Studií zabývajících se problematikou této bakalářské práce lze dohledat velkou spoustu, spousta z nich ovšem například nemusí být stále aktuální či naopak s velkou výpovědní hodnotou.

Téma, jímž se tato bakalářská práce zabývá, se dnes jeví jako velmi aktuální a lze vyslovit domněnku, že tato aktuálnost v nejbližších letech především poroste. Navíc lze říci, že je dnes nutná potřeba určité popularizace tématu vlivu elektromagnetických polí na člověka i v kruzích veřejnosti. I proto se práce bude snažit být co nejvíce srozumitelná.

Je ovšem potřeba s politováním přiznat, že tato práce není kompletní. Obsahuje zpracovaný popis elektromagnetických polí za pomoci Maxwellových rovnic a shrnuje různé druhy záření elektromagnetického spektra. Věnuje se vysvětlení tepelného vlivu elektromagnetických polí na lidský organismus. Ovšem pouze nastiňuje, čím by se mohla zabývat v netepelných účincích elektromagnetických polí a kapitola o předpisech pro neionizující záření a jejich srovnání prakticky chybí. Taktéž závěr prakticky není přítomen. Toto je dáno vinou mého nezvládnutí času vymezenému pro psaní této bakalářské práce, upřednostnění studia a zkoušek na její úkor a navíc velice pomalému tempu mého psaní. Ovšem do budoucna bych chtěl vyvinout úsilí pro doplnění této bakalářské práce tak, aby dílo věnující se takto zajímavého tématu ode mne dostalo adekvátní pozornost.



## Seznam obrázků

<b>OBR. 1</b> SILOČÁRY MAGNETICKÉHO POLE V OKOLÍ NEKONEČNĚ DLOUHÉHO VODIČE, PROTÉKANÉHO PROUDEM I. [3]	12
<b>OBR. 2</b> VYJÁDRĚNÍ LENZOVA ZÁKONA. [5]	13
<b>OBR. 3</b> RŮZNÉ GAUSSOVY PLOCHY SE STEJNOU VELIKOSTÍ TOKU VEKTORU ELEKTRICKÉ INTENZITY. [6]	14
<b>OBR. 4</b> ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ. [8]	15
<b>OBR. 5</b> ELEKTROMAGNETICKÉ SPEKTRUM S DETAILEM VIDITELNÉHO ZÁŘENÍ A S PŘIBLIŽNĚ ODPOVÍDAJÍCÍMI ÚDAJI VLNOVÝCH DÉLEK A FREKVENCÍ. [10]	18
<b>OBR. 6</b> ZNÁZORNĚNÍ PRINCIPU INDUKČNÍHO OHŘEVU. [13]	21
<b>OBR. 7</b> ZNÁZORNĚNÍ PRINCIPU DIELEKTRICKÉHO OHŘEVU. [15]	21

## Seznam symbolů a zkratk

B [T].....	Magnetická indukce
c [m/s].....	Rychlost světla ve vakuu (299 792 458 m/s)
D [C/m <sup>2</sup> ].....	Indukce elektrického pole
E [V/m].....	Intenzita elektrického pole
E [J].....	Energie
f [Hz].....	Frekvence
h [J×s].....	Planckova konstanta (6,626×10 <sup>-34</sup> J×s)
H [A/m].....	Intenzita magnetického pole
I [A].....	Elektrický proud
j [A/m <sup>2</sup> ].....	Proudová hustota
Q [C].....	Elektrický náboj
v [m/s].....	Rychlost
ε [F/m].....	Permitivita
	$\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0$
ε <sub>0</sub> [F/m].....	Permitivita vakua (8,854×10 <sup>-12</sup> F/m)
ε <sub>r</sub> [-].....	Relativní permitivita
λ [nm].....	Vlnová délka
μ [H/m].....	Permeabilita
	$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$
μ <sub>0</sub> [H/m].....	Permeabilita vakua (4π10 <sup>-7</sup> H/m)
μ <sub>r</sub> [-].....	Relativní permeabilita
ρ [C/m <sup>3</sup> ].....	Objemová hustota náboje
Φ [Wb].....	Magnetický indukční tok
Ψ [C].....	Elektrický indukční tok
EM	Elektromagnetické
IR	Infra-red (infračervené)
UV	Ultra-violet (ultrafialové)

## 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, vyjadřujících 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  $\mu$  je permeabilita prostředí a  $\varepsilon$  je permitivita prostředí.

#### 1.1.1 První Maxwellova rovnice

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

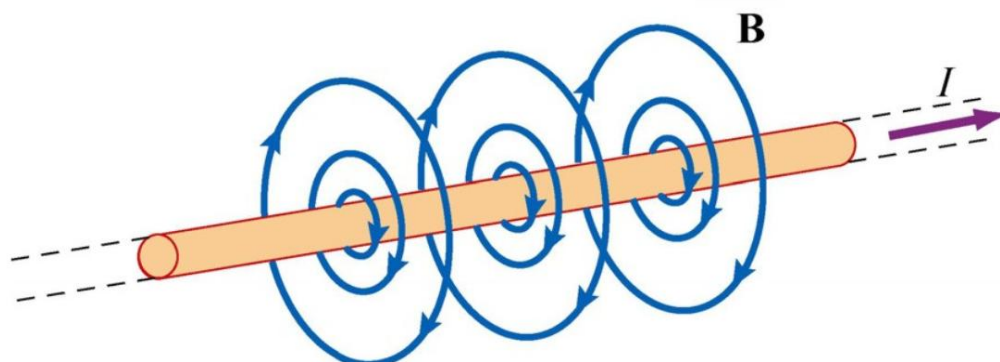
$$\oint_c \vec{H} d\vec{l} = I + \frac{d\Psi}{dt},$$

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  $I$ . [3]

### 1.1.2 Druhá Maxwellova rovnice a Lenzův zákon

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

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

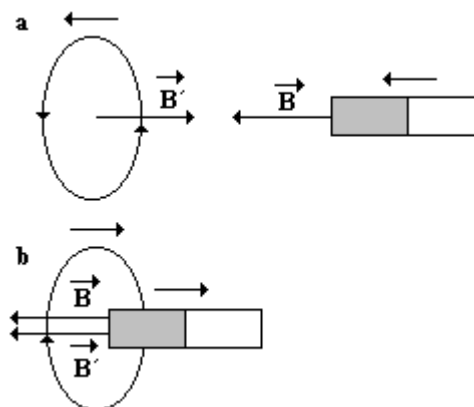
kde

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

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. [5]

### 1.1.3 Třetí Maxwellova rovnice

Třetí Maxwellova rovnice je známa též jako Gaussův zákon elektrostatiky.

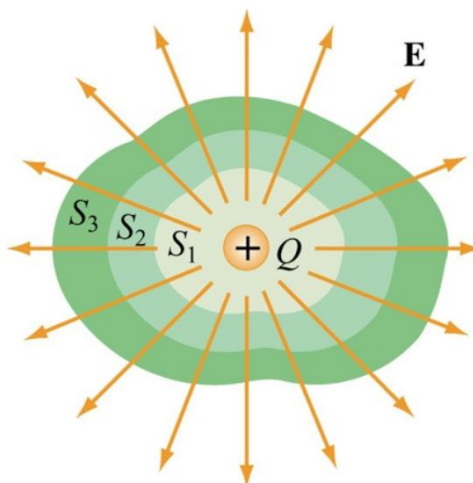
$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = Q,$$

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

v prostorové oblasti  $V$  ohraničené plochou  $S$ . [2] Tato Maxwelllova rovnice dokazuje zřídlovost elektrického pole.



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

#### 1.1.4 Čtvrtá Maxwelllova rovnice

Čtvrtou Maxwelllovu rovnice lze nazvat též Zákonem spojitosti indukčního toku či Zákonem o neexistenci magnetických nábojů.

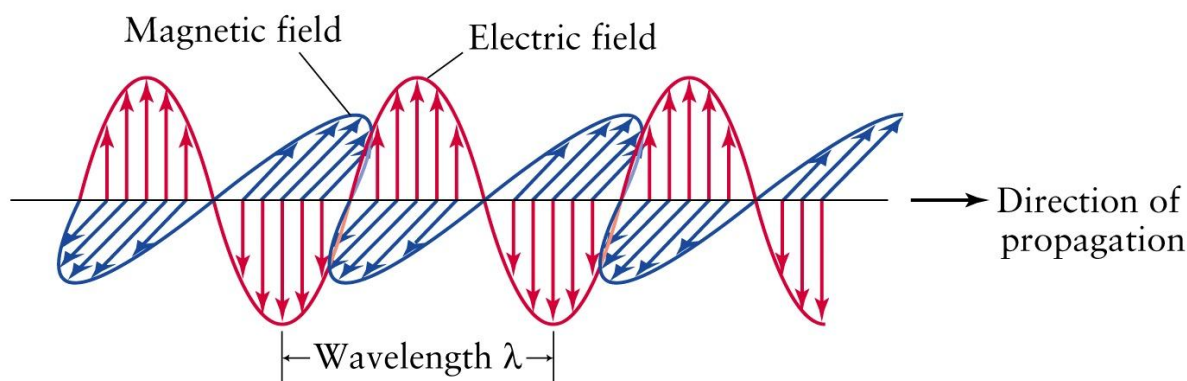
$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$$

Z této Maxwelllovy 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. níže). 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, jež toto EM pole přímo vytváří. [7]

Do EM záření se kromě rádiových vln a mikrovln řadí například také viditelné světlo a infračervené či ultrafialové záření.



**Obr. 4** Elektromagnetické záření. [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  $\varepsilon$  je permitivita prostředí a  $\mu$  je jeho permeabilita.

Pokud se za dané prostředí považuje vakuum, tak po dosazení konstant  $\varepsilon_0$  za  $\varepsilon$  a  $\mu_0$  za  $\mu$  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  $\lambda$  (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

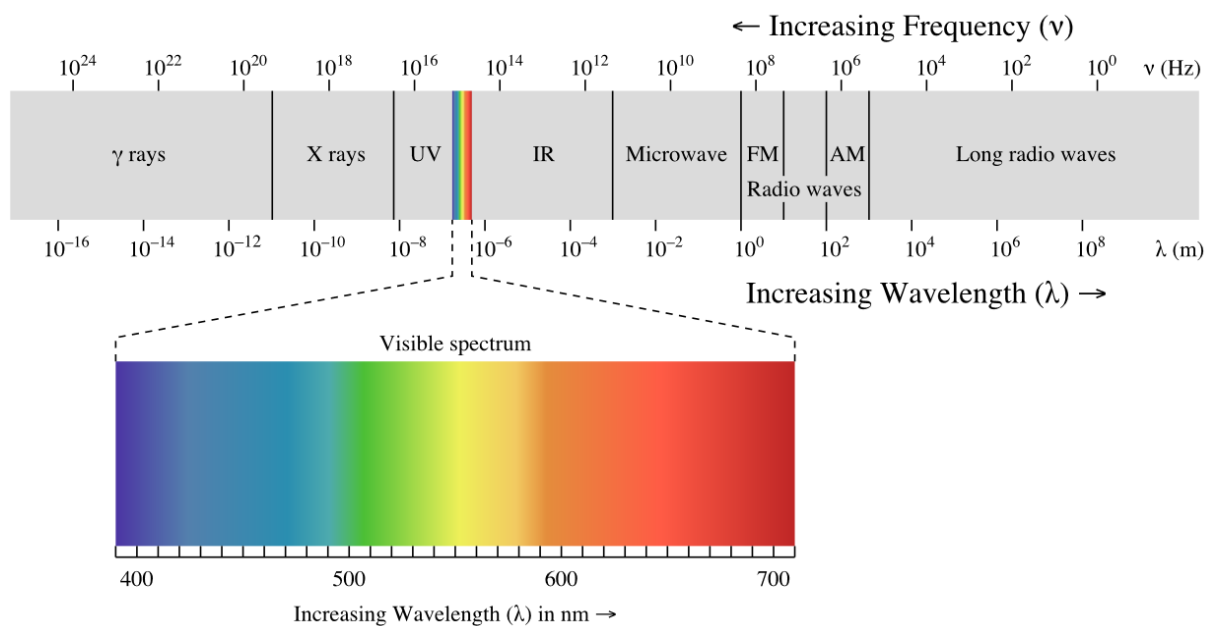
EM záření je děleno do různých skupin podle jejich vlnové délky a frekvence a tomu odpovídající energie jejich fotonů. Souhrn všech těchto EM záření dohromady se nazývá elektromagnetické spektrum. Hranice mezi jednotlivými druhy záření EM spektra nejsou přesně definovány, protože jednotlivé druhy záření 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 níž, 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 jednodušeji 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. 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.
- Rentgenové záření – Jedná se o ionizující záření. Od 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 vysokých expozicích je velice nebezpečné.
  - Měkké
  - Tvrdé
- Gama záření – Je ionizujícím zářením. Jeho zdrojem jsou jaderné reakce. Řízeně je využíváno v lékařství. Samo o sobě je pro člověka nebezpečné.



**Obr. 5** Elektromagnetické spektrum s detailem viditelného záření a s přibližně odpovídajícími údaji vlnových délek a frekvencí. [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 z následujících projevů [12]:

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

S delší expozicí ionizujícímu záření se také výrazně zvyšuje pravděpodobnost 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 tyto záření mohou být ve větším množství člověku nebezpečné (např. spáleniny vlivem UV záření, nebezpečí poškození zraku), 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.

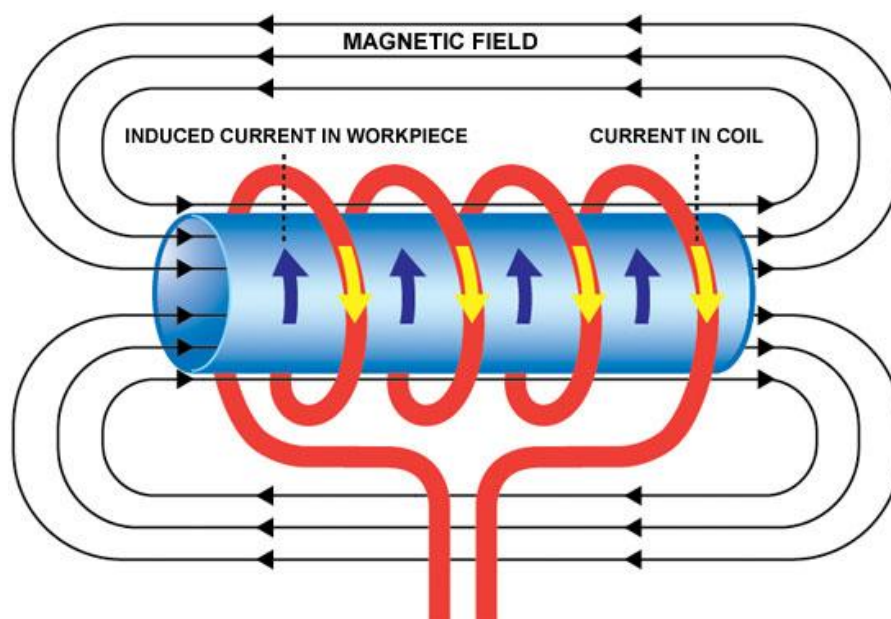
Prakticky všechna místa v životě moderního člověka jsou protkána sítěmi šířícími rozhlasové a televizní vysílání či zajišťujícími mobilní spojení nebo wi-fi signál. Navíc neustále žijeme obklopeni spotřební elektronikou, v práci, na veřejnosti, v autě, ale i v domácnosti a to i během spánku. A každé elektronické zařízení je samo osobě i zdrojem EM záření. Toto EM záření ovšem většinou není samo o sobě dostatečně výkonové 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 výzkumu 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 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 rozlišovat.

## 2.1 Tepelné vlivy

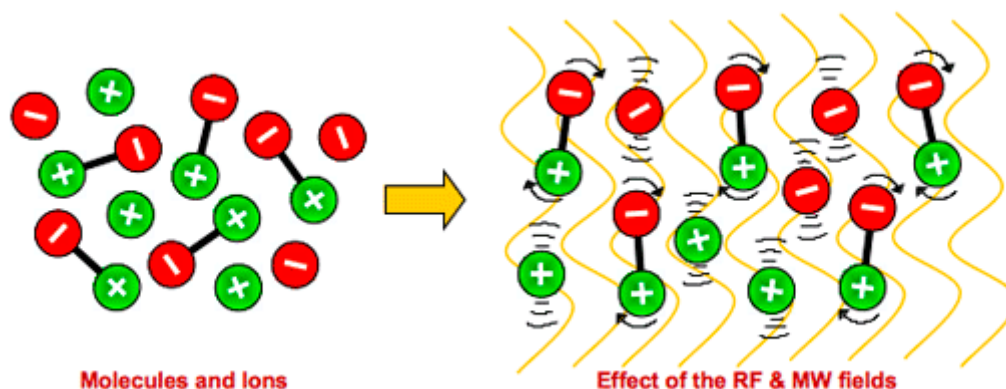
Prvním z dvou vlivů působení EM polí na člověka a zároveň tím lépe popsaným a zřejmým je tepelné působení EM polí. Existují dva principy tepelného ohřevu materiálů vlivem EM pole – indukční ohřev a dielektrický ohřev.

Indukční ohřev fyzikálně vyplývá z Faradayova zákona. Vlivem působení střídavého magnetického pole se v materiálu indukuje elektrické napětí. Toto napětí poté vyvolává elektrický proud. Jeho průchodem vzniká Jouleovo teplo a materiál se zahřívá. Indukované napětí je úměrné rychlosti změny magnetického toku, jež odpovídá frekvenci působícího EM pole. Velikost následného procházejícího proudu je dle Ohmova zákona závislý na rezistivitě materiálu – čím je tato rezistivita nižší, tím je vyvolaný proud vyšší. 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 vařičů.



Obr. 6 Znáznornění principu indukčního ohřevu. [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 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. Dielektrického ohřevu se využívá například při ohřevu pokrmů v mikrovlnných troubách či v průmyslovém tavení plastů.



Obr. 7 Znáznornění principu dielektrického ohřevu. [15]

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 je způsoben dielektrickým i indukčním ohřevem. Přitom indukční ohřev má za následek spíše ohřev povrchového charakteru, zatímco dielektrický ohřev je schopen pronikat více do hloubky.

Ovšem ke zdatelným tepelným účinkům EM polí na člověka dochází až při působení EM polí velkých intenzit, čímž se rozumí řádově stovky V/m pro pásmo vysokých frekvencí. [16] Obyčejný člověk nemá šanci se s tak vysokými hodnotami EM pole běžně setkat.

## 2.2 Netepelné vlivy

Tato kapitola by se měla zabývat například následujícími tématy:

- interakce EM s mozkovými vlnami
- EM pole jako potencionální karcinogen (např. studie Interphone)
- možný vliv na reprodukční orgány
- možný vliv na tzv. hematoencefalickou bariéru
- studie Bioinitiative

### **3 Normy pro elektromagnetické záření**

V České republice se limity EM záření zabývá Nařízení vlády č. 1/2008 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, které nabylo účinnosti od 30. 4. 2008 a nahradilo tak starší Nařízení vlády č. 480/2000 Sb. z ledna 2001.

## **Závěr**

Bohužel z důvodu autorova časového nezvládnutí této práce není možné vyvodit jakýkoliv závěr.



## Použitá literatura

- [1] Wikipedia: the free encyclopedia. Electromagnetic field [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 22.4. 2015]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic\\_field](http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_field)
- [2] Wikipedia: the free encyclopedia. Maxwellovy rovnice [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 22.4. 2015]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Maxwellovy\\_rovnice](http://cs.wikipedia.org/wiki/Maxwellovy_rovnice)
- [3] Aldebaran Group for Astrophysics. Elektřina 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](http://www.aldebaran.cz/elmg/kurz_09_mgpo.pdf)
- [4] Aldebaran Group for Astrophysics. Elektřina 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](http://www.aldebaran.cz/elmg/kurz_10_fara.pdf)
- [5] Jaroslav Reichl and Martin Všecká. 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. Elektřina a magnetismus: Gaussův zákon [online]. Praha: FEL ČVÚT, 2000 [cit. 11.5. 2015]. Dostupné z: [http://www.aldebaran.cz/elmg/kurz\\_04\\_gauss.pdf](http://www.aldebaran.cz/elmg/kurz_04_gauss.pdf)
- [7] Wikipedia: the free encyclopedia. Electromagnetic radiation [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 13.5. 2015]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic\\_radiation](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 (CA): Wikimedia Foundation, 2007 [cit. 13.5. 2015]. Dostupné z: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f1/EM\\_spectrum.svg](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](http://www.stalam.it/images/grafici/Dielectric_heating.gif)
- [16] Pokorný, Tomáš. Biofyzikální působení elektromagnetických polí. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2000 [22.5. 2015]. Diplomová práce.

