

Univerzita Hradec Králové
Pedagogická fakulta

**Bezpečnost práce v okolí přístrojů vytvářejících
elektromagnetické pole**

Bakalářská práce

Autor: **Martin Paul**
Studijní program: B7507 / Specializace v pedagogice
Studijní obor: Bezpečnost práce v nevýrobní sféře
Vedoucí práce: RNDr. Jan Šlégr, Ph.D.

UNIVERZITA HRADEC KRÁLOVÉ
Pedagogická fakulta
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin Paul**
Osobní číslo: **P121444**
Studijní program: **B7507 Specializace v pedagogice**
Studijní obor: **Bezpečnost práce v nevýrobní sféře**
Název tématu: **Bezpečnost práce v okolí přístrojů vytvářejících
elektromagnetické pole**
Zadávající katedra: **Katedra chemie**

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

Bakalářská práce se bude zabývat problematikou elektromagnetického pole a jeho možných negativních účinků na zdraví člověka. V teoretické části bude čtenář seznámen s poznatky o elektromagnetickém poli a budou představeny přístroje, které produkují elektromagnetické záření. Následně budou vymezeny škodlivé účinky na lidské zdraví v okolí těchto přístrojů, přičemž budou shrnuty nemoci, které tímto způsobem mohou vzniknout. Dále budou popsány dostupné prostředky a opatření, která zmírňují nebo eliminují již negativní účinky elektromagnetického záření. Praktické část se bude zabývat měřením elektromagnetického pole, kde bude zkoumáno, zda nebyly překročeny dostupné normy a limity.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

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

Seznam odborné literatury:

Marha, Karel. Elektromagnetické pole a životní prostředí. 1. vyd. Praha: Státní zdravotnické nakladatelství, 1968. 130 s. Mayer, Daniel. Teorie elektromagnetického pole. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni. 357 s. ISBN 80-7082-826-9. Mayer, Daniel. Aplikovaný elektromagnetismus. 1. vyd. České Budějovice: KOOP, 2012. 538 s. ISBN 978-80-7232-436-1.

Vedoucí bakalářské práce: **RNDr. Jan Šlégr**
Katedra fyziky

Datum zadání bakalářské práce: **23. září 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30. července 2015**

L.S.

doc. RNDr. PaedDr. Pavel Trojovský, Ph.D.
děkan

doc. PharmDr. Kamil Musílek, Ph.D.
vedoucí katedry

dne

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením RNDr. Jana Šlégra, Ph.D., a že jsem v seznamu použité literatury uvedl všechny prameny, ze kterých jsem vycházel.

V Jihlavě dne 25.7.2016

Martin Paul

Poděkování

Chtěl bych poděkovat především svému vedoucímu bakalářské práce RNDr. Janu Šlégrovi, Ph.D. za veškerou jeho ochotu a pomoc při vypracovávání práce. Dále bych rád poděkoval svým rodičům, kteří mě podporují po celou dobu mého studia. Další dík patří ještě mým prarodičům, přátelům a Střední škole průmyslové, technické a automobilní v Jihlavě, kde mi bylo umožněno provést příslušná měření v okolí pracovních přístrojů.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá problematikou elektromagnetického pole a jeho možných negativních účinků na zdraví člověka. V teoretické části je čtenář seznámen s poznatky o elektromagnetickém poli a jsou představeny přístroje, které produkují elektromagnetické záření. Následně jsou vymezeny škodlivé účinky na lidské zdraví v okolí těchto přístrojů, přičemž jsou shrnuty nemoci, které tímto způsobem mohou vzniknout. Dále jsou popsány dostupné prostředky a opatření, která zmírňují nebo eliminují již negativní účinky elektromagnetického záření. Praktická část se zabývá měřením elektromagnetického pole, kde je zkoumáno, zda nebyly překročeny dostupné normy a limity.

Klíčová slova:

Elektromagnetické pole, intenzita elektromagnetického pole, hygienické limity, bezpečnost práce, magnetická indukce, proudová hustota

Anotace v anglickém jazyce

This thesis is focused on the issue of electromagnetic field and its possible negative effects on health condition. The theoretical findings about electromagnetic fields and mention devices are explained in the theoretical part. The negative effects in the surrounding of these devices and the illnesses that can originate from the electromagnetic exposure are defined. The tools and procedures available for decrease or elimination of electromagnetic field negative effects are described. The practical part is focused on measurement of electromagnetic field with the examination of its limits.

Keywords:

Electromagnetic field, electric field intensity, hygiene limits, occupational safety, magnetic flux density, current density

Obsah

Úvod.....	9
1 Historie zkoumání elektromagnetického pole a jeho případných negativních účinků	10
2 Fyzikální podstata elektromagnetického pole.....	11
2.1 Veličiny elektromagnetického pole a jejich jednotky.....	11
2.1.1 Elektrický náboj.....	11
2.1.2 Elektrický proud.....	11
2.1.3 Intenzita elektrického pole.....	12
2.1.4 Indukce elektrického pole.....	13
2.1.5 Magnetická indukce.....	13
2.1.6 Intenzita magnetického pole.....	13
2.1.7 Síla působící v elektromagnetickém poli na částici s nábojem.....	14
2.1.8 Proudová hustota (hustota vodivého proudu).....	14
2.1.9 Energetické kvantum elektromagnetického záření.....	15
2.2 Absorpce a propustnost elektromagnetických vln.....	15
2.2.1 Absorpce lidským tělem podle Marhy.....	15
2.2.2 Rozdělení na diamagnetické a paramagnetické látky.....	18
3 Hygienické limity pro elektromagnetická zařízení a elektromagnetická pole v České republice.....	18
3.1.1 Obsah nařízení 1/2008 Sb.....	18
3.1.2 Nejvyšší přípustné hodnoty.....	21
3.1.3 Nařízení vlády 291/2015 Sb.....	22
3.1.4 Ochranná pásma elektrických stanic.....	23
4 Biologické účinky neionizujícího záření a jejich vliv na lidské zdraví.....	24
4.1.1 Tepelné účinky.....	25
4.1.2 Indukce elektrického proudu vnějším polem.....	25
4.1.3 Nepotvrzená souvislost mezi vysokofrekvenčním elektromagnetickým polem a rakovinou.....	26
5 Přístroje produkující elektromagnetické pole.....	27
5.1.1 Mikrovlnné trouby.....	27
5.1.2 Radary.....	28
5.1.3 Elektrické vlaky a tramvaje.....	29
6 Měření v reálném prostředí.....	30
6.1.1 Způsob měření.....	30
6.2 Naměřené hodnoty magnetické indukce u konkrétních přístrojů.....	31
6.2.1 Mikrovlnná trouba.....	31

6.2.2	Elektrická stanice vysokého napětí.....	31
6.2.3	Zesilovač pro elektrickou kytaru.....	32
6.2.4	Adaptér notebooku	33
6.2.5	Svislá rovinná bruska.....	34
6.2.6	CNC stroj.....	35
6.3	Výpočet proudové hustoty z naměřených hodnot magnetické indukce.....	36
6.4	Porovnání vypočítané proudové hustoty s danou nejvyšší přípustnou hodnotou....	37
	Závěr.....	39
	Seznam použité literatury	40
	Příloha A – Přehled EM záření.....	I
	Příloha B – Obrázky použitého měřicího přístroje.....	II

Úvod

K tématu problematiky elektromagnetických vln jsem se poprvé dostal při začátku studia na vysoké škole v předmětu Ekologie, kdy jsem měl za úkol vypracovat krátkou práci, jejímž předmětem bylo nastínění této problematiky. Právě díky této práci se mi dostalo toto téma do užšího povědomí. Od té doby jsem mnohokrát narazil především na internetu na mnoho článků týkajících se negativního vlivu elektromagnetického záření na lidské zdraví, přičemž mnohdy byla součástí článků svědectví různých osob, které údajně tyto negativní účinky pociťují na „vlastní kůži“. Nutno podotknout, že postupem času jsem se s články tohoto typu setkával stále častěji, což ještě více vzbudilo můj zájem o toto téma. Rozhodl jsem se tedy prostřednictvím této práce seznámit se s tímto tématem více do hloubky, objasnit sobě, ale i čtenářům, zda opravdu může docházet k nějakému poškození lidského zdraví v důsledku elektromagnetických vln, jakým způsobem na tento fakt reagují naši zákonodárci a zda nejsou varování medií v tomto ohledu přehnaná.

1 Historie zkoumání elektromagnetického pole a jeho případných negativních účinků

Vznik teorie elektromagnetického pole se začal psát v průběhu 19. století. Vše v podstatě odstartoval objev zákona elektromagnetické indukce Michaellem Faradayem v roce 1831. Faraday se snažil vysvětlit podstatu fyzikálních jevů především podle jeho experimentů. Problémem ovšem bylo, že Faraday nebyl příliš zdatný matematik, tudíž nedokázal jím objevené zákony zformulovat matematicky. Zcela logicky tedy musel přijít někdo, kdo tyto myšlenky přepracoval do matematické formy. Touto osobou byl James Clerk Maxwell, který popsal rovnicemi (jsou po něm dokonce pojmenovány jako Maxwellovy rovnice) elektromagnetické jevy naznačené Faradayem a rovněž pokračoval užíváním pojmu elektromagnetické pole, jenž vymyslel právě jeho předchůdce Faraday. Další vývoj teorie elektromagnetismu nastal v roce 1886, kdy německý fyzik Heinrich Hertz objevil elektromagnetické vlny. Poměrně chybně se však domníval, že tyto vlny nenajdou příliš široké uplatnění v praxi. [1]

Nedlouho po objevu elektromagnetických vln vyvstala otázka jejich případných negativních účinků na lidské zdraví a životní prostředí. Již roku 1895 například Danilevskij pozoroval vliv elektromagnetického pole na nervosvalový preparát. Další práce tohoto typu vznikaly v 30. a 40. letech 19. století. S druhou světovou válkou ovšem nastalo přerušování výzkumu a mnoho prací upadlo v zapomnění. Navíc po roce 1945 se stalo kvůli výbuchům atomových pum v Hirošimě a Nagasaki mnohem populárnějším zkoumáním biologických účinků ionizujícího záření. Navázání na práce ze 30. a 40. let přišlo znovu až v 60. letech 19. století a to především kvůli některým subjektivním stížnostem pracovníků u radiolokačních stanic a dále také pochybnostem, zda především centimetrové vlny nemohou mít vliv na hynutí rostlin a zvířat. Největší pozornost s největším počtem pracovníků a pracovišť přitom byla věnována tomuto problému ve Spojených státech Amerických a v Sovětském svazu. Co se týče naší země, již v roce 1961 bylo v Praze v Ústavu hygieny práce a chorob zdraví z povolání zřízeno speciální oddělení vysoké frekvence. Toto oddělení se přímo zaměřilo na výzkum primárních účinků elektromagnetického pole na lidský organismus a ochranu lidí před těmito účinky. [3]

Od té doby až do dneška díky rostoucímu vývoji přístrojů produkujících elektromagnetické vlny, a to především mobilních telefonů a počítačů roste také četnost výzkumů na toto téma, přičemž každoročně již od roku 1997 pořádá Světová zdravotnická organizace (WHO) zasedání skupiny vybraných vědců, kteří vždy konzultují aktuální otázky týkající se zdravotních rizik elektromagnetického pole.

WHO také vypracovává každoroční zprávy, tzv. IAC Progress Reports, ve kterých monitoruje pokrok ve výzkumu zdravotních rizik elektromagnetického pole. Mimo vědeckou komunitu začalo naopak v posledních letech mnoho laiků používat pojmy jako například elektrosmog (výraz pro znečištění prostředí elektromagnetickými vlnami) nebo elektrosenzibilita (výraz pro neobvykle vysokou citlivost organismu na elektromagnetické vlny s nespécifickými zdravotními problémy). [4]

2 Fyzikální podstata elektromagnetického pole

Biologické účinky elektromagnetického pole se významně odvíjejí od toho, jakou frekvenci mají vlny v konkrétním poli. Podle toho vlnění rozdělujeme na to s ionizujícím a s neionizujícím účinkem, přičemž fyzikální podstata je na rozdíl od zmiňovaných biologických účinků stále stejná. Společné vlastnosti elektromagnetických vln ve všech pásmech jsou tyto: šíří se ve volném prostoru rychlostí světla, ohýbají se, lámou, rozptylují a mohou být polarizovány. [3]

Neionizující pásmo je to, které začíná na nejnižších frekvencích a pokračuje až do $1,7 \cdot 10^{15}$ Hz. V této práci se budeme zabývat výhradně pásmem od 0 Hz do 300 GHz, které se mnohdy označuje jako radiové vlny nebo také elektromagnetické vlny. [5] Pro lepší přehled o tom, kde v praxi se s ohledem na různou vlnovou délku nachází ionizující a neionizující pásmo poslouží tabulka podle Lud'ka Pekárka [4], jež je zařazena v přílohách jako Příloha A.

Zdroji elektromagnetického pole (které se může měnit s časem a je rozloženo v prostoru) tedy mohou být náboje na elektrodách, proudy ve vodičích, permanentní magnety atd.

2.1 Veličiny elektromagnetického pole a jejich jednotky [1]

2.1.1 Elektrický náboj

Elektrický náboj se značí Q a je skalární veličinou. Jeho jednotkou je coulomb [C].

2.1.2 Elektrický proud

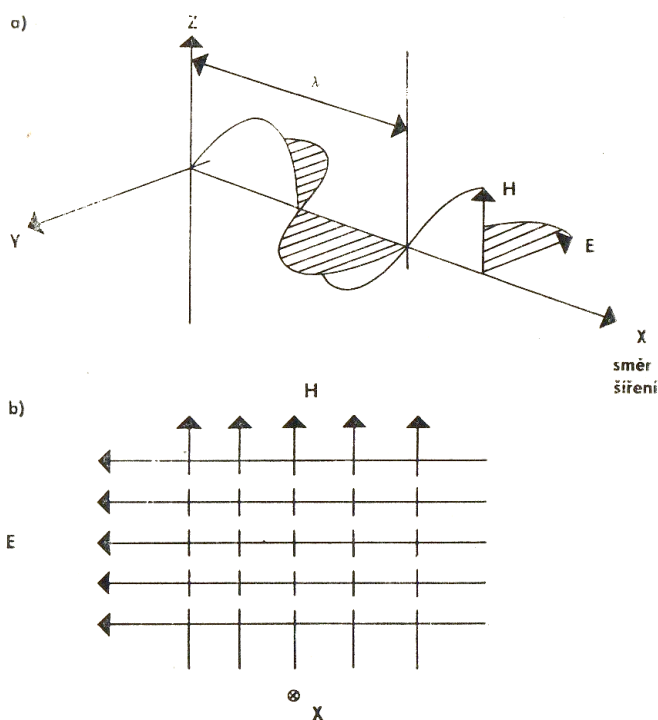
Další skalární veličinou v aplikovaném elektromagnetismu je elektrický proud, značící se I . Jednotkou je ampér [A]. Elektrický proud jako jev je uspořádaným pohybem elektrických nábojů. Projde-li průřezem vodiče S za čas t náboj Q , prochází jím elektrický proud. Elektrický proud jako veličinu lze definovat následujícím vzorcem:

$$I = \frac{dQ(t)}{dt}$$

Vztah pro stejnosměrný proud $I(t)$, přičemž ho nazýváme stejnosměrným, protože se náboj Q pohybuje vodičem jedním směrem, je následující:

$$I = \frac{Q}{t}$$

Samotné elektromagnetické pole má dvě složky – složku elektrickou a složku magnetickou. Tyto dvě složky jsou dále popsány dvěma veličinami značící se \mathbf{E} (intenzita elektrického pole) a \mathbf{H} (intenzita magnetického pole) Každá ze složek má svoji velikost a směr. Pro lepší představu v tomto ohledu poslouží následující dva obrázky podle Karla Marhy [3].



Obr. 1 – Vodorovně polarizovaná elektromagnetická vlna [3]

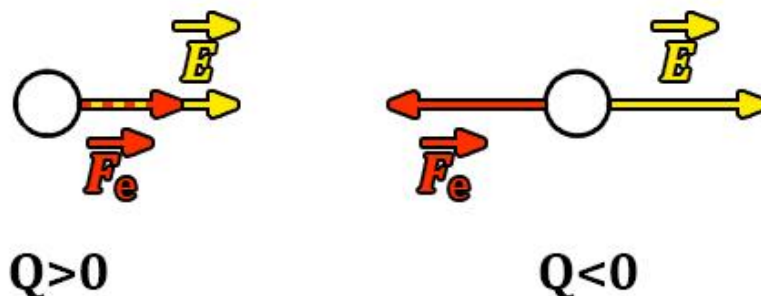
2.1.3 Intenzita elektrického pole

Jedná se o vektorovou veličinu značící se \mathbf{E} . Je definována podílem síly a náboje, na který působí elektrické pole. Intenzitu elektrického pole měříme ve voltech na metr $\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$. Vzorec pro tuto fyzikální veličinu je následující:

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}_e}{Q}$$

Grafické znázornění směru elektrické síly v případě, že elektrický náboj je menší než 0 a rovněž v případě, že elektrický náboj je větší, než 0 vypadá takto:

Elektrická síla



Obr. 2 – Elektrická síla

2.1.4 Indukce elektrického pole

Elektrickou indukci značíme D . Tato vektorová veličina popisuje interakci elektrického pole s prostředím. V izotropním prostředí je její vektor rovnoběžný s vektorem intenzity elektrického pole E . Pro elektrickou indukci platí následující vzorec a měří se v $C \cdot m^{-2}$:

$$D = \varepsilon E$$

2.1.5 Magnetická indukce

Jedná se opět o vektorovou veličinu značící se B , tentokrát popisující sílu F_m , kterou působí magnetické pole na částici s nábojem Q a zároveň má určitou rychlost v . Jednotkou magnetické indukce je tesla [T]. Dříve běžně používanou, nicméně dnes již zastaralou jednotkou této veličiny je gauss [G]. Magnetickou indukci můžeme definovat pomocí vztahu:

$$B = \frac{F_m}{Q v}$$

2.1.6 Intenzita magnetického pole

Intenzitu magnetického pole značíme H . Jednotkou je $A \cdot m^{-1}$. Tato veličina je popsána tímto vztahem:

$$H = \frac{1}{\mu} B$$

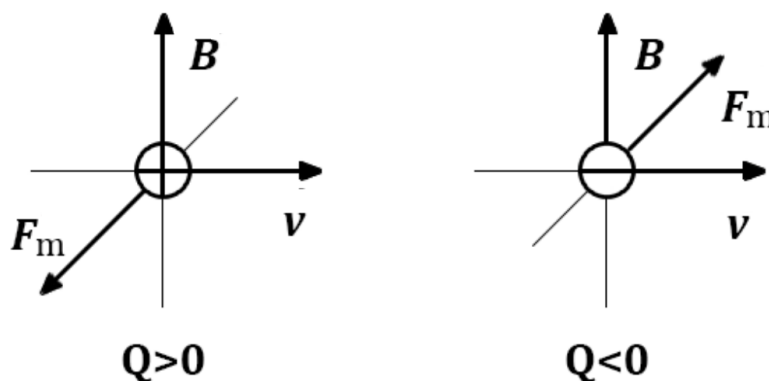
Permeabilita μ charakterizuje magnetické vlastnosti prostředí. Její převrácená hodnota $1/\mu = \nu$, se nazývá reluktivita.

2.1.7 Síla působící v elektromagnetickém poli na částici s nábojem

Jedná se o sílu, kterou elektromagnetické pole působí na částici s nábojem Q , který se pohybuje rychlostí \mathbf{v} . Měříme ji v newtonech [N]. Můžeme ji popsat následujícím vzorcem:

$$\mathbf{F}_m = Q (\mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

Její směr s ohledem na to, zda je náboj Q kladný nebo záporný lze graficky znázornit například takto:



Obr. 3 - Magnetická síla

Pro výpočet Lorentzovy síly ve vakuu použijeme intenzitu elektro-magnetického pole \mathbf{E} a magnetickou indukci \mathbf{B} . V látkovém prostředí je potřeba počítat pro elektrické pole s elektrickou indukcí \mathbf{D} a pro magnetické pole s intenzitou magnetického pole \mathbf{H} .

2.1.8 Proudová hustota (hustota vodivého proudu)

Veličina, značící se \mathbf{J} , vyjadřuje náboj, který projde jednotkovou plochou průřezu vodiče za jednu sekundu. Jednotkou je $\text{A} \cdot \text{m}^{-2}$. Můžeme jí definovat vztahem:

$$\mathbf{J} = \frac{I}{S}$$

I je v tomto případě velikost proudu, který prochází průřezem S .

S touto veličinou také souvisí intenzita elektrického pole \mathbf{E} a to podle následujícího vzorce, známého jako Ohmův zákon v diferenciálním tvaru:

$$\mathbf{J} = \gamma \mathbf{E}$$

Měří se opět v $\text{A} \cdot \text{m}^{-2}$. Veličina γ se nazývá konduktivita neboli měrná vodivost prostředí. Její převrácená hodnota, vyjádřená $1/\gamma = \rho$, se nazývá rezistivita.

Proudovou hustotu také použijeme při výpočtech v praktické části práce pro zjištění možného proudu indukovaného v lidské tkáni proměnným magnetickým polem. To lze podle [15] zjistit za pomoci Faradayova zákona magnetické indukce a Laplaceovy rovnice s předpokladem, že lidská tkáň se na frekvencích nižších, než 1 MHz chová jako vodivé prostředí. Přesně jde tedy o hustotu proudu indukovaného harmonicky

se měnícím magnetickým polem, jehož magnetická indukce má amplitudu s velikostí B .

Následující analytické vyjádření je možno použít pouze ve velice jednoduchých případech a to například pokud bychom uvažovali část nekonečně velkého homogenního objemu tkáně, na který působí proměnné magnetické pole s frekvencí f , proudová hustota uvnitř kruhu o poloměru r bude:

$$J = \pi \gamma r B f$$

Proudová hustota J zde bude opět v jednotkách $A \cdot m^{-2}$. γ značí měrnou elektrickou vodivost, jejíž jednotkou je $\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$. B je magnetická indukce v daném bodě v teslách. [15]

Hodnoty měrné vodivosti podle Fostera [16] jsou u krve od $0,55 \Omega^{-1} \cdot m^{-1}$ do $0,68 \Omega^{-1} \cdot m^{-1}$, u kostí od $0,013 \Omega^{-1} \cdot m^{-1}$ do $0,014 \Omega^{-1} \cdot m^{-1}$ a u mozkové tkáně od $0,12 \Omega^{-1} \cdot m^{-1}$ do $0,17 \Omega^{-1} \cdot m^{-1}$.

Je třeba zdůraznit, že výše uvedená rovnice neplatí obecně – indukovaná proudová hustota sice bude záviset na frekvenci, magnetické indukci a konduktivitě, ale na rozhraních prostředí v rámci heterogenního objektu, tedy lidského těla, mohou být hodnoty proudové hustoty pro různé frekvence značně rozdílné. Stanovené nejvyšší přípustné hodnoty jsou vypracovány spíše na základě počítačových modelů a reálných měření heterogenních objektů.

2.1.9 Energetické kvantum elektromagnetického záření

Tato veličina se značí ε a můžeme jí popsat jako energii nesenou jedním fotonem. Vztah pro energetické kvantum elektromagnetického záření je:

$$\varepsilon = h \cdot f$$

Písmenem h přitom značíme Planckovu konstantu, jejíž hodnota činí $6,626 \cdot 10^{-34}$ J·s.

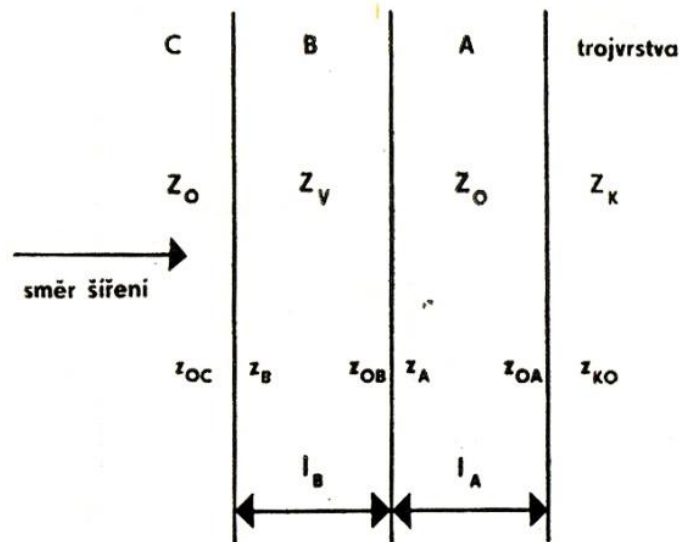
2.2 Absorpce a propustnost elektromagnetických vln

2.2.1 Absorpce lidským tělem podle Marhy [3]

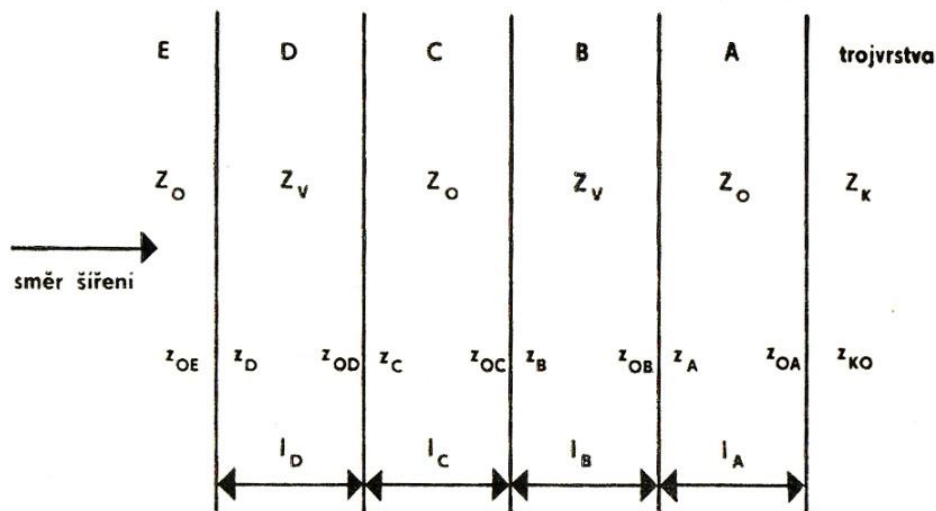
Absorpce elektromagnetických vln lidským tělem je prokázána v celém frekvenčním spektru od mikrovln až po vlny s největší vlnovou délkou. Karel Marha [3] se snaží rozebrat problematiku absorpce elektromagnetických vln lidským tělem následujícím způsobem, přičemž ve výsledku se snaží porovnat absorpci s ohledem na konkrétní frekvenci.

Důležitým faktorem pro posuzování, do jaké míry je absorbována energie vlny tělem, je stavba těla. Karel Marha řeší tento problém sestavením modelu zvaného „trojvrstva“. Tento název je odvozen od tří vrstev lidské tkáně (kůže, tuk, svaly). Propustnost jednotlivých vrstev jsou přitom vypočítány na základě charakteristické

impedance prostředí Z . Model trojvrstvy tedy v podstatě zohledňuje tyto lehce rozdílné absorpční vlastnosti jednotlivých vrstev. Marha také počítá s tím, že co člověk, to různě tlustá svalová a tuková vrstva. Proto pro obecné závěry pracuje s modelem víceméně průměrně stavěného jedince aneb středním konstitučním typem a upozorňuje, že hodnoty absorpce pro jedince výrazně odlišující se od průměru se jistě lehce změní. Pro výsledky uplatnitelné v praxi, tedy s úvahou, že při styku s elektromagnetickými vlnami je osoba oblečena, ještě Marha využívá modely zvané „systém I“ a „systém II“. V systému I přidává k trojvrstvě ještě vrstvu vzduchu a oděvu. Systém II je rozšířením systému I o další vzduchovou vrstvu a oděv. Pro jednoduchou představu poslouží obrázky 5 a 6 graficky znázorňující oba tyto modely.

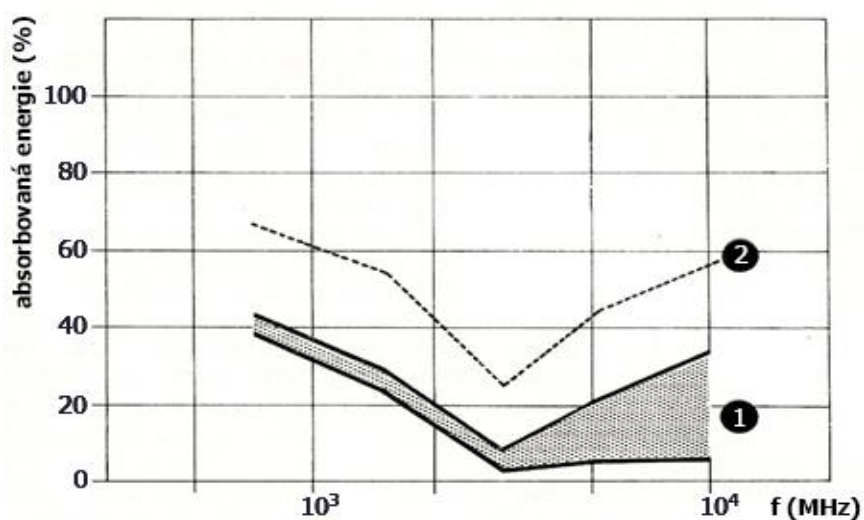


Obr. 5 – Znázornění systému I: trojvrstva-vzduchová mezera-oděv. [3]

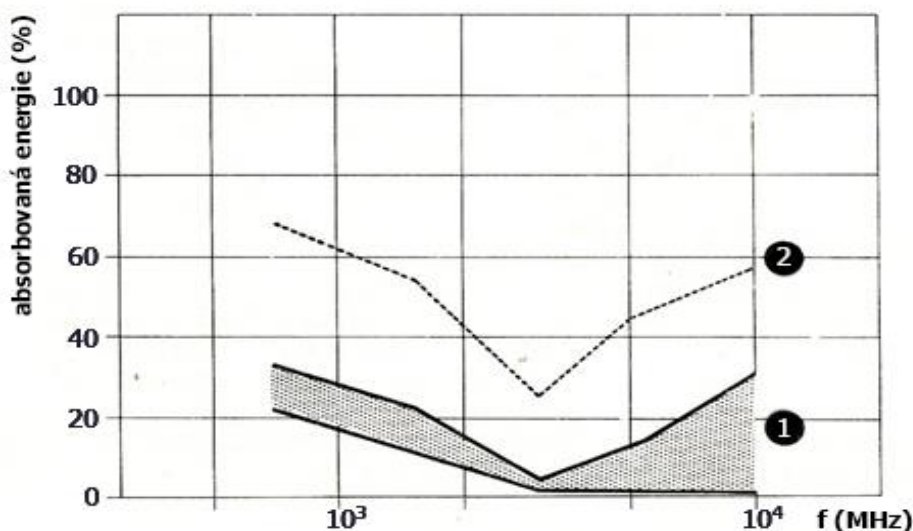


Obr. 6 – Znázornění systému II: trojvrstva-vzduchová mezera-oděv-vzduchová mezera-oděv. [3]

Závislost procentuálních hodnot absorbované energie (v %) na konkrétním kmitočtu (v Hz) podle Marhy je znázorněna na obrázcích 7 a 8. Z těchto obrázků navíc můžeme vyčíst poměrně logický fakt, že ať už se jedná o jakýkoliv kmitočet, hodnota absorpce vln je pro osobu s oděvem nižší, než na samotnou trojvrstvu. To můžeme využít například k tomu, že u částí těla, které nejsou chráněny oděvem – např. hlava, bude absorpce zcela jistě vyšší. Z uvedených obrázků by se také dalo vyčíst, že např. u hodnoty 3000 MHz se hodnoty absorbované energie blíží k minimu. Zde ovšem Marha připomíná, že u jiného konstitučního typu by mohl průběh grafu být lehce odlišný a minimální hodnoty absorbované energie bychom tedy zkrátka mohli najít při jiném kmitočtu. Pro přibližnou představu závislosti absorbované energie na konkrétní frekvenci ovšem toto znázornění stačí.



Obr. 7 – Průběh kmitočtové závislosti absorpce v trojvrstvě (střední konstituční typ):
1 - za oděvem a vzduchovou mezerou (systém I), 2 - bez oděvu [3]



Obr. 8 – Průběh kmitočtové závislosti absorpce v trojvrstvě (střední konstituční typ):
1 - za dvěma vrstvami oděvu a vzduchové mezery (systém II), 2 - bez oděvu [3]

2.2.2 Rozdělení na diamagnetické a paramagnetické látky [6]

Magnetické siločáry procházejí téměř všemi látkami. Odolná proti průchodu není, jak už jsem uvedl, ani lidská tkáň. Podle zředění nebo naopak zhuštění magnetických siločar po průchodu látkou rozdělujeme látky na diamagnetické a paramagnetické. Diamagnetické látky mají relativní permeabilitu menší než 1, do této skupiny patří i lidský organismus, který je mírně diamagnetický. U paramagnetických látek se naopak můžeme setkat s relativní permeabilitou vyšší než 1, jedná se především o látky feromagnetické, tedy například železo, kobalt, nikl. Tyto dvě skupiny látek rozděluje permeabilita s hodnotou 1 – tuto relativní permeabilitu má vakuum.

3 Hygienické limity pro elektromagnetická zařízení a elektromagnetická pole v České republice

3.1.1 Obsah nařízení 1/2008 Sb. [7]

Nařízením, které zahrnuje hygienické limity v České republice pro celé neionizující spektrum, je Nařízení vlády 1/2008 Sb., které nabylo účinnosti 30. dubna 2008. Zároveň bylo tímto novým nařízením zrušeno staré nařízení 480/2000 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. Toto nařízení má přirozeně za úkol vyloučit, anebo alespoň snížit hodnoty neionizujícího záření na takovou úroveň, aby byla zaručena dostatečná ochrana před možnými zdravotními riziky.

Paragraf 1 nám sděluje informaci, že do příslušného nařízení je zároveň zapracována směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/40/ES o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví před expozicí zaměstnanců rizikům spojeným s fyzikálními činiteli (elektromagnetickými poli).

Co se týče radiofrekvenčních a elektromagnetických polí, § 1 se jimi zabývá v následujících bodech:

- a. hygienické limity neionizujícího záření, metody a způsob jejich zjišťování a hodnocení a minimální rozsah opatření k ochraně zdraví při práci,
- b. nejvyšší přípustné hodnoty expozice fyzických osob v komunálním prostředí neionizujícímu záření ve frekvenční oblasti od 0 Hz do $3 \cdot 10^{11}$ Hz, způsob jejího zjišťování a hodnocení,
- c. hodnocení rizika neionizujícího záření ve frekvenční oblasti od 0 Hz do $1,7 \cdot 10^{15}$ Hz,

- e. případy označení míst, ve kterých expozice může překročit nejvyšší přípustné hodnoty, výstrahou,
- f. minimální rozsah informací pro zaměstnance o ochraně zdraví při práci spojené s expozicí neionizujícímu záření.

Bod d. jsem záměrně vynechal, protože se zaměřuje na používání laserů, které nespádají do frekvenčního rozsahu radiofrekvenčních a elektromagnetických polí.

V odstavcích 2 a 3 prvního paragrafu se také můžeme dozvědět, že dodržování hygienických limitů platí jak vůči zaměstnancům, tak při činnosti nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy. V odstavci 4 je uvedeno, že toto nařízení se ovšem nevztahuje na zdroje neionizujícího záření, které jsou používány ve zdravotnictví k léčbě pacientů neionizujícím zářením.

V § 2 odstavci 1 máme definováno, co se myslí neionizujícím zářením, tedy frekvenční rozsah od 0 Hz do $1,7 \cdot 10^{15}$ Hz. Dále máme definováno, že nejvyšší přípustné hodnoty jsou mezní hodnoty expozice, které vycházejí přímo z prokázaných účinků na zdraví a jejich biologického působení a jejich úkolem, jak už jsem zmínil v úvodu, je záruka, že osoby, které jsou ve styku s neionizujícím zářením, jsou chráněny proti výše zmíněným účinkům. Dále je uvedeno, že měřitelnými parametry pro referenční hodnoty ve frekvenčním rozsahu od 0 Hz do $3 \cdot 10^{11}$ Hz jsou intenzita elektrického pole, intenzita magnetického pole, magnetická indukce a hustota zářivého toku, tedy veličiny, které jsem probral již v kapitole fyzikální podstaty elektromagnetického pole.

Odstavec 2 druhého paragrafu nás informuje o tom, že referenční hodnoty a nejvyšší přípustné hodnoty najdeme v příloze 1 tohoto nařízení. Tuto přílohu a konkrétní nejvyšší přípustné hodnoty rozebírám níže. Při překročení referenčních hodnot je navíc nutné provést měření nebo výpočty podle § 3.

Paragraf 3 - postup zaměstnavatele při zjišťování a hodnocení nejvyšších přípustných hodnot nám poté navazuje na odstavce 2 a 3 v §1. Dodržení nejvyšších přípustných hodnot výše zmíněných parametrů přitom zaměstnavatel zjišťuje výpočty nebo měřeními buď na modelech lidského těla nebo podle tabulek č. 4 až 11, které se nacházejí v příloze č.1, přičemž po zjištění těmito způsoby mohou být překročeny referenční úrovně, nejsou-li překročeny nejvyšší přípustné hodnoty.

Paragraf 4 se věnuje hodnocení rizik, kterým zaměstnavatel přihlíží v souvislosti s neionizujícím zářením. Konkrétními body v tomto případě jsou například:

- a. intenzita, frekvenční spektrum, trvání a typ expozice,
- b. nejvyšší přípustné hodnoty a referenční úrovně podle přílohy č. 1 k tomuto nařízení,
- c. všechny účinky na zdraví a bezpečnost obzvláště ohrožených zaměstnanců, zejména mladistvých zaměstnanců a těhotných zaměstnankyň,
- d. všechny nepřímé účinky, jakými jsou,
- e. rušení elektronických a zdravotnických přístrojů a zařízení včetně kardiostimulátorů a jiných implantovaných lékařských elektronických zařízení,
- f. rizika spojená s vymrštěním feromagnetických předmětů působením statického magnetického pole s magnetickou indukcí vyšší než 3 mT,
- g. nebezpečí zážehu elektricky ovládaných detonátorů,
- h. požáry a exploze v důsledku zapálení hořlavých materiálů jiskrami způsobenými indukovanými nebo kontaktními proudy nebo jiskrovými výboji atd.

Odstavec 3 třetího paragrafu nám naproti tomu sděluje, kdy nemusíme provádět žádná měření, výpočty a hodnocení rizik. Je to v případě, že práce s neionizujícím zářením je vykonávána na místě přístupném veřejnosti, dále v případě, že již provedl hodnocení expozice vůči ostatním osobám (viz § 7), z něhož vyplývá, že pro zaměstnance jsou dodržovány nejvyšší přípustné hodnoty a jsou vyloučena bezpečnostní rizika.

Paragraf 5, který se týká minimálního rozsahu ochrany zdraví zaměstnanců, je velice podobný jako § 3. Uvádí totiž, že působení výše zmíněných fyzikálních veličin se musí omezit tak, aby jejich hodnoty byly nižší, než nejvyšší přípustné hodnoty uvedené v příloze 1.

Hlavní obsah § 6 je opět sepsán v konkrétních bodech, se kterými musí zaměstnavatel seznámit své zaměstnance, pokud vykonávají práce spojené s expozicí neionizujícímu záření. Zaměstnavatel tedy musí podat informace o:

- a. opatřeních přijatých na základě nařízení 1/2008 sb., nejvyšších přípustných hodnotách, způsobu jejich stanovení, jakož i o možných rizicích, která vyplývají z jejich překročení,
- b. výsledcích zjišťování a hodnocení,
- c. způsobech, jak rozpoznat zdraví škodlivé účinky expozice a jak je ohlašovat,
- d. bezpečných pracovních postupech vedoucích ke snižování rizik souvisejících s expozicí neionizujícímu záření.

Třetí část nařízení obsahuje pouze jediný paragraf a to § 7. Odstavec 1 tohoto paragrafu shrnuje, podle kterých paragrafů a jejich odstavců jedná zaměstnavatel při zjišťování a hodnocení expozice ostatních osob. Jsou jimi § 2 odst. 1 písm. b) a c) a odst. 2 a 3, § 3, § 4 písm. b) a § 5 obdobně. Druhý odstavec obsahuje příkaz pro osobu, která používá nebo provozuje zdroj neionizujícího záření v místech přístupných veřejnosti, aby v případě, že jsou ve frekvenčním rozsahu mezi 0 Hz a 300 Hz překročeny na těchto místech referenční hodnoty, označila místo výstrahou upozorňující osoby používající kardiostimulátor na možné riziko.

3.1.2 Nejvyšší přípustné hodnoty [7]

Nejvyšší přípustné hodnoty najdeme v nařízení 1/2008 Sb. v příloze č.1 a jsou rozděleny opět podle různých frekvenčních pásem.

Prvním frekvenčním rozsahem, je interval od 0 Hz do 10 MHz. Tento interval má stanoveny nejvyšší přípustné hodnoty v modifikované proudové hustotě J_{mod} . Následující tabulka zobrazuje konkrétní hodnoty, přičemž pod tabulkou jsou dále k dispozici dovysvětlující poznámky.

Modifikovaná proudová hustota J_{mod}^* - nejvyšší přípustné hodnoty			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
frekvence f [Hz]	J_{mod} [$A \cdot m^{-2}$]	frekvence f [Hz]	J_{mod} [$A \cdot m^{-2}$]
300 - 10 ⁷	$\sqrt{2} \cdot 0.01^a$	0 - 10 ⁷	pětkrát nižší, než nejvyšší přípustná hodnota pro zaměstnance

Tab. 1 – Modifikovaná indukovaná proudová hustota J_{mod} – nejvyšší přípustné hodnoty [7]

a) Maximum absolutní hodnoty modifikované proudové hustoty v centrálním nervovém systému nesmí v žádném časovém okamžiku překročit nejvyšší přípustnou hodnotu; v ostatních částech trupu nesmí modifikovaná proudová hustota překročit pětinašobek nejvyšší přípustné hodnoty uvedené v tabulce č. 1 pokud je frekvence vyšší než 1 Hz.

* Modifikovaná proudová hustota J_{mod} je de facto stejnou veličinou jako proudová hustota J rozebíraná v části práce týkající se fyzikálních veličin elektromagnetického pole. J_{mod} je oproti J pouze modifikována filtrem s touto frekvenční charakteristikou:

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

Přičemž platí, že: $\alpha = 2000\pi s^{-1}$, $\beta = 7 s^{-1}$ a j je imaginární jednotka, tedy $j = \sqrt{-1}$. f je v tomto případě frekvence proudu (viz Tab. 1).

Dalším frekvenčním rozsahem, který má určené své konkrétní nejvyšší přípustné hodnoty je interval frekvencí od 100 kHz do 10 GHz. V tomto případě jsou nejvyšší přípustné hodnoty uvedeny v měrném absorbovaném výkonu (*SAR*). Stejně jako v předchozím případě jsou hodnoty uvedeny v přehledné tabulce. Nyní je navíc ještě dodána poznámka, že nejvyšší přípustné hodnoty se vztahují na celkovou absorpci všech přítomných složek elektromagnetického pole v tkáních těla. Konkrétní nejvyšší přípustné hodnoty se tedy nacházejí v této tabulce:

Měrný absorbovaný výkon (<i>SAR</i>)^{b)} - nejvyšší přípustné hodnoty			
Platí pro frekvence od 100000 Hz do 10 ¹⁰ Hz	Měrný absorbovaný výkon – <i>SAR</i> – průměrovaný přes kterýkoli šestiminutový interval a celé tělo	<i>SAR</i> průměrovaný přes kterýkoli šestiminutový interval a pro kterýchkoli 10 g ^{a)} tkáně s výjimkou rukou, zápěstí, chodidel a kotníků	<i>SAR</i> průměrovaný přes kterýkoli šestiminutový interval a pro kterýchkoli 10 g ^{a)} tkáně rukou, zápěstí, chodidel a kotníků
zaměstnanci	0,4 W·kg ⁻¹	10 W·kg ⁻¹	20 W·kg ⁻¹
ostatní osoby	0,08 W·kg ⁻¹	2 W·kg ⁻¹	4 W·kg ⁻¹

Tab. 2 – Měrný absorbovaný výkon (*SAR*) – nejvyšší přípustné hodnoty [7]

a) 10 g tkáně uvedené v tabulce č. 2 je třeba volit ve tvaru krychle, nikoli jako plochý útvar na povrchu těla

b) Pro expozici osob pulsům kratším než 30 μs při frekvenci 300 MHz až 10 GHz se doporučuje zavést dodatečné omezení 10 mJ·kg⁻¹ průměrovaných pro 10 g tkáně pro měrnou absorbovanou energii.

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

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

a pro ostatní osoby nerovnost

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

SAR_i je měrný absorbovaný výkon při i -té expozici ve W·kg⁻¹ a t_i je doba trvání i -té expozice v minutách.

3.1.3 Nařízení vlády 291/2015 Sb. [18]

Po dokončení jak teoretické, tak praktické části mé práce se udála poměrně zásadní legislativní změna, o které bych se dodatečně rád zmínil. Jedná se o nahrazení Nařízení vlády 1/2008 Sb. za Nařízení vlády 291/2015 Sb. Hlavní změna, kterou přineslo nové nařízení, je především aktualizace nejvyšších přípustných hodnot pro

frekvenční rozsah od 0 Hz do 10 MHz. Nejvyšší přípustné hodnoty pro tento frekvenční rozsah již od nynějška neplatí v jednotkách modifikované proudové hustoty J_{mod} , nýbrž v jednotkách modifikované intenzity elektrického pole E_{mod} , přičemž konkrétní nejvyšší přípustné hodnoty činí $1 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$ pro zaměstnance a $0,2 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$ pro osoby v komunálním prostředí. E_{mod} je již výše definovanou intenzitou elektrického pole indukovaného v tkáni modifikovanou lineárním filtrem s frekvenční charakteristikou $G(f)$. Filtr je definován následovně.

Pro expozici celého těla s výjimkou hlavy má frekvenční charakteristika filtru tvar

$$G(f) = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 0,8} \cdot \frac{1}{1 + j \frac{f}{f_0}}$$

$$f_0 = 3000 \text{ Hz}$$

kde f je frekvence v hertzech a $j = \sqrt{-1}$ je imaginární jednotka. Frekvenční charakteristika filtru je definována na základě prahové hodnoty pro stimulaci periferní nervové soustavy.

Pro expozici hlavy má frekvenční charakteristika filtru tvar

$$G(f) = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 0,05} \cdot \frac{\left(1 + j \frac{f}{f_1}\right)}{\left(1 + j \frac{f}{f_0}\right) \left(1 + j \frac{f}{f_2}\right)}$$

$$f_0 = 25 \text{ Hz}, f_1 = 400 \text{ Hz}, f_2 = 3000 \text{ Hz}$$

kde f je frekvence v hertzech a $j = \sqrt{-1}$ je imaginární jednotka. Frekvenční charakteristika filtru je definována na základě prahové hodnoty pro stimulaci centrální nervové soustavy v hlavě (fosfeny) a vestibulárního aparátu (závrať).

Při výpočtu intenzity elektrického pole indukovaného v tkáni se provádí prostorové středování přes oblast tvaru krychle o rozměrech $2 \cdot 2 \cdot 2 \text{ mm}^3$.

3.1.4 Ochranná pásma elektrických stanic [17]

Ochranná pásma elektrizačních soustav jsou stanovena v zákoně 458/2000 Sb. v paragrafu 46.

Ochranným pásmem se podle odstavce 1 rozumí prostor v bezprostřední blízkosti zařízení určený k zajištění jeho spolehlivého provozu, dále k zajištění ochrany života, zdraví a majetku osob. Kromě elektrických stanic dále mezi zařízení s ochranným pásmem podle odstavce 2 patří ještě také nadzemní a podzemní vedení, výroby elektřiny a vedení měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační i telekomunikační techniky.

Konkrétní ochranná pásma elektrických stanic jsou rozebrána v odstavci 6. Ochranná pásma jsou vymezena svislými rovinami vedenými ve vodorovné vzdálenosti a jsou následující:

- a. u venkovních elektrických stanic a dále stanic s napětím větším než 52 kV v budovách 20 m od oplocení nebo od vnějšího líce obvodového zdiva,
- b. u stožárových elektrických stanic a věžových stanic s venkovním přívodem s převodem napětí z úrovně nad 1 kV a menší než 52 kV na úroveň nízkého napětí 7 m od vnější hrany půdorysu stanice ve všech směrech,
- c. u kompaktních a zděných elektrických stanic s převodem napětí z úrovně nad 1 kV a menší než 52 kV na úroveň nízkého napětí 2 m od vnějšího pláště stanice ve všech směrech,
- d. u vestavěných elektrických stanic 1 m od obestavení.

4 Biologické účinky neionizujícího záření a jejich vliv na lidské zdraví

Při ozařování ionizujícím zářením a neionizujícím zářením s kvanty podobné energie ionizujícímu, dochází k rozštěpování některých biologicky významných molekul a dalším změnám v jejich struktuře. To je způsobeno odštěpováním atomů různých prvků vlivem větší energie kvanta, než energie, kterou musíme dodat atomu, abychom mohli odštěpit elektron. Nejsnáze štěpitelným prvkem je přitom cesium, přičemž k jeho oddělení elektronu od atomu nám stačí $6,24 \cdot 10^{-19}$ J. Energie je ovšem přímo úměrná frekvenci (viz fyzikální veličiny elektromagnetického pole) a při přepočtu na elektronvolty nám tedy vychází energie potřebná k ionizaci cesia na 3,9 eV, což odpovídá vlnové délce 319 nm. Z toho vyplývá, že zářením o vyšší vlnové délce nelze ionizovat, ať použijeme jakýkoliv prvek a také bez ohledu kolik fotonů za sekundu dopadá na danou látku.

Fotony se ovšem i tak absorbují a dochází ke zrychlování pohybu molekul tkáně, což vede ke zvyšování teploty. To je způsobeno srážením molekul při jejich nerovnoměrném pohybu v kapalinách těla. Průměrná pohybová energie molekul ve tkáních zdravého člověka mimo expozici záření je zhruba 0,04 eV. Molekuly ovšem dokáží odolat energii až 0,5 eV odpovídající vlnové délce přibližně 1000 nm. Absorpce elektromagnetického záření v těle člověka tedy nemůže způsobit fotochemické reakce nebo změny ve struktuře molekul a jediným zdravotním rizikem neionizujícího záření s vlnovou délkou od 1 mm do 30 m tedy zůstává zvyšování teploty organismu. [9]

4.1.1 Tepelné účinky

Rychlost oteplování tkáně závisí především na velikosti intenzity elektromagnetického pole. Marha považuje za již dostatečně velké hodnoty intenzity elektrického pole řádově stovek $V \cdot m^{-1}$ u vysokých frekvencí a hustoty zářivého toku sto a více $\mu W \cdot m^{-2}$ u velmi vysokých frekvencí. Při krátkodobé expozici jsou nejvíce náchylné na poškození teplem orgány nacházející se na povrchu těla, tedy například oči nebo u mužů varlata, podobně také kůže. Poškození očí v tomto směru je ovšem vinou pouze záření s velmi vysokou frekvencí, což potvrzuje fakt, že v pracovním prostředí byly dále uvedené nemoci sledovány například u pracovníků obsluhujících radary. Nejvyšším takto způsobeným stupněm onemocnění očního orgánu je šedý zákal, který může vzniknout již jednorázovým ozářením. Jeho projevy se mohou objevit ihned, anebo až po určité době, nejdéle však zhruba do 60 dnů od ozáření. Dále bylo zjištěno, že teplota se při náhlém ozařování oka zvyšuje rychleji, než výkonová hustota. Při chronickém ozáření začínají problémy slzením a únavou očí, dále se snižuje citlivost k barevnému (nejvíce modrému) světlu a při opravdu dlouhodobém ozařování může opět dojít k šedému zákalu, přičemž v tomto případě stačí hodnoty v řádech $mW \cdot cm^{-2}$. Při takovýchto hodnotách je dále možno pozorovat snížení obsahu vitamínu C v čočce a v tekutině přední komory. Co se týče reprodukční soustavy, je obecně známo, že především varlatům nesvědčí teplo. Proto tepelné účinky, zvláště při expozici velkým intenzitám v pásmu centimetrových vln, mohou mít negativní vliv například na spermatogenezi nebo také zužování cév vedoucích k pohlavním orgánům. U lidí pracujících ve vysokofrekvenčním poli nicméně nebylo zjištěno snížení fertility. [3]

4.1.2 Indukce elektrického proudu vnějším polem

S klesající frekvencí elektromagnetických vln se v těle objevuje další negativní jev a tím je indukovaný elektrický proud. Celý tento proces funguje tak, že působení vnějšího elektromagnetického pole ovlivňuje proudění kapalin včetně krve. Děje se tak proto, že Lorentzovy síly, způsobené elektromagnetickou indukcí, působí na pohybující se elektrické náboje, které vyvolávají elektrické pole a ve vodivém materiálu se následně mění na elektrické proudy různé intenzity. Se zvyšující se indukcí také dochází úměrně ke zvyšování indukovaného proudu. [6]

S různými hodnotami magnetické indukce dochází k různým efektům na organismus, přičemž zdaleka největším je stimulace nervové soustavy. Elektromagnetická indukce se začíná slabě projevovat od frekvence zhruba 10 MHz. Čím více se ale kmitočet snižuje, tím je stimulace nervové soustavy silnější. V rozsahu od 100 KHz do zmíněných 10 MHz je nutné při posuzování zdravotního rizika také stále počítat s tepelnými účinky. Od kmitočtu 100 KHz a méně je velikost

oteplování oproti efektům způsobeným elektromagnetickou indukcí zanedbávající. [9] Vypozorovanými subjektivními potížemi pracovníků ve vysokofrekvenčním poli často bývaly zpočátku bolesti hlavy, nevolnost, podrážděnost, únava a při dlouhodobějším působení také zhoršení paměti. Tyto problémy ale ihned po přerušení expozice odezněly. [3] Při vysokých intenzitách vysokofrekvenčního pole ovšem může dojít až k riziku porušení srdečního rytmu a výraznému ovlivnění centrální nervové soustavy [3], [9]. Jednorázové ozáření také může způsobit oslabení imunity organismu. Co se týče závislosti pohlaví na citlivosti vůči elektromagnetické indukcii, ženy jsou v tomto ohledu citlivější. [3]

Magn. indukce (mT) na hlavu	Magn. indukce (mT) na trup	Indukovaný proud (mA·m ⁻²)	Biologická odpověď
250	60	1000	Možné extrasystoly a ventikulární fibrilace, značné zdravotní nebezpečí
25-250	6-60	100-1000	Změny v dráždivost centr. nervového systému, možné zdrav. potíže
2,5-25	0,6-60	10-100	Výrazný terapeutický efekt, příznivý vliv na nervový systém, snadnější hojení ran a zlomenin
0,25-2,5	0,06-0,6	1-10	Minimální biologický efekt
0,25	0,06	1	Žádný efekt

Tab. 3 – Biologické odpovědi na magnetické pole a indukovaný proud [6]

Indukce ovšem nemusí mít pouze účinky negativní. Jak lze vypožorovat z výše uvedené tabulky č. 3 intenzity od 10 mA·m⁻² do 100 mA·m⁻² se používá v lékařství pro stimulace nervového systému s vyloženě pozitivními účinky. Následující tabulka od Bohumíra Garlíka [6] dává možnost podívat se na zdravotní důsledky způsobené různou velikostí magnetické indukce v mT, přičemž je v ní také zahrnut odpovídající indukovaný proud v mA·m⁻².

4.1.3 Nepotvrzená souvislost mezi vysokofrekvenčním elektromagnetickým polem a rakovinou

Ačkoliv se nikomu nepodařilo prokázat karcinogenní účinky v souvislosti s neionizujícím elektromagnetickým polem, IARC (Mezinárodní komise pro ochranu před neionizujícím zářením) publikovala ve Svazku č. 102 z roku 2014 rozhodnutí o zařazení vysokofrekvenčního elektromagnetického pole do kategorie „2B – možný karcinogen“. Toto rozhodnutí plyne ovšem pouze z faktu, že výsledky výzkumů na toto téma jsou především krátkodobějšího charakteru a dosud se nepodařilo potvrdit, že například používání mobilních telefonů po dobu desítek let nezpůsobuje mozkové nádory. Na studie plně vyvracející přímý vliv dlouhodobého

působení vysokofrekvenčního elektromagnetického pole na výskyt rakoviny bude potřeba si tedy ještě počkat. [10]

5 Přístroje produkující elektromagnetické pole

Přístrojů, které produkují elektromagnetické pole, je nespočet. S některými z nich se setkáváme každodenně (například níže uvedené mikrovlnné trouby nebo elektrické vlaky a tramvaje) a s některými z nich se naopak většina z nás nesetkala nikdy nebo jen velmi výjimečně (například níže uvedené radary). Od začátku práce jsem již několikrát zmínil, jak důležitým faktorem celého tématu je konkrétní frekvence a u přístrojů tomu není jinak, protože dokáží pracovat na frekvencích nejnižších až po ty, které ohraničují ionizující pásmo.

5.1.1 Mikrovlnné trouby

Už podle názvu se jako hlavním zdrojem mikrovln mnohým vybaví v současné době běžně používané mikrovlnné trouby, využívající frekvenci 2450 MHz. Jejich výkon se pak obvykle pohybuje mezi 500 wattů a 1100 wattů. Tyto přístroje nám umožňují ohřívat potraviny, nápoje apod., tedy látky, které obsahují vodu. Na tom také stojí celý princip ohřevu pomocí mikrovlnných trub, tedy, že voda absorbuje mikrovlnnou energii a mění jí na energii tepelnou. Z fyzikálně-chemického hlediska se tomu tak děje, protože při absorpci mikrovlnné energie se molekuly vody rozkmitají a jejich pohybová energie se následně mění na již zmíněnou energii tepelnou. Produkci mikrovln zajišťuje v mikrovlnných troubách elektronka nazývaná magnetron. Stěny mikrovlnné trouby jsou vyrobeny z kovových materiálů tak, aby odrážely mikrovlny do míst, kde se vstřebají do ohřívání pokrmu. Pro zajištění rovnoměrné absorpce slouží v mikrovlnné troubě otáčející se talíř. Velice důležitou skutečností je, že mikrovlny ihned po vypnutí mikrovlnky mizí a v ohřátém pokrmu se neukládají. Jediná energie, která nám tedy v pokrmu zůstane, je energie tepelná.

Z hlediska bezpečnosti práce s mikrovlnnými troubami je základním pravidlem dodržovat vždy pokyny, které uvádí příslušný výrobce v návodu od konkrétní mikrovlnné trouby. Jak bylo zmíněno, ihned po vypnutí mikrovlnky se v jejím prostoru žádné mikrovlny nenacházejí a jejich únik ven tedy připadá v úvahu pouze, když je trouba zapnuta. Trouba je vždy vyrobena tak, aby bylo nemožné jí zapnout bez zapnutí elektrického spínače a také bez zavřených dvířek. Tím se minimalizuje riziko, že mikrovlny budou putovat do prostoru mimo vnitřek trouby. Co se týče pronikání mikrovln spárami a sklem u dvířek, konstrukčně jsou mikrovlnky řešeny tak, že hodnoty vyzařování se pohybují velice nízkou pod hranicí přípustné expozice.

V případě, že jsou ovšem dvířka a zmíněná místa (spáry a sklo dvířek) poškozena či silně znečištěna, hrozí již určité riziko unikání mikrovln do okolního prostoru. To samé platí pro případ, že byla mikrovlnná trouba někým neodborně upravována. Na základě těchto skutečností je tedy pro běžného uživatele důležité, aby mikrovlnnou troubu udržoval v dobrém, původním a čistém stavu. V případě, že má uživatel nějaké pochybnosti nebo zjistil závadu, konkrétně například, že trouba jde zapnout bez uzavřených dvířek, měl by ihned přestat troubu používat a předat ji do rukou odborně zaměřenému technikovi. Dále také není doporučeno zapínat prázdnou mikrovlnnou troubu a to z toho důvodu, že mikrovlny se neabsorbují, následně se odráží od stěn zpět k magnetronu, který se takovouto manipulací může poškodit. V návodu bychom také měli najít, zda můžeme do konkrétní mikrovlnné trouby vkládat pokrmy v kovových fóliích, přičemž většina moderních mikrovlnek toto umožňuje. Vkládání kovových předmětů už je ale nedoporučeno až zakázáno. Pokud bychom totiž mikrovlnnou troubu zapnuli a kovový předmět byl navíc v blízkosti stěny, hrozí vytvoření obloukového výboje, který stěny poškodí. Z tohoto důvodu také můžeme zakoupit nádoby určené přímo do mikrovlnné trouby, které by se samotné mělo zahřívat pouze v minimální míře, případně není zahříváno přímo mikrovlnami, ale ohřátým pokrmem.

Z tohoto rozboru tedy plyne, že velice běžným rizikem při práci s mikrovlnnými troubami je popálení právě ohřátým pokrmem. Tato problematika už ovšem nesouvisí přímo s tématem mikrovln. Stále se však lze podívat na mikrovlny jako na nositele tepelné energie a to i pokud zasáhnou lidskou tkáň. Tento efekt funguje naprosto stejně jako při již zmíněném ohřívání pokrmů. Vně mikrovlnné trouby je ovšem riziko absorpce lidskou tkání zaprvé krátkodobé a zadruhé jeho intenzita i s ohledem na mezinárodně zavedené limity, které rozebírám v dalších kapitolách práce, je opravdu zanedbatelná. Tomuto faktu navíc nahrává také skutečnost, že expozice výrazně klesá se vzdáleností od objektu produkujícího mikrovlny. V praxi to znamená, že například osoba, která je od mikrovlnné trouby vzdálena 50 cm, absorbuje zhruba stokrát nižší hodnoty záření, než osoba, která se nachází v blízkosti 5 cm od trouby. [8]

5.1.2 Radary

Radary jsou zařízení určená k radiolokaci, neboli zjišťování přítomnosti a polohy objektů v prostoru prostřednictvím elektromagnetických vln. Využívá se jich především v oblasti letectví a meteorologie. Podle toho, na jakém principu pracují, se radary rozdělují od aktivních po pasivní, navíc mezi těmito dvěma úrovněmi jsou ještě určité mezistupně. Aktivní radar je takový, kdy vysílač ozáří objekt a následně

přijme odražený signál. U pasivního typu radaru je tomu naopak tak, že sám objekt vyše signál, který radar pouze přijme. [11]

Pro účel zhodnocení rizik, která může radar vzhledem k využívání elektromagnetických vln vykazovat, jsem si vybral konkrétní případ, kdy byla tato rizika dopodrobna hodnocena - a to před několika lety velmi rozebíraný a nakonec nedokončený plán vojenského radaru v Brdech. Ten vcelku logicky patří mezi aktivní typy radarů. Hodnoty frekvence, na kterých by takovýto radar pracoval, by se pohybovaly mezi 8 GHz a 12 GHz a výkonově by radar odpovídal maximálně zhruba 170 kW. Vcelku důležitou informací je také fakt, že radar by nevyzařoval elektromagnetickou energii nepřetržitě, nýbrž pouze v podobě krátkých impulzů, při kterých by byla náhle vyzářena předem nashromážděná energie.

Radar, který měl být postaven v České republice, by byl do naší země v podstatě přemístěn z ostrova Kwajalein, který se nachází v Tichém oceánu. Pro zhodnocení případné expozice elektromagnetického záření po postavení v Česku nejlépe poslouží naměřené hodnoty expozice při používání na již zmíněném ostrově. Měření probíhalo ve výšce dvou metrů nad úrovní terénu v různých vzdálenostech od radaru za použití maximálního výkonu a měřenou veličinou byla jak maximální, tak průměrná hustota zářivého toku v jednotkách $W \cdot m^{-2}$. Nejvyšší hodnotou, která byla při tomto měření zjištěna, bylo $7,0 W \cdot m^{-2}$ ve vzdálenosti 100 m od zdroje záření, přičemž hodnota může mít odchylku až $\pm 1,8 W \cdot m^{-2}$. Tato hodnota nepřekračuje nejvyšší přípustnou hodnotu pro uvedené frekvenční pásmo, která činí $10 W \cdot m^{-2}$ pro zaměstnance. Z důvodu absolutní bezpečnosti se ovšem neautorizované osoby stejně nesmějí pohybovat blíže, než ve vzdálenosti 0,5 km od zdroje záření, přičemž pro představu například ve vzdálenosti 560 m již maximální hodnota hustoty zářivého toku nepřesáhla $0,5 W \cdot m^{-2}$ a je tedy přinejmenším dvacetkrát menší, než maximální přípustná hodnota pro zaměstnance. Ostatní osoby by vzhledem k tomu, že se jedná o vojenský prostor, měly vstup do tohoto prostoru zakázaný a s ohledem na to, že hodnoty expozice se od zmíněné vzdálenosti 560 m stávají čím dál více nepatrnými a tedy nehrozí, že by elektromagnetické záření z postaveného radaru mělo na obyvatele přilehlých míst jakékoliv hygienicky nepříznivé účinky. [12], [13]

5.1.3 Elektrické vlaky a tramvaje

Na rozdíl od předešlých zdrojů elektromagnetického záření se trolejové vedení u elektrických vlaků a tramvají liší od těchto zdrojů tím, že fungují na frekvencích mnohem nižších, konkrétně 50 Hz. Do kontaktu s elektromagnetickým polem v tomto případě může osoba přijít jak ve vozech vlakové soupravy, tak v kabině strojvedoucího. Zde se riziko ještě zvyšuje z důvodu, že elektromagnetické pole

proniká do kabiny dveřmi ze strojovny a skrz podlahu, přičemž největší intenzita je dosahována při rozjíždění a brždění. Rovněž pod podlahou, ovšem tentokrát u vozů pro přepravu cestujících se také běžně nachází trakční motory a ostatní trakční zařízení. Konkrétním rizikovým faktorem u elektrických vlaků a tramvají je vzhledem k výše zmíněné frekvenci magnetická indukce. Ta může poblíž zdrojů elektromagnetického pole ve vlcích a tramvajích dosahovat desítek až stovek mikrotlesa, přičemž důležitým faktorem v tomto směru je samozřejmě vzdálenost od těchto zdrojů. Elektromagnetická indukce ještě před zavedením nařízení č. 1/2008 Sb. byla veličinou určenou při posuzování nejvyšších přípustných hodnot. Tyto hodnoty činily 500 μT pro zaměstnance a 100 μT pro ostatní osoby. Pro představu, zda mohou být tyto limity překročeny, byla na Slovensku provedena experimentální měření v kabině strojvedoucího lokomotivy na trase Púchov – Bratislava, přičemž nejvyšší naměřenou hodnotou magnetické indukce v tomto případě bylo 24 μT , tedy hodnota podstatně pod hranicí nejvyšší přípustné hodnoty pro zaměstnance. [14]

6 Měření v reálném prostředí

Ve výše uvedené části práce jsem uvedl některé teoretické poznatky, které nyní ověřím měřeními hodnot některých veličin elektromagnetického pole u vybraných přístrojů, ke kterým se mi povedlo dostat v praxi. Pro dané měření jsem se snažil vybrat přístroje, se kterými se setkáváme spíše běžně - například v domácnostech nebo venkovním prostředí, ale také zástupce přístrojů pracovních. Z naměřených hodnot vyvodím, zda tato měření nejsou v rozporu s odpovídajícími fyzikálními zákonitostmi, porovnáím hodnoty naměřených přístrojů a vyberu potenciálně nejnebezpečnějšího zástupce, u kterého porovnáím pomocí výpočtů reálně naměřené hodnoty s nejvyššími přípustnými hodnotami.

6.1.1 Způsob měření

Pro měření jsem zvolil jednoduchý magnetometr značky Sonic Technology měřící hodnoty magnetické indukce od 1,5 mG do 30 mG na frekvenci 50 – 60 Hz. Při dosažení každé z 10 přednastavených hodnot se rozsvítí příslušná svítivá dioda. Právě z důvodu přednastavení hodnot magnetické indukce na magnetometru jsou při všech měřeních použity a v tabulkách uvedeny stále stejné řady magnetické indukce. Konstrukčně je tedy přístroj velice jednoduchý (viz obrázky v Příloze II). Přístroj tvoří cívka, ve které střídavé magnetické pole indukuje napětí, které je zesíleno, přičemž je použit operační zesilovač LM358-N [19] a napětí je následně zobrazeno pomocí LED, které řídí obvod LM3915N. [20]

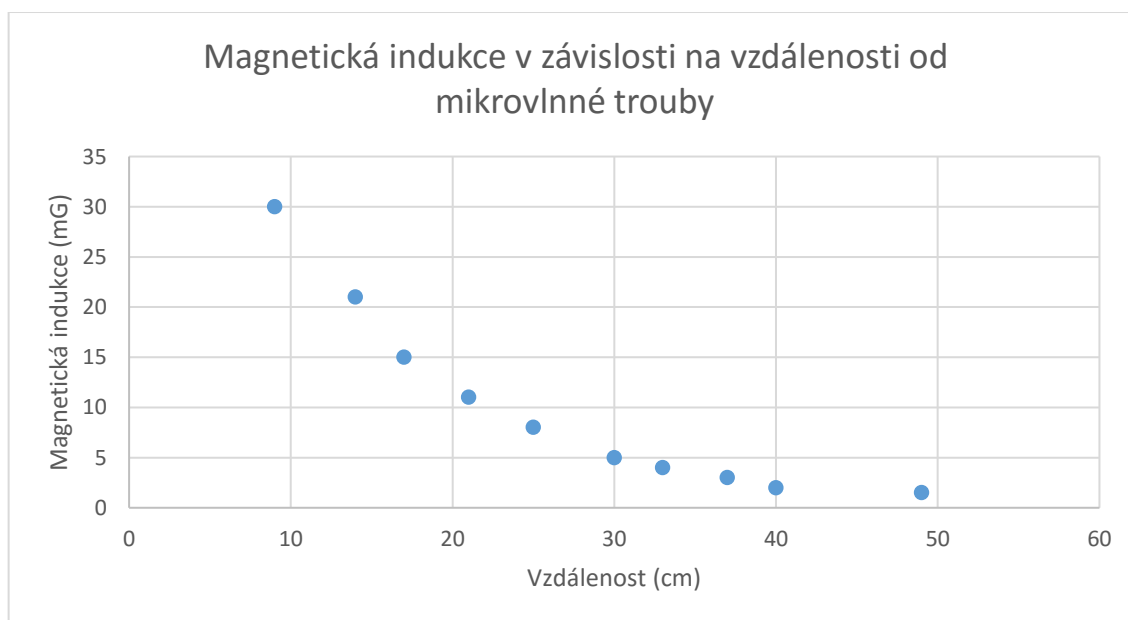
6.2 Naměřené hodnoty magnetické indukce u konkrétních přístrojů

6.2.1 Mikrovlnná trouba

Prvním přístrojem, který jsem zvolil pro měření magnetické indukce, je mikrovlnná trouba, kterou jsem se již zabýval v teoretické části práce a zde jsem jí zvolil jako zástupce přístroje běžně používaného v domácnostech. Konkrétně jsem měření provedl u již staršího modelu mikrovlnky značky Zanussi o příkonu 900 W. Měření probíhalo při zapnuté mikrovlnné troubě a magnetickou indukci jsem měřil ve vzdálenosti od stěny dvířek. Gaussmetr v tomto případě ovšem nereagoval na vysokofrekvenční elektromagnetické pole, nýbrž na rozptylové pole transformátoru napájecího zdroj mikrovln neboli tzv. magnetron. Hodnoty magnetické indukce s přibývajícím vzdáleností poměrně prudce klesaly, což je patrné i z následujícího grafu. Ve srovnání s ostatními měřeními je tento pokles dokonce nejdramatičtější.

Magnetická indukce v okolí mikrovlnné trouby							
Magnetická indukce (mG)	30	21	11	5	3	2	1,5
Vzdálenost (cm)	25	42	52	59	71	96	106

Tab. 4 – Magnetická indukce v okolí mikrovlnné trouby



Graf 1 – Magnetická indukce v závislosti na vzdálenosti od mikrovlnné trouby

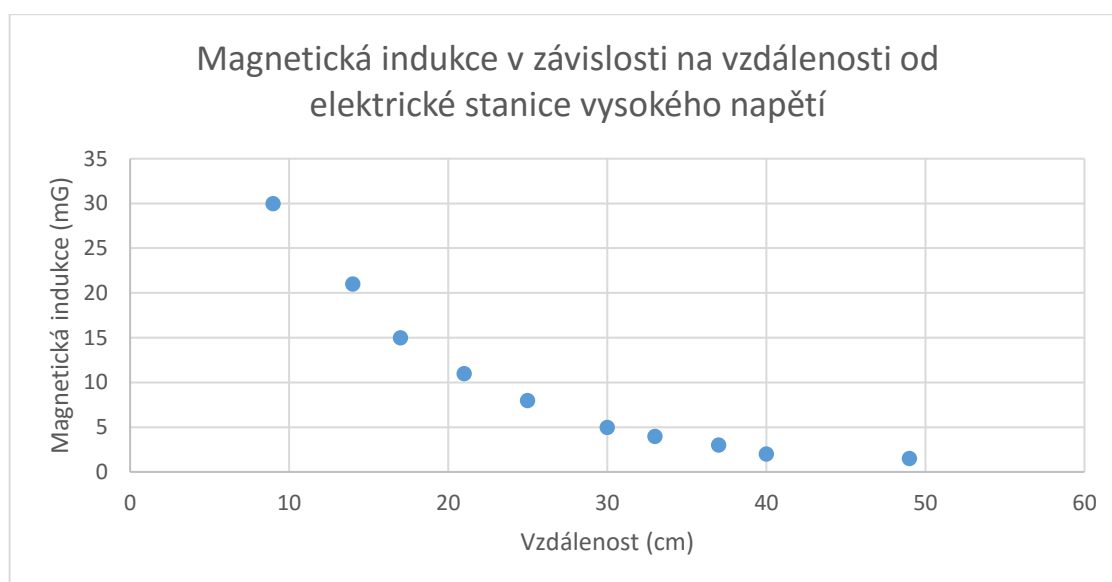
6.2.2 Elektrická stanice vysokého napětí

Dalším objektem mého měření se stala elektrická stanice vysokého napětí nacházející se v obytné zóně obce. Jedná se o zděnou stanici s převodem napětí

z úrovně nad 1 kV a menší, než 52 kV a jak jsem již zmínil v části práce zabývající se příslušnou legislativou, pro tento typ elektrické stanice platí ochranné pásmo 2 m. Zda se jedná o bezpečné pásmo či nikoli, ještě rozeberu po porovnání s nejvyššími přípustnými hodnotami. Naměřené hodnoty magnetické indukce jsou ze všech měřených přístrojů zdaleka nejvyšší, což je způsobeno s největší pravděpodobností velkými intenzitami elektrického proudu uvnitř stanice. Pokles hodnot magnetické indukce navíc neprobíhá tak dramatickým způsobem jako například při měření hodnot magnetické indukce v okolí mikrovlnné trouby.

Magnetická indukce v okolí elektrické stanice vysokého napětí										
Magnetická indukce (mG)	30	21	15	11	8	5	4	3	2	1,5
Vzdálenost (cm)	116	147	176	207	264	314	344	367	424	472

Tab. 5 – Magnetická indukce v okolí elektrické stanice vysokého napětí



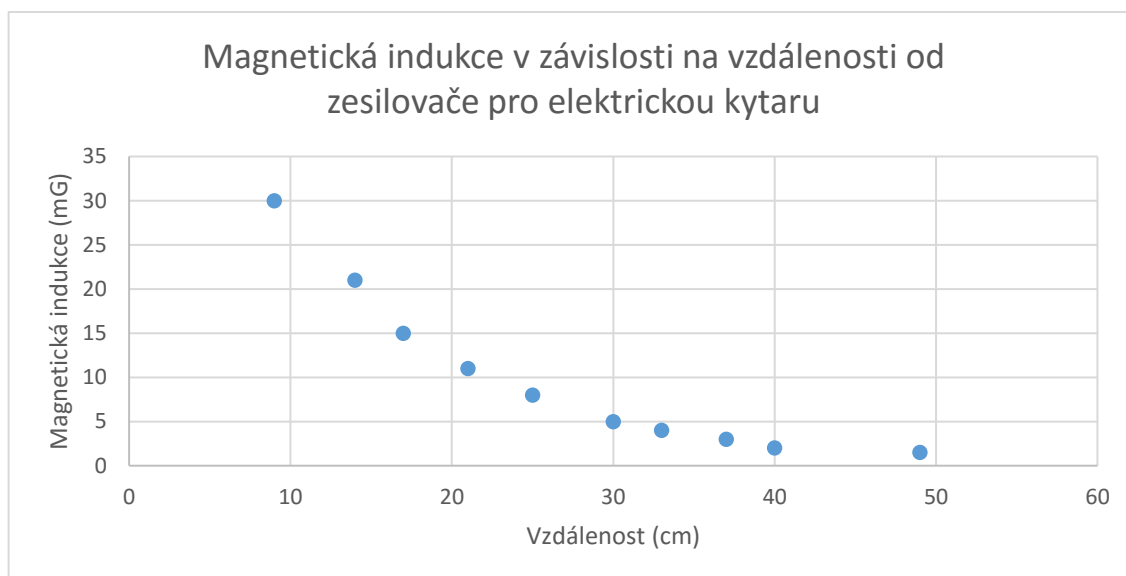
Graf 2 – Magnetická indukce v závislosti na vzdálenosti od elektrické stanice vysokého napětí

6.2.3 Zesilovač pro elektrickou kytaru

Měření magnetické indukce jsem také provedl u zesilovače pro elektrickou kytaru, respektive kytarové hlavy Peavey o výkonu 100 W. Naměřené hodnoty magnetické indukce u tohoto zesilovače jsou oproti naměřeným hodnotám u mikrovlnné trouby podstatně nižší a při uvážení, že hráč na elektrickou kytaru obvykle stojí ve vzdálenosti více než 50 cm od kytarového aparátu i vzhledem k tomu, aby neblokoval zvuk jdoucí z reproduktorů umístěných pod zesilovačem, je tedy možno v podstatě vyloučit působení magnetické indukce na osobu hrající na tento zesilovač.

Magnetická indukce v okolí zesilovače pro elektrickou kytaru										
Magnetická indukce (mG)	30	21	15	11	8	5	4	3	2	1,5
Vzdálenost (cm)	12	14	17	19	24	28	33	37	41	48

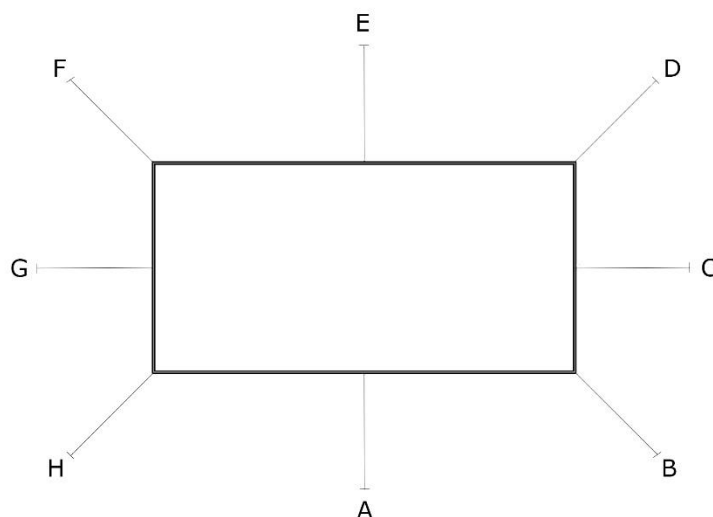
Tab. 6 – Magnetická indukce v okolí zesilovače pro elektrickou kytaru



Graf 3 – Magnetická indukce v závislosti na vzdálenosti od zesilovače pro elektrickou kytaru

6.2.4 Adaptér notebooku

Pro měření magnetické indukce adaptéru notebooku jsem protentokrát zvolil odlišný způsob od ostatních měření. Jelikož se tvar adaptéru podobá kvádru, mohl jsem provést měření magnetické indukce tak, že jsem si zvolil několik bodů po jeho obvodu a to vždy vzdálených 5 cm od stěny adaptéru. Jedná se o vzdálenost, při které byla rozdílnost hodnot magnetické indukce přibližně nejpatrnější i s ohledem na použitý měřicí přístroj. Pro lepší představu poslouží následující obrázek znázorňující konkrétně stanovené body.



Obr. 9 – Znáznornění bodů stanovených při měření magnetické indukce v okolí adaptéru notebooku

U tohoto způsobu měření lze zjistit, zda jsou hodnoty magnetické indukce po celém obvodu zařízení stejné nebo zda naopak některým směrem vycházejí hodnoty vyšší. Měření zachycená v následující tabulce ukazují, že u jedné ze stěn adaptéru jsou hodnoty magnetické indukce o poznání vyšší, než na straně protilehlé. To je s největší pravděpodobností způsobeno umístěním transformátoru u té strany adaptéru, kde byly naměřeny nejvyšší hodnoty magnetické indukce. Zároveň toto měření dokazuje, že magnetická indukce v okolí přístrojů, které ji produkují, není rozmístěna rovnoměrně a její hodnoty se výrazně mění s ohledem na směr, ze kterého je měřena, což jsem mohl pozorovat i u ostatních přístrojů.

Magnetická indukce v okolí adaptéru notebooku								
Bod	A	B	C	D	E	F	G	H
Magnetická indukce (mG)	11	3	1,5	4	4	4	5	8

Tab. 7 – Magnetická indukce v okolí adaptéru notebooku

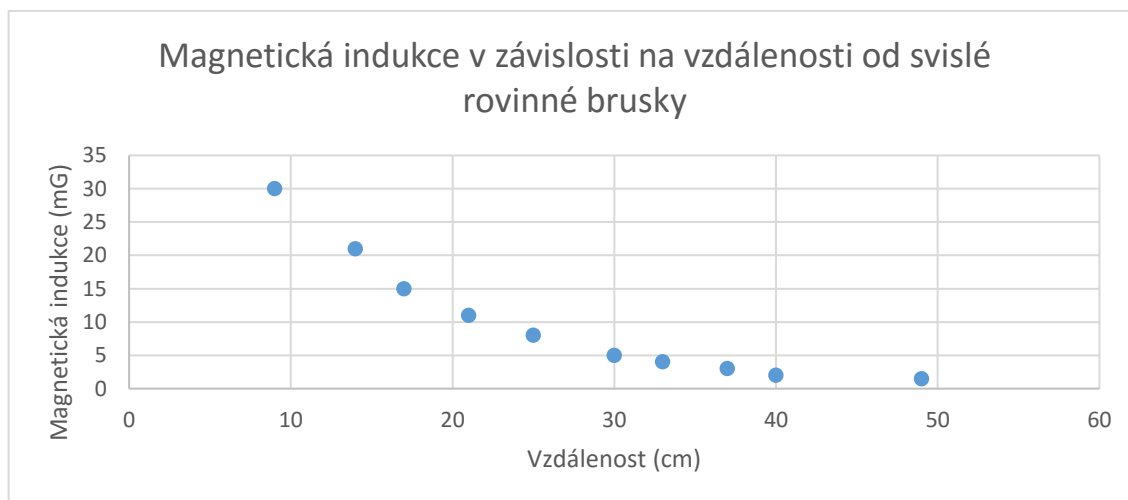
6.2.5 Svislá rovinná bruska

K dalšímu měření jsem si vybral přístroj z pracovního prostředí, tedy svislou rovinnou brusku používanou v kovovýrobě k broušení kovových materiálů. Cílem tohoto měření je především zhodnocení, zda bruska jako pracovní přístroj vykazuje vyšší hodnoty magnetické indukce například oproti přístrojům používaným v domácnosti.

Magnetická indukce v okolí svislé rovinné brusky										
Magnetická indukce (mG)	30	21	15	11	8	5	4	3	2	1,5
Vzdálenost (cm)	38	43	49	54	59	65	69	80	87	91

Tab. 8 – Magnetická indukce v okolí svislé rovinné brusky

Bruska vykazovala nejvyšší hodnoty magnetické indukce v okolí od jejího zdroje, měření jsem tedy provedl ve vzdálenosti právě od něj. Naměřené hodnoty magnetické indukce jsou poměrně srovnatelné například s naměřenými hodnotami u mikrovlnné trouby. Na rozdíl od měření magnetické indukce v okolí mikrovlnné trouby zde ovšem není pokles hodnot s přibývajícím vzdáleností od přístroje tak dramatický a ve vzdálenosti 49 cm lze ještě pozorovat magnetickou indukci o velikosti 15 mG. To je hodnota stále poměrně nepatrná, avšak dalším faktorem právě vzhledem k tomu, že se jedná o pracovní přístroj, je skutečnost, že zaměstnanec tráví u přístroje podstatně delší dobu, než například u zapnuté mikrovlnné trouby a je tedy otázkou, zda by se toto dlouhodobé působení mohlo nějakým negativním způsobem projevit. Tento dlouhodobý vliv magnetické indukce je ovšem nemožné vzhledem k rozsahu této práce prozkoumat.



Graf 4 – Magnetická indukce v závislosti na vzdálenosti od svislé rovinné brusky

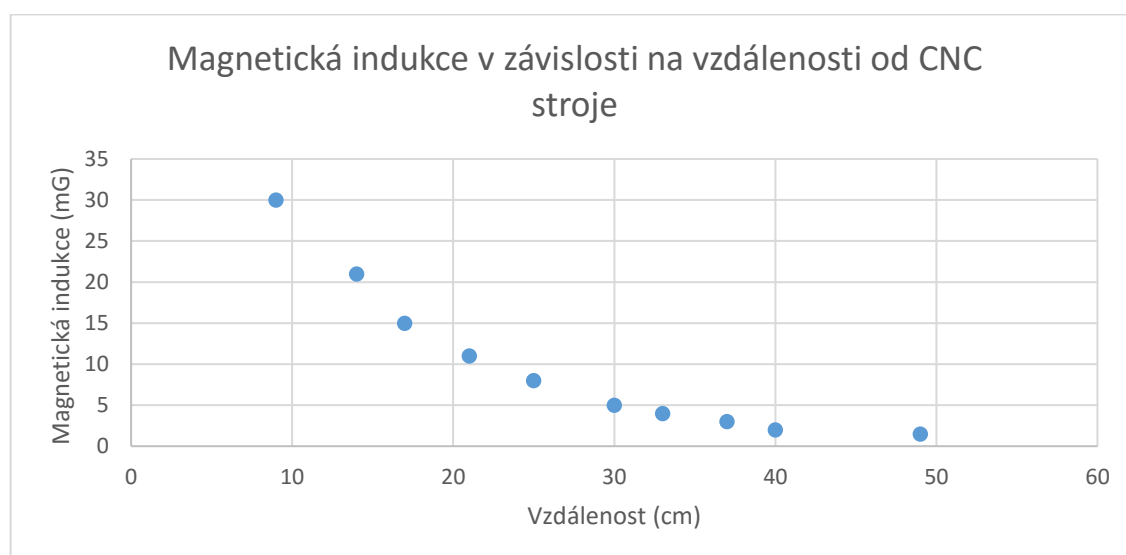
6.2.6 CNC stroj

Posledním přístrojem, kde jsem měřil magnetickou indukci v závislosti na vzdálenosti, je moderní CNC stroj Emco Maier. V tomto případě jsou naměřené hodnoty poměrně dost nízké, v porovnání s měřením magnetické indukce například v okolí svislé rovinné brusky je bruska přístrojem, který produkuje jednoznačně vyšší hodnoty magnetické indukce. Jedním z možných důvodů, proč tomu tak je kromě toho, že CNC stroj zkrátka produkuje nízké hodnoty magnetické indukce, může být fakt, že bruska byla vyrobena v 80. letech minulého století, kdežto měření

CNC stroj je z kategorie těch nejmodernějších, takže se dá předpokládat, že při jeho výrobě byly například použity modernější materiály omezující produkci elektromagnetického pole do okolí přístroje. Stejně jako u grafu z měření magnetické indukce brusky i zde lze říci, že pokles magnetické indukce v závislosti na vzdálenosti není tak dramatický a křivka má s výjimkou jednoho výkyvu ve vzdálenosti 40 cm vcelku pravidelně směřující vývoj.

Magnetická indukce v okolí CNC stroje										
Magnetická indukce (mG)	30	21	15	11	8	5	4	3	2	1,5
Vzdálenost (cm)	9	14	17	21	25	30	33	37	40	49

Tab. 9 – Magnetická indukce v okolí CNC stroje



Graf 5 – Magnetická indukce v závislosti na vzdálenosti od CNC stroje

6.3 Výpočet proudové hustoty z naměřených hodnot magnetické indukce

Díky zjištění hodnot magnetické indukce v okolí různých přístrojů mohou nyní tyto hodnoty použít k výpočtu proudové hustoty v lidské tkáni a tu mohou následně použít pro srovnání s nejvyššími přípustnými hodnotami.

Pro tyto účely budu pracovat s následujícím vzorcem, který už jsem včetně veličin, které jsou v něm zahrnuty, rozebral v části práce zabývající se veličinami elektromagnetického pole.

$$J = \pi G r B f$$

Nejvyšší hodnoty magnetické indukce v závislosti na vzdálenosti od přístroje jsem zaznamenal u elektrické stanice vysokého napětí. Konkrétně to znamená, že například ve vzdálenosti 116 cm jsem zaznamenal hodnotu 30 mG, stejnou hodnotu jsem také zaznamenal u svislé rovinné brusky ve vzdálenosti 38 cm. Pro účely tohoto výpočtu je ovšem potřeba převést naměřenou hodnotu na jednotky tesla, přičemž 30 mG činí 0,003 mT, tedy $3 \cdot 10^{-6}$ T.

Nejvyšší měrnou elektrickou vodivost γ má z vybraných lidských tkání krev, u níž se maximální hodnota této veličiny může vyšplhat až na $0,68 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$.

Pro výpočet je také potřeba znát příslušnou frekvenci f - výše uvedená hodnota magnetické indukce byla naměřena pro frekvenci 50 Hz.

Poslední veličinou, kterou potřebujeme znát pro výše uvedený výpočet proudové hustoty, je hodnota poloměru kruhu r . Zde je třeba vybrat část lidského těla, při jejímž řezu bychom dostali přibližně kruhový tvar. Ideální by v tomto případě mohla být například ruka v oblasti předloktí, přičemž jsem zvolil hodnotu jejího poloměru odpovídající běžné velikosti u dospělého člověka, tedy 5 cm, což po převedení na metry činí 0,05 m.

Po zadání hodnot vypadá vzorec a výpočet následovně:

$$J = \pi \cdot 0,68 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 0,05 \text{ m} \cdot 3 \cdot 10^{-6} \text{ T} \cdot 50 \text{ Hz}$$
$$J = 1,602 \cdot 10^{-5} \frac{\text{A}}{\text{m}^2} \cong 1,6 \cdot 10^{-2} \frac{\text{mA}}{\text{m}^2}$$

Vypočítaná hodnota proudové hustoty působící na krev člověka ve vzdálenosti již zmíněných 116 cm od elektrické stanice nebo 38 cm od svislé rovinné brusky je opravdu nízká a například při srovnání s biologickými efekty v Tabulce 3 by při takovéto proudové hustotě nemělo docházet k žádným negativním efektům na lidský organismus, jelikož hodnota zdaleka nepřesáhla $1 \text{ mA} \cdot \text{m}^{-2}$.

6.4 Porovnání vypočítané proudové hustoty s danou nejvyšší přípustnou hodnotou

Pro porovnání výše spočítané proudové hustoty s danou nejvyšší přípustnou hodnotou je potřeba zvolit správnou nejvyšší přípustnou hodnotu s ohledem na frekvenci, na které byla magnetická indukce měřena. V tomto případě se jedná o frekvenci 50 Hz, příslušnou nejvyšší přípustnou hodnotu pro tuto frekvenci

najdeme v Tabulce 1 a pro ostatní osoby je po vydělení nejvyšší přípustné hodnoty u zaměstnanců pěti následující:

$$J = 2,828 \cdot 10^{-3} \frac{\text{A}}{\text{m}^2}$$

Nejvyšší přípustná hodnota tedy v daných vzdálenostech od přístrojů zdaleka nebyla překročena. Co se týče ochranného pásma pro elektrickou stanici, v jejímž okolí jsem měřil magnetickou indukci, zvolené 2 metry jsou vzdáleností, která z bezpečnostního hlediska naprosto stačí, jelikož již ve vzdálenosti zmíněných 116 centimetrů jsou hodnoty proudové hustoty daleko pod hranicí nejvyšší přípustné hodnoty.

Po zjištění příslušné nejvyšší přípustné hodnoty mě ještě ovšem napadla otázka, jak vysoká je hodnota magnetické indukce při dosažení nejvyšší přípustné hodnoty. Pro tento výpočet jsem opět zvolil vzorec použitý při vypočtení proudové hustoty, nicméně nyní bude neznámou magnetická indukce B a za proudovou hustotu J dosadím výše uvedenou nejvyšší přípustnou hodnotu použitou při porovnání s vypočítanou proudovou hustotou. Vztah pro vypočtení magnetické indukce s již dosazenými hodnotami tedy bude vypadat takto:

$$B = \frac{2,828 \cdot 10^{-3} \frac{\text{A}}{\text{m}^2}}{\pi \cdot 0,68 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 0,05 \text{ m} \cdot 50 \text{ Hz}}$$
$$B = 5,295 \cdot 10^{-4} \text{ T} \cong 6 \text{ 000 mG} = 6 \text{ G}$$

Díky tomuto výpočtu jsem zjistil, že hodnota magnetické indukce by při měření musela činit až 6 G, aby došlo k dosažení nejvyšší přípustné hodnoty. Podle mého odhadu s ohledem na zpracované grafy bych takovéto hodnoty dosáhl jen velice těžko i v minimální vzdálenosti od měřených přístrojů.

Závěr

Výsledky bakalářské práce potvrzují, že hodnoty veličin elektromagnetického pole jsou hluboko pod nejvyššími přípustnými hodnotami stanovenými v Nařízení vlády 1/2008 Sb. Nejvyšší přípustná hodnota pro ostatní osoby při frekvenci 50 Hz činí $J = 2,828 \cdot 10^{-3} \text{ A}\cdot\text{m}^{-2}$. Nejvyšší vypočtená hodnota činí $J = 1,602 \cdot 10^{-6} \text{ A}\cdot\text{m}^{-2}$. Ochranné pásmo určující vzdálenost 2 m od elektrické stanice je rovněž zvoleno s bezpečnou rezervou, protože nejvyšší hodnota byla naměřena ve vzdálenosti nižší – 116 cm.

Tyto limity jsou tedy dostačujícím nástrojem, aby nebyla porušována bezpečnost práce produkcí elektromagnetického pole v okolí výše zmíněných a prověřených přístrojů. Výše uvedené negativní účinky elektromagnetického pole na lidské zdraví nemohou v mnou měřených podmínkách v žádném případě nastat.

Časté zprávy médií o negativních účincích elektromagnetického pole na lidské zdraví jsou tedy spíše uměle vyvolaný strach a z hlediska bezpečnosti práce není v současné době třeba tento problém dále nějak významně rozebírat. Pro zajištění stoprocentní bezpečnosti samozřejmě mohou probíhat občasné kontroly nejvyšších přípustných hodnot u přístrojů produkujících elektromagnetické pole příslušnými orgány.

Další vývoj výzkumu elektromagnetického záření v souvislosti s jeho bezpečností by nyní měl dle mého názoru pokračovat studii dlouhodobého vlivu vysokofrekvenčního záření na lidský organismus, aby se plně vyvrátily obavy z jeho karcinogenních účinků.

Seznam použité literatury

- [1] MAYER, Daniel. *Aplikovaný elektromagnetismus*. 1. Vyd. České Budějovice: KOOP, 2012. 538s. ISBN 978-80-7232-436-1.
- [2] MAYER, Daniel. *Teorie elektromagnetického pole*. 1. Vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2001. 357s. ISBN 80-7082-826-9.
- [3] MARHA, Karel. *Elektromagnetické pole a životní prostředí*. 1. Vyd. Praha: Státní zdravotnické nakladatelství, 1968. 130s. bez ISBN.
- [4] PEKÁREK, Luděk. Nové poznatky důležité pro hodnocení možných nepříznivých vlivů elektromagnetického pole na člověka. Praha: Státní zdravotní ústav, 2009. URL: http://www.szu.cz/uploads/documents/cpl/Materily_ze_seminaru/Materialy_2009/pekarek-19.3.pdf
- [5] PEKÁREK, Luděk. Zdraví a mobilní telefony. *Státní zdravotní ústav*. [online]. 31.10. 2007 [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/zdravi-a-mobilni-telefony>
- [6] GARLÍK, Bohumír. Prostředí budov a vliv elektrických a elektromagnetických polí na zdraví: Interakce elektromagnetického pole a lidského organismu. *Časopis stavebnictví: časopis stavebních inženýrů, techniků a podnikatelů* [online]. Brno: EXPO DATA, 12.11. 2010 [cit. 2015-07-03]. Dostupné z: http://www.casopisstavebnictvi.cz/prostredi-budov-a-vliv-elektrickyh-a-elektromagnetickyh-poli-na-zdravi_N3901
- [7] Česká republika. Nařízení vlády č. 1/2008 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. In: *1/2008 Sb.* 2008. Dostupné také z: <http://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=1&r=2008>
- [8] PEKÁREK, Luděk. Mikrovlnné trouby. *Státní zdravotní ústav* [online]. 1.10. 2006 [cit. 2015-09-05]. Dostupné z: <http://szu.cz/tema/pracovni-prostredi/mikrovlnne-trouby>
- [9] PEKÁREK, Luděk. Rizika z expozice neionizujícímu elektromagnetickému záření. *Národní referenční laboratoř pro neionizující elektromagnetická pole a záření* [online]. [cit. 2015-09-07] Dostupné také z: www.sisyfos.cz/skeptikon/...2005/pekarek1_rizika_expozice_emf.doc
- [10] JELÍNEK, Lukáš a PEKÁREK, Luděk. Informace č. 19/2014. *Národní referenční laboratoř pro neionizující elektromagnetická pole a záření* [online]. září 2014. Dostupné také z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/informace-nr1>

- [11] KOHUTEK, Jakub. *Přehledové radary v ČR*. Brno, 2009. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [12] MINISTERSTVO OBRANY A ARMÁDA ČESKÉ REPUBLIKY. *Základní informace o radaru, technické parametry* [online]. [cit. 2015-10-03]. Dostupné z: <http://www.army.cz/scripts/detail.php?id=8763>
- [13] NÁRODNÍ REFERENČNÍ LABORATOŘ PRO NEIONIZUJÍCÍ ELEKTROMAGNETICKÁ POLE A ZÁŘENÍ. *Zhodnocení možných zdravotních rizik vyvolaných elektromagnetickým zářením radiolokátoru EBR*. Praha, 2008. [cit. 2015-10-03] Dostupné také z: http://www.army.cz/assets/files/8755/mat._radar_2-5-2008.doc
- [14] KOŠŤÁL, Josef. *EMF a lidské zdraví*. Časopis Elektro. 02/2005. Dostupné také z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/emf-a-lidske-zdravi--13777>
- [15] STUCHLY, M.A. (1995). "Low-frequency magnetic fields: Dosimetry, cellular, and animal effects," in *The biomedical engineering handbook*, ed. J.D. Bronzino (CRC Press, Boca Raton, FL).
- [16] FOSTER, K.R. (1995). "Dielectric properties of tissues," in *The biomedical engineering handbook*, ed. J.D. Bronzino (CRC Press, Boca Raton, FL).
- [17] MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY. *Zákon 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích (energetický zákon)*. Ročník 2009. Česká republika, 2009. ISSN 1211-1244.
- [18] Česká republika. Nařízení vlády č. 291/2015 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. In: *291/2015 Sb.* 5.10.2015. Dostupné také z: http://www.mzcr.cz/Legislativa/dokumenty/narizeni-vlady-c291/2015-sb-o-ochrane-zdravi-pred-neionizujicim-zarenim_10952_11.html
- [19] LM358N - GES-ELECTRONICS. *GES-ELECTRONICS, a.s.* [online]. 2015 [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: <http://www.ges.cz/cz/lm358n-GES05001235.html>
- [20] LM3915N - GES-ELECTRONICS. *GES-ELECTRONICS, a.s.* [online]. 2015 [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: <http://www.ges.cz/cz/lm3915n-GES05001291.html>

Příloha A – Přehled EM záření

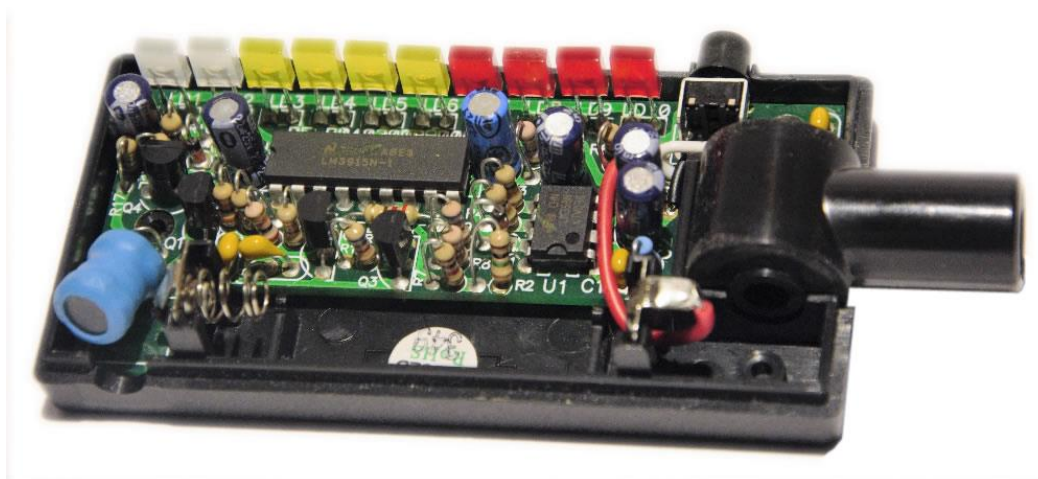
korpuskulární α , β ; kosmické záření – protony, mezony; (radioaktivní rozpad; urychlené ionty a elektrony; rychlé neutrony)		ionizující	Rychlé částice	
diagnostika, terapie, stopování pomocí radioizotopů	záření γ			
	rentgenové záření			
slunce; umělé zdroje	ultrafialové záření	neionizující		Elektromagnetické záření
všude	viditelné záření			
	infračervené (tepelné) záření			
radar, mikrovlnné trouby, spoje, družice, přenos dat	milimetrové vlny			
	centimetrové vlny			
televize, mobilní telefony	decimetrové vlny			
VKV (FM) rozhlas	metrové vlny			
krátkovlnný rozhlas; vysokofrekvenční ohřev	desetimetrové až stometrové vlny			
AM rozhlas	střední a dlouhé rozhlasové vlny			
speciální komunikace, geofyzikální průzkum	velmi dlouhé vlny (VDV)			
slaboproudá zařízení, televizní a vakuové počítačové monitory	pole s frekvencemi vyššími než 10 kHz		Elektrické a magnetické pole	
indukční pece, lokomotivy,	nízkofrekvenční pole (50 Hz – 10 kHz)			
rozvod elektrické energie, domácí spotřebiče	elektrická a magnetická pole s frekvencí energetické sítě			50 Hz
tramvaje, metro	velmi pomalu proměnná pole			
geomagnetické pole, atmosférická elektřina, elektrolýza	statické elektrické a magnetické pole			0 Hz

Tab. 1 – Přehled EM záření [4]

Příloha B – Obrázky použitého měřicího přístroje



Obr. 1 – Magnetometr



Obr. 2 – Magnetometr (pohled dovnitř ze šikma)



Obr. 3 – Magnetometr (pohled dovnitř zvrchu)