1. ÚVOD ...3
2. ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ ...5
2.1 Ionizující záření...5
2.1.1 Interakce ionizujícího záření s hmotným prostředím ...6
2.2 Zdroje ionizujícího záření...7
2.2.1 Přírodní zdroje ionizujícího záření ...7
2.2.2 Umělé zdroje ionizujícího záření...9
2.3 Biologické účinky ionizujícího záření ...10
2.4 Neionizující záření...12
2.5 Klasifikace zdrojů elektromagnetického záření...12
2.5.1 Umělé zdroje elektromagnetického záření ...13
2.5.2 Přírodní zdroje elektromagnetického záření...13
2.5.3 Sluneční záření...14
2.5.4 Ultrafialové záření (UV)...15
2.5.5 Viditelné záření...17
2.5.6 Infračervené záření (IR)...18
2.6 Laserové záření ...19
2.7 Mechanismy působení, veličiny popisující magnetické pole a elektromagnetické záření...20
2.7.1 Intenzita elektrického pole E ...21
2.7.2 Intenzita magnetického pole H, magnetická indukce B ...21
2.7.3 Výkonová hustota S...22
2.7.4 SAR (Specific Absorption Rate)- měrný absorbovaný výkon ...23
2.7.5 Dávka ozáření H ...24
2.7.6 Proudová hustota J...24
2.8 Kvantové vlastnosti neionizujícího záření ...24
3. OCHRANA ZDRAVÍ PŘED NEIONIZUJÍCÍM ZÁŘENÍM ...26
3.1 Hygienické limity pro neionizující záření...27
3.2 Nejvyšší přípustné hodnoty (NPH) a referenční hodnoty pro elektromagnetické záření...28
3.3 Nejvyšší přípustné hodnoty neionizujícího záření...28
3.4 Referenční úrovně neionizujícího záření ...30
3.5 Zdravotní rizika při expozici člověka elektromagnetickým záření...31
3.5.1 Biologické účinky elektromagnetického záření v intervalu frekvencí od 10 GHz do 300 GHz (vlnová délka od 3 cm do 1 mm)...31
3.5.2 Biologické účinky elektromagnetického záření v intervalu frekvencí od 10 MHz do 10 GHz (vlnová délka od 30 m do 3 cm) ...32
3.5.3 Biologické účinky elektromagnetického záření v intervalu frekvencí od 100 kHz do 10 MHz (vlnová délka od 3 km do 30 m)...32
3.5.4 Biologické účinky nízkofrekvenčních záření (frekvence nižší než 100 kHz)33
4. MĚŘENÍ INDUKOVANÉHO PROUDU V TKÁNÍ ...34
4.1 Zařízení použité pro měření...34
4.2 Parametry měřených objektů: ...34
4.3 Podmínky měření...34
4.4 cíl, Rozbor, Postup a měření...34

4.5 Zpracování naměřených hodnot....36
4.6 Výsledky měření....37
4.6.1 Měření č. 1....37
4.7 Měření č. 2....41
4.8 Měření č. 3....44
4.9 Měření č. 4....47
4.10 Měření č. 5....50
4.11 Měření č. 6....53
4.12 Zhodnocení naměřených a vypočtených hodnot....56
5. MĚŘENÍ VYSOKOFREKVENČNÍHO ZÁŘENÍ....58
5.1 Rozbor měření....58
5.2 Vlastní měření výkonové hustoty....59
5.3 Zařízení použité pro měření:....60
5.4 Podmínky měření....60
5.5 cíl a Rozbor a měření....60
5.6 Postup měření a Zpracování naměřených hodnot....61
5.7 Měření v bytě č. 1....61
5.8 Měření v bytě č. 2....62
5.9 Měření v bytě č. 3....64
5.10 Zhodnocení naměřených hodnot....64
6. ZÁVĚR DIPLOMOVÉ PRÁCE:....66
7. POUŽITÁ LITERATURA:....68

1. ÚVOD

Koncem minulého a začátkem 21. století došlo k obrovskému rozmachu umělých zdrojů elektromagnetického pole a to v souvislosti s velkým rozvojem bezdrátových technologií, jako například mobilní telefony, bezdrátové internetové připojení WiFi, rozhlas, televize apod. Tyto vymoženosti posledních let (v případě televize a rozhlasu již několik desítek let) vnáší do života lidí značnou pohodlnost, ale i nejistotu.

Neschopnost člověka poznat zrakem či pocitem přítomnost většiny elektromagnetických polí vyvolává spekulace, zda některý ze zdrojů neionizujícího záření nemůže vyvolat zdravotní potíže. Tyto dohady umocňují populární média, která přijdou se zaručenou, ovšem vědecky nepodloženou informací, že i zdroje neionizujícího záření poškozují zdraví i tehdy, kdy jím emitované elektromagnetické pole nezpůsobuje pozorovatelné ohřívání těla, pocity brnění či jiné zdravotní komplikace. Někteří lidé vybavení těmito informacemi si stěžují na nespavost, neobvyklou únavu, či bolesti hlavy a tyto problémy neprávem připisují působením všude přítomných elektromagnetických polí.

Diplomová práce je členěna do dvou hlavních oddílů. První část se zabývá elektromagnetickým zářením v celém jeho frekvenčním spektru a principy jeho působení. Záření je rozděleno na ionizující a neionizující, jsou probrány zdroje jednotlivých druhů záření a možné zdravotní rizika při expozici. Dále jsou rozebrány hygienické limity, nejvyšší přípustné a referenční hodnoty neionizujícího záření.

Druhá část diplomové práce je zaměřená na praktické měření elektromagnetického záření v pásmu nízkých a vysokých frekvencí.

Nízkými frekvencemi zde rozumíme elektromagnetické záření, jehož frekvence dosahuje maximálně 100 kHz a způsobuje především vznik indukovaného proudu v tkáni. Předmětem tohoto měření bylo ověřit, zda předměty denní potřeby neohrožují lidskou populaci na zdraví (podle nařízení vlády č. 1/2008 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením). Nízkofrekvenční měření je realizováno ve spolupráci se Zdravotním ústavem v Ústí nad Orlicí a byly použity vysoce přesné laboratorní měřicí přístroje.

Vysokými frekvencemi rozumíme frekvence, které způsobují především ohřev tkáně. Vysokofrekvenční část byla realizována pomocí digitálního analyzátoru elektrosmogu HF 32D. Cílem tohoto měření, které probíhalo ve třech různých bytech, bylo zjištění maximálních hodnot výkonové hustoty.

2. ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ

Záření je proces, při kterém se energie šíří přímočaře ze zdroje. Je možné ho definovat jako energii, která se šíří prostorem. Záření může vznikat přirozeně z přírodních zdrojů, či uměle jako důsledek lidské činnosti. Vzhledem k tomu, že záření je součást každodenního lidského života, je velice důležité znát jeho vlivy na biologické systémy. Využívat jejich příznivé vlastnosti a chránit se před škodlivými účinky. Podle vlnové délky (resp. frekvence) lze rozlišit několik druhů elektromagnetického záření.

Záření lze klasifikovat jako ionizující a neionizující, přičemž oba typy mohou být nebezpečné pro člověka i další živé organismy [2].

2.1 IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

Je tok hmotných částic nebo fotonů s dostatečně velkou energií, které mají schopnost odtrhnout jeden či více elektronů z obalu atomu.

Hraniční frekvence je 10^{15} Hz, vlnová délka <1 nm a energie elektronu >1 keV. Veličinou charakterizující ionizující záření je jeho energie, která se udává v elektronvoltech (eV). Jeden elektronvolt je definovaný jako energie, kterou získá elektron při přechodu potenciálovým rozdílem jednoho voltu. Mezi jednotkou energie Joulem (J) platí vztah: 1 eV=1,60219.10^{-19} J. Ovšem o tom, zda je záření ionizující či neionizující, rozhoduje energie jednotlivých fotonů, nikoliv energie záření jako celku. Ionizující záření je možno rozdělit na přímo ionizující a nepřímo ionizující.

Přímo ionizující záření představuje částice, které mají elektrický náboj, jako jsou elektrony, protony, alfa a beta částice.

Nepřímo ionizující záření tvoří částice bez elektrického náboje – neutrony nebo elektromagnetické záření jako je rentgenové či gama záření.

Působení ionizujícího záření si nachází široké uplatnění v průmyslu (defektoskopie – nedestruktivní zkouška materiálu), lékařství (diagnostika a terapie), při kontrolních procesech jak zavazadel, tak i cestujících na letištních terminálech a v neposlední řadě v jaderné energetice [2].

Tab. 2.1: Elektromagnetické záření – ionizující [2]

Druh záření	Energie	Způsob ionizace	Frekvence
kosmické záření	>109 keV	přímo ionizující	$>15^{15}$HZ
částicové záření alfa	10MeV		
částicové záření bera	510keV	nepřímo ionizující	
částicové záření gama	10keV		
rentgenové záření	desítky- stovky keV		

2.1.1 Interakce ionizujícího záření s hmotným prostředím

Pojmem ionizace rozumíme proces, při kterém se energie ionizujícho záření spotřebuje na přeměnu neutrálních atomů na kladné a záporné ionty. Ztrátou obalového elektronu vzniká kladný iont, v případě že se spojí elektron s neutrálním atomem, vznikne záporný iont. Při interakci ionizujícího záření s hmotným prostředím dochází ke ztrátě jeho energie v důsledku absorpce a rozptylu. Ztráta energie závisí na druhu a počáteční energii záření, dále pak na absorpčních schopnostech látky [2].

- **Interakce záření alfa**

Záření alfa je korpuskulární záření, což je uspořádaný pohyb velkého množství částic. V případě záření alfa jsou to kladně nabité částice alfa (jádra hélia, Mají dva protony a dva neutrony), nesou tak dva elementární kladné náboje, které při průchodu prostředím silně ionizují a velmi rychle ztrácejí svoji energii. Z tohoto důvodu je jejich dráha doletu velmi malá. Ve vzduchu urazí několik centimetrů, ve vodě a živé tkání asi 1 mm. Energie těchto částic je okolo 10 MeV. Pro člověka mohou být nebezpečné při vdechnutí [2].

- **Interakce záření beta**

Záření beta tvoří proud elektronů e- (β-) nebo pozitronů e+ (β+), které jsou vymrštěny z atomového jádra při jeho rozpadu. Částice beta jsou menší než částice alfa a mají velkou počáteční rychlost (108 $m.s^{-1}$). Dolet částic beta je ve vzduchu několik metrů – v závislosti na počáteční energii. Mají větší schopnost proniknout

hmotou. Ionizační schopnosti jsou 10 krát menší než v případě částic alfa. Částice beta při průchodu prostředím naráží na jeho atomy a mění svoji dráhu [2].

- **Interakce záření gama**

Nejedná se o částicové záření. Jsou to elektromagnetické vlny stejné jako světlo a rádiové vlny, ovšem s kratšími vlnovými délkami a tedy vyššími frekvencemi pohybujícími se rychlostí světla. Gama záření vzniká v jádru atomu při rozpadu radioaktivních prvků, má vysokou průchodnost hmotou, tedy i lidským tělem, dá se zeslabit vrstvou olova či betonu. Způsobuje popáleniny, rakovinu a genetické mutace. Přesto se záření gama běžně využívá v neškodných dávkách například v medicíně, paradoxně právě jako prostředek k léčení rakoviny a jejímu vyhledávání. Ve vzduchu má dosah až několik set metrů – v závislosti na energii [2].

- **Interakce neutronového záření**

Neutronové záření je tvořeno tokem neutronů, tedy částicemi bez elektrického náboje s určitou hmotností a vysokou kinetickou energií, což umožňuje lehký průchod hmotou. Způsob interakce neutronů závisí ve velké míře na jejich energii. Energie neutronového toku může být v rozsahu od stovek eV až MeV. Síla vedoucí k těmto interakcím má velmi malý dosah, což znamená, že neutrony musí procházet velmi blízko jádra, aby došlo k interakci [2].

2.2 ZDROJE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

Ionizující záření tvoří neoddělitelnou část životního prostředí. Podle jeho původu můžeme rozlišit přírodní a umělé zdroje ionizujícího záření. Přírodní zdroje provází člověka od nepaměti, zatímco zdrojům umělým jsou lidé vystavování relativně krátkou dobu [2].

2.2.1 Přírodní zdroje ionizujícího záření

Provázejí lidstvo od počátku existence planety Země. Ionizující záření člověk nevidí, necítí, přijímá ho ovšem ze vzduchu, vody a potravin. Všechny živé

organismy na zemském povrchu jsou trvale vystaveny účinku radiačního pozadí, jehož dávka se v průměru pohybuje v rozmezí 2-4 mSv/rok. Lidský organismus se během svého vývoje velmi dobře přizpůsobil existujícímu přírodnímu radioaktivnímu pozadí. Přírodní ionizující záření dopadá na Zemi z kosmického prostoru a je tvořeno tokem vysokoenergetických nabitých částic. Kosmické záření rozdělujeme na primární a sekundární. Dalším zdrojem ionizujícího záření je samotná planeta Země a to v podobě pozemského záření [2].

- **Primární kosmické záření**

Záření pocházející z naší galaxie a tvoří největší část kosmického záření. Zdrojem jsou supernovy a jejich pozůstatky, dále Slunce a hvězdy [2].

- **Sekundární kosmické záření**

Vzniká interakcí částic primárního kosmického záření s částicemi atmosféry. Z hlediska pronikavosti dělíme na měkkou složku (elektrony, pozitrony a vysokofrekvenční fotony) a tvrdou složku (energetické mezóny, protony, neutrony a jádra lehkých prvků) [2].

- **Pozemské záření**

Produkt vznikající při rozpadu uranu je radon. Je to radioaktivní inertní plyn, může se nacházet v horninách zemské půdy, dále může unikat ze zemského podloží do ovzduší. Při rozpadu radonu vznikají produkty, které se vážou na částice prachu obsažené ve vzduchu. Při velké koncentraci mohou při vdechnutí způsobit vnitřní ozáření.

Dalším zdrojem ionizujícího záření je zemský povrch. Závisí na radioaktivitě geologického podloží, tedy na obsahu radioaktivních látek v horninách zemské kůry, dále na množství radioaktivního záření dopadající na Zemi ze Slunce a galaxií, které se absorbovalo v plynných, tekutých a tuhých látkách zemského povrchu. Odtud je následně vyzařováno zpět do kosmického prostoru.

Celková hodnota ozáření lidského organismu pozemským zářením se pohybuje okolo 50 % z celkového ozáření, které pochází z přírodních zdrojů [2]

2.2.2 Umělé zdroje ionizujícího záření

Umělé zdroje ionizujícího záření nacházejí své velké využití v lékařské a diagnostické technice.

Nejznámější a snad i nejvyužívanější je Rentgenův přístroj. Rentgenové záření je elektromagnetické vlnění s velmi krátkou vlnovou délkou, která je více než tisíckrát kratší než vlnová délka viditelného světla. Záření bylo nazváno podle svého objevitele, německého fyzika Wilhelma Conrada Röntgena [5].

Zdrojem rentgenového záření je obvykle elektronka, nazývaná rentgenka. Z rozžhavené záporné katody vyletují elektrony směrem ke kladné anodě. Mezi katodou a anodou je připojeno vysoké napětí, které uděluje elektronům vysokou rychlost. Při dopadu elektronů na anodu se většina jejich energie mění v teplo. Část energie dopadajících elektronů se mění na energii rentgenového záření, které vystupuje z anody. Rentgenové záření ionizuje vzduch, vyvolává světélkování některých látek, způsobuje zčernání fotografického filmu a působí také na živé organismy. Záření prochází různými látkami, ale je jimi více nebo méně pohlcováno.

Rentgenové záření se začalo nejdříve používat v lékařství a postupně našlo uplatnění v mnoha dalších oborech [5].

Další využití zdrojů ionizujícího záření je například gama kamera, PET (pozitronová emisní tomografie), CT (počítačová tomografie). Při CT vyšetření se počítačově získává obraz, složený z obrovského množství údajů o absorpci rentgenového záření, které prošlo objektem. Toto vyšetření představuje pro pacienta výraznou radiační zátěž [2].

Další zdroje ionizujícího zářeni označované jako technické najdou svoje uplatnění v průmyslu, nejčastěji se využívá rentgenové a gama záření. K důležitým umělým zdrojům ionizujícího záření patří jaderné elektrárny. Za normálního a bezporuchového provozu přispívají k míře ozáření obyvatelstva cca jedním procentem z celkové míry ozáření. V atomových elektrárnách se elektrická energie vyrábí pomocí tepla, které se uvolňuje během štěpení atomových jader uranu v aktivní zóně jaderného reaktoru. Ke štěpení dochází průnikem volného neutronu do jádra izotopu uranu [1;2].

2.3 BIOLOGICKÉ ÚČINKY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

Mechanismy působení ionizujícího záření na živý organismus jsou velmi složité a jejich podstata není ještě úplně známá. Děje, začínající absorpcí ionizujícího záření v biologickém objektu a končí radiobiologickým efektem, je možné rozdělit na čtyři fáze [2]:

1. fáze fyzikální – trvá velmi krátkou dobu 10^{-13} – 10^{-14} s je charakterizována ionizací a excitací molekul.

2. fáze fyzikálně chemická – doba trvání je asi 10^{-10} s dochází zde k disociaci molekul, nebo iontů.

3. fáze chemická – doba trvání 10^{-6} s vznikají volné atomy radikály a to především z molekul vody.

Volné radikály jsou molekuly s nepárovými elektrony a vysokým stupněm nestability. Mohou být vytvořeny jak z anorganických látek (volný kyslík), tak z organických molekul (chinonů). Jsou vysoce reaktivní. Volné radikály mohou vzniknout i jinými mechanismy než je účinek záření a mají v organismu pozitivní vliv a to, že zabíjí a pohlcují mikroorganismy, které způsobují infekci. Působení elektromagnetického záření na organismus ovšem vyvolává tvorbu volných radikálů, které mají pouze negativní účinek a mohou být příčinou nejrůznějších patologických pochodů v lidském těle. Svým účinkem narušují metabolické pochody, poškozují buněčné struktury jednotlivých orgánů. Mohou rovněž napadat a pozměňovat deoxyribonukleovou kyselinu v jádru buněk, která je nositelem dědičnosti. [4]

4. fáze biologická – doba trvání je v řádech dnů, měsíců až roků. Reakce na molekulární změny se projevují na různé úrovni biologického systému, tj. buněk, orgánů a celého organismu. Tyto projevy jsou buď morfologické, nebo funkční.

Ionizující záření absorbované v biologickém prostředí působí prostřednictvím svých interakčních mechanismů na molekuly buněk ničivým účinkem.

A to přímým účinkem, kdy ionizující částice naruší chemické vazby

a způsobí rozpad zasažené molekuly. Toto narušení vazby způsobuje chemické změny bílkovin, enzymů, nukleových kyselin a ovlivní vazby makromolekul. Tím dojde ke ztrátě nativity a fyziologické funkce buněk.

Nebo nepřímým účinkem, kdy dojde k radiolýze vody a tvoří se volné radikály H^+ a OH^-. Radikály mají krátkou životnost, ovšem jsou velmi chemicky aktivní. Způsobí zvýšení oxidačního potenciálu v ozářené tkáni.

Už velmi malé množství absorbované energie ionizujícího záření může mít za následek smrt buněk, poškození tkání, orgánů případně i celého organismu.
V případě, že ozářená buňka neodumře, projeví se účinek expozice genovou mutací. Mutace vede k somatickým změnám, nebo k neoplastickým transformacím poškozené buňky. Současně však probíhají reparační a regenerační změny na buňkové úrovni. Buňkám se vrací schopnost dělení a tkáň se regeneruje náhradou starých odumřelých buněk za nové buňky, které vznikly právě dělením. Každá tkáň je na velikost expozice ionizujícím zářením jinak citlivá [1;2].

Z hlediska vztahu dávky a účinku ionizujícího záření na živý organismus rozlišujeme:

- **Deterministické účinky**

Jsou důsledkem smrti části ozářených buněk a projevují se až od určitého dávkového prahu. Jejich závažnost roste s dávkou záření. Deterministické účinky se projevují charakteristickým klinickým obrazem (např. akutní choroba z ozáření, nebo radiační zápal kůže). Při dávce menší než je hodnota prahová se žádné účinky neprojevují [2].

- **Stochastické účinky**

Jsou vyvolané změnami v genetické informaci buňky. Jsou to procesy náhodné, vznikající s určitou pravděpodobností. Mohou být vyvolané i velmi malou hodnotou dávky ionizujícího záření. Pravděpodobnost roste s velikostí absorbované dávky. Zatím však nebyl získaný žádný důkaz potvrzující, že neexistuje nějaká prahová hodnota v případě nízkých dávek. Mezi stochastické účiny patří například nádorové onemocnění, leukémie, či genetické změny potomků [2].

2.4 NEIONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

Je takové elektromagnetické záření, jehož energie není dostatečná na odtržení elektronu z elektronového obalu atomu, nebo molekuly. Záření tedy nemá schopnost ionizovat atomy, či molekuly.

Neionizující záření je v rozsahu frekvencí od 0 Hz až do hodnot řádově 10^{15} Hz. Kromě elektromagnetického záření považujeme jako neionizující i statické a magnetické pole.

Z tabulky 2.2. je zřejmé, že elektromagnetická záření představují poměrně široký obor jevů. Tyto jevy mají sice stejnou fyzikální podstatu, ovšem jejich vlastnosti a účinky se liší. Neionizující záření začíná na nejvyšších frekvencích s nejkratší vlnovou délkou, tedy zářením ultrafialovým.

Pouze velmi malou část neionizujícího záření je člověk schopen vnímat smysly. Je to záření tzv. viditelné, s vlnovou délkou 400 nm – 780 nm, pro jehož vnímání máme speciální orgán – oči. Neviditelné infračervené záření člověk vnímá podle pocitu ohřívání kůže, ultrafialové záření způsobí zhnědnutí kůže, při velké dávce úžeh. Ostatní části elektromagnetického spektra člověk smysly nevnímá vůbec [1;2].

Tab. 2.2: Elektromagnetické záření – neionizující [2]

Druh záření	Energie fotonu	Vlnová délka
Ionizující záření	**>1kEv**	**<1nm**
Ultrafialové záření (UV)	0,3eV-1KeV	1nm-400nm
Viditelné záření (VIS)	0,15eV - 0,3eV	400nm-780nm
Infračervené záření	40meV-0,3eV	780nm-3mm
Mikrovlnné a radiové vlny (MW, RF)	<40meV	>3mm

2.5 KLASIFIKACE ZDROJŮ ELEKTROMAGNETICKÉHO ZÁŘENÍ

Přírodní a umělé zdroje elektromagnetických polí tvoří součást našeho životního prostředí a je možné je charakterizovat [2]:

- Ve volném prostoru (vakuu) se šíří rychlostí světla $c=3.10^8$ m.s^{-1}.

- Ohýbají se, lomí, rozptylují, interferují.
- Mají schopnost být absorbovány hmotou.
- Jsou charakterizovány velikostí, směrem elektrické a magnetické složky, které jsou navzájem kolmé a kolmé na směr šíření.
- Jsou charakterizovány frekvencí, vlnovou délkou a energií.

Tab. 2.3: Zdroje elektromagnetického záření [2]

Zdroj záření	Druh emitovaného záření
Slunce, umělé zdroje	UV, IR, viditelné, laserové záření
Životní prostředí	viditelné záření
	IR záření
radary, mikrovlnné trouby, přenos dat	milimetrové vlny
	centimetrové vlny
televize a mobilní telefony	decimetrové vlny
VKV (FM) Rozhlas	metrové vlny
KV rozhlas	deset až sto metrové vlny
AM rozhlas	střední a dlouhé vlny
speciální geofyzikální výzkum	velmi dlouhé vlny

2.5.1 Umělé zdroje elektromagnetického záření

Jsou to zdroje, které jsou vytvořeny lidskou činností. S jejich velkým rozvojem v posledních několika letech roste i počet obyvatel vystavených působení různých elektromagnetických polí.

Při posuzování elektromagnetického záření, které pochází z umělého zdroje je nutné si uvědomit některé skutečnosti. Lidské tělo i ostatní další živé organismy jsou vystaveny umělému elektromagnetickému záření již několik desítek let. Ve zvýšené míře posledních 15-20 roků. [1;2].

2.5.2 Přírodní zdroje elektromagnetického záření

Základním a největším přírodním zdrojem elektromagnetické záření je Slunce. Bez Slunce by život na Zemi nemohl existovat. Energetické spektrum slunečního záření má široký rozsah frekvencí. Část Slunečního elektromagnetického záření se odráží, (nebo absorbuje) ve vnějších vrstvách atmosféry, nebo od zemského

povrchu. Část ultrafialového (UV) záření je pohlcena ozonovou vrstvou. Asi polovinu slunečního záření tvoří infračervené (IR) záření, což je teplo. Množství infračerveného záření, dopadající na Zemi závisí na zeměpisné šířce, nadmořské výšce, či poloze Země vůči Slunci. Elektromagnetické záření dopadá na Zemi i z hvězd, či mezihvězdného prostoru.

Samotná Země je též zdrojem elektromagnetického záření. Například zdroje infračerveného záření v životním prostředí jsou vulkány, přírodní ohně a v neposlední řadě i sám člověk.

Přírodní magnetické záření je přirozenou složkou životního prostředí, od nepaměti, proto se všechny živé organismy bez problému adaptovaly [1;2].

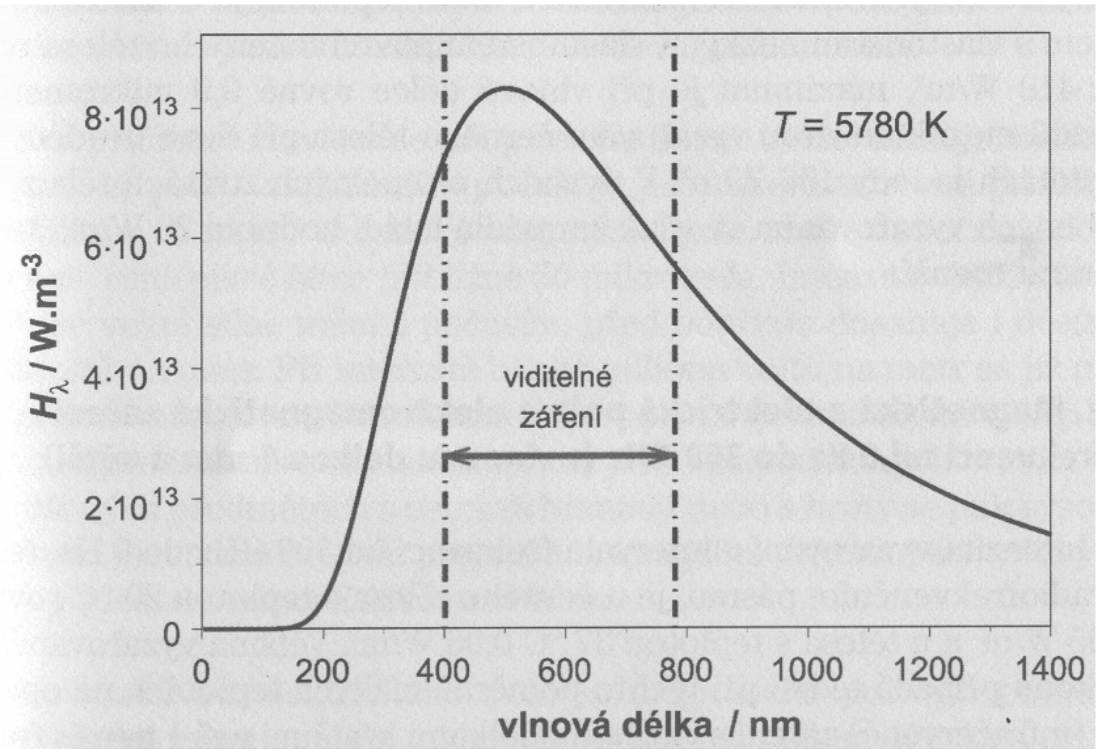
2.5.3 Sluneční záření

Vzniká ve fotosféře – viditelném povrchu Slunce. Sluneční záření je polychromatické, zahrnuje tedy velké spektrum vlnových délek. Obsahuje například gama záření, ultrafialové záření, viditelné záření, infračervené záření a radiové vlny.

Z tohoto širokého spektra proniká na Zemi asi 50 %, 30 % záření odrazí atmosféra Země zpět a 20 % atmosféra pohltí. Z proniknutého záření je v největší míře zastoupené záření ultrafialové 7 % (280-380 nm), viditelné – 47% (λ= 280-380 nm), infračervené 46 % (λ=730 nm – 10 000 nm). Vlnové délky slunečního záření se tedy nacházejí v intervalu cca 280 nm – 10 000 nm.

Slunce září jako černé těleso s teplotou povrchu 5 780 K. Intenzita vyzařování (zářivý tok emitovaný jedním čtverečním metrem povrchu Slunce) má maximum při vlnové délce 501 nm a velikost 63 $MW.m^{-2}$. Závislost intenzity vyzařování Slunce na vlnové délce je zachycen na obr. 2.1 [1]

Obr. 2.1: Intenzita záření v závislosti na vlnové délce – sluneční spektrum [1]



2.5.4 Ultrafialové záření (UV)

Záření s vlnovou délkou v oblasti nad horní hranicí viditelného spektra. Hodnotu UV záření na dopadající na zemský povrch ovlivňuje mnoho činitelů [2]:

- Výška Slunce nad obzorem – čím výš se Slunce nachází, tím víc záření dopadá na zemský povrch, protože dráha slunečních paprsků při průchodu ozonovou vrstvou je kratší.
- Oblačnost – zeslabuje intenzitu záření.
- Nadmořská výška – intenzita UV záření s nadmořskou výškou roste, a to na každých 300 m výšky cca o 4 %.
- Množství ozónu – čím větší je ozonová vrstva, tím víc záření pohltí.

UV záření dopadající na zemský povrch můžeme rozdělit na tří části [2]:

- UV A – dlouhovlnné záření (315 – 400 nm) je částečně absorbované ozonovou vrstvou, ta pohltí asi 30 % tohoto záření.
- UV B – záření se střední vlnovou délkou (280 – 315 nm) je až z 80 % pohlcené ozonovou vrstvou. UV spektrum je až z 10 % tvořeno UVB zářením.
- UV C – krátkovlnné záření (100 – 280 nm) je při přechodu atmosférou úplně absorbované ozonovou vrstvou a kyslíkem, takže se na zemský povrch prakticky nedostane.

Expozice ultrafialovému záření s vlnovou délkou mezi 100 nm a 280 nm (oblast označovaná jako UV C) má nepříznivé účinky na kůži i na oči, účinky závisí na vlnové délce. Nejrizikovější pro poškození oka a pro onemocnění kůže je vlnová délka v okolí 270 nm – při dlouhodobé expozici se zvyšuje riziko rakoviny kůže. Záření v oblasti UV C je zcela absorbováno v povrchové vrstvě a nepoškozuje sítnici. Ovšem při velké intenzitě způsobuje zánět spojivek (maximální účinek je u vlnové délky 260 nm), při dlouhodobém působení trvale poškozuje rohovku.
V úzké oblasti vlnových délek od 280 nm do 315 nm (označované jako UV-B) biologická účinnost působení ultrafialového záření prudce klesá s rostoucí vlnovou délkou. Ultrafialové záření z intervalu vlnových délek od 315 nm do 400 nm (oblast označovaná UV A) není již v rohovce, oční čočce a sklivci zcela absorbováno a jeho dlouhovlnná složka proniká až k sítnici.

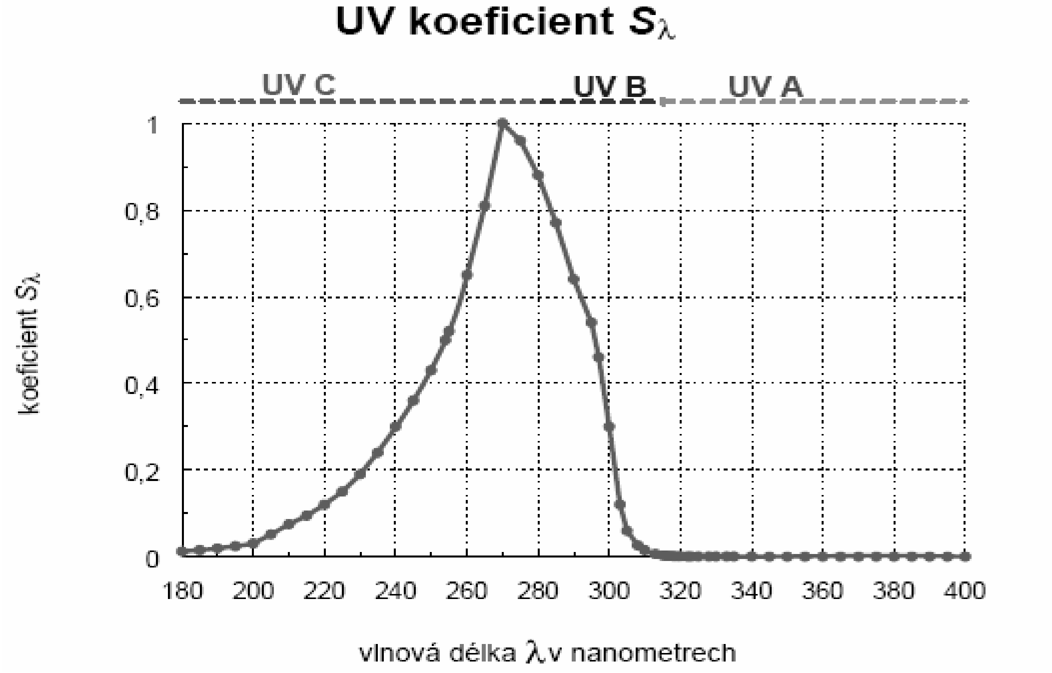
V malém množství je UV záření pro organismus důležité a prospěšné. Ve větší dávce je životu nebezpečné. Jeho působením se voda v buňkách rozkládá na kationty vodíku a anionty kyslíku. Ty jsou vysoce reaktivní a zasahují do metabolismu buňky. Vlivem UV záření dochází k poškození buňky i na úrovni DNA.

Kromě Slunce může být zdrojem UV záření tělesa zahřáté na vysokou teplotu a vyzařující spojité spektrum. Např. elektrický oblouk. Dalším významným zdrojem UV záření jsou solária.

Níže uvedený obrázek č. 2.2 znázorňuje závislost koeficientu S_λ fyziologické účinnosti ultrafialového záření na vlnové délce. Oblasti označené UV A, UV B a UV

C odpovídají přibližně různému stupni zdravotního rizika z ozáření. Velikost koeficientu S_λ klesá v intervalu vlnových délek od 270 nm do 320 nm o tři řády [1].

Obr. č. 2.2: Závislost koeficientu S_λ ultrafialového záření na vlnové délce [1]

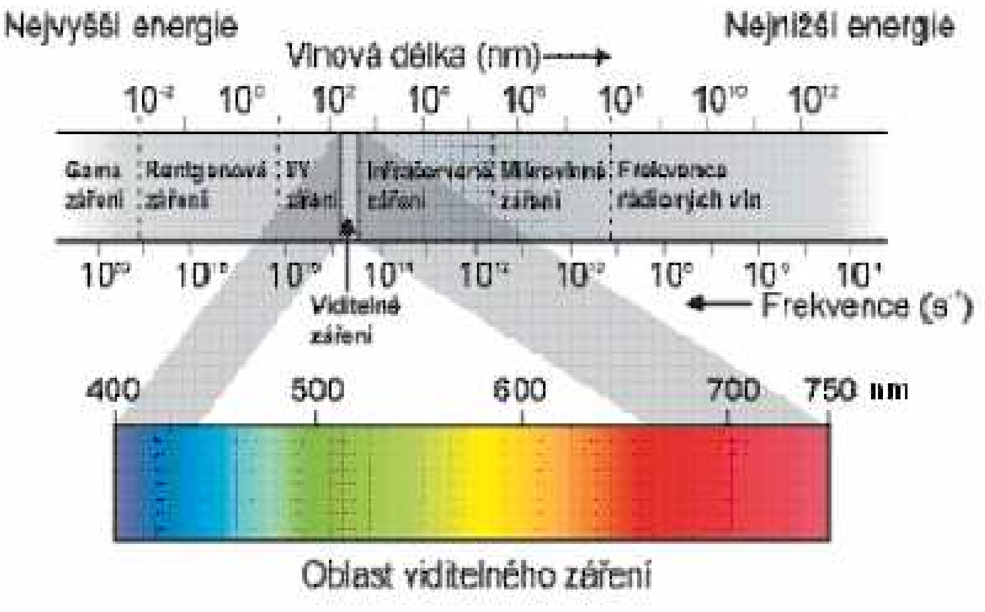


2.5.5 Viditelné záření

Je část slunečního záření nazývané jako světlo. Je možné ho rozdělit podle vlnových délek, které se jeví lidskému oku jako barevné světlo [1]:

- Červené světlo (730 – 630 nm)
- Oranžové světlo (639 – 590 nm)
- Žluté světlo (590-560 nm)
- Zelené světlo (560-490 nm)
- Modré světlo (490 -450 nm)
- Fialové světlo (450 – 380 nm)

Obr. 2.3: Elektromagnetické spektrum (viditelné světlo) [3]



Viditelné světlo do značné míry ovlivňuje fyzickou a psychickou pohodu člověka. Z hlediska zdravého vývoje člověka je nejvhodnější přirozené denní světlo. Pro správné fungování lidského organismu je tedy nevyhnutelná určitá dávka viditelného záření. Jeho nedostatek způsobuje únavu a může vést k dalším vážným zdravotním problémům.

2.5.6 Infračervené záření (IR)

Elektromagnetické záření s vlnovou délkou v rozmezí 760 nm – 1 mm a energii fotonů 1,2 meV – 1,63 eV. Podle vlnové délky rozlišujeme:

- IRA – krátkovlnné záření (730-1 400 nm)
- IRB – záření se střední vlnovou délkou (1 400 – 3 000 nm)
- IRC – dlouhovlnné záření (nad 3 000 nm)

Zemský povrch absorbuje viditelné záření ze Slunce a velké množství energie vyzařuje ve formě infračerveného záření zpět do vesmíru. Některé plyny v atmosféře, (nejvíce však vodní pára) toto záření absorbují a vyzařují ho všemi směry, tedy i k zemskému povrchu, tímto vzniká tzv. skleníkový efekt [1;2].

Tab. 2.4: Rizika z expozice optickému záření [1]

oblast		UV-C	UV-B	UV-A	SVĚTLO	IR-A	IR-B	IR-C
vlnová délka [nm]	100	280	315	400	760	1400	3000	10^6
účinky	fotokeratida				popálení sítnice		popálení rohovky	
	šedý zákal							
	poruchy barevného vidění a vidění v noci							
	popálení kůže							

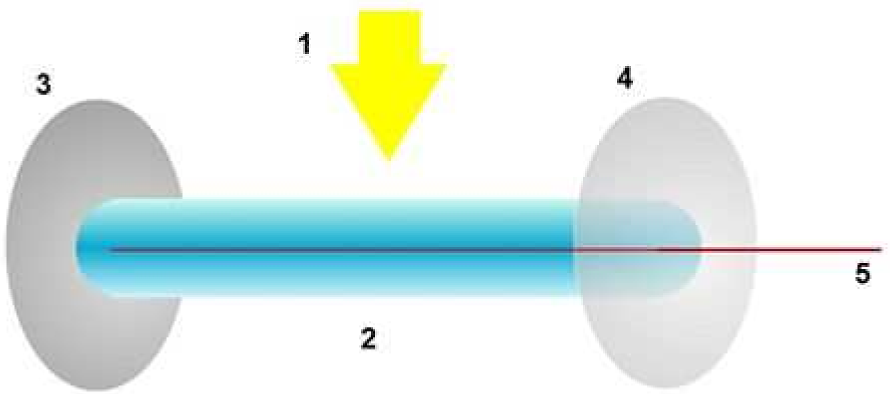
2.6 LASEROVÉ ZÁŘENÍ

Laser je kvantový generátor světla. Jeho název je odvozen z prvních písmen definice v anglickém jazyku. Což je Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Laserové systémy jsou koherentní světelné zdroje. Laser se skládá ze tří základních částí – aktivní látka, zdroj energie a rezonátor [2].

Z fyzikálního hlediska je laser kvantově elektronický zesilovač elektromagnetického záření, nejčastěji v oblasti viditelného spektra a blízkých vlnových délek.

Princip laseru lze popsat na Obr. 2.7 - Jako zdroj energie (1) může sloužit výbojka, která svítí do tzv. "aktivního prostředí" (2). To bývá umístěné v rezonátoru, což může být prostor mezi dvojicí zrcadel. Jedno z nich odráží veškeré světlo (3) a druhé bývá polopropustné (4). Aktivní prostředí je látka, která má oddělené kvantové energetické hladiny elektronů. Bývá to buď plyn nebo směs plynů (plynový laser), monokrystal (pevnolátkový laser) nebo například polovodič (diodové lasery). Energie zdroje vybudí elektrony v aktivním prostředí, které přejdou do vyšší energetické hladiny. Při opětovném přechodu na nižší energetickou hladinu pak dochází k uvolnění fotonů. Tok fotonů je díky rezonátoru stále zesilován, stimulován zdrojem energie a vzniká výsledný laserový paprsek (5). Samotný laser opouští paprsek ve většině případů skrz polopropustné zrcadlo (4). [7]

Obr. 2.4: Princip vzniku laserového záření převzato z [7]



Lasery se v přírodě prakticky nevyskytují. Záření, které emitují, jsou sice elektromagnetické vlny stejné fyzikální podstaty jako vlny vysílané přírodními „neleserovými“ technickými zdroji. Ovšem dosažitelná intenzita a rovnoběžnost svazku laserových paprsků jsou nesrovnatelně větší, než dosahují jakékoliv jiné technické zdroje. Při expozici člověka laserovému záření se proto objevují rizika, která se u záření jiných zdrojů nevyskytují [1].

Pokud laser pracuje na určitých vlnových délkách, na které je schopno se oko soustředit a které mohou být dobře soustředěny sítnicí a rohovkou oka, pak může vysoká koherence a malý rozptyl laserového paprsku u některých typů laserů způsobit, že je přijímaný paprsek soustředěn pouze do extrémně malého bodu na sítnici. To vede k bodovému přehřátí sítnice a k trvalému poškození zraku. Lasery jsou rozděleny do bezpečnostních tříd [6].

2.7 MECHANISMY PŮSOBENÍ, VELIČINY POPISUJÍCÍ MAGNETICKÉ POLE A ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ

Elektromagnetické pole jednoznačně charakterizují dvě vektorové veličiny. Vektor intenzity elektrického pole E a vektor intenzity magnetického pole H. Zdrojem elektrického pole jsou elektrické náboje, zdrojem magnetického pole je elektrický proud (tj. pohybující se elektrické náboje) a též vlastní magnetické

momenty elektronů (zřídka i magnetické momenty jiných elementárních částic) Magnetické momenty elektronů se makroskopicky projevují především u feromagnetických látek a jsou zdrojem stálého magnetického pole permanentních magnetů [2].

2.7.1 Intenzita elektrického pole E

Jednotkou je volt na metr. Elektrické pole s intenzitou rovnající se jednomu voltu na metr se vytvoří mez dvěma rovnoběžnými, nekonečně rozměrnými vodivými deskami, které jsou vzdáleny od sebe jeden metr na které je přivedeno elektrické napětí rovné jednomu voltu.

Kolem zemského povrchu se trvale samovolně udržuje intenzita elektrického pole za normálního počasí přibližně 140 $V.m^{-1}$. Pře bouřkou a během ní intenzita tohoto pole mnohonásobně vzrůstá.

Elektrický průraz vzduchu následovaný elektrickým výbojem nastává přibližně při elektrické intenzitě rovném cca 3.10^{6} $V.m^{-1}$ [1;2].

2.7.2 Intenzita magnetického pole H, magnetická indukce B

Jednotkou intenzity magnetického pole je ampér na metr. Častěji se pro charakteristiku magnetického pole používá magnetická indukce B, udávána v jednotkách Tesla. Z intenzity magnetického pole H se magnetická indukce určí ze vztahu

$$B=\mu H = 4 \pi.10^{-7} = \mu_0\mu_r H, \text{ kde} \qquad (2.1)$$

B – magnetická indukce [T]
μ –permeabilita [$H.m^{-1}$]
μ_0 –permeabilita vakua [$H.m^{-1}$]
μ_r –permeabilita materiálu [$H.m^{-1}$]
H – Intenzita magnetického pole [$A.m^{-1}$]

Koeficient pro převod obou veličin (permeabilita $\mu = 4\ \pi.10^{-7}$) se udává v jednotkách henry na metr. Dosadíme-li intenzitu magnetického pole v $A.m^{-1}$ dostaneme výslednou hodnotu magnetické indukce v jednotkách tesla (T). Číselná hodnota permeabilita $4\ \pi.10^{-7}$ platí přesně pro vakuum a téměř přesně pro vzduch a pro diamagnetické látky, ke kterým patří i biologická tkáň.

Látky vykazující relativní permitivitu nepatrně větší než 1 nazýváme paramagnetické. Tyto látky (Al, Na, K) mírně zesilují magnetické pole. Diamagnetické látky mají relativní permitivitu, nepatrně menší než 1. Tyto látky mírně zeslabují magnetické pole (inertní plyny, Au, Cu, Hg). Feromagnetické materiály jsou složeny také z paramagnetických atomů, ale v takovém uspořádání, že výrazně zesilují magnetické pole. Jejich relativní permeabilita je mnohem větší než 1 [9].

Jednotka Tesla je sama o sobě poměrně velká. Magnetické pole s indukcí větší než 1 T se vyskytuje pouze ve speciálních aplikacích. Například v lékařské diagnostice a to v zařízení pro magnetické rezonanční zobrazování.

Geomagnetické pole Země v naší zeměpisné šířce se pohybuje okolo hodnoty 50 µT. Jeho nepatrné krátkodobé kolísání je způsobeny elektrickými proudy v horní ionizované vrstvě atmosféry, vyvolanými dopadem většího množství protonů vymrštěných ze Slunce při slunečních erupcích [2].

2.7.3 Výkonová hustota S

Používá se pro vyjádření velikosti energie přenášené elektromagnetickou vlnou. Vyjadřuje výkon, kterým je přenesena elektromagnetická vlna plochou o velikosti 1 m^2, kolmo na směr šíření vlny a platí [2]:

$$S = E.H = \frac{B}{\mu} E, kde \tag{2.2}$$

S – Výkonová hustota $[W.m^{-2}]$

Jednotka hustoty zářivého toku $W.m^{-2}$ je malá. Například výkonová hustota slunečního záření při zemském povrchu dopadající kolmo na rovinnou plochu je rovna cca 1000 $W.m^{-2}$ [2].

2.7.4 SAR (Specific Absorption Rate)- měrný absorbovaný výkon

Vyjadřuje míru, energie pohlcené tělem osoby, která je vystavená radiofrekvenčnímu poli. Je definována jako absorbovaný výkon v hmotnosti biologické tkáně, jednotkou je $W.kg^{-1}$, nebo $mW.kg^{-1}$. Hodnota SAR se buď přepočítává na celé tělo, nebo na 1 či 10 g lidské tkáně.

$$SAR = \frac{d(\Delta W)}{dt(\Delta m)} = \frac{d}{dt}\frac{(\Delta W)}{(\rho \Delta V)} = \frac{\rho E^2}{\rho}, kde \qquad (2.3)$$

ΔW – přírůstek energie [W]
Δm – přírustek hmotnosti objemu [kg] v elementu objemu ΔV tkáně [m^3], jehož hustota je ρ [$kg.m^{-3}$],
E – efektivní hodnota intenzity elektrického pole v tkáni
σ – elektrická vodivost tkáně.

SAR je důležitá veličina používaná v dozimetrii neionizujícího záření. Udává míru absorbce energie, která se projevuje teplem a může mít negativní vliv na biologické systémy. Hodnota SAR je závislá na frekvenci pole, vlastnostech absorbční látky a geometrii částí těla. SAR se v různých částech těla liší, protože vodivost jednotlivých typů tkání je různá. Veličina SAR se používá na měření expozice polí ve frekvenčním rozsahu 100 kHz - 10 GHz.

2.7.5 Dávka ozáření H

Je definována podílem energie záření dQ, které dopadá na element povrchu s daným bodem a plochy tohoto povrchu dA.

$$H = \frac{dQ}{dA} = \int Edt, kde \tag{2.4}$$

H – dávka ozáření [$J.m^{-2}$]

2.7.6 Proudová hustota J

Při vystavení těla účinkům časově proměnných elektromagnetických polí, dochází v těle ke vzniku vnitřních proudů a absorbci energie v tkáni. Absorbce je závislá na frekvenci elektromagnetického pole a vazebných mechanismech. Proto je definována tato veličina vycházející z Ohmova zákona.

$$J = \sigma.E \tag{2.5}$$

J – proudová hustota [$A.m^{-2}$]

2.8 KVANTOVÉ VLASTNOSTI NEIONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

Jakékoliv elektromagnetické záření se chová jako proud částic (fotonů) letících rychlostí 3.10^8 $m.s^{-1}$. Energii, kterou každý foton nese, je závislá na frekvenci f a vlnové délce λ elektromagnetické vlny. Nikoliv na intenzitě záření. Vlnovou délku je možné vyjádřit [1]:

$$\lambda = \frac{c}{f}, kde \tag{2.6}$$

c=3.10^8 m.s-1 (rychlost světla)

Velikost energie nesené jedním fotonem – tzv. energetické kvantum elektromagnetického záření:

$$\varepsilon = h.f \quad (2.7)$$

kde h= 6,626.10^{-34} (Planckova konstanta).

Elektromagnetické záření má schopnost ionizovat atom tehdy, je li energie ε větší než energie, kterou je nutné dodat atomu, aby se od něho oddělil elektron. Hranice dostatečné energie pro ionizaci různých atomů se liší. Dohodou se však pro ni volí energie kvanta 5 eV.

Při úvaze působení záření na biologickou tkáň se pro tuto hranici volí energie 20 eV (což odpovídá energii fotonu s vlnovou délkou 63 nm, která ovšem již patří měkkému rentgenovému záření).

Záření s vlnovou délkou větší než 319 nm není schopno ionizovat žádný atom. Bez ohledu na intenzitu záření tedy a tedy bez ohledu na počet fotonů dopadající za sekundu na danou látku (tkáň). Elektromagnetické záření nemůže atomu ani molekule předat větší energii, než je právě energie jeho kvanta.

Při velké intenzitě záření na velmi malou plochu (soustředné záření laseru), se může u některých atomů nebo molekul uplatnit proces postupné absorbce fotonů a tím zvyšování vnitřní energie i o několikanásobek energie kvanta záření. Což ovšem v biologické tkáni neplatí [1].

3. OCHRANA ZDRAVÍ PŘED NEIONIZUJÍCÍM ZÁŘENÍM

Obecně je poměrně rozšířená myšlenka, že vlastnosti elektromagnetických polí a mechanismy jejich působení na živou tkáň jsou velmi složité a jen těžko pochopitelné. Tuto myšlenku mj. podporuje i velké množství pravidel stanovených ve standardech na ochranu před neionizujícím zářením.

V 90. letech u nás platila vyhláška MZ ČR č. 408/1990 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky elektromagnetického záření. Podle této vyhlášky byla maximální povolená intenzita elektrického pole 4,3 $V.m^{-1}$ (což odpovídá hustotě zářivého toku 49 $mW.m^{2}$).

Od 1. ledna 2001 byla tato vyhláška nahrazena nařízením vlády č. 480/2000 Sb. a později vládním nařízení nařízením č. 1/2008 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, která platí dodnes [1;8;10].

Smrtelné riziko při průchodu elektrického proudu tělem nesouvisející s popálením bylo známo velmi brzy poté, co se podařilo zkonstruovat zdroje elektrického napětí s malým vnitřním odporem. Již koncem 19. století se však vědělo, že stejnosměrný nebo nízkofrekvenční proud je při kontaktu člověka se zdrojem mnohem nebezpečnější než proud vysokofrekvenční. Šlo ovšem o proud vyvolaný přímým kontaktem člověka s vodivou částí zdroje elektrického napětí. Bezkontaktní působení elektromagnetického pole na člověka se začalo systematicky sledovat až v 50. letech 20. století.

Již tehdy se ukázal zásadní rozdíl v názorech: zatímco většina vědců pokládala za jediné nepříznivé působení vysokofrekvenčních záření ohřívání těla, jiní prohlašovali za škodlivé i vysokofrekvenční záření s velmi nízkou intenzitou nedostatečnou k zahřátí, avšak působící po dlouho dobu.

Otázka možného negativního působení nízkofrekvenčních záření se začala zkoumat podstatně později. Při expozici nízkofrekvenčního záření se projeví dráždění nervové tkáně při mnohem nižších intenzitách, než jaké by způsobily ohřátí tkáně, jednalo se tedy o netepelné účinky [1;2].

3.1 HYGIENICKÉ LIMITY PRO NEIONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

K vyloučení rizika expozice neionizujícího elektromagnetického záření nebo ke snížení tohoto rizika na únosnou míru jsou stanoveny hygienické limity, jejichž nepřekročení zaručuje dostatečnou ochranu před poškozením zdraví. Pro optické záření (ultrafialové, viditelné a infračervené záření) jsou hygienické limity stanoveny pro hustotu zářivého toku (nebo hustotu zářivé energie) dopadající na tělo nebo na jeho část (především oko), pro záření zdroje, který je v zorném poli oka a pro jejich dávky (tj. expozice trvající určitou dobu) [1].

V České republice jsou nejvyšší přípustné hodnoty pro expozici osob neionizujícímu záření stanoveny nařízením vlády ze dne 9. ledna 2008 č. 1/2008 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením s platností od 1. 3. 2008. Toto nařízení je prakticky totožné s nařízením vlády ze dne 22. listopadu 2000 č. 480/2000 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, a to pro interval frekvencí od 0 Hz (statické pole) až po 1, 7.10^{15} Hz. Nařízení nahradilo vyhlášku č. 408/1990 Sb., která stanovila přípustné hodnoty pro elektromagnetické záření v intervalu frekvencí od 6.10^{4} Hz do 1.10^{12} Hz, a směrnici ministerstva zdravotnictví ČSR č. 61 o hygienických zásadách pro práci s lasery (Hygienické předpisy svazek 53/1982). Povinnosti provozovatelů zdrojů neionizujícího záření specifikuje § 35 zákona č. 258/2000 Sb. ze dne 14. července 2000 o ochraně veřejného zdraví a změně některých souvisejících zákonů, § 36 tohoto zákona pak stanoví povinnosti [10;11].

3.2 NEJVYŠŠÍ PŘÍPUSTNÉ HODNOTY (NPH) A REFERENČNÍ HODNOTY PRO ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ

Neionizující záření může vážně poškodit zdraví, jestliže jeho intenzita překročí určitou mez. Aby k tomu nedocházelo, jsou stanoveny nejvyšší přípustné hodnoty pro expozici člověka neionizujícímu záření. Tyto hodnoty vycházejí ze zjištěných účinků neionizujícího záření a jsou stanoveny tak, aby nepříznivé účinky neionizujícího záření buď nemohly nastat, nebo aby nepřekročily únosnou mez (pro případ, kdy neexistuje hodnota expozice, pod níž by již záření žádné účinky nemělo).

Navrhováním přípustných hodnot (expozičních limitů) se zabývají mezinárodní komise expertů (*Internacional Commision on NON- Ionizig Radiation Protection* -ICNIRP, *Institute of Electrical and Electronics Engineers* -IEEE, *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* ACGIH aj.).

3.3 NEJVYŠŠÍ PŘÍPUSTNÉ HODNOTY NEIONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

Jsou stanoveny pro hustotu indukovaného elektrického proudu v těle a pro velikost vysokofrekvenčního výkonu, který se při expozici mění v těle v teplo. Záření z intervalu 10 GHz až 300GHz se absorbuje v tenké vrstvě při povrchu těla. Nejvyšší přípustná hodnota je pro něj stanovena pro hustotu zářivého toku dopadající na tělo nebo na jeho část.

Na elektrické proudy indukované v lidském těle je nejcitlivější nerovová soustava, teplo vznikající při absorpci elektromagnetického záření zvyšuje tělesnou teplotu. Často se vyskytují tvrzení o existenci nepříznivých účinků dlouhodobého působení velmi slabých elektromagnetických záření, ovšem ICNIRP tuto skutečnost neprokázal [1].

Obrázek č. 3.1 graficky znázorňuje nejvyšší přípustné hodnoty, měrného absorbovaného výkonu SAR, hustoty zářivého toku S, závislé na frekvenci. Horní plné křivky platí pro zaměstnance, dolní čárkované křivky platí pro ostatní osoby (obyvatelstvo včetně dětí).

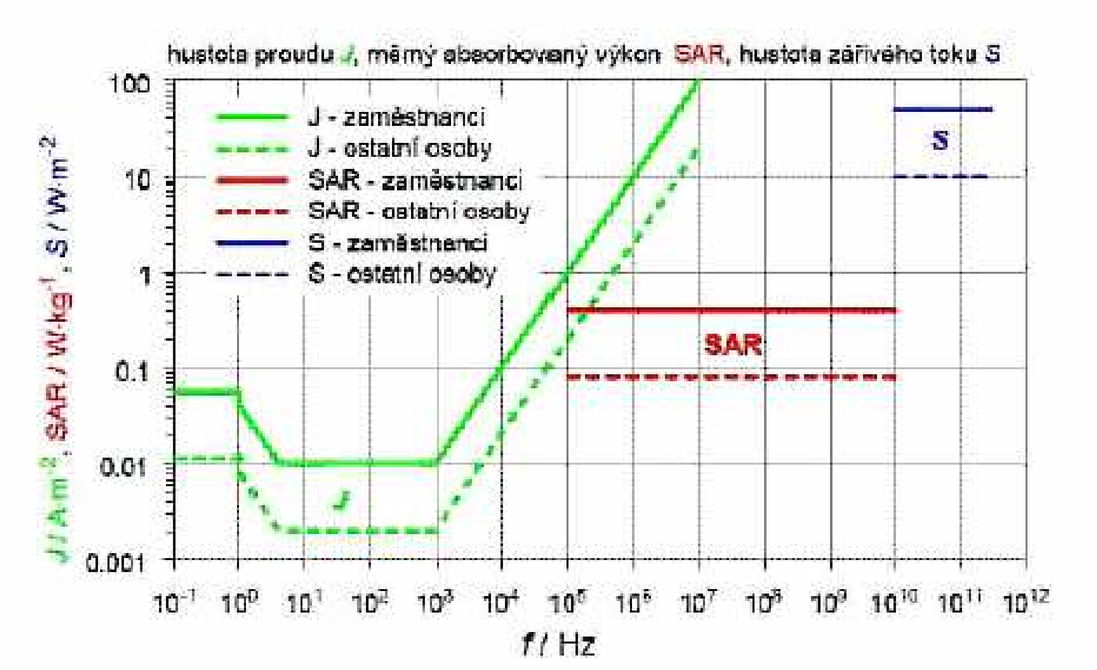
Rozdílné hodnoty pro zaměstnance a pro ostatní osoby jsou z toho důvodu, že mezi ostatními osobami mohou být lidé neduživý, osoby s poškozenou termoregulací

nebo slabým imunitním systémem. Nejvyšší přípustné hodnoty jsou stanoveny hluboko pod prahem, možné škodlivost elektromagnetického záření na lidský organismus.

Nejvyšší přípustné hodnoty platí pro časově neomezenou expozici. Způsob, jak se uplatňuje doba expozice, se podstatně liší podle toho, jde-li o tepelné nebo neteplené působení. V intervalu frekvencí 100 kHz - 10 GHz se hodnotí tepelné působení pole, tělesná teplota ovšem nestoupne po začátku expozice hned. Roste poměrně pomalu, přibližně po dobu 6 minut, po této době se růst zastaví. Nejvyšší přípustná hodnota pro měrný absorbovaný výkon SAR je stanovena, tak že při jejím dodržení je zvýšení tělesné teploty naprosto bezvýznamné.

Při expozici kratší než 6 minut se stanovený nejvyšší přípustný měrný absorbovaný výkon zvyšuje tak, aby jeho součin s dobou expozice byl stejný jako pro dobu expozice rovnou šesti minutám. U expozice kratší než 6 minut se
u tepelného působení elektromagnetického záření posuzuje velikost dávky ozáření H. [1]

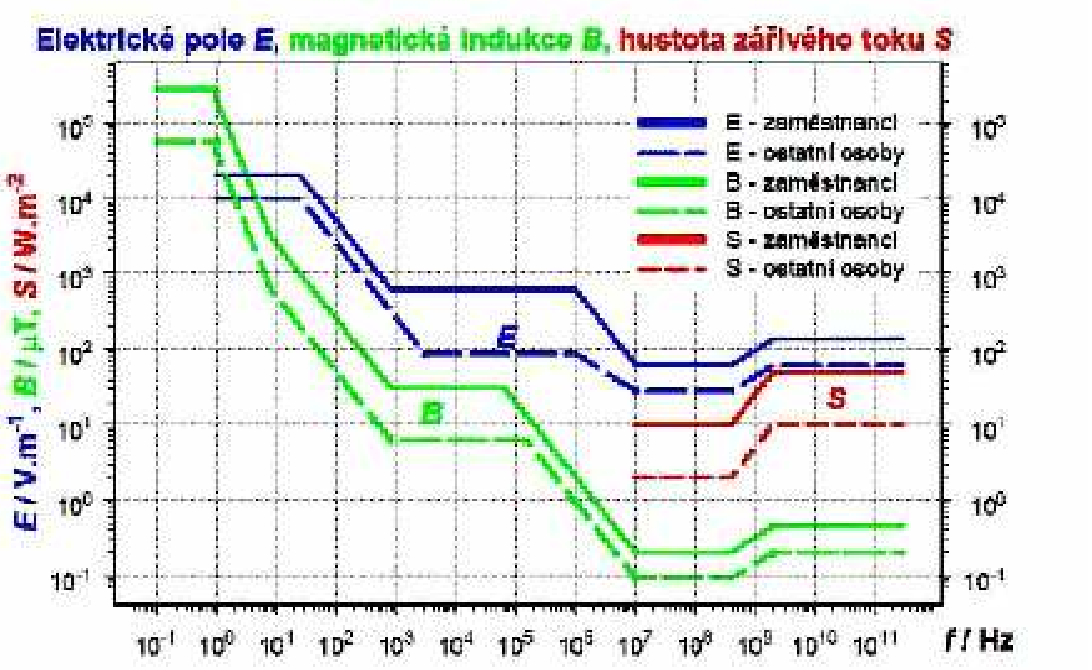
Obr. č. 3.1: Nejvyšší přípustné hodnoty neionizujícího záření [1]



3.4 REFERENČNÍ ÚROVNĚ NEIONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

Obrázek č. 3.2 zobrazuje referenční hodnoty pro magnetickou indukci B, intenzitu elektrického pole E a hustotu zářivého toku S – tedy netepelné působení elektromagnetického záření. Indukovaný elektrický proud, který se začíná uplatňovat u frekvencí nižších než 10 MHz, působí na nervovou soustavu prakticky okamžitě a stanovená nejvyšší přípustná hodnota nesmí být v žádném okamžiku překročena. Zmírnění (zvýšení) nejvyšší přípustné hodnoty pro hustotu indukovaného elektrického proudu pro frekvence nižší než 1 kHz souvisí s poklesem fyziologické účinnosti stimulace nervové soustavy elektrickým proudem, která trvá velmi krátkou dobu, nebo jehož směr se v těle rychle mění. Referenční hodnoty jsou určeny tak, aby při jejich nepřekročení nemohly být za žádných okolností překročeny nejvyšší přípustné hodnoty. Tento způsob hodnocení expozice umožňuje bez náročných výpočtů nebo měření rychle rozhodnout o nepřekročení nejvyšších přípustných hodnot, tam kde je zřejmé, že nejsou překročeny referenční hodnoty. Dále dovoluje posuzovat i složitější situace a to například při hodnocení expozice při používání mobilních telefonů, nebo při hodnocení expozice osoby nacházející se v silně nehomogenním magnetickém poli se složitým časovým průběhem [1].

Obr. č. 3.2: Referenční úrovně neionizujícího záření. [1]



3.5 ZDRAVOTNÍ RIZIKA PŘI EXPOZICI ČLOVĚKA ELEKTROMAGNETICKÝM ZÁŘENÍ

Interakce neionizujícího záření s živou tkání závisí na chemicko-fyzikálních vlastnostech organismu, jako jsou rozměry, hmotnost, charakter povrchu (oděvu), charakteru vrstev (kůže, tuk, svalstvo), obsah vody v těle, momentální fyzickou i psychickou kondici. Jednotlivé druhy elektromagnetických záření se od sebe liší svojí frekvencí f, vlnovou délkou λ a energií ε [1].

3.5.1 Biologické účinky elektromagnetického záření v intervalu frekvencí od 10 GHz do 300 GHz (vlnová délka od 3 cm do 1 mm)

Elektromagnetické neionizující záření s vlnovou délkou kolem 1 mm působí na člověka ohříváním povrchu těla, které by při dostatečné intenzitě vyvolalo na kůži pocit tepla. Záření je účinně absorbováno v povrchové vrstvě kůže nebo oka [1].

Nejvyšší přípustná hodnota je stanovena pro hustotu zářivého toku, a to na 50 $W.m^{-2}$ pro zaměstnance a 10 $W.m^{-2}$ pro ostatní osoby. Záření o těchto frekvencích je používáno v datové komunikaci a radarech. Je známo, že pokud se člověk nachází v blízkosti radaru, a zasáhne ho radarový impuls, slyší krátké ostré lupnutí. Tento sluchový vjem je vyvolán v důsledku velmi rychlého, ale nepatrného ohřátí hlavy, které vyvolá zvukovou vlnu, která podráždí sluchové receptory. Nejvyšší přípustné pro expozici osob jsou však stanoveny tak, aby k tomuto zvukovému efektu nedocházelo [1].

3.5.2 Biologické účinky elektromagnetického záření v intervalu frekvencí od 10 MHz do 10 GHz (vlnová délka od 30 m do 3 cm)

Elektromagnetické záření v této oblasti patří z hlediska možného nepříznivého vlivu na zdraví k nejvíce sledovaným. Rozhodně k tomu přispěly obavy z rostoucího počtu zdrojů vysokofrekvenčních elektromagnetických záření v a posledních deseti letech i z masového používání mobilních telefonů.

Přes velkou snahu výzkumných pracovníků se nepodařilo prokázat nepříznivé působení dlouhodobé expozice velmi slabým vysokofrekvenčním zářením Tedy jediné co můžeme ze zdravotního hlediska hodnotit u záření tohoto typu je ohřívání lidské tkáně.

Pokusy se zjistilo, že tělesná teplota se při stálém dopadu dostatečně silné elektromagnetické vlny na tělo zvyšuje, přibližně po 6 minutách však stoupat přestane a ustálí se na velice nepatrně vyšší hodnotě. Nejvyšší přípustná hodnota pro absorbovaný výkon v jednom kilogramu tkáně – SAR, byla pro zaměstnance stanovena tak, aby se při působení záření na celé tělo tělesná teplota při mírné fyzické námaze nezvýšila víc než o 0,1 °C.

Ve frekvenčním intervalu od 10 MHz do 10 GHz je nevyšší přípustný měrný výkon absorbovaný v celém těle roven 0,4 $W.kg^{-1}$ pro zaměstnance, pro ostatní osoby je hodnota ještě pětkrát nižší. Působí-li zdroj záření jen na část lidského těla, což je příklad mobilních telefonů, platí pro hygienické posouzení nejvyšší přípustná hodnota pro lokálně absorbovaný výkon a je stanoven na 10 $W.kg^{-1}$ pro zaměstnance a 2 $W.kg^{-1}$ pro ostatní osoby. U mobilních telefonů se však používá pro všechny stejná hodnota a to 2 $W.kg^{-1}$ [1].

3.5.3 Biologické účinky elektromagnetického záření v intervalu frekvencí od 100 kHz do 10 MHz (vlnová délka od 3 km do 30 m)

Při hodnocení expozice se posuzuje současně tepelné i netepelné působení pole, tedy měrný absorbovaný výkon SAR a hustota indukovaných proudů. Žádný z obou vlivů nesmí překročit stanovenou nejvyšší přípustnou hodnotu [1].

3.5.4 Biologické účinky nízkofrekvenčních záření (frekvence nižší než 100 kHz)

Při expozici záření s frekvencí nižší než 100 kHz se hodnotí již jen působení indukovaného elektrického proudu na nervovou soustavu. To se totiž u nízkých frekvencí projeví nepříznivě při daleko nižším proudu. V tabulce č. 3.1 jsou shrnuty projevy zjištěné při různých hustotách elektrického proudu s velmi nízkou frekvencí (4Hz – 1kHz) Nejvyšší přípustné hodnoty pro zaměstnance (viz obrázek č.3.1) jsou stanoveny tak, aby byly bezpečné pod prahem možného zdravotního rizika. Pro ostatní osoby je nejvyšší přípustná hodnota opět pětkrát nižší.

Pro působení indukovaných elektrických proudů na nervovou soustavu je podstatné, že pro frekvence vyšší než jeden kHz jejich účinnost s rostoucí frekvencí prudce klesá [1].

Tab. č. 3.1: Projevy působení elektrického proudu indukované v těle člověka [1]

Proudová hustota [A.m^{-1}]	Projevy
<0,001	Nebyly zjištěny žádné projevy
0,001-0,01	Nepatrné biologické projevy
0,01-0,1	možnost ovlivnění nervové soustavy, snazší hojení zlomenin
0,1-1	zjištěny změny v dráždivosti nervového systému, práh stimulace, možná zdravotní rizika
>1	možné srdeční arytmie a fibrilace

4. MĚŘENÍ INDUKOVANÉHO PROUDU V TKÁNÍ

Měření bylo provedeno dne 11.4.2011 v prostorách Zdravotního ústavu v Ústí nad Orlicí pod dohledem odborného pracovníka.

4.1 ZAŘÍZENÍ POUŽITÉ PRO MĚŘENÍ

Souprava: digitální osciloskop Tektronix 3014B, v. č. B028459, frekvenční rozsah 0 Hz-100 MHz s indukční sondou Narda, typ NA_3D, v.č.AL-0019/Y207, převádějící časovou změnu magnetické indukce na elektrické napětí.

Jako měřené objekty jsem vybral vysoušeč vlasů Braun SPI 2200 a nabíjecí adaptér, parametry jsou uvedeny v níže.

4.2 PARAMETRY MĚŘENÝCH OBJEKTŮ:

Vysoušeč vlasů SPI 2 200 – příkon 2 200 W

Nabíjecí adaptér – 9 V; 180 mA; 1,6 V-A

4.3 PODMÍNKY MĚŘENÍ

Měření probíhalo při teplotě 22,3 °C, vzdušná vlhkost a tlak vzduchu měření magnetické indukce žádným způsobem neovlivňuje, proto nejsou uváděny.

4.4 CÍL, ROZBOR, POSTUP A MĚŘENÍ

Cílem měření bylo zjistit, zda indukovaná proudová hustota a magnetická indukce nepřesahuje nejvyšší povolené hodnoty (podle nařízení vlády č. 1/2008 Sb.). Vzhledem k charakteru měřených objektů jsem předpokládal, že nejvyšší přípustné hodnoty nebudou v žádném případě překročeny. Hodnoty proudové hustoty

a magnetické indukce by se měly pohybovat cca v jednotkách procent těchto nejvyšších povolených hodnot.

Měření bylo prováděno pomocí digitálního tří kanálového osciloskopu Tektronix 3 014, na jehož 3 kanály byla připojena sonda Narda - NA_3D. Tento typ sondy je třídimenzionální (obsahuje 3 na sebe kolmé měřící cívky), proto nehraje roli, jak je sonda natočena k měřenému objektu. Při jakémkoliv natočení sondy zůstává celková hodnota magnetické indukce stejná. Pokud by byla použita jednorozměrná sonda (s jednou 1 měřící cívkou), byť daleko přesnější, změnou natočení sondy vůči měřenému objektu by vznikly značné nepřesnosti oproti měření s výše uvedenou sondou.

Měření magnetické indukce jak vysoušeče vlasů, tak nabíjecího adaptéru bylo prováděno v dostatečné vzdálenost od ostatních spotřebičů a to kvůli předpokladu, že měřené hodnoty budou hluboko pod prahem maximálních dovolených limitů (podle nařízení vlády č. 1/2008 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením), proto by hrozilo ovlivnění měřených výsledků magnetickými poli ostatního vybavení laboratoře. Vysoušeč vlasů byl během měření zapnutý na maximální výkon
a nabíjecí adaptér byl nezatížený a zapnutý v elektrické zásuvce.

Každý objekt byl změřen dvěma způsoby:

1. Sonda Narda – NA_3D se přímo dotýkala horní části měřeného objektu.
2. Sonda Narda – NA_3D byla ve vzdálenosti 0,22 m od měřeného objektu (0,22 m proto, že tato hodnota byla zvolena jako průměrný poloměr lidského trupu).

Časové změny magnetické indukce byly převedeny na elektrické napětí. Toto napětí bylo v závislosti na čase zobrazováno na obrazovce osciloskopu a uloženo pro další zpracování.

Parametry měření:

- Filtr pro zaměstnance – 0-300 Hz (dle nařízení vlády č.1/2008 Sb.).
- Filtr pro ostatní osoby – žádný (dle nařízení vlády č.1/2008 Sb.).
- Poloměr exponované části těla – 0,22 m (trup).
- Vodivost lidské tkáně – 0,2 $S.m^{-2}$.

4.5 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

Z uložených časových průběhů elektrického napětí byly pomocí softwaru, který je používán pro zpracování měření Zdravotním ústavem vypočtené časové průběhy: magnetické indukce B (rovnice 2.1), indukované proudové hustoty J (rovnice 2.5). Tyto průběhy jsou dále rozloženy Furierovou transformací na jednotlivé harmonické - aby je bylo možné pro jednotlivé frekvence porovnat s nařízením vlády č. 1/2008 Sb. zvlášť, protože toto nařízení je dáno pro jednotlivé frekvence.

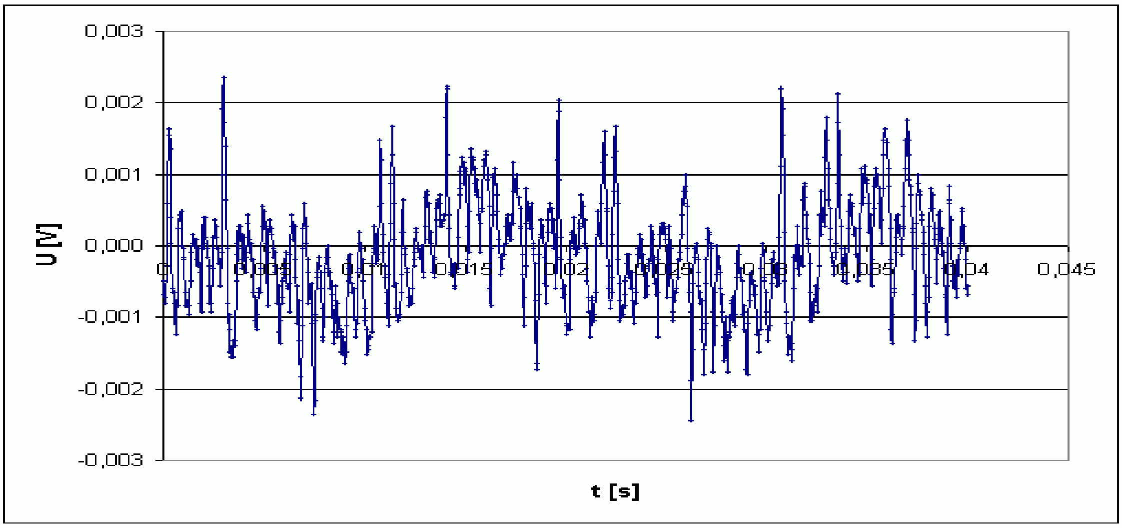
4.6 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

4.6.1 Měření č. 1

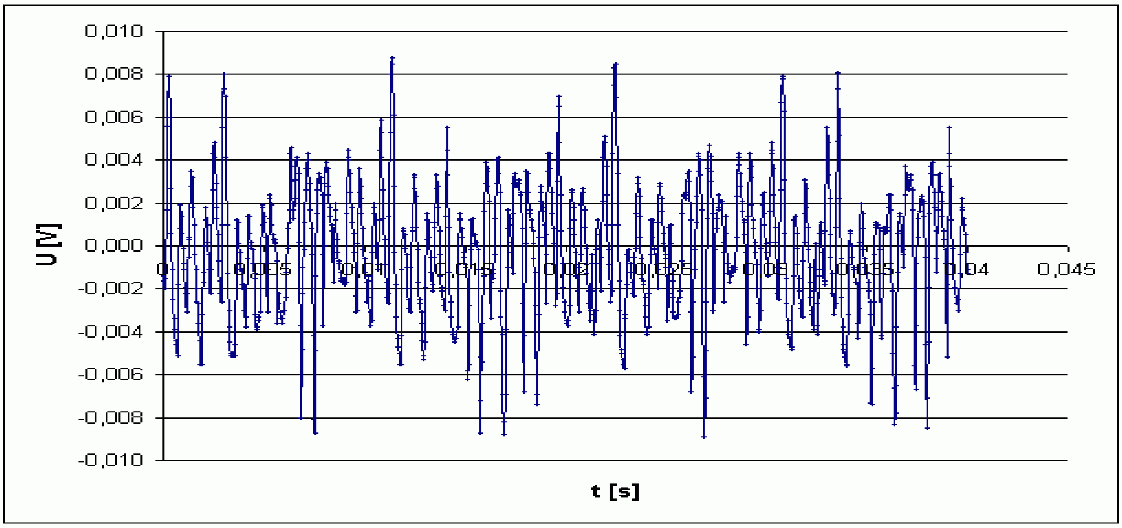
Měření bylo provedeno, tak že střed měřící sondy byla 0,22 m od horní strany měřeného vysoušeče vlasů.

Následující grafy č. 4.1, 4.2 a 4.3 zobrazují časový průběh napětí pro každou měřící cívku Sondy Narda – NA_3D zvlášť.

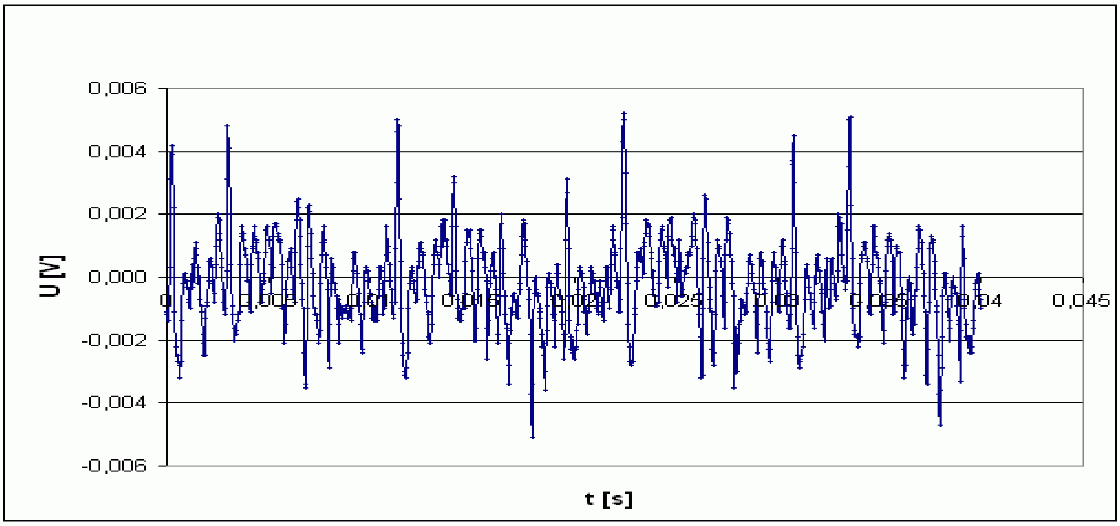
Graf č. 4.1: Závislost napětí na čase pro měřící cívku č. 1



Graf č. 4.2: Závislost napětí na čase pro měřící cívku č. 2

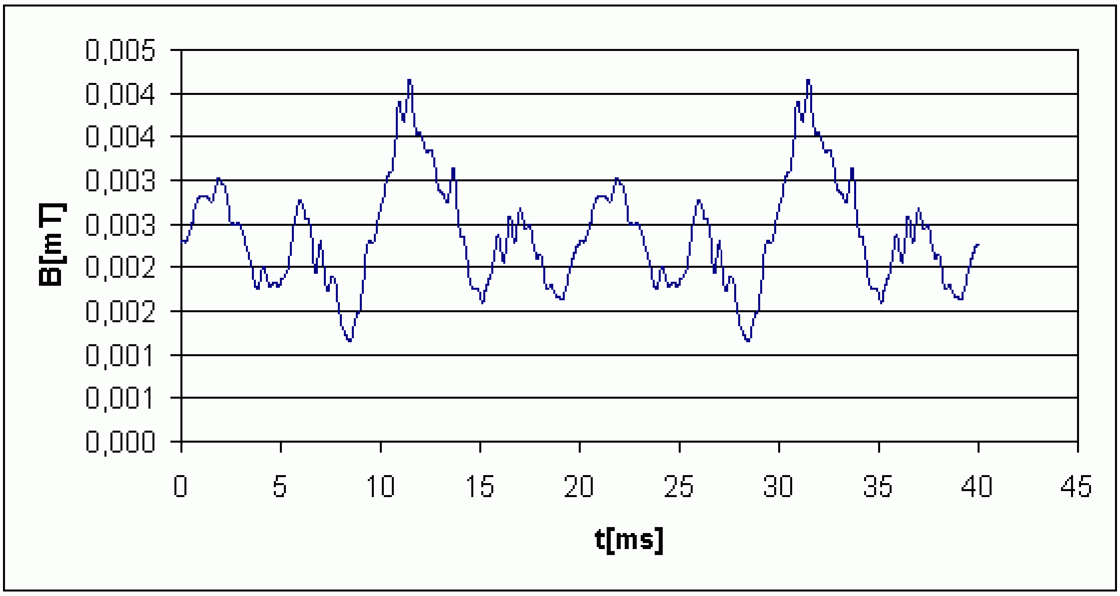


Graf č. 4.3: Závislost napětí na čase pro měřící cívku č. 3



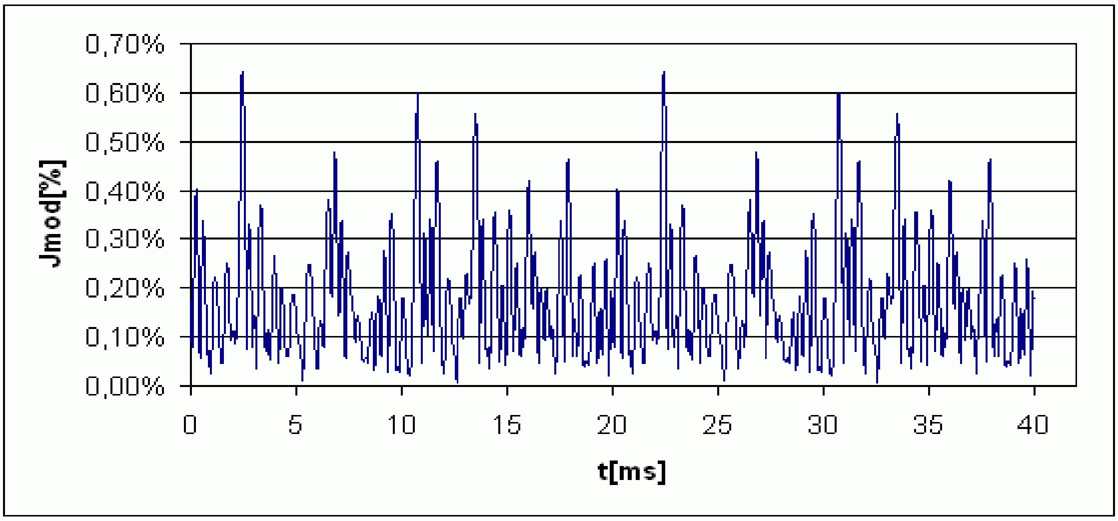
Níže uvedený graf č. 4.4 zobrazuje závislost magnetické indukce na čase.

Graf č. 4.4: Závislost magnetické indukce na čase

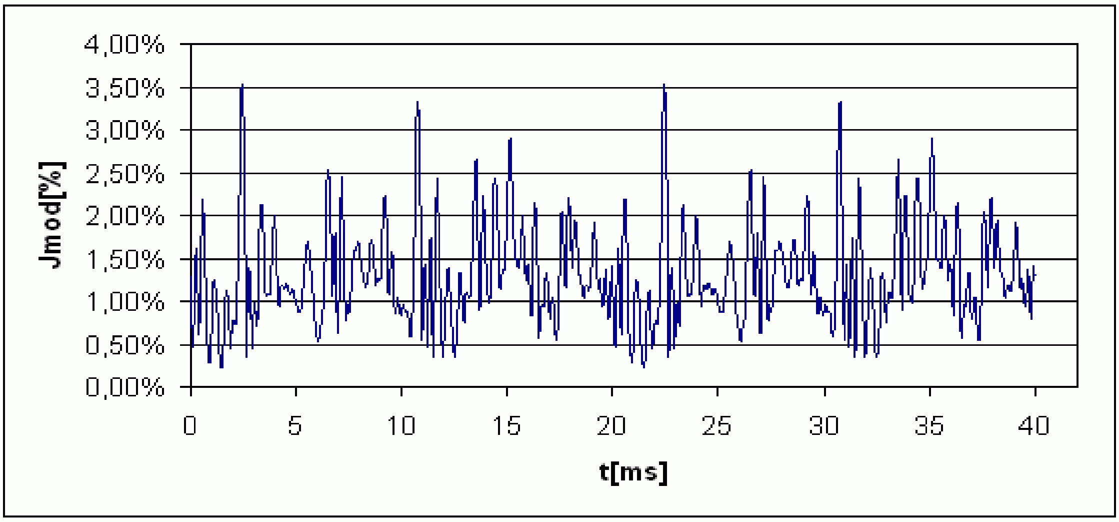


Níže uvedené grafy č. 4.5 a 4.6 zobrazují procentuelní hodnoty z NPH indukované proudové hustoty v lidské tkáni vyvíjející se v čase. Pro zaměstnance dosahuje maximální hodnota 0,64 % z NPH. Dle nařízení vlády č. 1/2008 Sb. není pro zaměstnance stanoven limit 0-300 Hz, proto tyto hodnoty do výpočtu nejsou zohledněny. Tento limit bude pravděpodobně znovu stanoven koncem roku 2011. Pro ostatní osoby maximum dosahuje 3,54 % z NPH.

Graf č. 4.5: Indukovaná proudová hustota jako procento z NPH – zaměstnanci



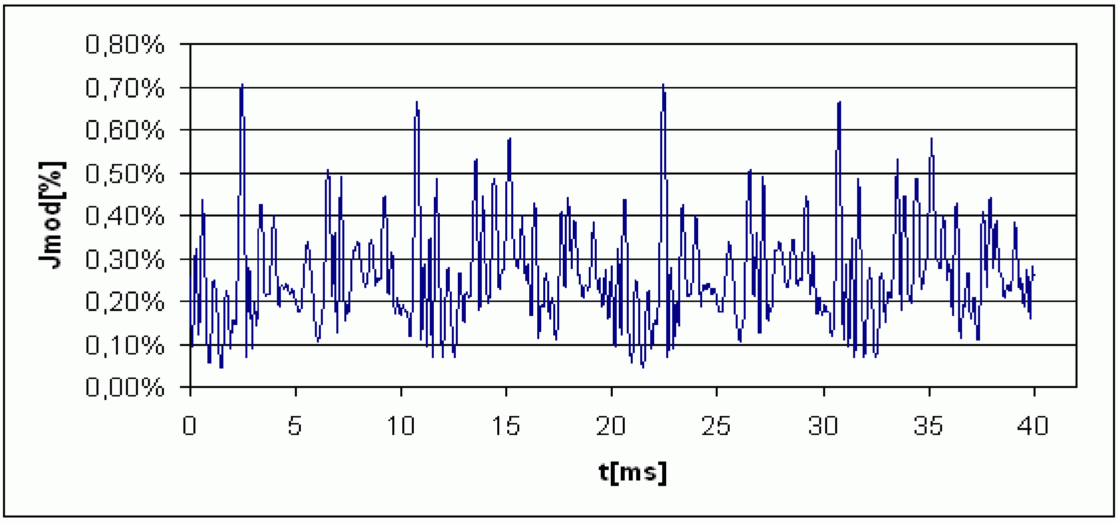
Graf č. 4.6: Indukovaná proudová hustota jako procento z NPH – ostatní osoby



Níže uvedený graf č. 4.7 zobrazuje pro porovnání procentuelní hodnoty z NPH indukované proudové hustoty v lidské tkáni vyvíjejí se v čase, když by byl pro zaměstnance stanovený limit i v intervalu frekvencí 0-300 Hz.

Z Grafů č. 4.4 a č. 4.6 je patrné, že procentuelní hodnota se zvýšila z hodnoty 0,64 % na 0,71 %. Tedy o 0,07%.

Graf č. 4.7: Indukovaná proudová hustota jako procento z NPH – zaměstnanci
(limit je stanoven i v intervalu 0-300 Hz)

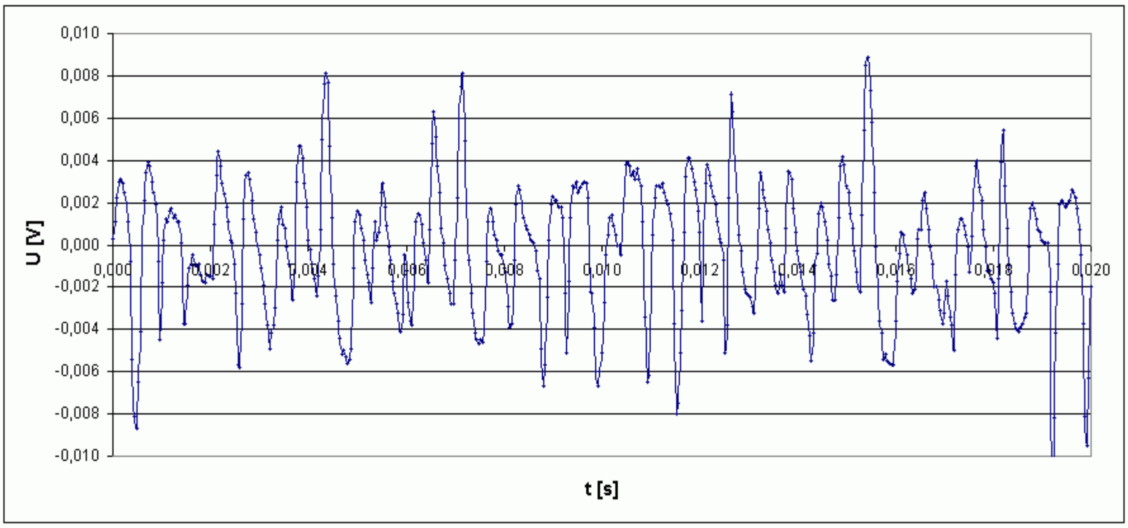


4.7 MĚŘENÍ Č. 2

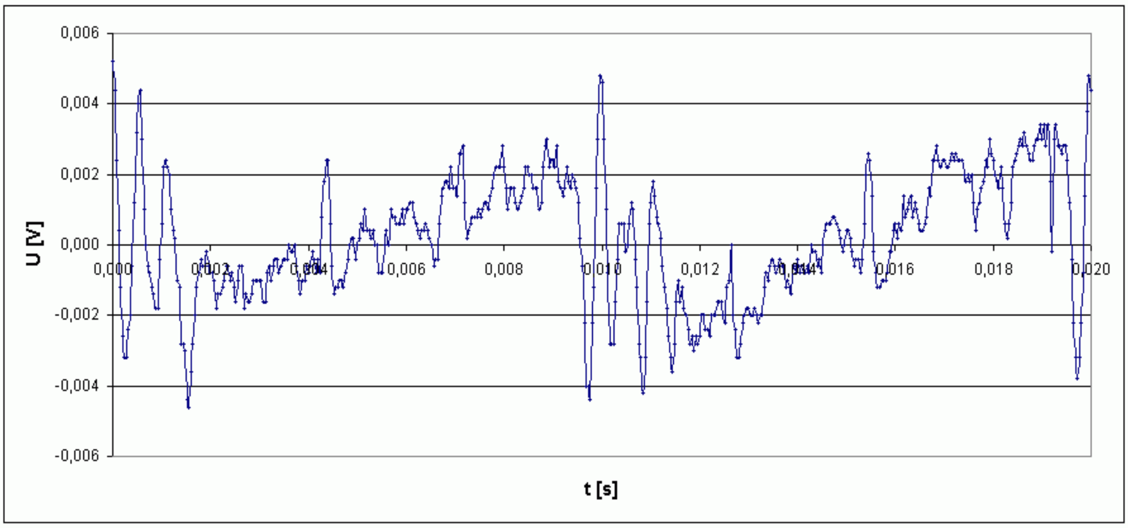
Měření bylo provedeno tak, že se měřící sonda dotýkala horní strany měřeného vysoušeče vlasů.

Následující grafy č. 4.8, 4.9 a 4.10 zobrazují časový průběh napětí pro každou měřící cívku Sondy Narda – NA_3D zvlášť:

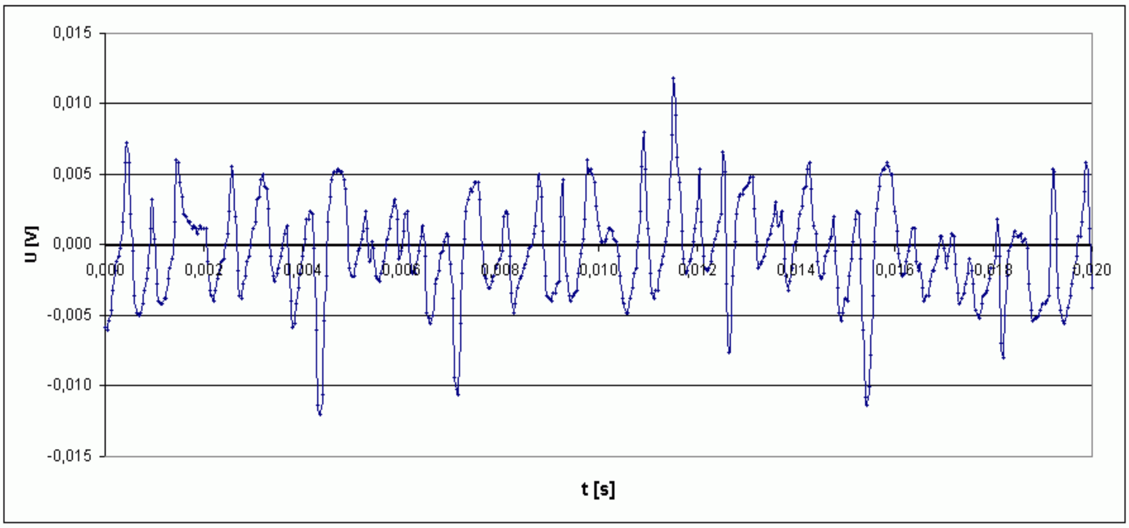
Graf č. 4.8: Závislost napětí na čase pro měřící cívku č. 1



Graf č. 4.9: Závislost napětí na čase pro měřící cívku č. 2

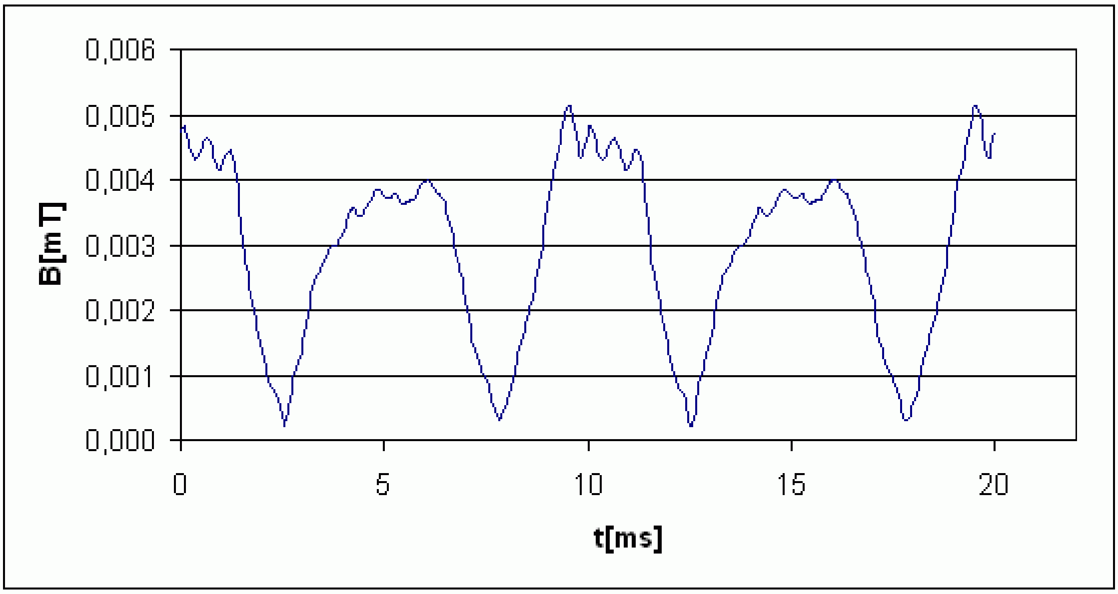


Graf č. 4.10: Závislost napětí na čase pro měřící cívku č. 3



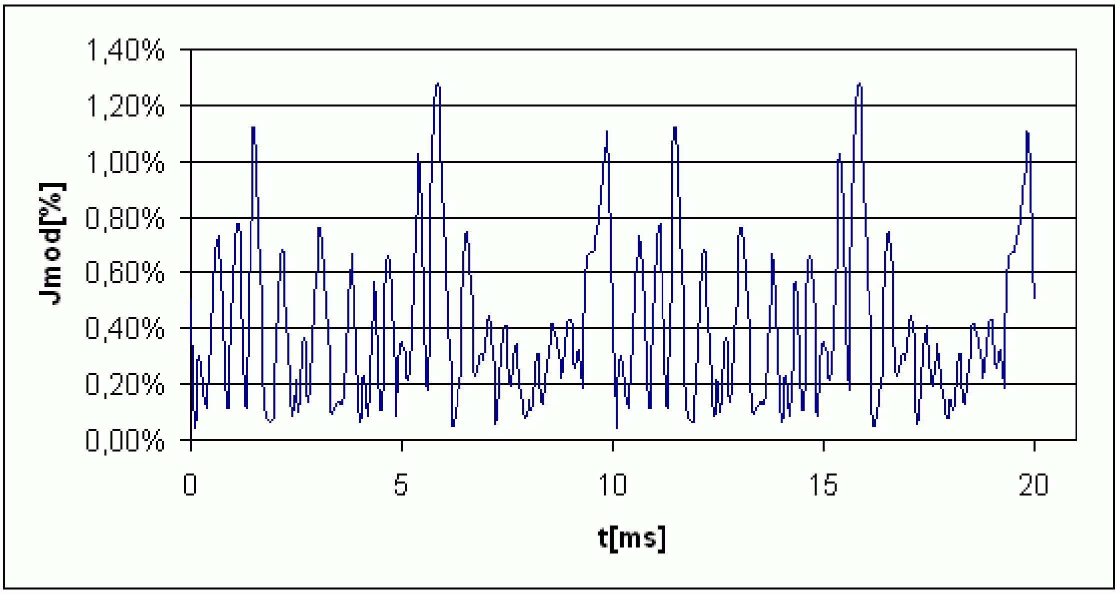
Níže uvedený graf č. 4.11 zobrazuje závislost magnetické indukce na čase.

Graf č. 4.11: Závislost magnetické indukce na čase

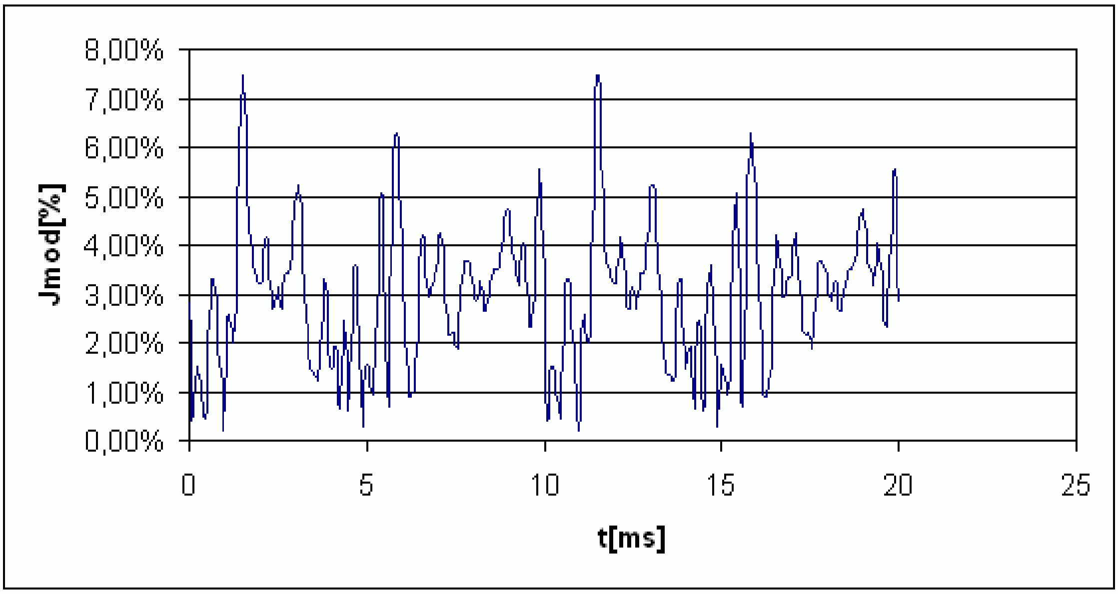


Níže uvedené grafy č. 4.12 a 4.13 zobrazují procenta z NPH indukované proudové hustoty v lidské tkáni vyvíjející se v čase podle nařízení vlády č. 1/2008 Sb. Maximální hodnota dosahuje 1,28 % pro zaměstnance a 7,48 % pro ostatní osoby.

Graf č. 4.12: Indukovaná proudová hustota jako procento z NPH - zaměstnanci



Graf č. 4. 13: Indukovaná proudová hustota jako procento z NPH - ostatní osoby

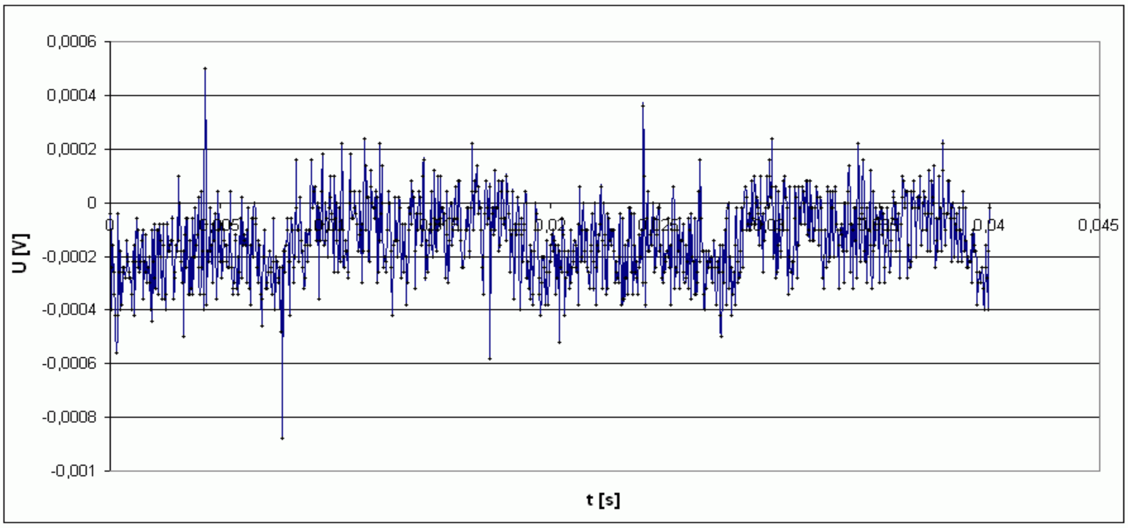


4.8 MĚŘENÍ Č. 3

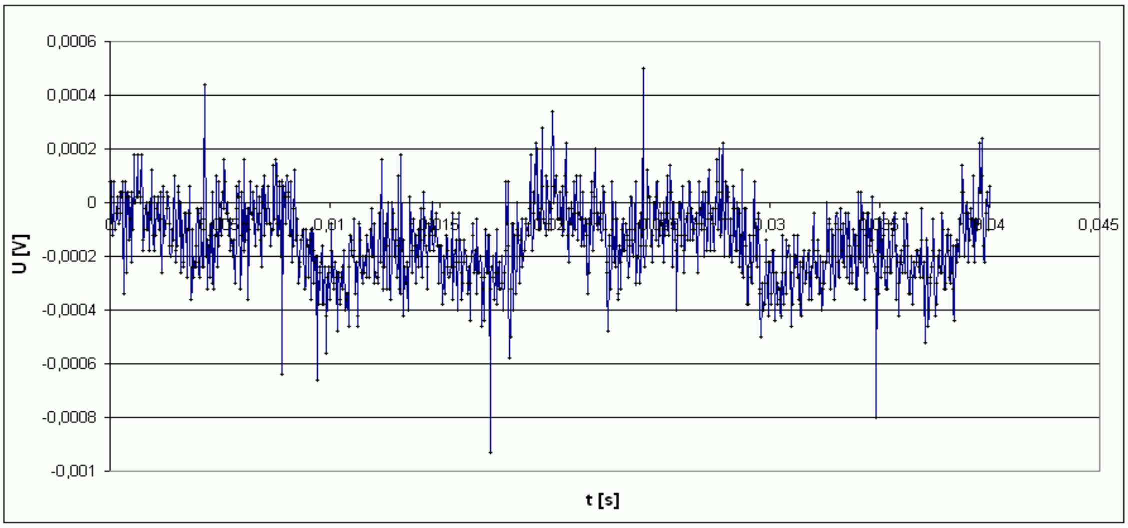
Měření bylo provedeno, tak že střed měřící sondy byla 0,22 m od horní strany měřeného nabíjecího adaptéru.

Následující grafy č. 4.14, 4.15 a 4.16 zobrazují závislost napětí na čase, pro každou měřící cívku Sondy Narda – NA_3D zvlášť:

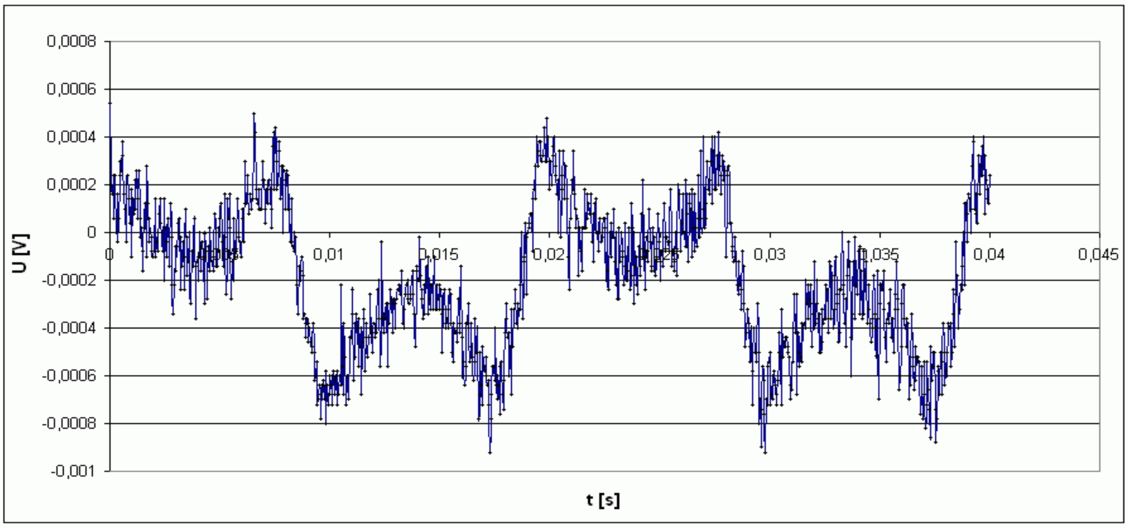
Graf č. 4.14: Závislost napětí na čase pro měřící cívku č. 1



Graf č. 4.15: Závislost napětí na čase pro měřící cívku č. 2

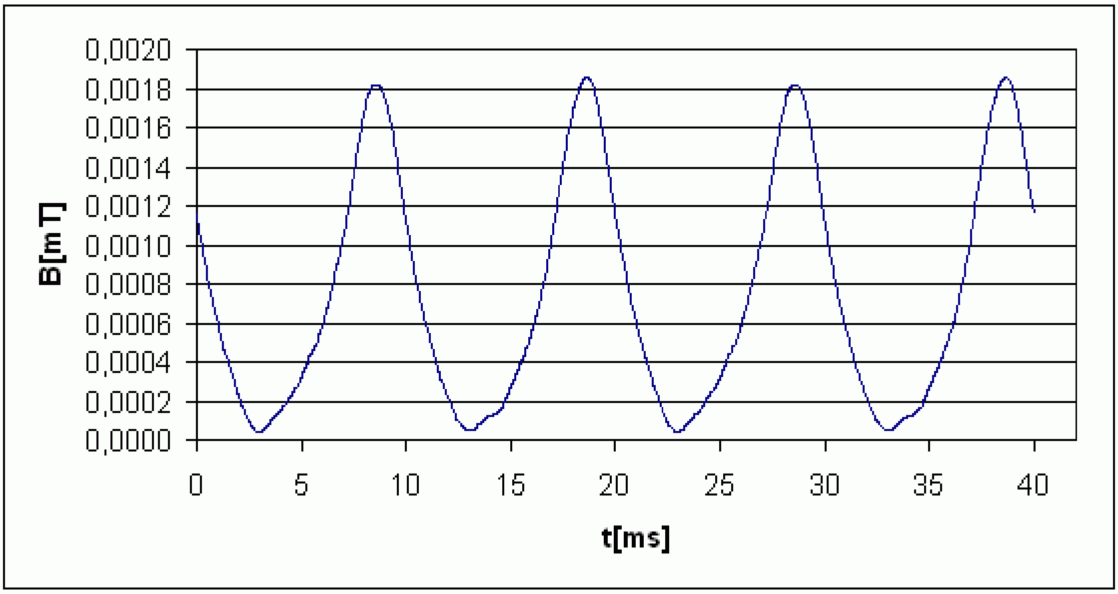


Graf č. 4.16: Závislost napětí na čase pro měřící cívku č. 3



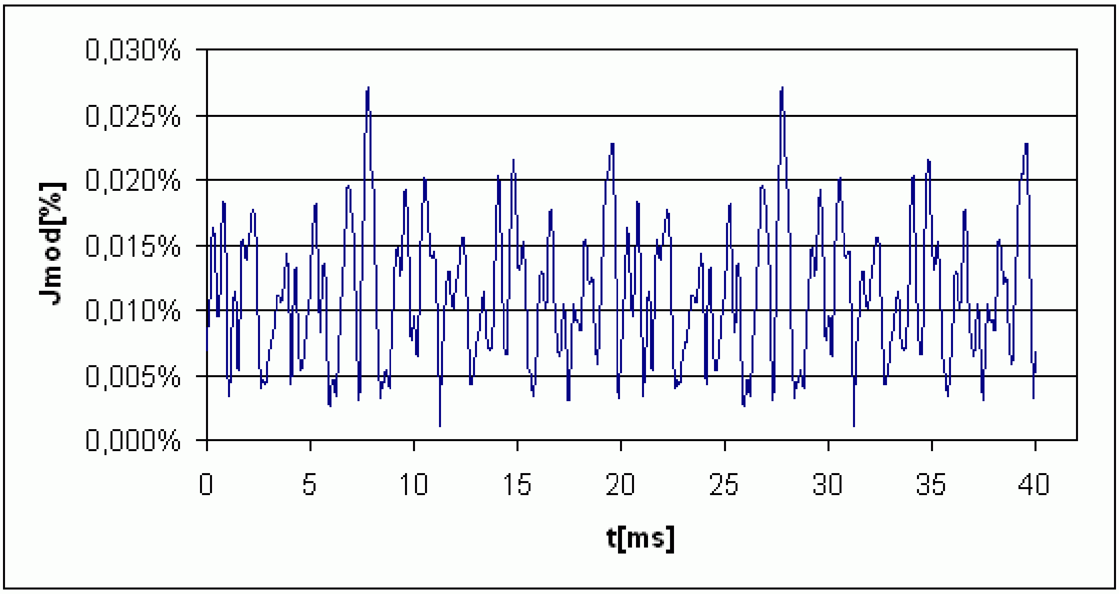
Níže uvedený graf č. 4.17 zobrazuje závislost magnetické indukce na čase.

Graf č. 4.17: Závislost magnetické indukce na čase

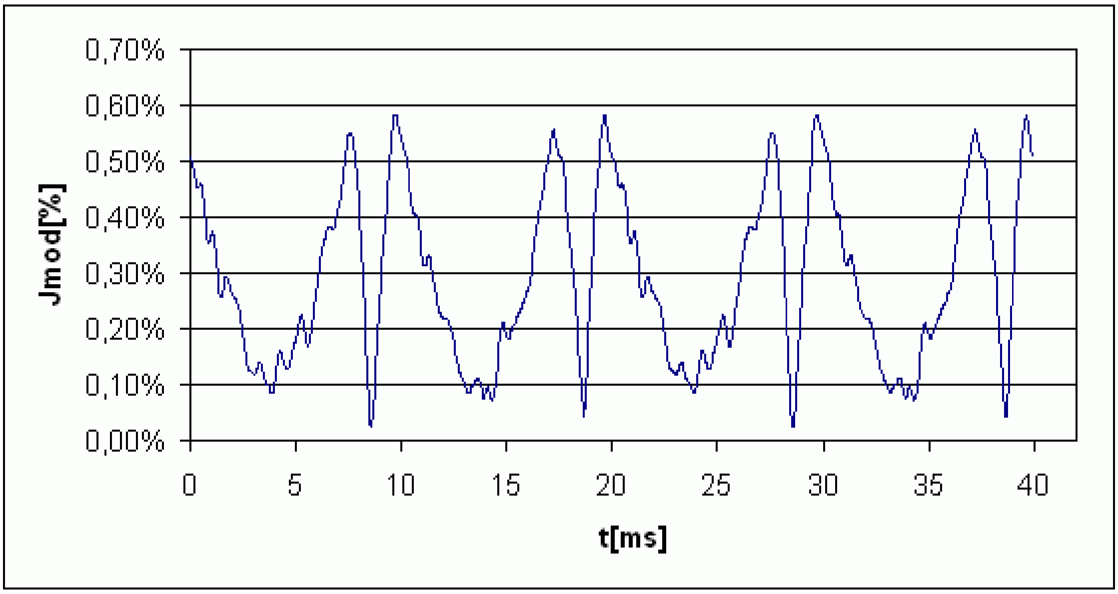


Níže uvedené grafy č. 4.18 a 4.19 zobrazují procenta z NPH indukované proudové hustoty v lidské tkáni vyvíjející se v čase podle nařízení vlády č. 1/2008 Sb. Maximální hodnota dosahuje 0,27 % pro zaměstnance a 0,58 % pro ostatní osoby.

graf č. 4.18: Indukovaná proudová hustota jako procento z NPH – zaměstnanci



graf č. 4.19: Indukovaná proudová hustota jako procento z NPH – ostatní osoby

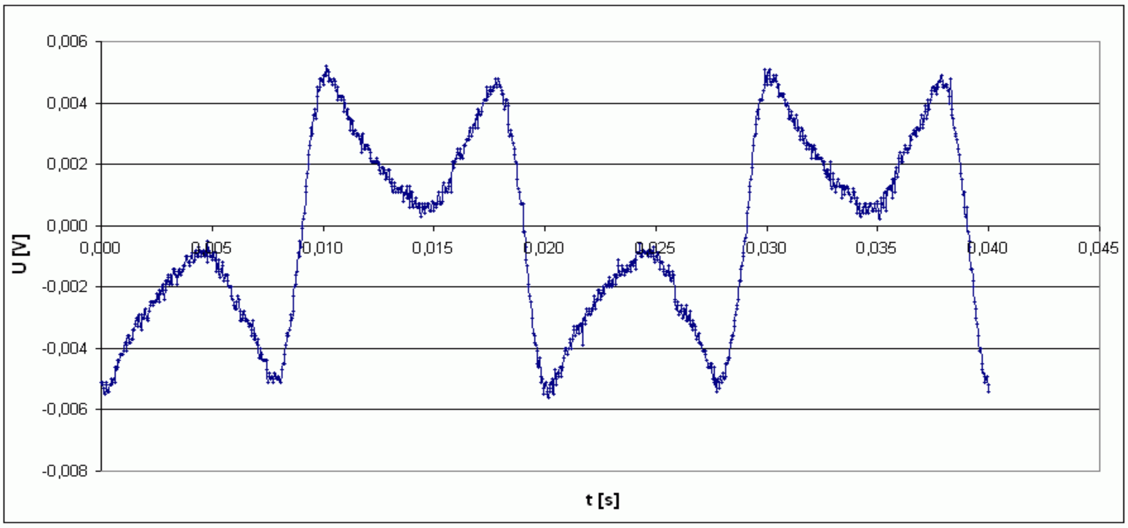


4.9 MĚŘENÍ Č. 4

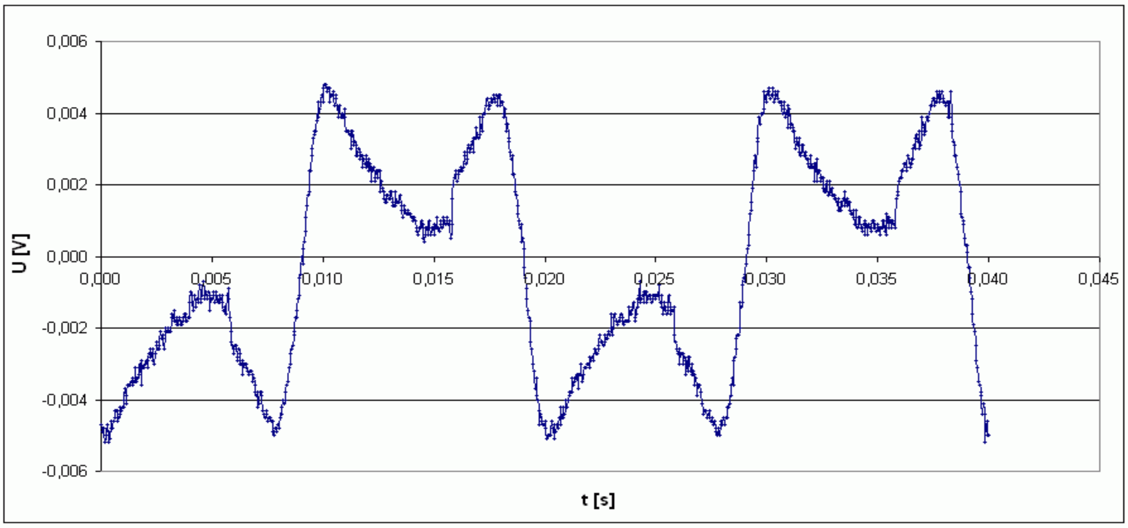
Měření bylo provedeno tak, že se měřící sonda dotýkala horní strany měřeného nabíjecího adaptéru.

Následující grafy č. 4.20, 4.21 a 4.22 zobrazují závislost napětí na čase, pro každou měřící cívku Sondy Narda – NA_3D zvlášť:

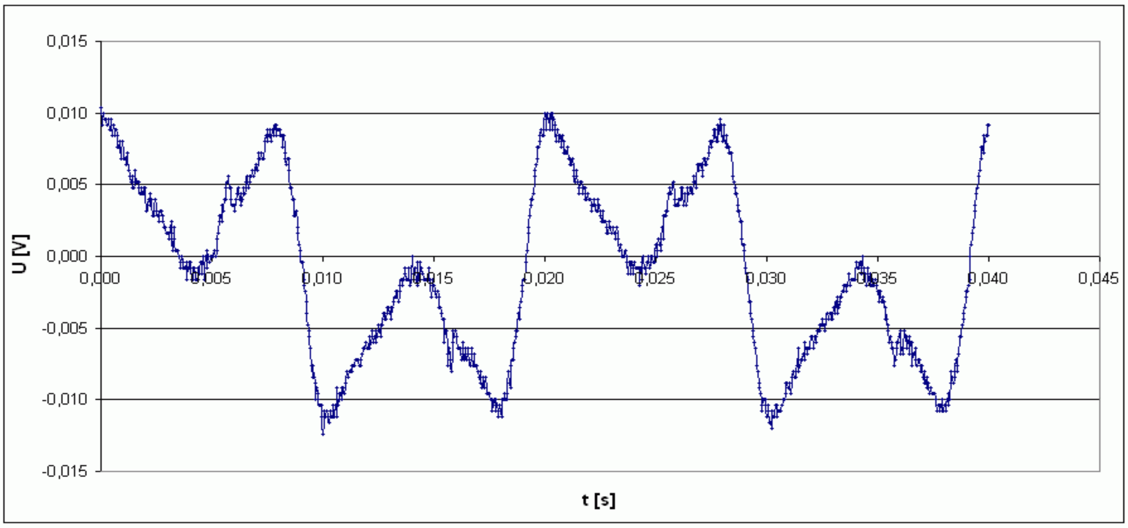
Graf č. 4.20: Závislost napětí na čase pro měřící cívku č. 1



Graf č. 4.21: Závislost napětí na čase pro měřící cívku č. 2

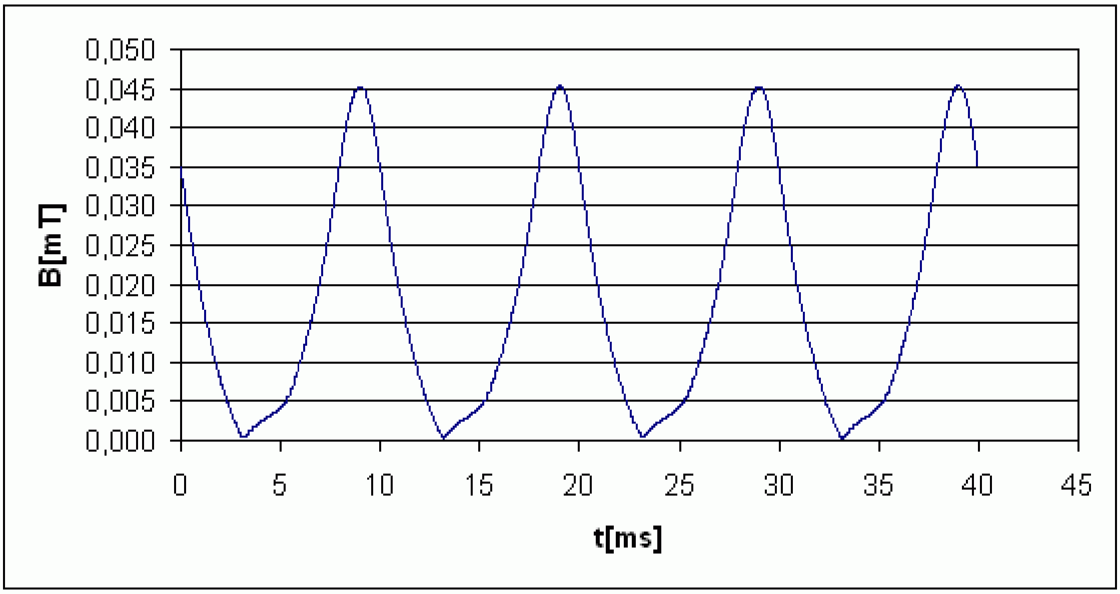


Graf č. 4.22: Závislost napětí na čase pro měřící cívku č. 3



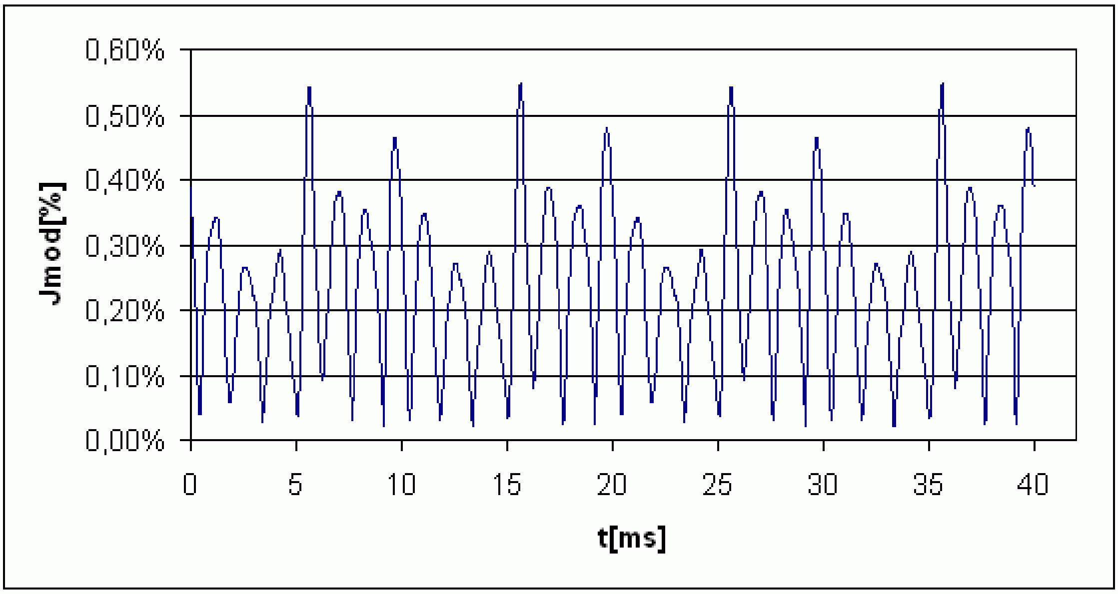
Níže uvedený graf č. 4.23 zobrazuje závislost magnetické indukce na čase.

Graf č. 4.23: Závislost magnetické indukce na čase

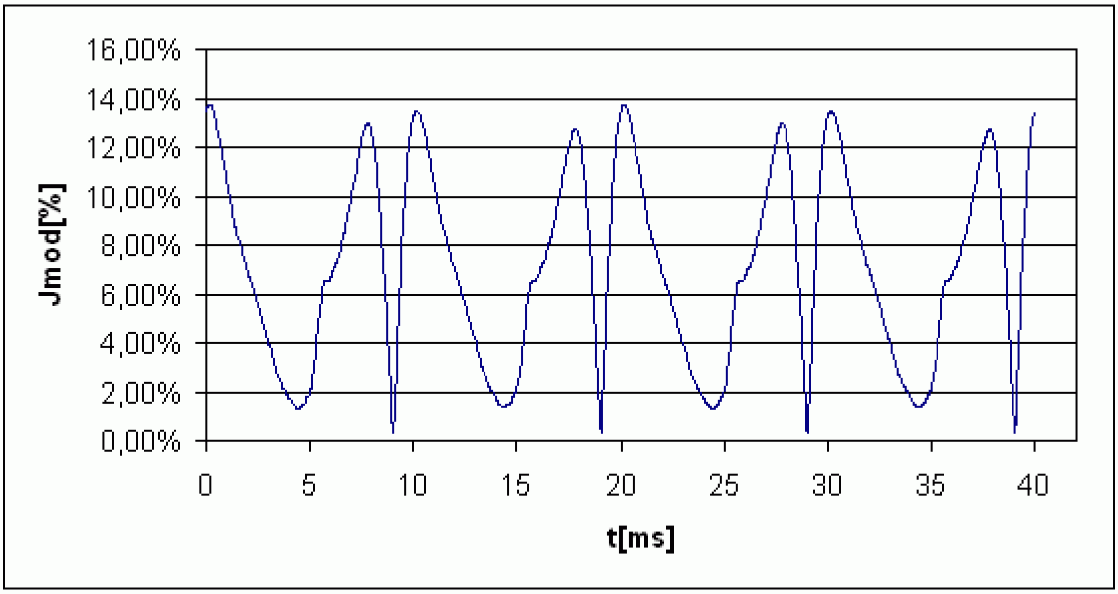


Níže uvedené grafy č. 4.24 a 4.25 zobrazují procenta z NPH indukované proudové hustoty v lidské tkáni vyvíjející se v čase podle nařízení vlády č. 1/2008 Sb. Maximální hodnota dosahuje 0,55 % pro zaměstnance a 13,7 % pro ostatní osoby.

Graf č. 4.24: Indukovaná proudová hustota jako procento z NPH – zaměstnanci



Graf č. 4.25: Indukovaná proudová hustota jako procento z NPH – ostatní osoby

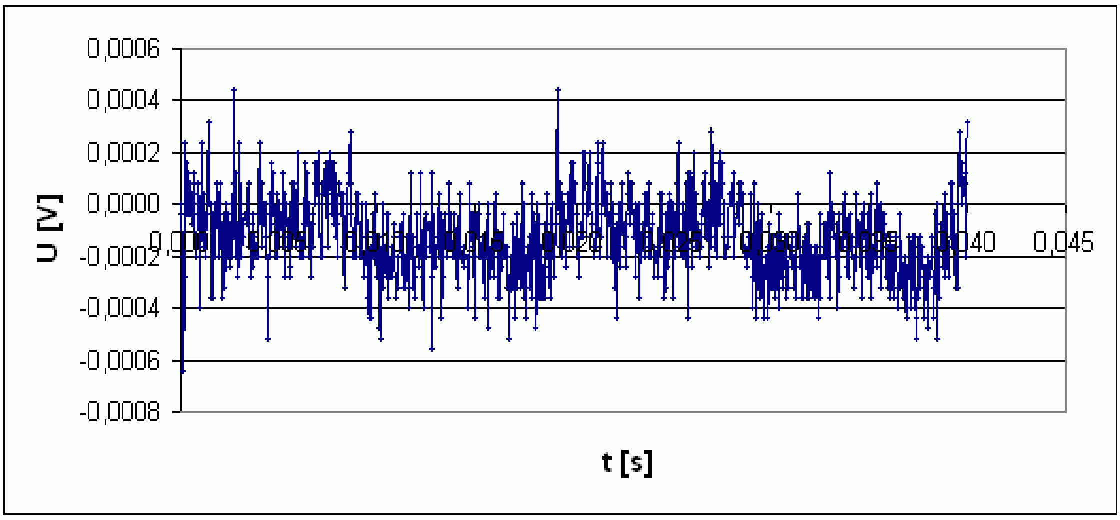


4.10 MĚŘENÍ Č. 5

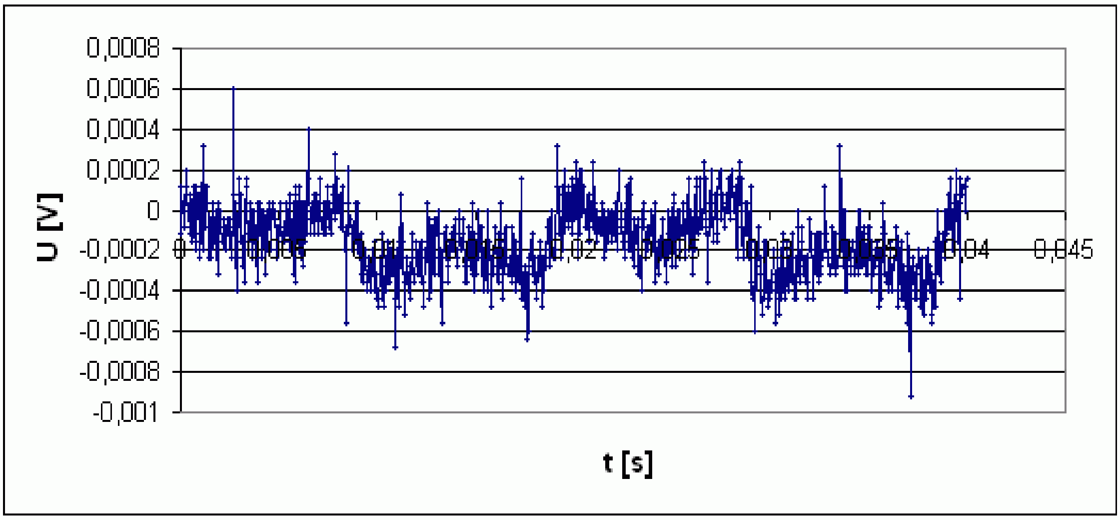
Měření bylo provedeno, tak že střed měřící sondy byla 0,22 m od boční strany měřeného nabíjecího adaptéru.

Následující grafy č. 4.26, 4.27 a 4.28 zobrazují závislost napětí na čase, pro každou měřící cívku Sondy Narda – NA_3D zvlášť:

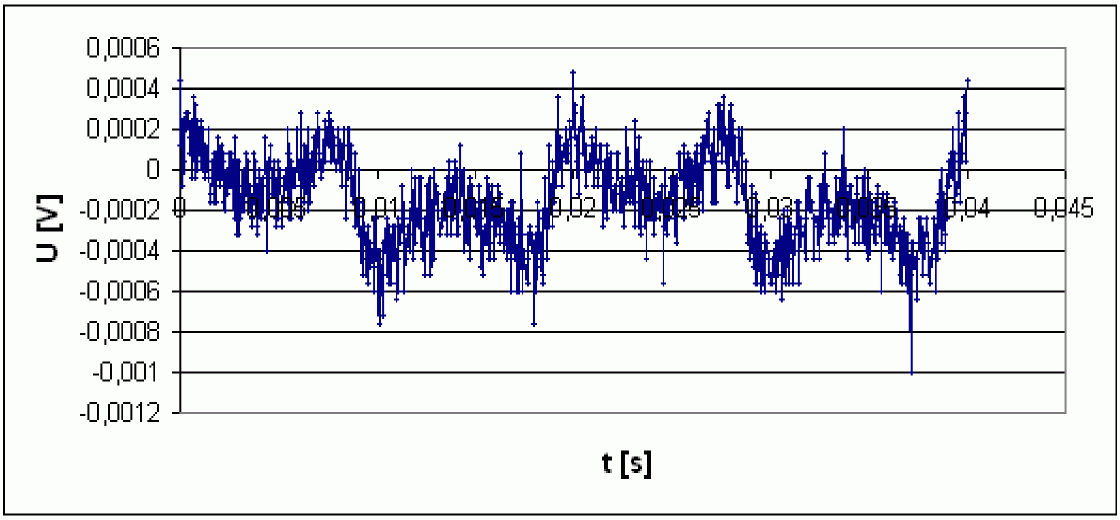
Graf č. 4.26: Závislost napětí na čase pro měřící cívku č. 1



Graf č. 4.27: Závislost napětí na čase pro měřící cívku č. 2

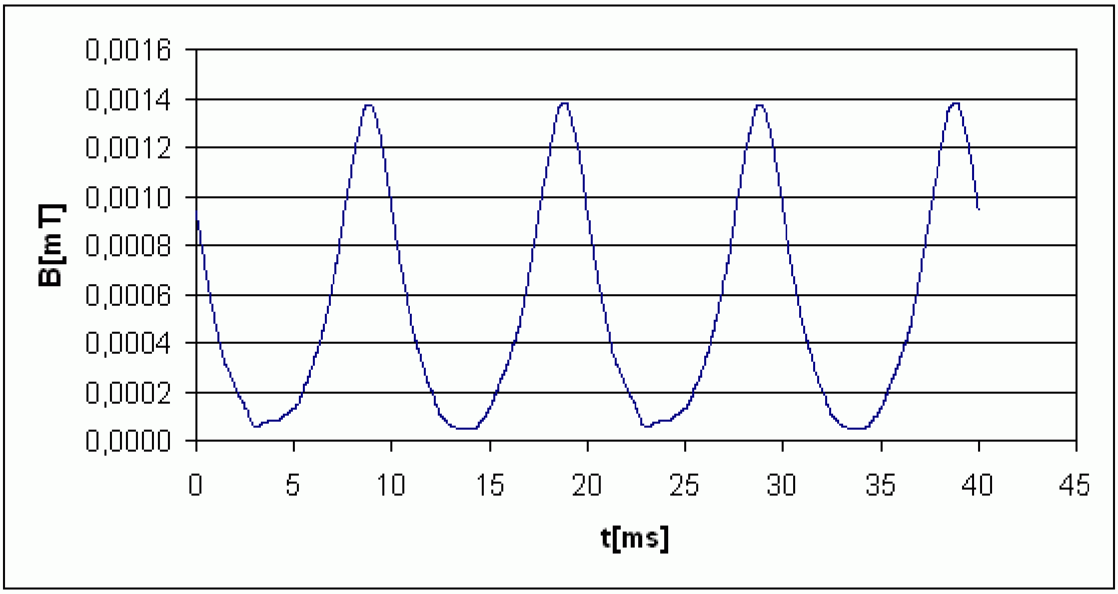


Graf č. 4.28: Závislost napětí na čase pro měřící cívku č. 3



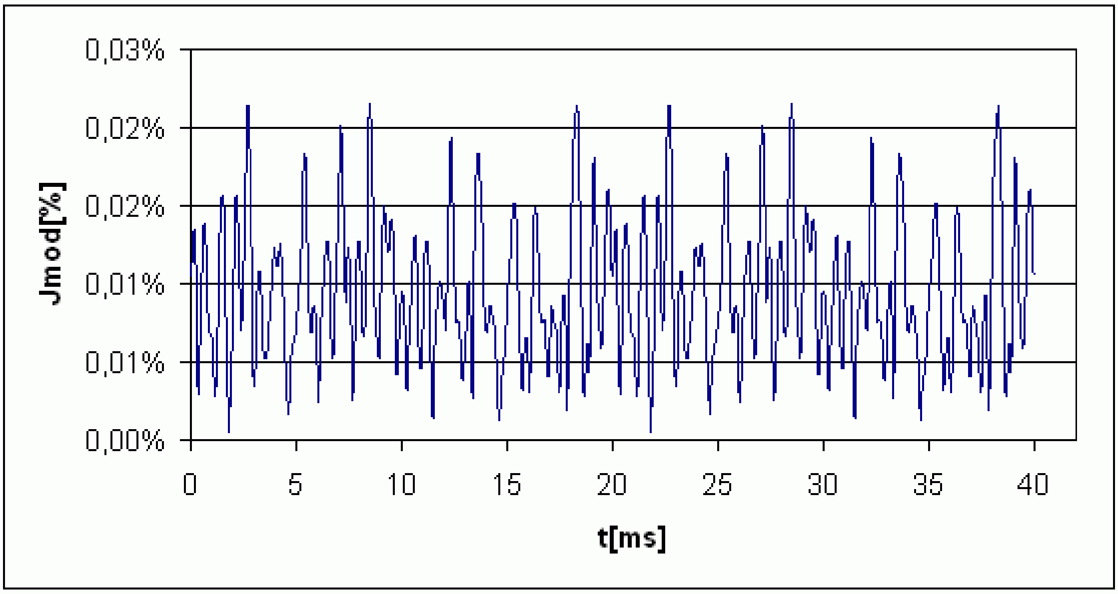
Níže uvedený graf č 4.29 zobrazuje závislost magnetické indukce na čase.

Graf č. 4.29: Závislost magnetické indukce na čase

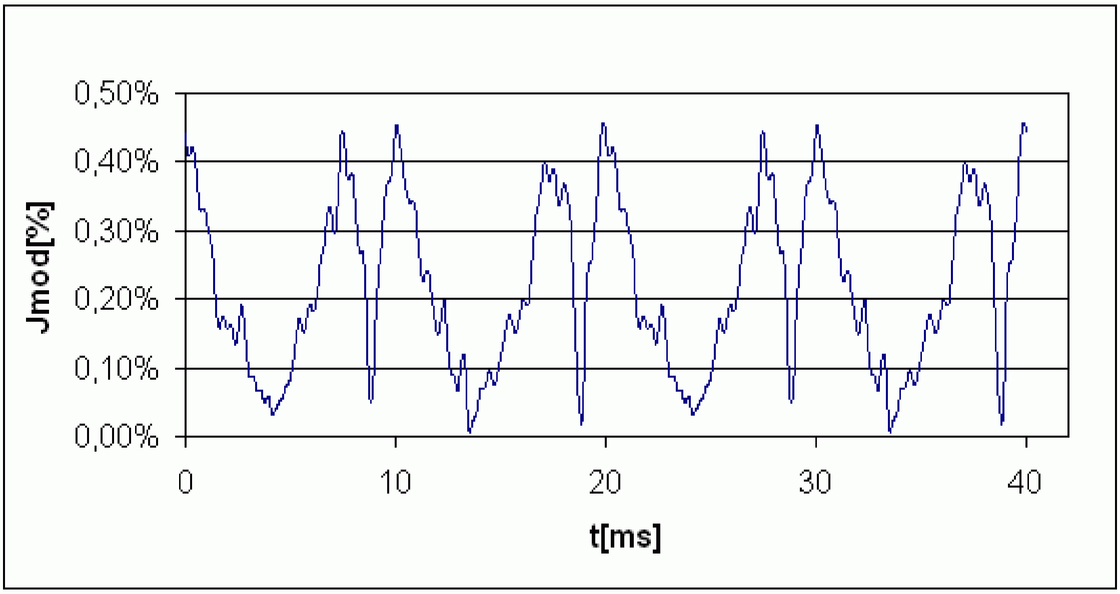


Níže uvedené grafy č. 4.30 a 4.31 zobrazují procenta z NPH indukované proudové hustoty v lidské tkáni vyvíjející se v čase podle nařízení vlády č. 1/2008 Sb. Maximální hodnota dosahuje 0,02 % pro zaměstnance a 0,45 % pro ostatní osoby.

Graf č. 4.30: Indukovaná proudová hustota jako procento z NPH – zaměstnanci



Graf č. 4.31: Indukovaná proudová hustota jako procento z NPH – ostatní osoby

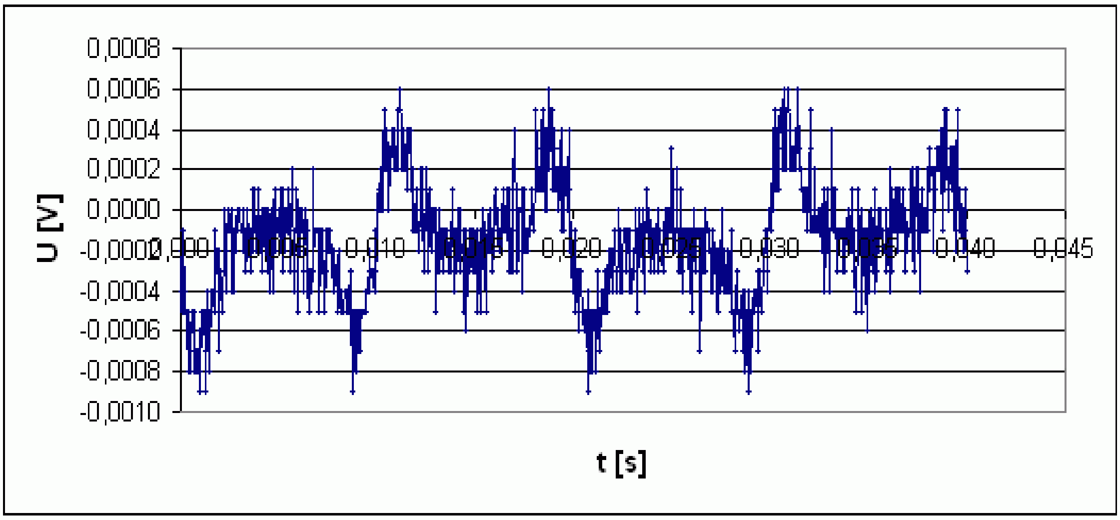


4.11 MĚŘENÍ Č. 6

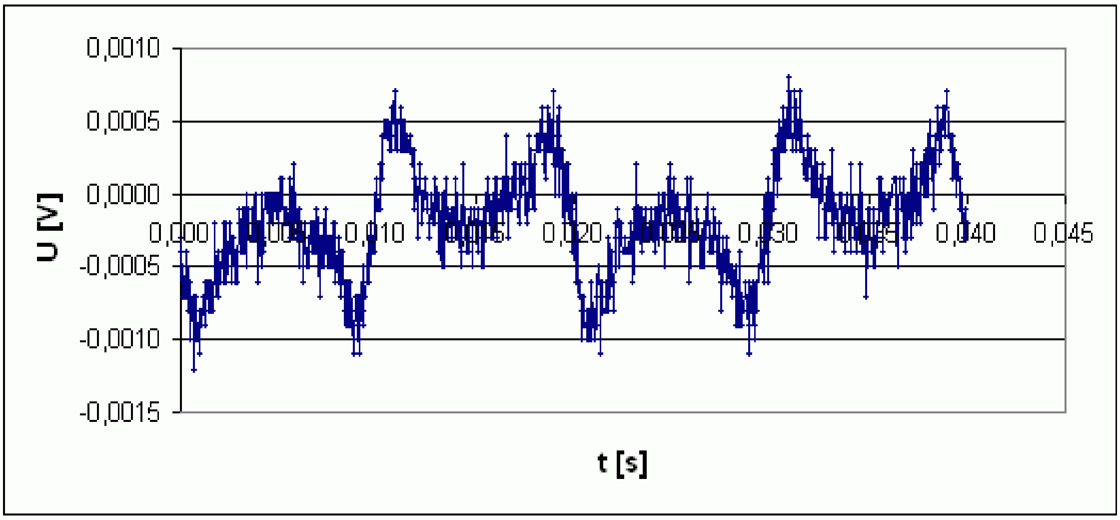
Měření bylo provedeno tak, že se měřící sonda dotýkala boční strany měřeného nabíjecího adaptéru.

Následující grafy č. 4.32, 4.33 a 4.34 zobrazují závislost napětí na čase, pro každou měřící cívku Sondy Narda – NA_3D zvlášť.

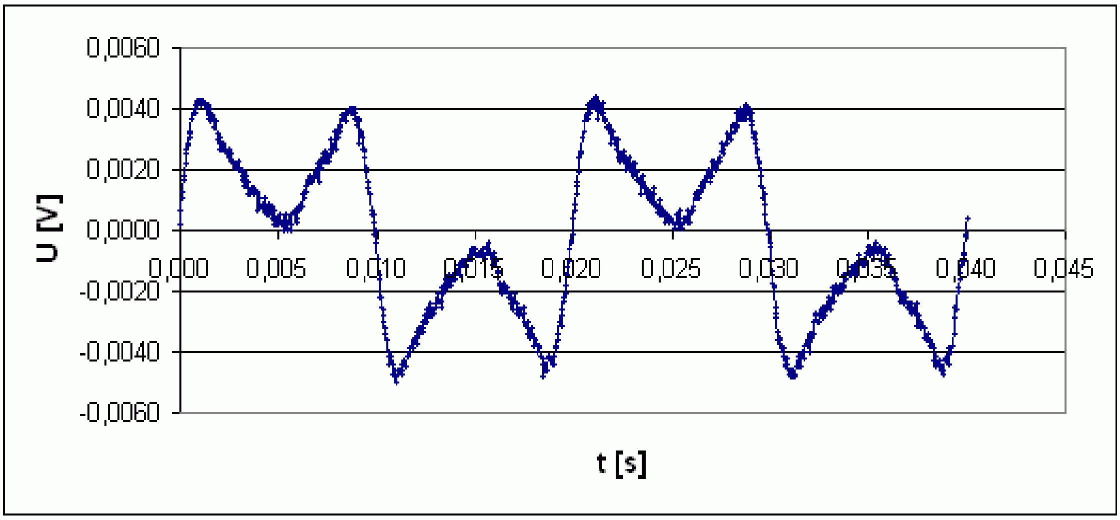
Graf č. 4.32: Závislost napětí na čase pro měřící cívku č. 1



Graf č. 4.33: Závislost napětí na čase pro měřící cívku č. 2

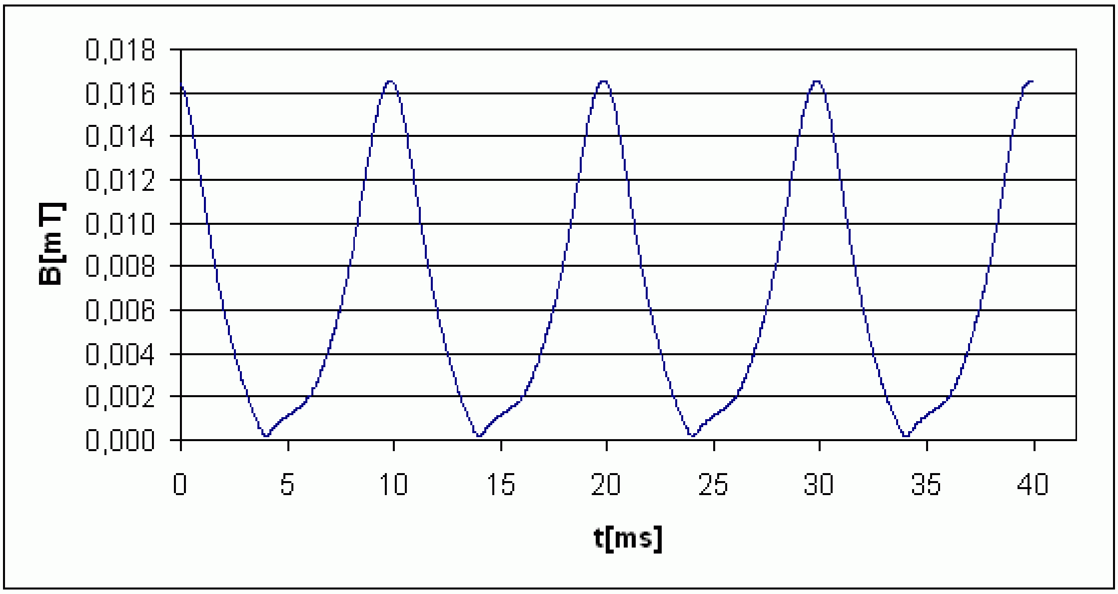


Graf č. 4.34: Závislost napětí na čase pro měřící cívku č. 3



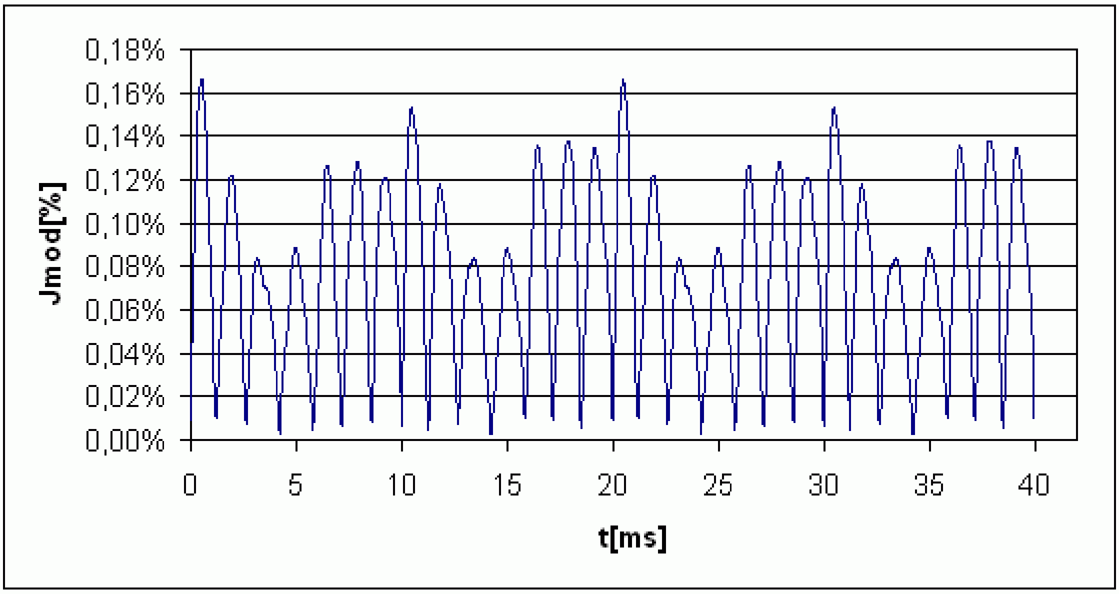
Níže uvedený graf č 4.35 zobrazuje závislost magnetické indukce na čase.

Graf č. 4.35: Závislost magnetické indukce na čase

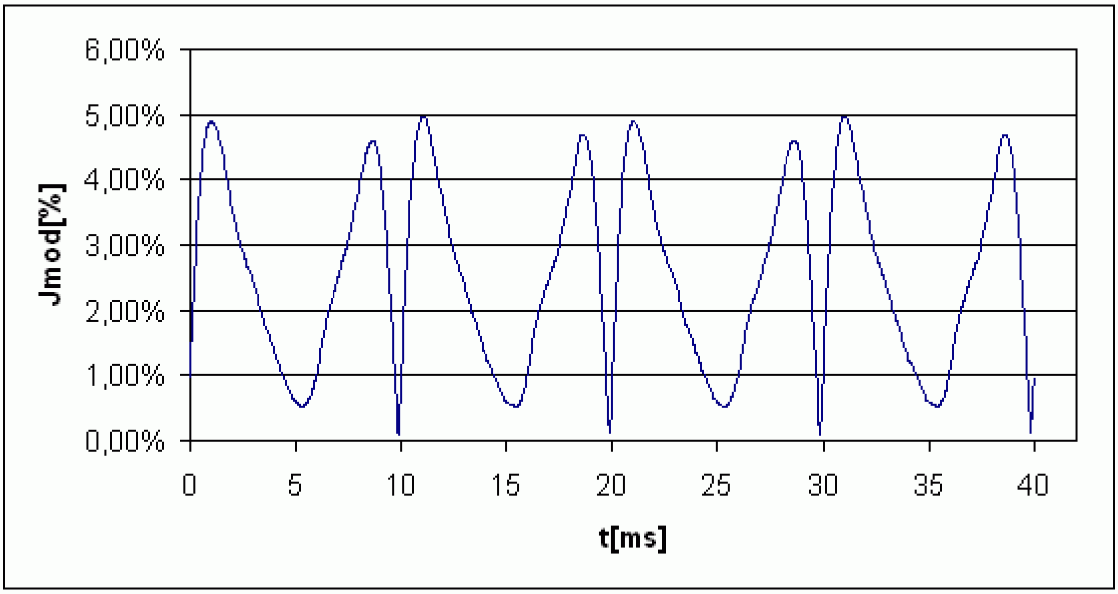


Níže uvedené grafy č. 4.36 a 4.37 zobrazují procenta z NPH indukované proudové hustoty v lidské tkáni vyvíjející se v čase podle nařízení vlády č. 1/2008 Sb. Maximální hodnota dosahuje 0,16 % pro zaměstnance a 5,00 % pro ostatní osoby.

Graf č. 4.36: Indukovaná proudová hustota jako procento z NPH – zaměstnanci



Graf č. 4.37: Indukovaná proudová hustota jako procento z NPH – ostatní osoby



4.12 ZHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH A VYPOČTENÝCH HODNOT

Z výše uvedených grafických závislostí proudové hustoty, kterou indukovalo magnetické pole vyskytující se kolem měřených předmětů, je možné jednoduše vyčíst, že měřené předměty jsou naprosto v souladu s nařízením vlády č.1/2008 Sb. Předměty denní potřeby, jejichž magnetické pole bylo proměřeno v rámci této diplomové práce, v žádném případě nemohou mít negativní dopady na lidské zdraví, protože hodnota indukovaného proudu se zdaleka neblíží hranici NPH. Maximální procentuelní hodnota NPH byla pro zaměstnance naměřena v situaci, kdy měřící sonda byla přiložena na vysoušeči vlasů a to 1,28 % Pro ostatní osoby procentuelní hodnota z NPH naměřena v situaci, kdy byla měřící sonda přiložena na horní straně nabíjecího adaptéru a to 13,7 %.

Tedy předpoklad před měřením, že tyto hodnoty se budou pohybovat v řádu jednotek procent z NPH byl správný.

V tabulkách č. 4.1 a 4.2 jsou přehledně uvedená všechna provedená měření včetně procentuelních hodnot z NPH pro zaměstnance a ostatní osoby. Tabulky jsou rozděleny podle polohy měřící sondy vůči měřenému objektu.

Tab. č. 4.1: Nejvyšší procentuelní hodnoty z NPH – 0,22 m od měřeného předmětu

Měření	**Měření č. 1**	**Měření č. 3**	**Měření č. 5**
Situace	0,22 m od vysoušeče vlasů	0,22 m od horní strany nab. adaptéru	0,22 m od boční strany nab. adaptéru
Maximální procento z NPH pro zaměst.	0,64 %	0,03 %	0,02 %
Maximální procento z NPH pro ostatní osoby	3,54 %	0,58 %	0,45 %

Tab. č. 4.2: Nejvyšší procentuelní hodnoty z NPH – na měřeném předmětu

Měření	**Měření č. 2**	**Měření č. 4**	**Měření č. 6**
Situace	Na vysoušeči vlasů	Na horní straně nab. adaptéru	Na boční straně nab. adaptéru
Maximální procento z NPH pro zaměst.	1,28 %	0,55 %	0,16 %
Maximální procento z NPH pro ostatní osoby	7,48 %	13,75 %	5 %

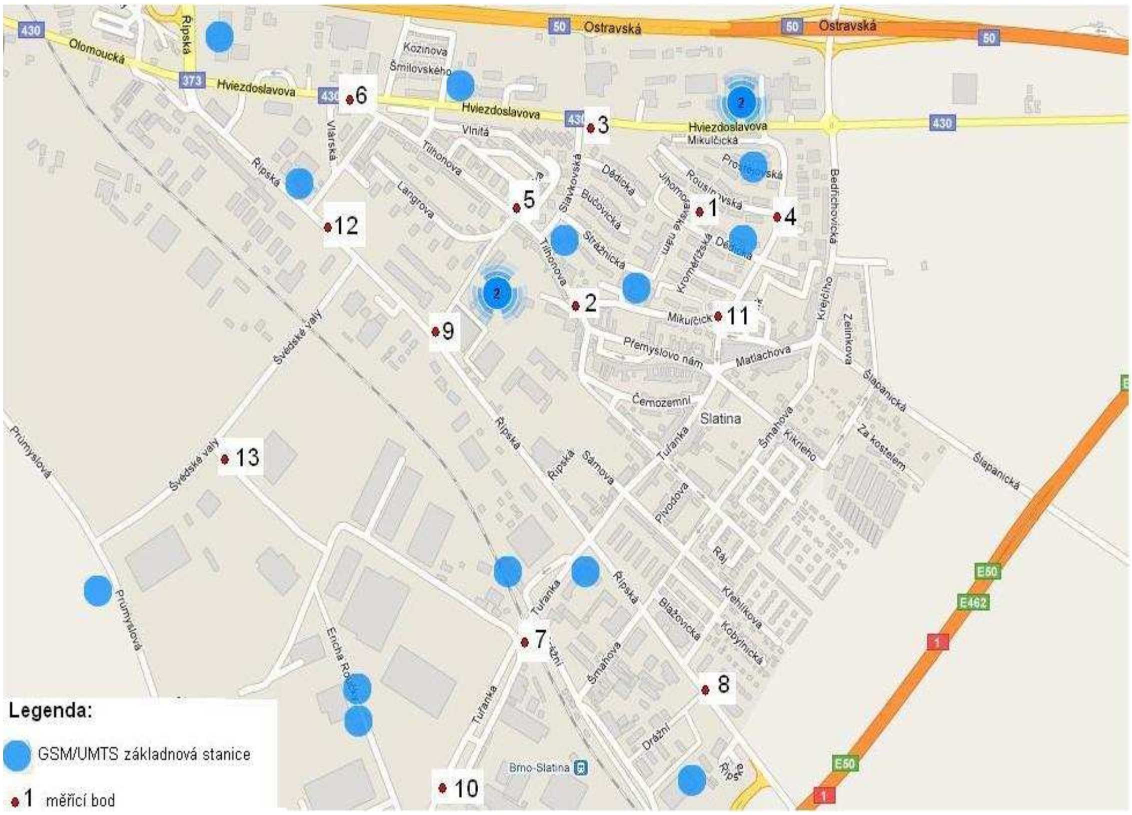
5. MĚŘENÍ VYSOKOFREKVENČNÍHO ZÁŘENÍ

5.1 ROZBOR MĚŘENÍ

Zadáním diplomové práce bylo orientačně proměřit vyzařování v pásmu vysokých frekvencí u základnových stanic GSM v městské části Brno Slatina.

Měření je koncipováno tak, že jsem vybral 13 měřících bodů viz. obrázek č. 6.1. Na každém měřícím bodě bude provedeno 15 měření výkonové hustoty a to po minutových intervalech. Výsledná hodnota výkonové hustoty pro dané místo bude vypočtena aritmetickým průměrem z naměřených hodnot. Měřící body jsem vybral takovým způsobem, aby v jejich přímé viditelnosti byla alespoň jedna GSM/UMTS základnová stanice.

Obr. č. 6.1: Mapa UMTS/GSM základnových stanic a měřících [12]



Pro toto měření byl Ústavem elektrotechnologie pořízen digitální analyzátor elektrosmogu HF 32D. Výrobcem udávaný rozsah 800 MHz – 2,5GHz je pro zadané měření vyhovující, protože frekvence, na kterých pracují základnové stanice, jsou 890 – 960 MHz pro systém GSM a 1 885 – 2 025 MHz pro systém UMTS (mobilní síť 3. generace).

Při prvotním seznamování s přístrojem jsem zjistil, že není možné přepínat rozsah měření výkonové hustoty toku z $\mu W.m^{-2}$ na $mW.m^{-2}$, ačkoliv výrobce tuto možnost popisoval v návodu. Což se ukázalo jako zásadní problém, jelikož při nasměrování měřící antény na GSM/UMTS základnovou stanice ze vzdálenosti cca 150 m a rozsahu $\mu W.m^{-2}$ byly naměřené hodnoty mimo rozsah přístroje. Řešením této situace mohlo být zařazení útlumového členu mezi měřící přístroj a měřící anténu, kterým by se mohla snížit tisíckrát citlivost měřicího přístroje, což by umožňovalo měřit na rozsahu $mW.m^{-2}$. Tento útlumový člen bohužel neměly žádné specializované obchody s elektronikou a satelitní technickou ve svém sortimentu. Po konzultaci s prodejcem přístroje jsem pravděpodobně obdržel vadný kus. Jeho výměna by si vyžádala dalších cca 20 pracovních dní. Vzhledem k termínu odevzdání diplomové práce, tedy nebylo možné toto orientační měření provést.

Díky této skutečnosti a po domluvě s vedoucím práce p. doc. Ing. Petrem Bačou, Ph.D. byl úkol modifikován. A to tak, že jsem provedl měření maximální výkonové hustoty ve třech bytech, v jejichž blízkosti se nacházejí základnové stanice.

5.2 VLASTNÍ MĚŘENÍ VÝKONOVÉ HUSTOTY

Měření bylo provedeno dne 8.5.2011 ve třech mnou dostupných bytech na adresách:

1. Mikulčická 4 Brno-Slatina
2. Bayerova 14a Brno-Veveří
3. Kotlářská 30 Brno-Veveří

5.3 ZAŘÍZENÍ POUŽITÉ PRO MĚŘENÍ:

Pro měření byl využit digitální analyzátor elektrosmogu HF 32D v. č. HF05300017380.

5.4 PODMÍNKY MĚŘENÍ

Měření probíhalo při pokojových teplotách, které se pohybovaly v intervalu 22 – 23 °C.

5.5 CÍL A ROZBOR A MĚŘENÍ

Cílem měření bylo změřit maximální výkonovou hustotu ve třech různých bytech. Zjistit jak se mění při pohybu v prostoru bytu, jaký vliv na měření mají překážky (zdivo) mezi stanicí GSM/UMTS a měřicím přístrojem. Jakmile vysokofrekvenční záření narazí na překážku, pak jím je částečně propuštěno, nebo se od ní částečně odrazí, nebo jí bude částečně absorbováno. To jak se záření bude chovat je závislé na jeho frekvenci, druhu a tloušťce překážky.

Vysokofrekvenční záření je polarizováno. To znamená, že se vlny šíří buď v horizontální, nebo ve vertikální rovině. V městské zástavbě může být záření také částečně otočené - o 45 stupňů. Následkem různých odrazů od překážek, jsou možné i jiné roviny polarizace. Díky odrazům může docházet zvláště uvnitř budov k místnímu zesílení nebo zeslabení hustoty (intenzity) záření. Většina vysílačů a mobilních telefonů vysílá podle podmínek příjmu a pokrytí sítí během dne nebo po delší dobu s různými vysílacími výkony [13].

Měření jsem prováděl vždy co nejblíže stěny, aby bylo možné lokalizovat místa (body), kde v danou chvíli proniká vysokofrekvenční záření do vnitřního prostoru bytu (popř. místnosti) a byla změřena maximální hodnota výkonové hustoty. Aby měřené hodnoty nebyly zkresleny vnitřním vybavením bytu, vypnul jsem mobilní telefon, bezdrátovou síť wi-fi, televizní a radiový příjmač. Dále jsem částečně odhadl a částečně vypočetl výškový rozdíl mezi podlahou v měřeném bytě a středem anténního panelu základnové stanice, tato hodnota má pouze informativní charakter.

Pro vyhledávání místa s maximální výkonovou hustotou jsem využil akustický signál, kterým měřící přístroj reagoval na přítomnost vysokofrekvenčního záření. Se zvyšující se intenzitou záření se zvyšovala hlasitost a intenzita akustického signálu.

5.6 POSTUP MĚŘENÍ A ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

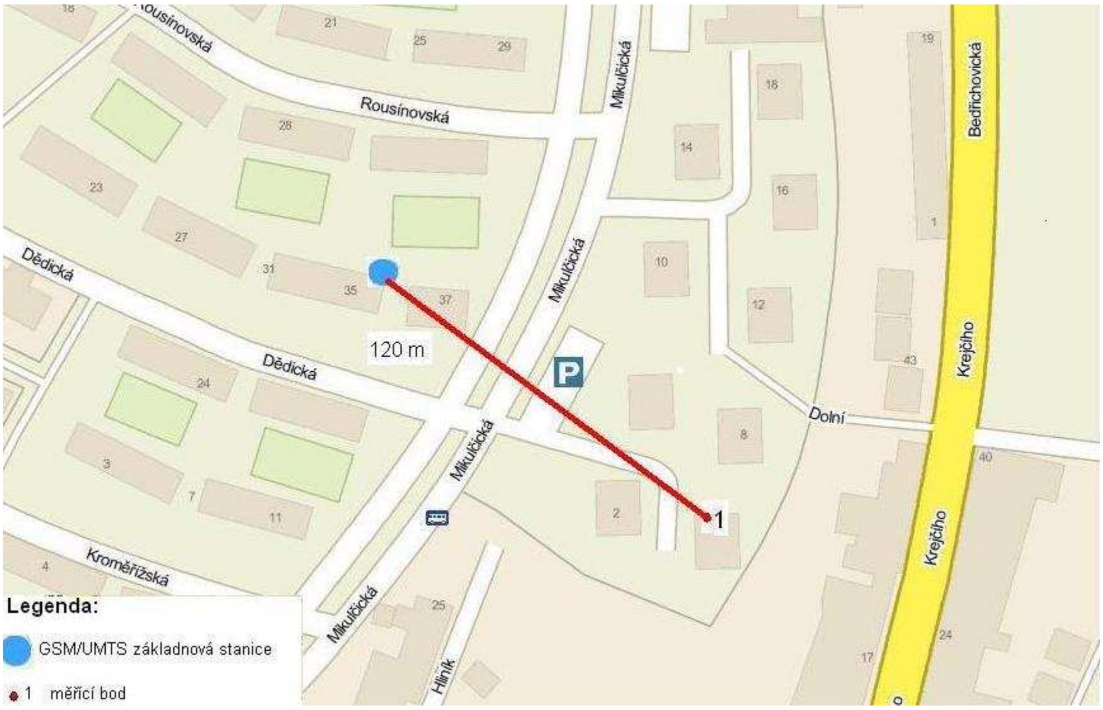
Maximum výkonové hustoty bylo nejprve lokalizováno a změřeno v okolí obvodové zdi, další měření probíhala tak, že mezi digitální analyzátor elektrosmogu a GSM/UMTS základnovou stanici jsem jako překážku elektromagnetickému záření vždy přidával jednu zeď - a to dle prostorové dispozice bytu ve kterém měření probíhalo. Opět jsem hledal maximální hodnoty.

Po změření maxima výkonové hustoty jsem odečetl v převodní tabulce na zadní straně přístroje hodnotu intenzity elektromagnetického pole, odpovídající této naměřené hodnotě.

5.7 MĚŘENÍ V BYTĚ Č. 1

Měření proběhlo v panelovém bytě na adrese Mikulčická 4 v Brně s přímým výhledem na nejbližší UMTS/GSM základnovou stanici, která je vzdálenosti cca 120m. Podlaha bytu je cca 25 m pod úrovní středu panelové antény základnové stanice.

Obr. č. 6.2: Poloha GSM/UMTS základnové stanice a měřícího bodu č. 1



Tab. č. 5.1: Naměřená maxima výkonové hustoty elektromagnetického záření

Počet zdí tvořící překážku mezi měřícím přístrojem a základnovou stanicí	Výkonová hustota S [μW.m^{-2}]	Intenzita elektromagnetického pole [V.m^{-1}]
1	1580	0,78
2	610	0,48
3	18	0,08

Poznámka k měření: tloušťka obvodové panelové zdi je cca 0,4 m; tloušťka vnitřních zdí je 0,15m.

5.8 MĚŘENÍ V BYTĚ Č. 2

Čtyřpokojový mezonetový cihlový byt na adrese Bayerova 14a Brno, s přímým výhledem na nejbližší UMTS/GSM základnovou stanici, která je vzdálenosti cca 150 m. Podlaha 1. patra bytu je cca 7 m nad úrovní středu panelové antény základnové stanice.

Obr. č. 6.2 Poloha GSM/UMTS základnové stanice a měřícího bodu č. 2

Tab. č. 5.2: Naměřená maxima výkonové hustoty elektromagnetického záření

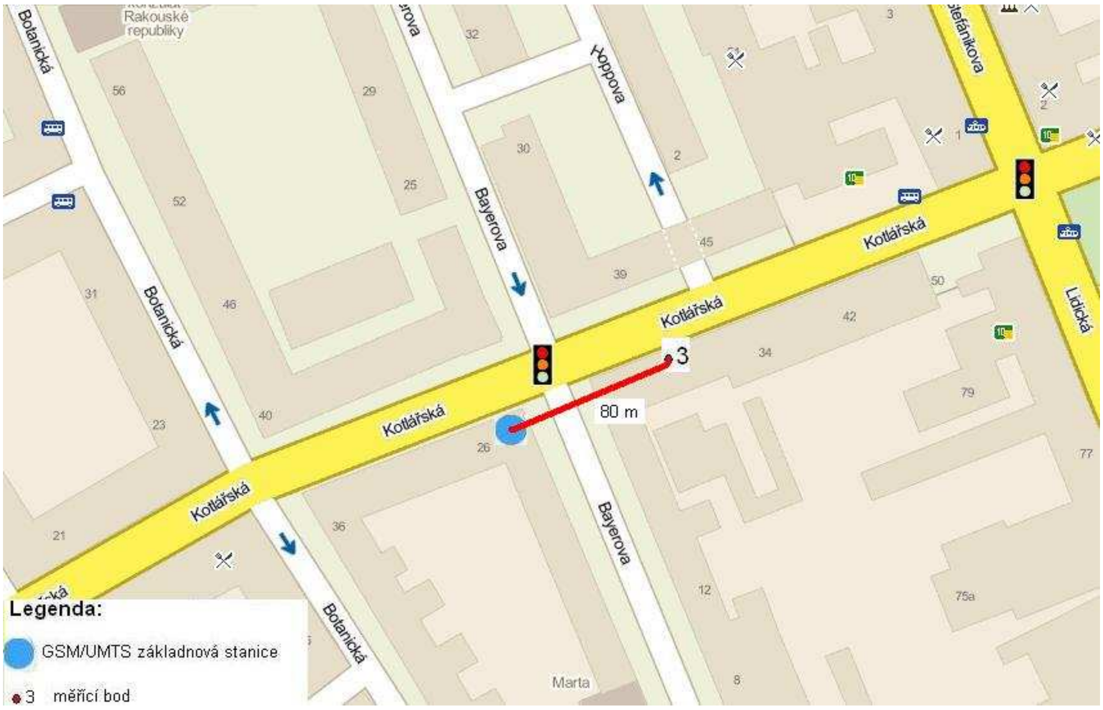
Počet zdí tvořící překážku mezi měřícím přístrojem a základnovou stanicí	Výkonová hustota S [μW.m^{-2}]	Intenzita elektromagnetického pole [V.m^{-1}]
1. patro		
1	1650	0,79
2	230	0,29
2. patro		
1	1200	0,67
2	97	0,19
3	25	0,09

Poznámka k měření: tloušťka obvodové cihlové zdi je 0,5m; tloušťka vnitřních zdí 0,10 m.

5.9 MĚŘENÍ V BYTĚ Č. 3

Dvoupokojový cihlový byt na adrese Kotlářská 30, bez přímého výhledu na UMTS/GSM základnovou stanici. Nejbližší základnová stanice se nachází cca 80m. Podlaha bytu je cca 14 m pod úrovní středu panelové antény základnové stanice.

Obr. č. 6.2 Poloha GSM/UMTS základnové stanice a měřícího bodu č. 3



Tab. č. 5.3: Naměřená maxima výkonové hustoty elektromagnetického záření

Počet zdí tvořící překážku mezi měřícím přístrojem a základnovou stanicí	Výkonová hustota S [μW.m^{-2}]	Intenzita elektromagnetického pole [V.m^{-1}]
1	800	0,55
2	35	0,12

Poznámka k měření: tloušťka obvodové cihlové zdi je 0,6 m; tloušťka vnitřních zdí je 0,1 m.

5.10 ZHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

Bylo provedeno orientační měření vysokofrekvenčního záření. Maximální hodnoty, byly naměřeny dle očekávání u obvodových zdí, které jsou situovány

nejblíže GSM/UMTS základnové stanice a vysokofrekvenční záření těmito zdmi procházelo do vnitřních prostorů bytů. Maximální hodnota ze všech měření byla naměřena při měření č. 2 v prvním patře bytu na ulici Bayerova 14 v Brně a to 1650 $\mu W.m^{-2}$, čemuž odpovídá hodnota intenzity elektrického pole 0,79 $V.m^{-1}$.

6. ZÁVĚR DIPLOMOVÉ PRÁCE:

Cílem první části diplomové práce bylo prostudovat legislativu dle Nařízení vlády č. 1/2008 (o ochraně zdraví před neionizujícím zářením), elektromagnetické záření v celém jeho frekvenčním rozsahu a principy jeho působení na lidský organismus.

V kapitole 2 bylo elektromagnetické spektrum rozděleno podle frekvence na záření ionizující a neionizující. Hraniční frekvence pro ionizující záření je 10^{15} Hz, vlnová délka <1 nm a energie elektronu >1 keV. Byly probrány interakce ionizujícího záření s hmotným prostředím, zdroje ionizujícího záření a jeho účinky na lidský organismus. Bylo popsáno záření neionizující, včetně zdrojů jak umělých tak přírodních. Další část této kapitoly se zabývá veličinami popisující elektromagnetické pole, elektromagnetické záření a kvantové vlastnosti neionizujícího záření.

Kapitola 3 se zabývá ochranou zdraví před neionizujícím zářením. Popisuje zdravotní rizika při expozici, nejvyšší přípustné a nejvyšší povolené hodnoty elektromagnetického záření. Biologické účinky elektromagnetického záření jsou popsány a rozděleny podle frekvencí na tři části. (10 GHz – 300 GHz; 10 MHz – 10 GHz; 100kHz – 10MHz).

Kapitola 4 je zaměřena na praktické měření indukovaného proudu v lidské tkáni. Toto měření proběhlo v prostorách Státního zdravotního ústavu v Ústí nad Orlicí, pod dohledem odborného pracovníka s využitím přesných, kalibrovaných měřících přístrojů. Cílem měření bylo ověřit, zda předměty denní potřeby, v tomto případě vysoušeč vlasů a nabíjecí adaptér nepřesahují nejvyšší přípustné hodnoty podle nařízení vlády č. 1/2008 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. Bylo provedeno 6 měření elektromagnetického pole, každé z nich bylo vyhodnocováno zvlášť pro zaměstnance a zvlášť pro ostatní osoby. Pro zaměstnance není definován žádný limit pro frekvence do 300 Hz (limity jsou tedy mírnější), což má změnit nová legislativa, která je v současné době připravována a v platnost by měla vstoupit koncem roku 2011. V tomto novém zákoně pravděpodobně dojde k zavedení dvou nových parametrů a to, že se bude rozlišovat působení

elektromagnetického záření na periferní nervy a centrální nervovou soustavu. Měřením bylo prokázáno, že hodnoty indukovaného elektrického proudu v lidské tkáni dosahují jen několik procent z nejvyšších přípustných hodnot. Konkrétně pro zaměstnance maximální procentuelní hodnota byla 1,28 % z NPH v situaci kdy měřící sonda byla přiložena na vysoušeči vlasů. Pro ostatní osoby tato hodnota byla tato hodnota 13,7 % z NPH a to v situaci, kdy měřící sonda byla přiložena z boku na nabíjecím adaptéru. Ovšem v praxi se měření vztahuje ke středu lidského trupu, jehož průměrný poloměr byl stanoven na 0,22 m. Tedy reálné hodnoty indukovaného proudu v lidském organismu jsou tehdy, je-li měřící sonda ve vzdálenosti 0,22 m od měřeného objektu. Při měření tímto způsobem byly naměřeny maximální hodnoty u vysoušeče vlasů a to: 0,64 % z NPH pro zaměstnance a 3,54 % z NPH. Z těchto procentuelních hodnot je naprosto patrné, že měřené předměty ani zdaleka nepřekračují nejvyšší přípustné hodnoty podle nařízení vlády č. 1/2008 Sb. a tedy nemají negativní vliv na lidské zdraví.

Druhá část diplomové původně měla být původně zaměřena na orientační měření vyzařování v pásmu vysokých frekvencí (od 10 MHz) u základnových stanic GSM/UMTS v městské části Brno-Slatina pomocí digitálního analyzátoru elektrosmogu HD32D. Díky neúplné dodávce příslušenství k tomuto měřícímu přístroji nebylo možné stávající zadáni splnit – podrobněji v kapitole 5.1.

Modifikovaným zadáním vysokofrekvenční části měření bylo zjistit maximální hodnoty výkonové hustoty ve třech mnou dostupných bytech, v jejichž blízkosti se nacházejí základnové stanice. Maximální hodnota výkonové hustoty byla naměřena, při měření číslo č. 2 v mezonetovém dvoupatrovém bytě a to 1650 $\mu W.m^{-2}$, této hodnotě pak odpovídá intenzita elektromagnetického pole 0,79 $V.m^{-1}$. Tento byt je situován v cihlovém domě na ulici Bayerova v Brně v pátém a šestém patře. Tuto maximální hodnotu ze všech tří provedených měření bych přisoudil faktu, že přímo do oken domu je natočená vysílací anténa GSM/UMTS základnové stanice, která je ve vzdálenosti cca 150 m.

.

7. POUŽITÁ LITERATURA:

[1] DOC. RNDR. PEKÁREK DRSC., Luděk; ING. ŠÍSTEK, Pavel; ING. JELÍNEK, Lukáš . *Neionizující záření : expozice a zdravotní rizika*. 2006. Praha : Státní zdravotní ústav, 2006. 95 s. ISBN 80-7071-276-7.

[2] DARMOVÁ, Vilibalda. *Ionizujúcé a neionizujúce žiarenie*. 2009. Brno : Tribun EU s.r.o, 2009. 82 s. ISBN 978-807399-814-1.

[3] *CZECH SOLAR* [online]. 2009 [cit. 2011-05-14]. Princip fungování fotovoltaiky. Dostupné z WWW: <http://www.czechsolar.cz/fotovoltaika/princip-fungovani/>.

[4] Celostnimedicina.cz [online]. 2005 [cit. 2011-04-08]. Vliv mobilních telefonů na lidské zdraví - odborná studie. Dostupné z WWW: <http://www.celostnimedicina.cz/vliv-mobilnich-telefonu-na-lidske-zdravi-odborna-studie.htm>.

[5] KUSALA, J. *Rentgenové záření* [online]. 2004 [cit. 2011-04-08]. Rentgenové záření. Dostupné z WWW: http://www.cez.cz/edee/content/microsites/rtg/fyzika.htm

[6] *Wikipedia* [online]. 2011 [cit. 2011-04-09]. Laser. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Laser>.

[7] ZAHRÁDKA, Jiří. *Idnes* [online]. 2010 [cit. 2011-04-09]. Technet.cz. Dostupné z WWW: <http://technet.idnes.cz/laser-oslavil-vyroci-uz-padesat-let-vam-leci-akne-nebo-prehrava-hudbu-1jp-/hardware.asp?c=A100514_163320_hardware_jza>.

[8] *Parlamentní listy* [online]. 2010 [cit. 2011-04-09]. ČR zaostává v ochraně před neionizujícím zářením. Dostupné z WWW: <http://www.parlamentnilisty.cz/arena/politici-volicum/164977.aspx>.

[9] *Encyklopedie fyziky* [online]. 2011 [cit. 2011-04-09]. Magnetické vlastnosti látek. Dostupné z WWW:<http://fyzika.jreichl.com/index.php?page=295&sekce=browse>.

[10] Česká republika. Sbírka zákonů. In *Nařízení vlády o ochraně zdraví před neionizujícím záření*. 2007, 1, s. 1-40. [legislativa]

[11] ING. STAFFA, Erik. *Měření parametrů magnetického pole vyzařovaného zdravotnickými přístroji*. Brno, 2010. 85 s. Diplomová práce. Masarykova univerzita.

[12]*GSM web* [online]. 2011 [cit. 2011-05-07]. GSM web. Dostupné z WWW: <http://www.gsmweb.cz/mapa/>.

[13] *Elektroeden* [online]. 9/2006 [cit. 2011-05-10]. Návod k obsluze. Dostupné z WWW: <http://www.elektroeden.cz/files/id6%5Cnavody%5C1%5C100618_navod.pdf>.