

Lidské tělo v roli antény

Human Body as an Antenna

Bc. Jakub Kroutil

Diplomová práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub Kroutil**
Osobní číslo: **A12276**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Lidské tělo v roli antény**
Téma anglicky: **The Human Body as an Antenna**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s přirozenými elektromagnetickými vlastnostmi biologických systémů, především lidského těla.
2. Zaměřte se na možnosti ovlivnění lidského těla působením vnějšího neionizujícího elektromagnetického vlnění v oblasti vyšších kmitočtů, zejména radiových vln.
3. Nastudujte direktivy EU, zabývající se limity ozáření osob.
4. Navrhněte experiment pro ověření možnosti chování lidského těla jako antény s ohledem na bezpečnostní limity.
5. Citujte použitou literaturu dle požadavků na vypracování diplomové práce.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **LIBOFF, A. R.** Toward an Electromagnetic Paradigm for Biology and Medicine. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 2004, vol. 10, pp. 41-47.
2. **HITCHCOCK, R. Timothy; PATTERSON, Robert M.** Radio-Frequency and ELF Electromagnetic Energies: A Handbook for Health Professionals. New York: John Wiley & Sons, 1995. ISBN 9780471284543.
3. **JALIL, S. Z. A.; TAIB, M. N.; ABDULLAH, H.; YUNUS, M. M.** Frequency Radiation Characteristic Around the Human Body. *International Journal of Simulation Systems, Science & Technology*, 2012, vol. 12, no. 1, pp. 34-39.
4. **KARPOWICZ, Jolanta a Dina SIMUNIC.** Mechanisms of interaction of electromagnetic fields with human body. 2009 2nd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies. IEEE, 2009. DOI: 10.1109/ISABEL.2009.5373605. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5373605>.
5. **LIN, J.C.** Safety standards for human exposure to radio frequency radiation and their biological rationale. *IEEE Microwave Magazine*. 2003, vol. 4, issue 4, s. 22-26. DOI: 10.1109/MMW.2003.1266063.
6. **STEINMETZ, Martin.** EMC biologických systémů. 2005, s. 19. Dostupné z: www.comtel.cz/files/download.php?id=1771.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Marie Tobolová

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce:

7. února 2014

Termín odevzdání diplomové práce:

27. května 2014

Ve Zlíně dne 7. února 2014



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

děkan



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.

ředitel ústavu

ABSTRAKT

Hlavním cílem této práce je ověřit, zda se lidské tělo dokáže chovat jako anténa. Proto je v práci popsáno elektromagnetické spektrum, zejména neionizující záření. Další bod práce se zabývá elektromagnetickými vlastnostmi lidského těla a účinky elektromagnetického pole na člověka. Dále jsou zde limity ozáření osob a základy antén. Teoretickou část uzavírá problematika bezodrazových stíněných komor. V praktické části je popsáno měření intenzity elektrického pole lidského těla v bezodrazové stíněné komoře.

Klíčová slova: neionizující záření, rádiové vlny, lidské tělo, anténa, SAR limity.

ABSTRACT

The main goal of this thesis is to verify whether the human body can act as an antenna. Therefore, the work describes electromagnetic spectrum, particularly non-ionizing radiation. Another point of thesis deals with the electromagnetic properties of human body and the effects of electromagnetic fields on humans. There are also limits of human exposure and basic principles of antenna. The theoretical part ends with shielded anechoic chambers. The practical part describes the measurement of electric field intensity of human body in an anechoic shielded chamber.

Keywords: non-ionizing radiation, radio waves, human body, antenna, SAR limits.

Chtěl bych poděkovat své vedoucí diplomové práce Ing. Marii Tobolové za vedení a rady při tvoření mé diplomové práce a Ing. Martinu Pospíšilíkovi, Ph.D. za odbornou pomoc při měření v bezodrazové komoře.

Dále bych chtěl ještě poděkovat své rodině za morální a finanční podporu při studiu na vysoké škole.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně dne

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 NEIONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ	10
2 ELEKTROMAGNETICKÉ VLASTNOSTI LIDSKÉHO TĚLA	12
2.1 KOSTI.....	14
2.2 LIDSKÉ SRDCE	15
3 BIOLOGICKÉ ÚČINKY ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE	17
3.1 MIKROVLNY	17
3.2 RÁDIOVÉ VLNY.....	18
4 LIMITY OZÁŘENÍ OSOB	20
4.1 DIREKTIVA EU	20
4.1.1 1999/519/EC	20
4.1.2 2004/40/EC	22
4.2 DIREKTIVA ČR	24
5 ANTÉNA	26
5.1 DĚLENÍ ANTÉN.....	26
5.2 MĚŘENÍ POMOCÍ ANTÉN.....	28
6 BEZODRAZOVÁ STÍNĚNÁ KOMORA	30
6.1 BEZODRAZOVÁ KOMORA VĚDECKOTECHNICKÉHO PARKU VE ZLÍNĚ	30
II PRAKTICKÁ ČÁST	32
7 MĚŘENÍ ČLOVĚKA JAKO ANTÉNY	33
7.1 ZHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VELIČIN	39
ZÁVĚR	41
ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ	42
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	43
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	46
SEZNAM OBRÁZKŮ	47
SEZNAM TABULEK	48

ÚVOD

Tato diplomová práce má za úkol zjistit, zda se lidské tělo dokáže chovat jako lidská anténa.

V současné době přijde do styku s elektřinou nebo elektromagnetickým polem prakticky každý. Díky technologickému pokroku se objevují stále nové zdroje elektromagnetického záření, v poslední době hlavně mobilní telefony nebo počítače.

Je proto přirozené, že vyvstává potřeba zkoumat interakce tohoto záření a člověka. V současnosti se ale elektromagnetická kompatibilita soustředí spíše jen na přístroje, jejich elektromagnetickou odolnost a vzájemné ovlivňování. Podle mého názoru je elektromagnetické pole člověka velmi podceňováno a energie těla, ať už samotný pohyb celého těla nebo jen tlukot srdce, by mohla najít v budoucnu široké využití. Bylo vypracováno už mnoho studií týkajících se člověka a elektromagnetického pole, ale ne vždy se došlo ke stejnému závěru. Jde například o ozáření, kdy jsou v dnešní době dobře popsány krátkodobé účinky elektromagnetického pole na člověka, ale u dlouhodobých účinků se spíše stále spekuluje, jestli má elektromagnetické pole vliv, např. na vznik rakoviny nebo dětské leukémie.

Kromě energie lidského těla se nabízí otázka, zda by se lidské tělo, díky své konstrukci, nedalo použít jako anténa na vyzařování energie, zvláště páteř. Snad každý se někdy dotkl antény zapnutého rádia a poznal, že se „něco“ změnilo. Používání člověka jako antény by mohlo způsobit revoluci v celé společnosti. Např. ve zdravotnictví, kdyby diabetici měli v sobě implantovaný biosenzor, který by sledoval hladinu cukru, mohl by vyslat signál na mobilní telefon pacienta nebo přivolat pomoc. Možností využití člověka jako antény by se dalo najít mnoho, avšak záleží, co se v budoucnu dostane do popředí zájmů výzkumných center a vědců.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 NEIONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

Pojmem neionizující záření označuje oblast elektromagnetického spektra (viz. Tab. 1) zahrnující radiové vlny, mikrovlny, infračervené záření, viditelné světlo a ultrafialové záření. Za neionizující záření považujeme i elektrostatické a magnetické pole. Neionizující záření je takové záření, které nemá dostatečnou energii na odtržení elektronu z elektronového obalu atomu nebo molekuly. Tedy nemá schopnost ionizovat atomy či molekuly. [1]

Tab. 1. Elektromagnetické záření [2]

Frekvence	Typ záření
3 Hz -30 Hz	Extrémně dlouhé vlny
30 Hz -300 Hz	Super dlouhé vlny
300 Hz -3 kHz	Ultra dlouhé vlny
3 kHz -30 kHz	Velmi dlouhé vlny
30 kHz -300 kHz	Dlouhé vlny
300 kHz -3 MHz	Střední vlny
3 MHz -30 MHz	Krátké vlny
30 MHz -300 MHz	Velmi krátké vlny
300 MHz -3 GHz	Ultra krátké vlny
3 GHz -30 GHz	Super krátké vlny
30 GHz -300 GHz	Extrémně krátké vlny
300 GHz – 3 PHz	Infračervené záření
390 THz – 790 THz	Viditelné světlo
3 PHz – 300 PHz	Ultrafialové záření
300 PHz – 30 EHz	Rentgenové záření
30 EHz – 300 EHz	Gama záření

Vliv neionizujícího záření na živé organismy závisí na fyzikálních parametrech, zejména vlnové délce a intenzitě záření. Při vystavení elektromagnetickému poli může dojít k přehřívání organismu. Následky nejsou trvalé, po přerušení ozáření dochází k regeneraci. Ultrafialové (UV) záření je nutné pro tvorbu vitamínu D, ale vyšší dávky mohou poškodit oči a kůži a vést ke vzniku zhoubných nádorů. Vystavení infračervenému záření může způsobit zákal oční čočky. [3]

Oproti tomu ionizační záření je přenos energie v podobě částic nebo elektromagnetických vln, který je schopen vytvářet ionty v prostředí kterým prochází. Ozáření člověka může způsobit změny genetických informací v buňkách, kožní nádory, neplodnost, zákal oční čočky, smrt a jiné. Mezi zdroje toho záření patří kosmické záření, uran, rentgeny nebo nukleární zbraně atd.[4]

Zdroje neionizujícího záření

Neionizující záření může pocházet ze dvou zdrojů a to přírodních nebo umělých.

Přírodní elektromagnetické zdroje mohou pocházet ze Země nebo vesmíru. Patří sem například blesky nebo sluneční záření.

Díky technologickému pokroku vzniká stále více umělých zdrojů elektromagnetického záření. Řadí se sem rádiové a televizní vysílače, antény, mikrovlnné trouby, wifi, bluetooth, mobilní telefony, magnetická rezonance, ovladače na dálkové ovládání, radary, detektory a jiné.

2 ELEKTROMAGNETICKÉ VLASTNOSTI LIDSKÉHO TĚLA

Podle schopnosti látek vést elektrický proud se látky rozdělují na vodiče, polovodiče a nevodiče. Elektrické vodiče se mohou dále rozdělit na dvě skupiny podle způsobu, jakým vedou proud, na vodiče prvního a druhého typu. Ve vodičích prvního typu je elektrický proud zprostředkován pomocí elektronů (vodič se chemicky nemění). Vodiče prvního typu jsou čisté kovy a slitiny, např. železo, stříbro, měď, ocel. Vodič druhého typu je např. elektrolyt nebo lidské tělo, kde proud je veden disociovanými ionty. Při přenosu elektrického proudu dochází k pohybu iontů. Díky vodivosti mezibuněčného prostoru se šíří tělem tyto elektrické proudy a můžeme je snímat na povrchu těla a měřit je. [5]

V praxi, zejména v lékařství, lze měřit několik elektrických potenciálů na povrchu těla, viz Tab. 2.

Tab. 2. Snímané signály na povrchu těla [5]

Název	Zkratka	Popis
Elektroneurogram	ENG	Biosignál nervových vláken
Elektromyogram	EMG	Biosignál svalů
Elektrokardiogram	EKG	Biosignál srdce
Elektroencefalogram	EEG	Biosignál mozku
Elektrokortikogram	ECoG	Biosignál mozkové kůry
Elektrogastrogram	EGG	Biosignál žaludku
Elektrokochleogram	ECochG	Biosignál ucha

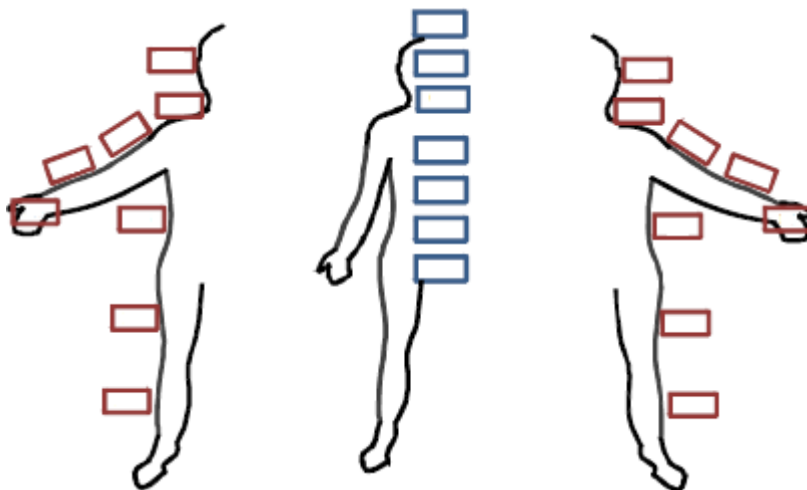
Vědci byli vždy fascinováni otázkou tzv. životní energie a neznali odpovědi na otázky příčiny pohybu člověka nebo růstu rostlin. V 18. století objevil Luigi Galvani spojení mezi živým organismem a elektřinou. Byl prvním lékařem, který zkoumal elektrické jevy při pohybech svalů a demonstroval sérii experimentů o elektrických jevech v živých organismech. Nejznámějším experimentem je pokus se žábami stehýnky na plechu. Ve svalech žab dochází samovolně ke svalové kontrakci (stahu) po doteku skalpelu. Domníval se však, že objevil nový druh elektřiny. Na jeho výzkumy navázal Alessandro Volta

tvrzením, že nejde o nový druh elektřiny, ale že hlavní roli zde hrají dva různé kovy propojené vodivým prostředím. Volta své tvrzení potvrdil sestrojením zdroje elektrického proudu ze střídavě pokládaných stříbrných a zinkových mincí. [5]

Vlivem elektromagnetického pole na člověka se postupně začalo zabývat čím dál více vědců a lékařů. Dalším příkladem může být použití pulzních magnetických polí (Bassett, 1974), následovaný iontovou rezonancí v kombinaci s magnetickým polem (Diebert, 1994) k léčbě kostních paklobů. Další je použití rychlé transkraniální (tzn. přes lebku) magnetické stimulace (Barker, 1985), tzv. „rTMS“, což je moderní léčebná metoda, kdy pulzním magnetickým polem indukujeme změny elektrické aktivity a metabolismu v nervovém systému. Využívá se v terapii depresí, některých úzkostných poruch a u chronicky halucinujících pacientů, kde nepomáhají klasické léky. [6]

Klasifikaci různých elektromagnetických terapií současnosti stanovili v roce 2003 Jenrow a Liboff. Na základě úrovně proudových hustot rozdělili terapie do tří kategorií: rušivé, hrubé a jemné. Rušivé terapie používají elektrošokovou léčbu nebo její novější magnetické ekvivalenty, např. rTMS. Hrubé terapie jsou ty, kde se používají elektromagnetické signály k napodobení nebo obnově normálních fyziologických signálů, např., kardiostimulátory. Třetí kategorie, jemná, je vyhrazena pro síly signálu, které jsou zdánlivě příliš malé, aby byly spojovány s jakýmkoliv známými fyziologickými událostmi, a jsou tedy mnohem méně schopné narušit cokoli v nervovém systému. [6]

Stejně jak lze rozeznat člověka podle otisku, hlasu nebo chůze, lze člověka částečně rozeznat i podle frekvence, kterou vyzařuje. V rámci jedné studie byla zkoumána frekvence přirozeného vyzařování lidského těla. Na měření bylo stanoveno 7 míst podél páteře, které jsou zaznačeny modrou barvou na Obr. 1 a 8 míst na levé i pravé straně lidského těla, které jsou zakresleny červenou barvou na Obr. 1. Z naměřených hodnot při tomto experimentu bylo zjištěno, že u 13 z 23 míst byly zpozorovány významné změny mezi pohlavími. [7]



Obr. 1. Místa měření vyzařování [7]

Proudy zranění

Od počátku devatenáctého století bylo známo, že když se integrita živých tkání naruší, jako amputace nebo jiná zranění, jsou generovány elektrické proudy v blízkosti problémové oblasti. Tyto proudy začaly být označovány jako proudy zranění (Loeb a Beutner, 1912), anglicky *current of injury*. V roce 1974 bylo během regenerace mloka zpozorováno, že po určité době proud zranění obrátí polaritu a došlo se k závěru, že tento obrat signalizuje převahu léčení nad zraněním. To znamená, že v živých organismech existuje složitý elektricky založený proces, který signalizuje, že je zde problém a zároveň vysílá další signály na zahájení opravy. [6]

2.1 Kostí

Sérií experimentů Fukada a Yasuda (1957) bylo zjištěno, že kost má jedinečnou vlastnost, která převádí mechanické zatížení na elektrický potenciál. Pozdější práce Fukady a Yasudy (1964) ukázala, že tato piezoelektrická vlastnost vyplývá z rozptýlených složek kolagenu v kosti. Následující podobná měření na piezoelektrický efekt v neporušené dlouhé lidské kosti byla interpretována Marinem a Beckerem (1970) a ukázala, že každodenní činnost jako je chůze, je přenášena do buněk. Jejich měření dokázalo určit, zda se tyto buňky staly osteoklasty nebo osteoblasty, resp. kostní buňky, které ničí nebo podporují růst kosti. [6]

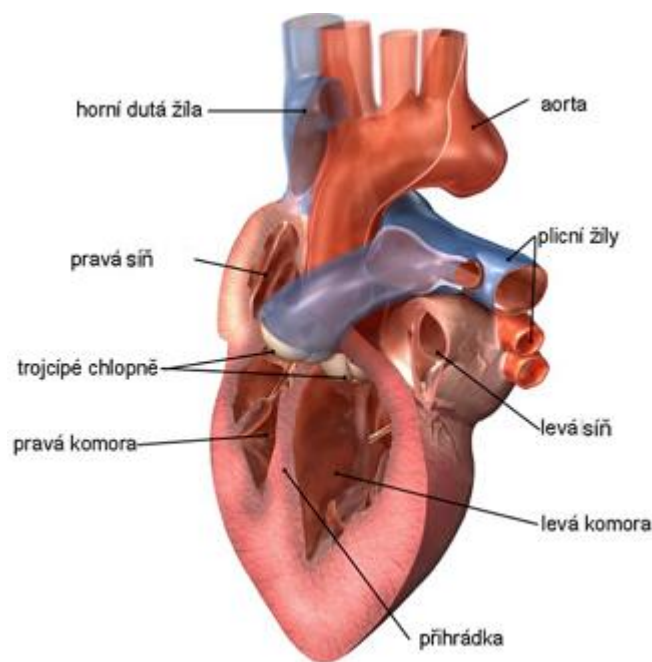
Dále Athenstaedt (1969) našel jasnou elektrickou návaznost mezi kostrou a rozvojem člověka. Toto zjištění bylo posíleno Friedenbergem(1973). Ve svých studiích na vývoji

kostí dokázal, že elektrický potenciál je specificky spojen s růstovou ploténkou v dlouhých kostech. [6]

Tyto a další pozorování jasně ukazují, že elektrina koordinuje růst, opravu a regeneraci ve všech živých organismech.

2.2 Lidské srdce

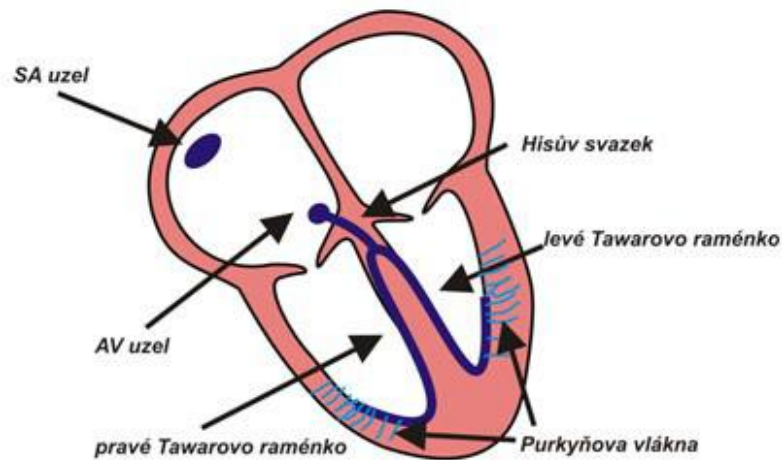
Lidské srdce (Obr. 2) je dutý sval rozdělený na čtyři oddíly: pravou síň a komoru a levou síň a komoru. Do síní přitéká krev z těla a plic a komory slouží k vypuzení krve ze srdce. Krev z těla se vrací do pravé síně a následně do pravé komory. Pravá komora žene krev do plic, kde se krev okysličuje a vrací se zpět do levé síně. Z levé síně se dostává do levé komory a z levé komory je dále pumpována do těla přes aortu.



Obr. 2. Lidské srdce [5]

V srdci se nacházejí buňky dvojího typu, buňky vedoucí elektrický impulz a buňky, které na vzruch reagují (pracovní buňky). Vzruch v srdci je převáděn pomocí tzv. převodního systému, ten je tvořen buňkami, které dovedou tvořit a vést vzruchy, konkrétně sinoatriálním uzlem (SA uzel), atrioventrikulárním uzlem (AV uzel), Hisovým svazkem, pravým a levým Tawarovým raménkem a Purkyňovými vlákny, viz Obr. 3. Vzruch vedený

převodním systémem dráždí svalové buňky a ten způsobuje změnu elektrického potenciálu na jejich membráně. Toto vedení vzruchu je příčinou kontrakcí srdečního svalu. [5]



Obr. 3.: Převodní systém srdce [5]

Vzruch vzniká v sinoartiálním uzlu nacházejícím se v pravé síni. Frekvence generování vzruchů v SA uzlu odpovídá frekvenci srdečních stahů. Vzruch se z SA uzlu šíří do síní. Z AV uzlu, který je umístěn v pravé síni se vzruch převede na Hisův svazek poté do Tawarových ramének a na Purkyňovy vlákna. Podrážděním okolních svalových buněk dochází ke stahu srdeční svaloviny. Po průchodu vzruchu a stahu buňky relaxují až do dalšího vzruchu. Elektrické impulzy vyvolávají pravidelnou kontrakci srdeční svaloviny. [5]

Napájení iPodu ze srdce

Lidský tep by mohl být použit pro napájení iPodu poté, co vědci vyvinuli malý čip, který využívá vlastní pohyb těla k výrobě elektrické energie. Technologie pracuje s použitím nanovláken oxidu zinečnatého, které při napnutí nebo ohnutí generují elektřinu. To znamená, že prakticky jakýkoliv pohyb těla - od chůze po srdeční tep - může díky nanovláknům a nanogenerátorům vytvářet elektrickou energii. Při pokusu s pěti nanogenerátory bylo vyprodukováno 1mA při 3V, což je stejné napětí jako při použití dvou klasických tužkových baterií.[8]

3 BIOLOGICKÉ ÚČINKY ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE

Interakce elektromagnetických polí a člověka se mohou rozdělit na přímé a nepřímé. Přímé účinky vyplývají z přímé interakce polí s tělem, nepřímé účinky zahrnují interakce elektromagnetického pole s jinými ozářeným objektem, který je v blízkosti člověka. Vystavení účinkům pole může vést k nejrůznějším poškozením lidského těla jako např. bolest z úrazu, popálení, potíže s dýcháním, fibrilace srdeční komory, závratě, nevolnost, kovová chuť v ústech, obtíže s koordinací. [9]

V oblasti biomedicínských účinků elektromagnetických polí je stále mnoho nejistoty. Jedním z hlavních důvodů je složitost tématu, tedy že je velmi obtížné odhadnout hodnoty elektromagnetického pole uvnitř lidského těla za vystavení určitých zdrojů elektromagnetických polí, a to zejména, je-li přítomen v blízkém prostředí více než jeden zdroj. Odhady se dělají podle měření nebo numerických výpočtů, ale stejně bývají velmi nejisté nebo příliš složité. Jedním z hlavních důvodů pro to je, že distribuce elektromagnetického pole silně závisí na prostředí okolo antény, strukturu antény, polarizaci, typu modulace, frekvenci a vzdálenosti mezi zdrojem elektromagnetického pole a lidského těla. Další překážku tvoří samotné lidské tělo, které je z nepravidelného tvaru různých druhů tkání, které jsou ve skutečnosti různé dielektrika se ztrátami. Člověk také může mít rozmanité tvary a rozměry těla. [9]

3.1 Mikrovlny

Mikrovlnnou částí spektra rozumíme frekvenční pásmo přibližně od 3 do 300 GHz, což odpovídá vlnovým délkám v rozmezí od několika milimetrů po desítky centimetrů. Generátory mikrovln byly původně vyvinuty pro použití v radarech, ale dnes už se vyskytují v řadě dalších zařízení, se kterými přicházíme běžně do styku. Mikrovlny umožnily realizaci mnoha systémů v oblasti komunikaci a průmyslu a uplatnění nacházejí i v medicíně. Mikrovlny ovšem mohou pronikat hluboko do tkáně a způsobit v celém objemu její rovnoměrný ohřev, čehož se využívá například v mikrovlnných troubách. Frekvence části mikrovlnného spektra totiž odpovídají frekvencím rezonance atomů a molekul a ty v této oblasti absorbují elektromagnetickou energii ochotněji než v oblastech jiných. Největší podíl na absorpci ve tkáni mají molekuly vody. [10]

V lékařství se vlastnosti mikrovln využívá i při léčbě nádorových onemocnění. Podstata tzv. mikrovlnné hypertermie je v tom, že zdravé buňky zpravidla vydrží teplotu 45°C, zatímco některé nádorové buňky jsou velmi citlivé už na teploty vyšší než 42°C. Zvýšení teploty v oblasti nádoru na 42-45°C tak může tyto buňky selektivně ničit. Mikrovlnného ohřevu se využívá i při rehabilitacích, léčbě bolesti u některých revmatických a degenerativních onemocnění nebo při léčbě chronických zánětů. [10]

3.2 Rádiové vlny

Ozáření rádiovými vlnami může ovlivnit elektrická a magnetická pole v biologických systémech, která spolupracují s buňkami a tkáněmi mnoha různými způsoby, v závislosti na frekvenci, průběhu a intenzitě indukovaných polí a energii uložené nebo absorbované v biologických systémech.

Rádiovými vlnami souhrnně nazýváme záření s vlnovými délkami od desetin metru až po tisíce kilometrů. Využívají se hlavně ke komunikaci a přenosu informací na velké vzdálenosti. Ultra krátké a velmi krátké vlny se šíří prakticky jen přímo a používají se k přenosu televizního signálu, rozhlasového vysílání a zasahuje sem i frekvence mobilních telefonních sítí. Krátké vlny mají díky tomu, že se odrážejí od ionosféry, dosah až několik desítek kilometrů a převládá u nich využití pro rozhlasové vysílání. To samé platí i pro vlny střední a dlouhé, jejichž dosah je ovšem stovky až tisíce kilometrů. Vlny delší, tzn. velmi dlouhé a extrémně dlouhé, se v praxi v takovém rozsahu nepoužívají. Na tak nízkých frekvencích funguje například komunikace ponorek. Velmi rozšířenými umělými elektromagnetickými poli jsou pole s frekvencemi kolem 50 Hz. Takové frekvence se totiž používají v elektrorozvodných sítích a odpovídající pole jsou generována prakticky všemi elektrickými spotřebiči a zařízeními. Působení nízkofrekvenčních elektromagnetických polí na organismy je nepárové, to znamená, že pozorujeme zvlášť účinky elektrického i magnetického pole. [10]

Při ozáření osoby polem s frekvencí nižší než 100 kHz se hodnotí jen působení elektrického indukovaného proudu na nervovou soustavu. Ten se totiž u nízkých frekvencí projeví nepříznivě při daleko nižším proudu než ohřívání tkáně. Pro působení indukovaných elektrických proudů je podstatné, že pro frekvence vyšší než 1 kHz jejich účinnost s rostoucí frekvencí strmě klesá. U nízkofrekvenčních polí se hodnotí okamžitá expozice, a o překročení proto může rozhodnout i krátkodobé maximum proudu

indukovaného v těle. Souvisí to s charakterem rizika: elektrický proud v těle působí na nervovou soustavu prakticky bez zpoždění.[11]

Při ozáření osoby polem s frekvencí mezi 100 kHz a 10 MHz může dojít k tepelným účinkům, které jsou měřeny měrným absorbovaným výkonem (SAR) nebo porušení nervové soustavy, která je měřena pomocí hustoty indukovaného proudu. [11]

Elektromagnetické pole s frekvencí mezi 10 MHz a 10 GHz patří z hlediska možného nepříznivého vlivu na zdraví k nejvíce sledovaným. Nesporně k tomu přispěly obavy ze strmě rostoucího počtu zdrojů vysokofrekvenčních elektromagnetických polí a v posledních zhruba deseti letech i z masového používání mobilních telefonů. Přes velkou snahu velkého počtu vědců se nepodařilo v uplynulých 40ti letech prokázat nepříznivé působení dlouhodobého ozáření slabým vysokofrekvenčním polím. Zdravotní riziko je v tomto frekvenčním pásmu jediné: ohřívání tkáně těla. Pokusy se zjistilo, že tělesná teplota se při stálém dopadání dostatečně silné elektromagnetické vlny na tělo z počátku zvyšuje, přibližně po šesti minutách však stoupat přestane a ustálí se na nové, poněkud vyšší hodnotě. Nejvyšší přípustná hodnota pro měrný absorbovaný výkon byla pro zaměstnance stanovena tak, aby se při působení záření na celé tělo tělesná teplota při mírné činnosti nevyšla o více než 0,1 °C. [11]

Elektromagnetické pole s frekvencí mezi 10 MHz a 10 GHz působí na člověka ohříváním povrchu těla, které by při dostatečné intenzitě vyvolalo na kůži pocit tepla. Záření se účinně absorbuje v povrchové vrstvě kůže nebo oka. Záření s frekvencí z tohoto intervalu se používá například v datových spojích a v radarech. Je známo, že osoba, kterou zasáhne radarový impuls, slyší v uchu krátké ostré lupnutí, pokud je dostatečně blízko anténě radaru. Sluchový vjem vzniká v důsledku velmi rychlého zahřátí hlavy, které vyvolá zvukovou vlnu a ta podráždí sluchové receptory. Jev se sám o sobě nepokládá za škodlivý, pokud nepřekročí určitou mez. Pro tyto frekvence jsou stanovené nízké nejvyšší přípustné hodnoty pro ozáření především kvůli riziku poškození povrchových vrstev oka, které má špatný odvod tepla.[11]

4 LIMITY OZÁŘENÍ OSOB

Elektromagnetického pole s frekvencí do 300 GHz mají energii zhruba stokrát menší, než je energie tepelného pohybu molekul v živé tkáni. Z tohoto důvodu nelze očekávat při absorpci vysokofrekvenční energie v tkáni těla jiné účinky, než tepelné. Absorpce fotonu zvýší vnitřní energii molekuly, ta však při srážce s jinou molekulou tuto energii ztratí. Přitom se buď zvýší rotační energie této další molekuly, nebo se srážka projeví zvýšením rychlosti pohybu této molekuly. Změny energie rotace, vibrace nebo pohybu molekuly způsobené absorpcí elektromagnetického pole jsou v porovnání s energií předávanou při srážkách molekul při tepelném pohybu velmi malé a v žádném případě nemohou vést ke změně struktury molekuly. Molekuly důležité pro životní funkce musí být totiž dostatečně robustní, aby se jejich struktura nezměnila ani při tepelných srážkách mezi molekulami a tedy určitě ne při absorpci alespoň stokrát méně energetických kvant elektromagnetického záření. Tepelné působení zůstává i po více než padesáti letech používání zařízení emitujících vysokofrekvenční pole jeho jediným zjištěným potenciálně škodlivým faktorem. [12]

4.1 Direktiva EU

Činnost EU související s elektromagnetickými poli vychází z doporučení Rady (1999/519/EC) dne 12. července 1999 o omezení vystavení veřejnosti elektromagnetickým polím (0 Hz až 300 GHz) a směrnice o bezpečnosti zaměstnanců 2004/40/EC.

4.1.1 1999/519/EC

V závislosti na frekvenci jsou používány k určení základních omezení elektromagnetických polí tyto hranice:

-0 a 1 Hz - základní omezení jsou pro magnetické indukce nebo statická magnetická pole (0 Hz) a pro hustoty elektrického proudu do 1 Hz, aby se zabránilo účinkům, které mohou narušit kardiovaskulární a centrální nervový systém

-1 Hz a 10 MHz je základní omezení pouze pro hustoty elektrického proudu, aby se předcházelo účinkům na funkci nervového systému

-100 kHz a 10 GHz je základní omezení na SAR kvůli ochraně celého těla před přehříváním nebo lokálnímu nadměrnému zahřátí tkáně. V rozsahu od 100 kHz do 10 MHz je omezení pro hustoty elektrického proudu a SAR

-10 GHz a 300 GHz - základní omezení jsou na hustoty zářivého toku, aby se zabránilo ohřevu v tkáni nebo na povrchu těla.[13]

Konkrétní hodnoty pro základní omezení jsou znázorněny v Tab. 3.

Tab. 3. Základní omezení pro elektromagnetická pole[13]

Frekvence	B (mT)	J (mA/m²)	SAR (celé tělo) (W/kg)	SAR (hlava a trup) (W/kg)	SAR (končetiny) (W/kg)	Φ_e (W/m²)
0 Hz	40	-	-	-	-	-
0-1 Hz	-	8	-	-	-	-
1-4 Hz	-	8/f	-	-	-	-
4-1000 Hz	-	2	-	-	-	-
1-100 kHz	-	f/500	-	-	-	-
0,1-10 MHz	-	f/500	0,08	2	4	-
10 MHz – 10 GHz	-	-	0,08	2	4	-
10-300 GHz	-	-	-	-	-	10

Referenční úrovně

Referenční úrovně ozáření (Tab. 4) jsou poskytovány za účelem srovnání s naměřenými hodnotami. Dodržování všech doporučených referenčních úrovní zajišťuje dodržování základních omezení. Pokud množství naměřených hodnot je větší než referenční úrovně, nemusí to nutně znamenat, že byly překročeny základní omezení. V tomto případě je třeba posoudit, zda úrovně expozice jsou nižší než základní omezení.

Tab. 4. Referenční úrovně pro elektromagnetická pole [13]

Frekvence	E (V/m)	H (A/m)	B (μ T)	Φ_e (W/m ²)
0-1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	-
1-8 Hz	10000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	-
8-25 Hz	10000	4000/f	5000/f	-
25-800 Hz	250/f	4/f	5/f	-
0,8-3 kHz	250/f	5	6,25	-
3-150 kHz	87	5	6,25	-
0,15-1 MHz	87	0,73/f	0,92/f	2
1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	0,73/f	0,92/f	-
10-400 MHz	28	0,073	0,092	2
0,4-2 GHz	$1,375f^{1/2}$	$0,0037f^{1/2}$	$0,0046f^{1/2}$	f/200
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

4.1.2 2004/40/EC

Tato direktiva stanovuje minimální požadavky na bezpečnost a ochranu zdraví zaměstnanců před ozářením elektromagnetickými poli (Tab. 5). V závislosti na frekvenci elektromagnetických polí se používají k určení limitních hodnot následující fyzikální veličiny:

-0 a 1 Hz – limity ozáření jsou pouze pro hustoty elektrického proudu, aby se zabránilo účinkům, které mohou narušit kardiovaskulární a centrální nervový systém

-1 Hz a 10 MHz - limity ozáření jsou pro hustoty elektrického proudu, aby se předcházelo účinkům na funkci centrálního nervového systému

-100 kHz a 10 GHz - limity ozáření jsou pro SAR kvůli ochraně celého těla před přehříváním nebo lokálnímu nadměrnému zahřátí tkáně. V rozsahu od 100 kHz do 10 MHz je omezení pro hustoty elektrického proudu a SAR

-10 GHz a 300 GHz - limity ozáření jsou pro hustoty zářivého toku, aby se zabránilo ohřevu v tkáni nebo na povrchu těla.[14]

Tab. 5. Limity pro ozáření pracovníků [14]

Frekvence	J (hlava a trup) (mA/m²)	SAR (celého těla) (W/kg)	SAR (hlava a trup) (W/kg)	SAR (končetiny) (W/kg)	Φ_e (W/m²)
0-1 Hz	40	-	-	-	-
1-4 Hz	40/f	-	-	-	-
4-1000 Hz	10	-	-	-	-
1-100 kHz	f/100	-	-	-	-
0,1-10 MHz	f/100	0,4	10	20	-
10 MHz – 10 GHz	-	0,4	10	20	-
10-300 GHz	-	-	-	-	50

Referenční hodnoty

Referenční hodnoty byly získány z limitů expozice na základě zdůvodnění použité Mezinárodní komise pro ochranu před neionizující záření (ICNIRP) ve svých směrniciích o omezení expozice neionizujícím zářením (ICNIRP 7/99). Tyto hodnoty (Tab. 6) jsou přímo měřitelné a označují hranici, nad kterou musí zaměstnavatel přijmout jedno nebo několik opatření stanovených ve směrnici. [14]

Tab. 6. Přehled referenčních hodnot pro zaměstnance [14]

Frekvence	E (V/m)	H (A/m)	B (μT)	Φ_e (W/m^2)	I _C (mA)	I _C (končetiny) (mA)
0-1 Hz	-	$1,63 \times 10^5$	2×10^5	-	1	-
1-8 Hz	20000	$1,63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$	-	1	-
8-25 Hz	20000	$2 \times 10^4/f$	$2,5 \times 10^4/f$	-	1	-
25-820 Hz	500/f	20/f	25/f	-	1	-
0,82-2,5 kHz	610	24,4	30,7	-	1	-
2,5-65 kHz	610	24,4	30,7	-	0,4f	-
65-100 kHz	610	1600/f	2000/f	-	0,4f	-
0,1-1 MHz	610	1,6/f	2/f	-	40	-
1-10 MHz	610/f	1,6/f	2/f	-	40	-
10-110 MHz	61	0,16	0,2	10	40	100
110-400 MHz	61	0,16	0,2	10	-	-
0,4-2 GHz	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	$0,01f^{1/2}$	f/40	-	-
2-300 GHz	137	0,36	0,45	50	-	-

4.2 Direktiva ČR

V České republice řeší problematiku ozáření elektromagnetickými poli nařízení vlády č. 1/2008 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. Nařízení se zabývá nejvyššími přípustnými hodnotami (Tab. 7) a referenčními hodnotami a vychází z legislativy EU. Jsou zde zavedeny i bezpečnostní faktory, které obecně vytváří bezpečnou zónu pro případné započítání nejistot v informacích a ke zvýšení důvěryhodnosti, že limity jsou pod úrovněmi, při kterých se objevují nepříznivé vlivy. Bezpečnostní faktor je číslo, které vypovídá, kolikrát je daná hodnota snížena oproti hodnotě, při které dochází k negativním účinkům na zdraví. Zde byly vybrány bezpečnostní faktory 10 pro zaměstnance a 50 pro obyvatele.

Tab. 7. Nejvyšší přípustné hodnoty pro zaměstnance a obyvatele [15]

Frekvence	Veličina	Limit pro zaměstnance	Limit pro obyvatele
0 Hz – 10 MHz	J (A/m ²)	$2^{1/2} \times 0,01$	$2^{1/2} \times 0,002$
100 kHz – 10 GHz	SAR (celé tělo) W/kg	0,4	0,08
100 GHz – 300 GHz	Φ_e (W/m ²)	50	10

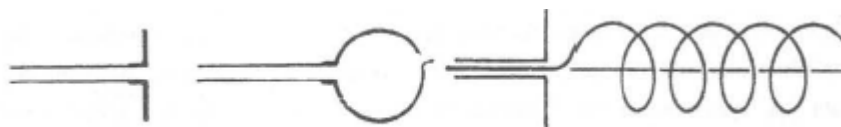
5 ANTÉNA

Anténa je upravený vodič, který dokáže vysílat a/nebo přijímat radiové signály. V případě vysílání anténa mění elektrickou energii na energii elektromagnetických vln, v případě přijímání mění energii elektromagnetických vln na elektrickou.

5.1 Dělení antén

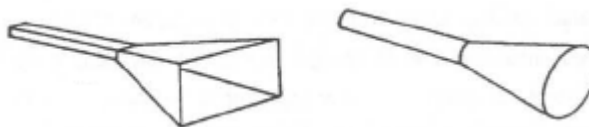
Podle tvaru můžeme rozdělit antény na :

1. Drátové (lineární) antény – jsou založeny na principu vyzařování vodičů a jejich soustav. Antény mohou být různých tvarů (Obr. 4.), např. kruhové, šroubovitě apod.



Obr. 4. Typy drátových antén (dipólová, kruhová, šroubovitá) [16]

2. Plošné antény – jejich vyzařovací částí je výstupní plocha, např. štěrbinová nebo trychtýř různých tvarů, viz Obr. 5.



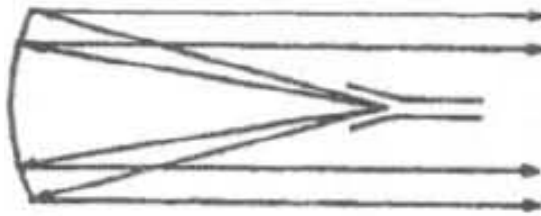
Obr. 5. Typy plošných antén (jehlanový a kuželový trychtýř) [16]

3. Anténní pole a řady – je to uspořádání antén v prostoru, ploše nebo jen řadě. Nejrozšířenějším příkladem těchto antén je Yagi anténa (Obr. 6).



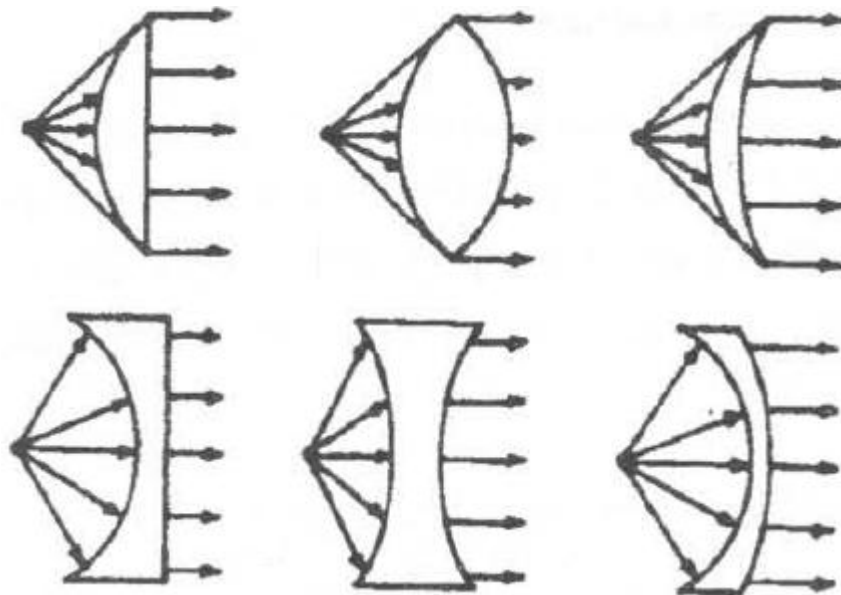
Obr. 6. Yagi anténa [17]

4. Reflektorové antény – tyto antény jsou tvořeny zářičem a reflektorem. Zářič vyzařuje vlny do reflektoru a ten pak směřuje vlny do prostoru, viz Obr. 7. [16]



Obr. 7. Princip reflektorových antén [16]

5. Anténní čočky – jsou konstruovány podobně jako optické čočky. Mají dutý, rovinný nebo vypuklý tvar, jak ukazuje Obr. 8.



Obr. 8. Typy optických čoček [16]

5.2 Měření pomocí antén

V oblasti elektromagnetické kompatibility se antény používají na rušivé signály vyzařované zařízením do okolního prostoru na kmitočtech od 9 kHz do 40000 MHz a jsou měřeny přístrojem pro měření rušení (měřicím přijímačem) doplněným vhodnou měřicí anténou (Tab. 8). Měření rušivých elektromagnetických polí je významné zejména v oblasti vysokých kmitočtů (od 80 MHz výše), neboť realizace přímého měření rušivých napětí či proudů je na těchto kmitočtech velmi problematická, někdy zcela nemožná. [18]

Tab. 8. Přehled měřicích antén [18]

Typ antény	Rozsah frekvence [MHz]
Rámová (smyčková) anténa	0,009 - 30
Prutová anténa	0,009 - 30
Symetrické (laděné) dipóly	30 - 1000
Bikónická anténa	20 - 300
Logaritmicko-periodická anténa	200 – 3000
Kónicko-logaritmická anténa	200 – 3000
Složená širokopásmová anténa	20 - 2000
Trychtýřové antény	1000 – 40000

Pro rušivé signály vyzařované jednotlivými elektronickými součástkami, obvody a funkčními bloky jsou často měřeny speciálními měřicími ruční antény. Tyto malé sondy elektrického či magnetického pole jsou užívány zejména při vývoji a diagnostice elektronických zařízení (např. počítač, viz Obr. 9), kdy je důležité sledovat nežádoucí vyzařování jednotlivých součástek a co nejpřesněji určit zdroj rušivého signálu.



Obr. 9. Sonda elektrického pole [18]

6 BEZODRAZOVÁ STÍNĚNÁ KOMORA

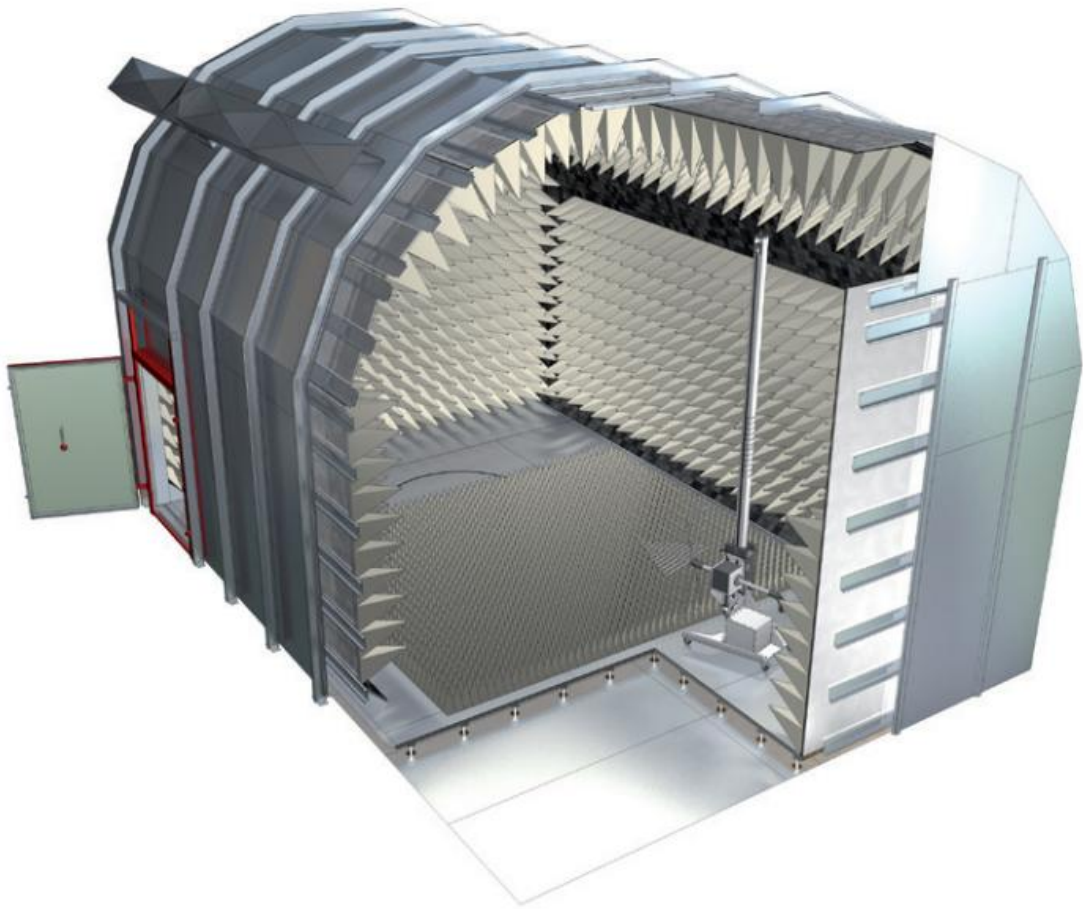
Bezodrazová stíněná komora je elektromagneticky stíněný prostor, jehož vnitřní stěny jsou obloženy elektromagneticky absorpčním materiálem, který silně omezuje vnitřní odrazy v komoře. Komora musí být současně i elektromagneticky nepropustná, její základní vnější konstrukce musí proto být vyrobena z dobře vodivého kovového materiálu. Tato komora je nejvhodnější místo pro anténní měření elektromagnetického rušení.

Absorpční materiály pro obložení stěn bezodrazových komor přeměňují energii dopadající vlny na teplo, a to s využitím buď dielektrických, nebo magnetických ztrát. V současné době se většinou dává přednost dielektrickým ztrátovým materiálům, neboť magnetické materiály jsou příliš těžké a také drahé. Používají se proto zejména různé tvrzené pěnové materiály z polystyrénu, polypropylénu či polyuretanu, které se sytí elektrovodivými či grafitovými plnidly různé hustoty. Stupněm tohoto sycení lze tak účinně regulovat zejména ztrátové parametry výsledného materiálu. Kromě elektricky vhodných vlastností jsou dalšími výhodami těchto materiálů jejich nízká hmotnost, snadná mechanická opracovatelnost a snadné spojování lepením. Vhodnou technologií sycení lze přitom dosáhnout vysokou homogennost a reprodukovatelnost vlastností výsledného materiálu. Obkladové absorpční prvky mají tvar jehlanů či kuželů.[18]

Velká výhoda jehlanových absorbérů je, že neodrážejí část dopadající vlny hned zpět do prostoru, ale vlna se odrazí do vedlejšího absorbéru a od něj zase zpátky. Tento proces se opakuje pořád dokola, než se nakonec vlna odrazí zpět do prostoru. S každým takovým odrazem, ale vlna ztratí velkou část své energie a jen část vlny se odrazí. Po vícenásobném odrazu je energie vlny, která unikne zpět do prostoru, mnohokrát menší než jakou měla před nárazem do absorpční stěny.[19]

6.1 Bezodrazová komora vědeckotechnického parku ve Zlíně

Komora byla postavena německou firmou FRANKONIA, která má rozsáhlé zkušenosti s projektováním a navrhováním komor pro testování elektromagnetické odolnosti. Konkrétně firma vybuodovala ve Zlíně model SAC 3 Plus S (Obr. 10).



Obr. 10. Průřez modelem komory SAC 3 Plus [20]

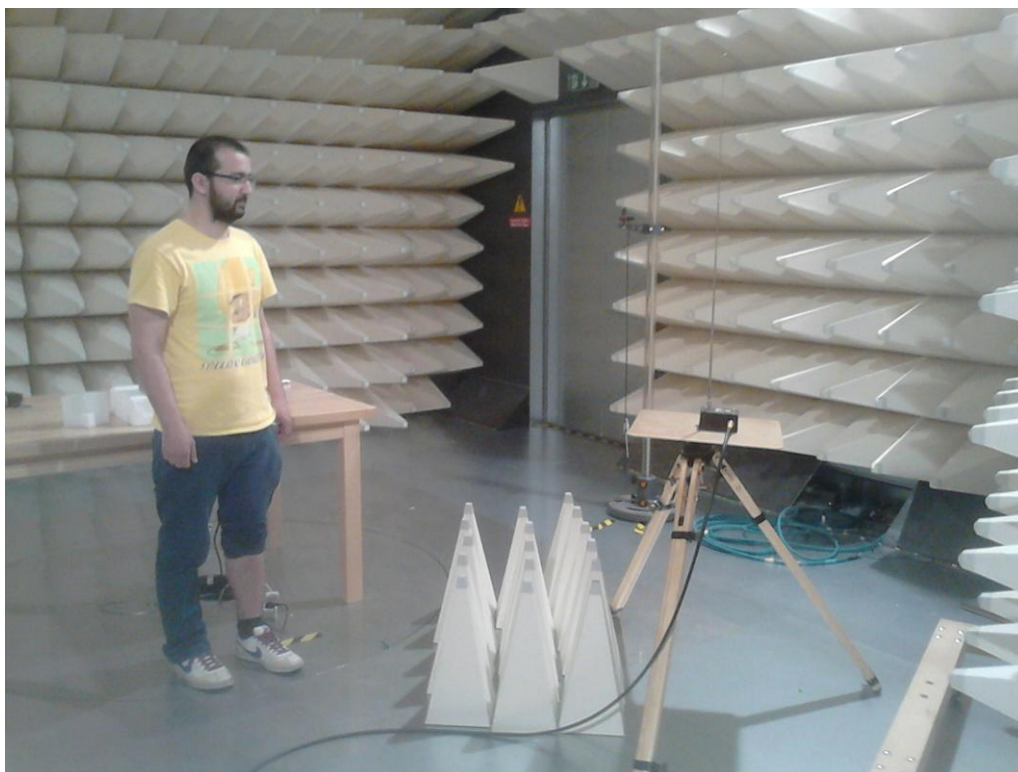
Komora má rozměry 8 480 x 6 530 x 6 000 mm. Měřicí vzdálenost je 3 metry. Měřicí kmitočty jsou v pásmu od 26 MHz do 18 GHz. Strop má tvar kopule a společně se stěnami je kompletně obložen feritovými absorbéry a částečně obložen hybridními absorbéry. Komora dále disponuje otočným prostorem, anténou s nastavitelnou výškou od 1 do 4 metrů, vstupními dveřmi o rozměrech 1 238 x 2 118 mm, uzemněním a osvětlením. [20]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 MĚŘENÍ ČLOVĚKA JAKO ANTÉNY

Měření probíhalo v odstíněné komoře, která je popsána v kapitole 6.1. Z etických důvodů jsem byl měřeným subjektem jen já sám a je třeba říci, že v době měření jsem byl naprosto zdravý, tedy bez nemoci nebo zranění, jako například zlomená kost, které by mohlo ovlivnit samotné měření.

Měření probíhalo ve frekvenčním pásmu od 50 kHz do 20 MHz. Na snímání vyzářené intenzity elektrického pole byla použita monopólová anténa, model SAS-550-1B. Touto anténou se dá měřit v pásmu od 9kHz do 60 MHz. Jako zdroj signálu byl použit generátor bílého šumu (model HMF 2550) a úroveň amplitudy byla zvolena na 20 V. Bílý šum je náhodný signál s rovnoměrnou výkonovou spektrální hustotou. To znamená, že tento signál má stejný výkon v jakémkoliv pásmu stejné šířky. V elektrotechnice se používá například na testování frekvenční odezvy zesilovačů. Dále bylo nutno zajistit správnou vzdálenost antény od lidského těla. Standardní měřicí vzdálenost jsou 3 metry, ale z důvody vlastní rezonance komory byla tato vzdálenost zkrácena na 2 metry (Obr. 11). Pro zajištění co nejpřesnějšího měření byly dále na podlaze mezi anténou a lidským tělem rozmístěny jehlanové absorbéry, aby se zamezilo odrazu vln od podlahy.

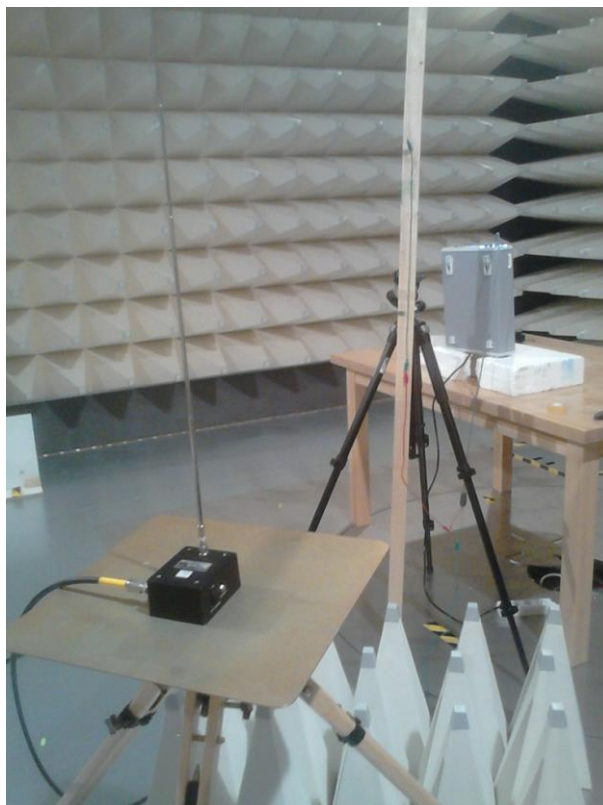


Obr. 11. Rozmístění lidského těla a monopólové antény

V rámci experimentu probíhalo celkově pět druhů měření. Jako první byla změřena odezva bílého šumu v odstíněné komoře. Tato odezva pak dále sloužila pro srovnání s ostatními měřeními. Při druhém měření byla k levé noze lidského těla nalepena povrchová elektroda na měření biopotenciálů a na ní následně připojen generátor bílého šumu (Obr. 12). Při dalším měření byla povrchová elektroda umístěna ke kostrční kosti. Při čtvrtém měření zůstala povrchová elektroda umístěná na kostrční kosti a dále byl k elektrodě připojen vodič, který byl připojen na zádech lidského těla, podél páteře. Od tohoto měření se očekávalo největší zesílení signálu, protože stavbou velmi připomíná monopólovou anténu. Poslední měření už probíhalo bez použití lidského těla. Cílem toho měření bylo zkusit nasimulovat lidskou páteř pomocí vodiče použitého v předchozím měření. Vodič byl připevněn na dřevo a umístěn do vodorovné polohy a stejné výšky jako v případě měření páteře (Obr. 13).



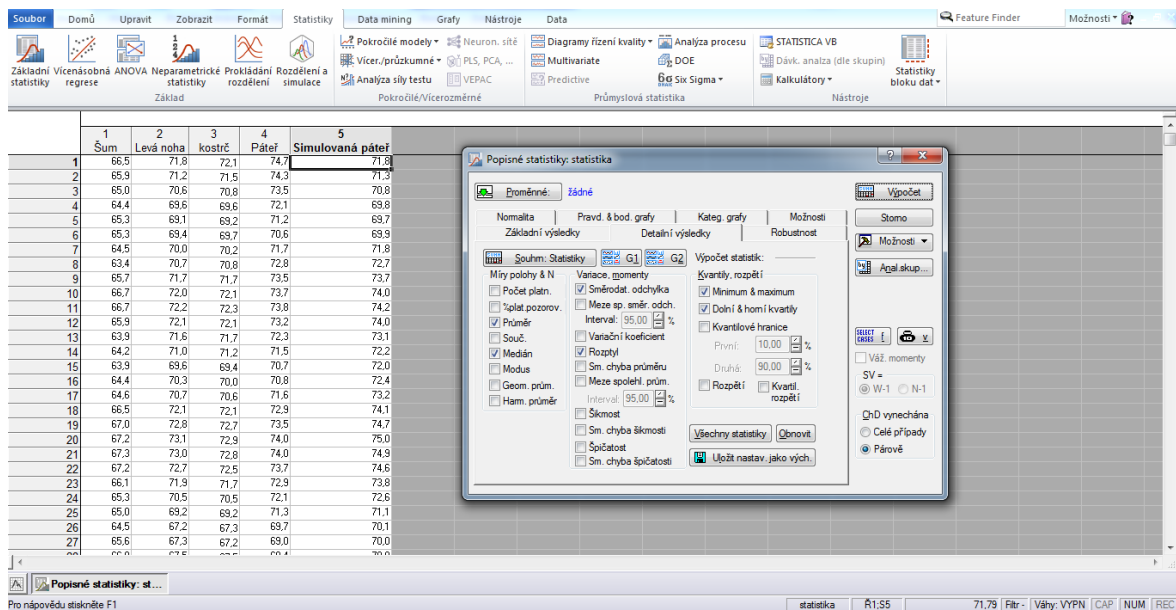
Obr. 12. Propojení generátoru šumu a levé nohy



Obr. 13. Měření simulované páteře

Všechna měření byla provedena desetkrát, aby byly zajištěny co nejspolehlivější hodnoty. Z těchto desíti pokusů se udělaly průměrné hodnoty, se kterými se dále pracovalo.

Po naměření hodnot následovala analýza získaných údajů. Ta byla provedena pomocí popisné statistiky v programu Statistica od firmy Statsoft (Obr. 14). Tento software je primárně určen pro podporu strategického i výkonného řízení financí, ale díky rozsáhlé nabídce analytických metod a grafických výstupů se dá použít i na vyhodnocování signálů. Mimo placenou verzi firma Statsoft také nabízí 30-ti denní zkušební (trial) verzi, která byla v této práci použita. Kromě anglické verze programu je k dispozici ke stažení i česká verze. Zpracovaná data jsou zobrazena v Tab. 9 a Obr. 15.



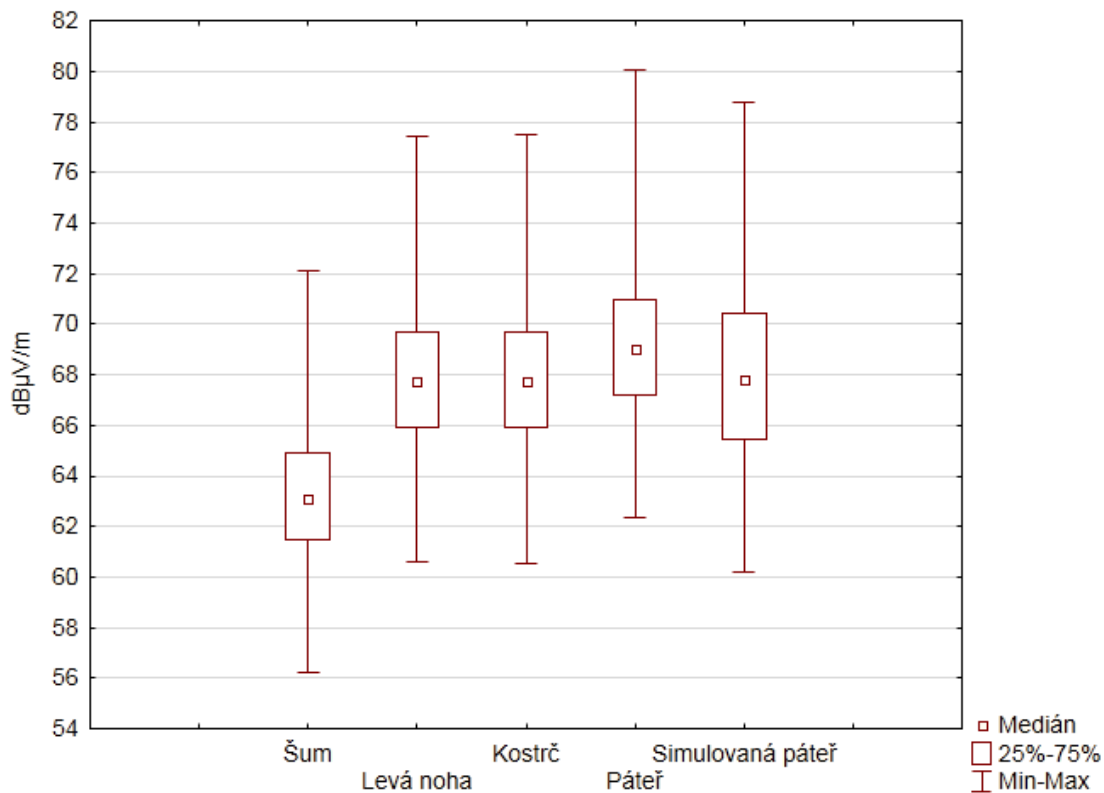
Obr. 14. Realizace popisné statistiky v programu Statistica

V rámci popisné analýzy byly sledovány následující veličiny:

- Aritmetický průměr – je součet všech hodnot vydělený počtem hodnot.
- Medián – je hodnota, která rozděluje množinu hodnot na dvě stejně velké části. Platí tedy, že 50% hodnot je menších nebo rovno mediánu a zbylých 50% hodnot je větších nebo rovno mediánu.
- Minimum – vyjadřuje nejnižší hodnotu ze sledované množiny hodnot
- Maximum – představuje nejvyšší hodnotu ze sledované množiny hodnot
- Dolní kvartil – vyjadřuje hodnotu, která je menší nebo rovna jako 25 % všech sledovaných hodnot
- Horní kvartil – představuje hodnotu, která je větší nebo rovna jako 75 % všech hodnot ve sledované množině
- Rozptyl – je průměr druhých mocnin vzdáleností od aritmetického průměru. Určuje, jak moc jsou sledované hodnoty rozptýleny.
- Směrodatná odchylka – vyjadřuje podobně jako rozptyl, jak moc jsou hodnoty vychýleny od aritmetického průměru hodnot. Získá se druhou odmocninou z rozptylu.

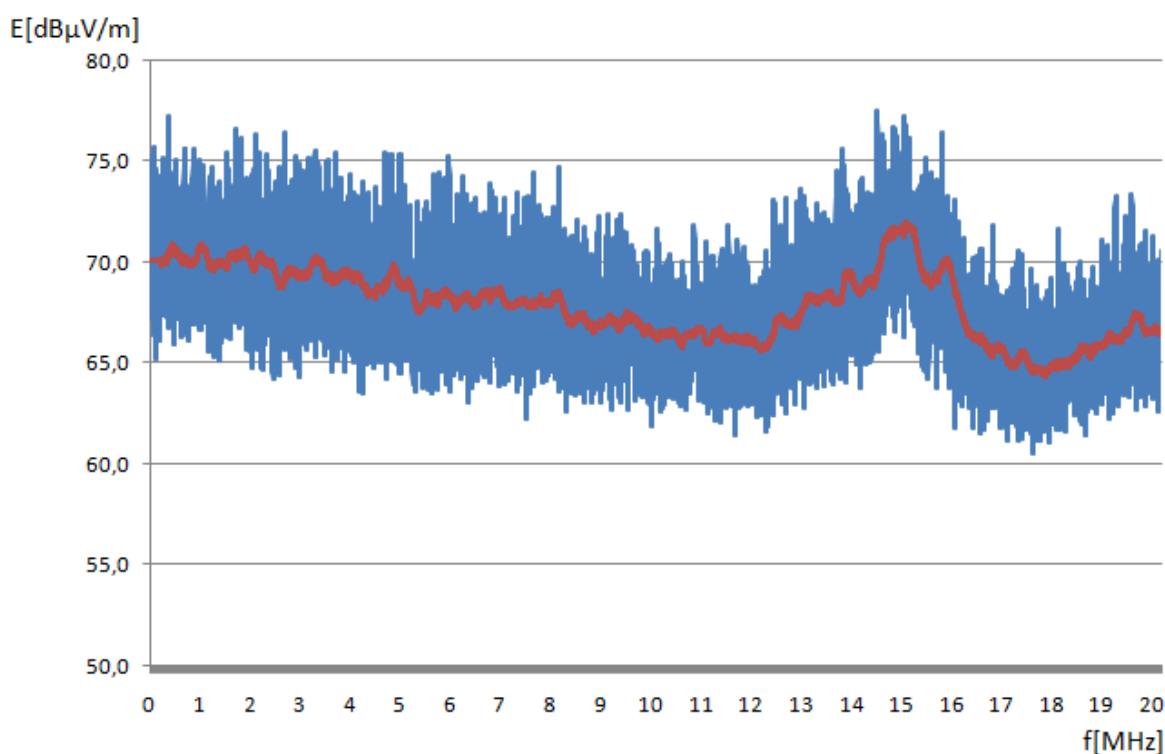
Tab. 9. Získané statistické údaje z naměřených hodnot

Veličina	Šum	Levá noha	Kostrč	Páteř	Simulovaná páteř
Průměr	63,24	67,92	67,91	69,18	68,05
Medián	63,10	67,74	67,73	68,99	67,83
Minimum	56,20	60,60	60,52	62,34	60,17
Maximum	72,10	77,46	77,53	80,04	78,76
Dolní kvartil	61,50	65,89	65,89	67,18	65,48
Horní kvartil	64,90	69,72	69,72	70,96	70,43
Rozptyl	6,08	7,45	7,43	7,27	10,61
Směrodatná odchylka	2,47	2,73	2,73	2,70	3,26

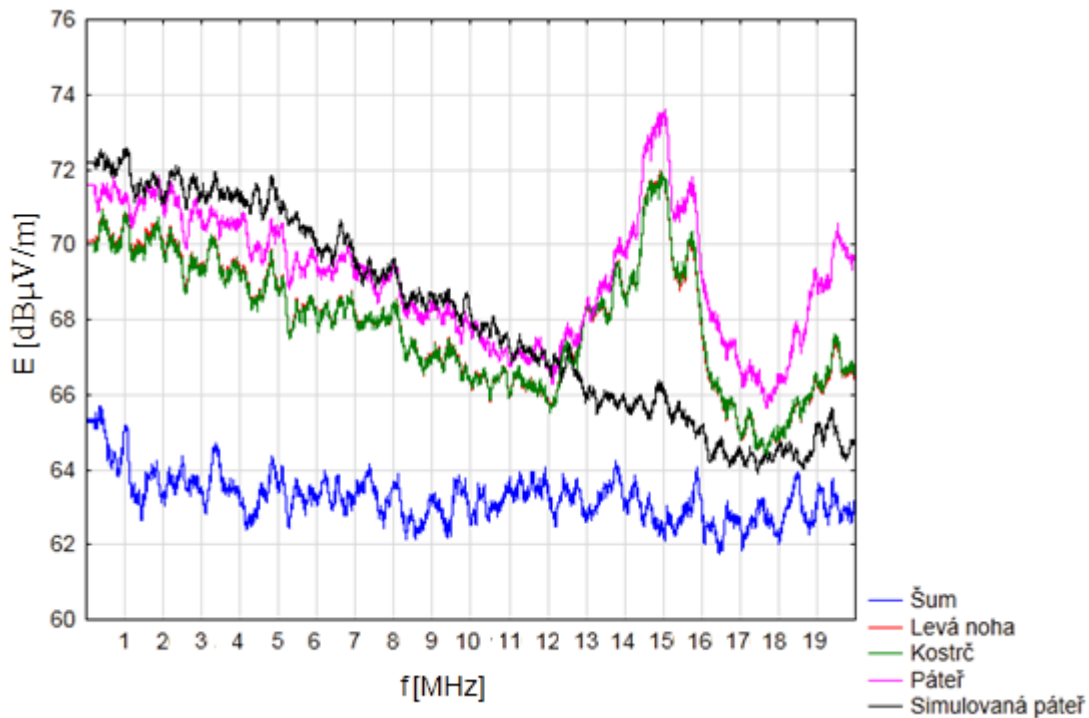


Obr. 15. Krabicový graf znázorňující medián, horní kvartily, dolní kvartily, minima a maxima naměřených hodnot

Dále byly kvůli přehlednosti v grafickém zpracování výsledků hodnoty odfiltrovány klouzavým průměrem. Klouzavý průměr se používá na jednodušší odhalování trendu naměřených výsledků a počítá se jako průměr stejného počtu za sebou jdoucích období. Jelikož v každém měření bylo naměřeno téměř 20 000 hodnot, hodnota období pro výpočet klouzavého proudu byla stanovena na 200. Rozdíl mezi aritmetickým a klouzavým průměrem je graficky znázorněn na Obr. 16. Klouzavé průměry všech měření byly vyneseny do grafu na Obr. 17, bohužel ale nejde moc vidět signál levé nohy, protože ho překrývá signál kostrče.



Obr. 16. Rozdíl mezi aritmetickým průměrem (modrá) a klouzavým průměrem (červená)



Obr. 17. Klouzavé průměry měřených signálů

7.1 Zhodnocení naměřených veličin

Z porovnání aritmetických průměrů lze vyčíst, že levá noha a kostrč dokázaly zesílit signál o zhruba 4,7 dB μ V/m, u páteře dokonce skoro o 6 dB μ V/m a u simulované páteře 5,8 dB μ V/m. U mediánu, který rozděluje hodnoty na dvě stejné poloviny, byly hodnoty velmi podobné jako u aritmetického průměru. Konkrétně u levé nohy a kostrče byl rozdíl okolo 4,6 dB μ V/m, u páteře 5,9 dB μ V/m a u simulované páteře 4,7 dB μ V/m.

U porovnávání minimálních a maximálních vykazuje nejlepší hodnoty páteř, která má největší minimum a největší maximum. Druhé největší maximum bylo zjištěno u simulované páteře, která ale má nejnižší minimum. Hodnoty u levé nohy a kostrče jsou opět velmi podobné a liší se řádově jen o setiny dB μ V/m.

Při hodnocení rozptylu a směrodatné odchylky si nejde nevšimnout, že levá noha, kostrč i páteř mají velmi podobné výsledky. Oproti tomu simulovaná páteř má daleko větší hodnoty. Tyto hodnoty by mohly znamenat, že tělo je v některých případech, jako míra variability, spolehlivější než některé antény.

Na krabicovém grafu (Obr. 15) jde dobře vidět, že u všech měření se povedlo zesílit vstupní signál, ale žádné další diametrální rozdíly už zde nejsou. Páteř sice dle očekávání vykazuje nejvyšší hodnoty, ale je třeba si uvědomit, že kromě páteře vyzařoval i vodič, připevněný k páteři, aby se nabudila.

Při sledování trendů měřených signálů ve frekvenčním pásmu (Obr. 17) si lze všimnout několika zákonitostí. Na frekvenci kolem 1 MHz jsou velmi nadprůměrné hodnoty u všech signálů a u simulované antény dokonce maximální hodnoty. S přibývajícím frekvencí klesá zesílení u všech měřených signálů a to až do 12 MHz, u simulované antény až do 18 MHz. Od 12 MHz se u levé nohy, kostrče a páteře mění klesající trend a zesílení narůstá až do 15 MHz, kde mají tyto signály svá maxima. Od 15 MHz se opět začíná objevovat klesající trend. Od 18 MHz se rýsuje další vzrůstový trend, ale měření bylo prováděno pouze do 20 MHz, takže je těžké odhadnout, kam až se tento trend vyšplhá.

Z naměřených a zpracovaných hodnot (Tab. 9, Obr. 15, Obr. 17) lze říct, že lidské tělo se dokáže chovat jako anténa, nejlépe na frekvenci 15 MHz. Dále se dá říci, že signály levé nohy a kostrče jsou téměř identické a nejlepší anténou se ukázala být páteř.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout experiment pro ověření možnosti chování lidského těla jako antény a následné ověření experimentu v bezodrazové komoře ve vědeckotechnickém parku ve Zlíně.

Prvním úkolem bylo seznámení se s elektromagnetickým polem a jeho interakcemi s lidským tělem. Tento krok byl důležitý kvůli zvolení frekvenčního pásma, ve kterém se bude měřit. Nakonec byly zvoleny dlouhé, střední a krátké vlny.

Bylo změřeno celkem pět signálů, a to odezva bílého šumu, zesílení tohoto šumu pomocí levé nohy, kostrční kosti, páteře a simulované páteře. Změřená data byla zprůměrována, podrobena popisnou statistikou a vynesena do grafů.

Následující analýza dat potvrdila, že lidské tělo se dokáže chovat jako anténa. Podle očekávání nejlépe dopadla páteř. Naměřené hodnoty byly velmi podobné a u levé nohy a kostrční kosti dokonce téměř identické. Dále se ukázalo, že na určitých frekvencích mají velké zesílení signálu.

Je ale důležité říci, že daný experiment byl proměřen jen na jednom lidském těle, pouze na pár bodech a na relativně malé části frekvenčního spektra. Při větším experimentu s více lidskými subjekty a větším měřeným frekvenčním pásmem by mohli být jednotlivé výsledky odlišné.

Bohužel toto téma skrývá velmi mnoho nejistot a ani se nedostává do popředí zájmů vědců. Podobných studií na toto téma je velmi málo. Přitom výzkum by mohl přinést spoustu pozitivních změn, např. ve zdravotnictví jak jsem zmiňoval v úvodu nebo by frekvence lidského těla mohla sloužit jako další biometrický prvek.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The goal of this thesis was to design an experiment to verify the possibility of the behavior of the human body as an antenna and verify experiment in an anechoic chamber in science and technologic park in Zlín.

The first task was to get familiar with the electromagnetic field and its interaction with the human body. This step was important for selecting the frequency band which will be measured. Finally, the low, middle and high frequency were chosen.

Altogether, five signals were measured; a response to white noise, the noise gain by left leg, rump bone, spine and simulated spinal. Measured data have been averaged, depicted in graphs and descriptive statistics has been done.

The following analysis of the data confirmed that the human body can act as an antenna. As expected, spine seems to be the best. Measured values were very similar and left leg and rump bone were even almost identical. Furthermore, it appears that certain frequencies have large signal amplification.

But it is important to say that the experiment was performed with one human body, only a couple of points and a relatively small part of the frequency spectrum. Different results may be obtained for extended experiment with more human subjects and broader frequency band.

Unfortunately, this topic involves a lot of uncertainty and did out of scientist interest. Similar studies on this topic are quite rare. The research in this area could bring a lot of positive changes, such as in health care, as I mentioned at the beginning, or the frequency of the human body could be used as an additional biometric feature.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [2] PARTIKOVÁ, Michaela. *Měření elektromagnetického pole ve veřejně přístupných prostorách univerzitního kampusu*. Brno, 2013. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav fyziky kondenzovaných látek.
- [2] *Elektromagnetické záření* [online]. Ostrava [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: if.vsb.cz/Kontakt/Hlavacova/af_vyuka/elmag_zareni.doc. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [3] FEITOVÁ, Eva. *Ochrana veřejného zdraví v kontextu zákona o zdravotních službách*. Brno, 2013. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Právnická fakulta, Katedra práva životního prostředí a pozemkového práva.
- [4] JANÍČKOVÁ, Tereza. *Ochrana zdraví člověka před ionizujícím a neionizujícím zářením*. Brno, 2013. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Právnická fakulta, Katedra práva životního prostředí a pozemkového práva.
- [5] *Modul : elektrické jevy v oběhové soustavě* [online]. [cit. 2014-04-09]. Dostupné z: http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/Modul_elektricke_jevy_v_obehove_soustave_cloveka.pdf. Univerzita Palackého Olomouc.
- [6] LIBOFF, A. R. Toward an Electromagnetic Paradigm for Biology and Medicine. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 2004, vol. 10, pp. 41-47.
- [7] JALIL, S. Z. A.; TAIB, M. N.; ABDULLAH, H.; YUNUS, M. M. Frequency Radiation Characteristic Around the Human Body. *International Journal of Simulation Systems, Science & Technology*, 2012, vol. 12, no. 1, pp. 34-39.
- [8] Apple iPod 'could be charged by the human heart'. *The Daily Telegraph* [online]. 2011 [cit. 2014-05-7]. Dostupné z: <http://www.telegraph.co.uk/technology/apple/8413424/Apple-iPod-could-be-charged-by-the-human-heart.html>
- [9] KARPOWICZ, Jolanta a Dina SIMUNIC. *Mechanisms of interaction of electromagnetic fields with human body*. 2009 2nd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies. IEEE, 2009.

DOI: 10.1109/ISABEL.2009.5373605. Dostupné z:

<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5373605>.

- [10] MÍČEK, Petr. *Nejnovější poznatky o specifických účincích různých druhů elektromagnetického záření na živé organismy*. Brno, 2007. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, přírodovědecká fakulta.
- [11] STEINMETZ, Martin. *EMC biologických systémů*. 2005, s. 19. Dostupné z: www.comtel.cz/files/download.php?id=1771.
- [12] Česká republika. Elektromagnetické pole (0 Hz – 300 GHz) – stav k 1. lednu 2009. In: *Informace č. 16/2009*. Národní referenční laboratoř pro neionizující elektromagnetická pole a záření, 2009. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/cpl/NRL_Eletromag/NRL_16.pdf
- [13] Council recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz). In: 1999. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1999:199:0059:0070:EN:PDF>
- [14] Directive 2004/40/EC of the european parliament and of the council of 29 April 2004 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields). In: 2004. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:184:0001:0009:EN:PDF>
- [15] Česká republika. Nařízení vlády ze dne 12. prosince 2007 o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. In: *č. 1/2008 Sbirka zákonů*. Dostupné z: https://osha.europa.eu/fop/czech-republic/cs/legislation/files/1_2008.pdf
- [16] MAZÁNEK, Miloš a Pavel PECHAČ. *Šíření elektromagnetických vln a antény*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004, 259 s. ISBN 80-010-3032-6.
- [17] Yagi Uda Antenna Calculator. *Changpuak* [online]. 2014 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: http://www.changpuak.ch/electronics/yagi_uda_antenna.php
- [18] SVAČINA, Jiří, Jiří DŘÍNOVSKÝ, Tomáš FRÝZA, Zdeněk KEJÍK a Václav RŮŽEK. *Encyklopedie elektromagnetické kompatibility* [online]. Brno: Vysoké

učení technické, Ústav radioelektroniky, 2009 [cit. 2014-05-09]. Dostupné z:
<http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/>

- [19] NAGY, Michal. *Zodolnění konstrukce bezpečnostních kamer proti elektromagnetickému rušení*. Zlín, 2013. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky.
- [20] Anechoic Chambers / RF Shielded Rooms. *Frankonia* [online]. Německo, 2012 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z:
http://www.frankoniagroup.com/cms/fileadmin/shared/downloads/rooms%26chambers/Anechoic_Chambers.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

B	Magnetická indukce.
E	Intenzita elektrického pole.
H	Intenzita magnetického pole.
I_c	Dotykový (kontaktní) proud.
J	Hustota Elektrického proudu.
SAR	Specifická míra absorpce
Φ_e	Hustota zářivého toku

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Místa měření vyzařování [7]</i>	14
<i>Obr. 2. Lidské srdce [5]</i>	15
<i>Obr. 3.: Převodní systém srdce [5]</i>	16
<i>Obr. 4. Typy drátových antén (dipólová, kruhová, šroubovitá) [16]</i>	26
<i>Obr. 5. Typy plošných antén (jehlanový a</i>	26
<i>Obr. 6. Yagi anténa [17]</i>	27
<i>Obr. 7. Princip reflektorových antén [16]</i>	27
<i>Obr. 8. Typy optických čoček [16]</i>	27
<i>Obr. 9. Sonda elektrického pole [18]</i>	29
<i>Obr. 10. Průřez modelem komory SAC 3 Plus [20]</i>	31
<i>Obr. 11. Rozmístění lidského těla a monopólové antény</i>	33
<i>Obr. 12. Propojení generátoru šumu a levé nohy</i>	34
<i>Obr. 13. Měření simulované páteře</i>	35
<i>Obr. 14. Realizace popisné statistiky v programu Statistica</i>	36
<i>Obr. 15. Krabicový graf znázorňující medián, horní kvartily, dolní kvartily,</i>	37
<i>Obr. 16. Rozdíl mezi aritmetickým průměrem (modrá) a klouzavým průměrem (červená)</i>	38
<i>Obr. 17. Klouzavé průměry měřených signálů</i>	39

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Elektromagnetické záření [2]</i>	10
<i>Tab. 2. Snímané signály na povrchu těla [5]</i>	12
<i>Tab. 3. Základní omezení pro elektromagnetická pole [13]</i>	21
<i>Tab. 4. Referenční úrovně pro elektromagnetická pole [13]</i>	22
<i>Tab. 5. Limity pro ozáření pracovníků [14]</i>	23
<i>Tab. 6. Přehled referenčních hodnot pro zaměstnance [14]</i>	24
<i>Tab. 7. Nejvyšší přípustné hodnoty pro zaměstnance a obyvatele [15]</i>	25
<i>Tab. 8. Přehled měřících antén [18]</i>	28
<i>Tab. 9. Získané statistické údaje z naměřených hodnot</i>	37