

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra informačních technologií



Bakalářská práce

ICT a životní prostředí

Adéla Jelínková

© 2015 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra informačních technologií

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Adéla Jelínková

Systemové inženýrství a informatika

Název práce

ICT a životní prostředí

Název anglicky

ICT and the Environment

Cíle práce

Bakalářská práce je tematicky zaměřena na problematiku škodlivosti mikrovlnných pojítek. Hlavním cílem práce je analyzovat dopady využívání pojítek na životní prostředí a naplňování hygienických norem. Dílčí cíle bakalářské práce jsou:

- provést spektrální analýzu v různých frekvencích a zjistit, zda signálové pokrytí nekoliduje s hygienickými normami
- charakterizovat stávající stav a různé pohledy na bezpečnost mikrovlnných pojítek
- spočítat a navrhnout implementaci mikrovlnných spojů v dostatečné vzdálenosti od obytných oblastí

Metodika

1. Metodika řešení problematiky bakalářské práce je založena na studiu a analýze odborných informačních zdrojů. Praktická část řešení je realizována formou měření za pomoci spektrální analýzy různých frekvenčních pásem. Na základě syntézy teoretických poznatků a výsledků praktické části řešení práce budou formulovány závěry bakalářské práce.

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran

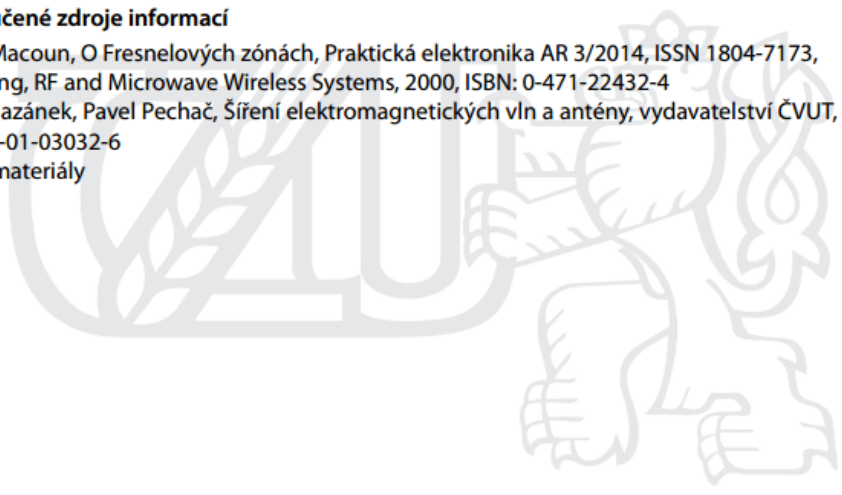
Doporučené zdroje informací

Jindra Macoun, O Fresnelových zónách, Praktická elektronika AR 3/2014, ISSN 1804-7173,

Kai Chang, RF and Microwave Wireless Systems, 2000, ISBN: 0-471-22432-4

Miloš Mazánek, Pavel Pechač, Šíření elektromagnetických vln a antény, vydavatelství ČVUT, Praha 2004,
ISBN 80-01-03032-6

online materiály



Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

Vedoucí práce

Ing. Jan Jarolímek, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 31. 10. 2014

Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 11. 11. 2014

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 16. 02. 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "ICT a životní prostředí" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne ____ 2015 _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala panu inženýru Janu Jarolímkovi za vedení při vzniku této bakalářské práce, dále bych chtěla poděkovat panu docentu Vojtěchu Petráčkovi za přivedení na správnou cestu, panu profesoru Miloši Mazánkovi za seznámení se správnými lidmi na Státním Zdravotním Úřadě a v neposlední řadě panu inženýru Lukáši Jelínkovi za veškeré informace, které mi k mé práci poskytl.

ICT a životní prostředí

Souhrn

Tato bakalářská práce se zabývá tématem souladu informačních a komunikačních technologií s životním prostředím. Jak v České republice, tak po celém zbytku světa se nacházejí telekomunikační sítě založené na mikrovlnném záření. Velmi často diskutovanou otázkou je, zda je bezpečné a přirozené tak velké množství uměle vytvořených zdrojů záření a zda může díky nim dojít k poškození zdraví člověka a ostatních živočichů a stavu přírody.

Pro regulaci těchto zdrojů mikrovlnného záření byly vytvořeny normy stanovující maximální úroveň vyzařování antén. Tato práce pojednává o tom, zda jsou normy dostatečné a zda jsou v současné době na veřejně dostupných místech dodržované.

V teoretické části byla kromě jiného analyzována dostatečnost aktuálních norem a bylo zjištěno, že normy byly stanoveny na základě dostatečně vysokého množství výzkumů, proto jim lze důvěřovat. V praktické části byly metodou měření spektrálním analyzátozem Českého zdravotního Ústavu naměřeny údaje o hustotě zářivého toku, které se laicky říká „elektrosmog“ a o úrovni elektrického pole na území Hlavního města Prahy. Během měření byly zjištěny údaje v nejobsazenějších mikrovlnných pásmech, které jsou používány mobilními operátory, tedy GSM 900, GSM 1800 a 3G 2100. Také byly použity údaje z měření nižších pásem počínaje rádii FM, které ale do mikrovlnného spektra nespádají, až po již zmíněné vysílací frekvence operátorů. Naměřené údaje se porovnály s hygienickými normami a bylo zjištěno, že se regulace dodržují ve všech případech na veřejných místech, proto není v současné době zapotřebí podnikat jiných kroků, než obeznámit širokou veřejnost s touto skutečností, aby se zabránilo zbytečnému strachu z antén a jiných zdrojů mikrovlnného záření.

Klíčová slova: Fresnelova zóna, Hygienické normy, Mikrovlnná pojítka, Spektrální analýza, Telekomunikační spoje, Antény

ICT and the Environment

Summary

This bachelor thesis discusses the topic of harmony of Information and Communication Technologies with the Environment. In the Czech republic as well as around the world, there are telecommunication networks based on microwave radiation. A most discussed question is, whether such huge quantities of artificial radiation sources are safe and natural and whether they can possibly cause any harm to the health of human beings and other living organisms and also to the state of nature.

There have been norms created to regulate the maximum radiation of these radiation sources that limit the maximum level of radiation of antennas. This thesis discusses, if these norms are sufficient and if the standards are met in public places.

Unless other facts, the sufficiency of up-to-date norms has been analyzed in the theoretical part and it was found, that the norms have been determined by high enough number of researches and therefore they can be trusted. In the research part, there have been data measured with a spectrum analyzer by the Czech Institute of Health about the irradiance that is called „electro-smog“ by the general public and also about the level of electrical field in the territory of the Capital Prague. There have been found facts about the most populated microwave bands during the measurement, that are used by mobile operators, meaning GSM 900, GSM 1800 and 3G 2100. There have also been used data from lower frequencies beginning with radio FM, which does not belong to the microwave spectrum, up to the already mentioned frequencies used by operators. The measured data has been compared to the hygienic norms and it has been found out, that the standards are met in all cases in public places and therefore it is unnecessary to take any other precautions but acquaint the general public with this fact to prevent a needless fear of antennas and other sources of microwave radiation.

Keywords: Fresnel zone, Hygienic limits, Microwave links, Spectrum analysis, Telecommunication links, Antennas

Obsah

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Úvod | 6 |
| 2 | Cíl práce a metodika | 7 |
| 3 | Přehled řešené problematiky | 9 |
| 3.1 | Historie RF a mikrovlnných bezdrátových systému | 9 |
| 3.2 | Architektura GSM sítí | 10 |
| 3.2.1 | Switching System | 11 |
| 3.2.2 | Base Station System..... | 13 |
| 3.2.3 | Operation and Support System | 14 |
| 3.2.4 | Rozhraní ke komunikaci různých systémů | 14 |
| 3.2.5 | Přenosová rychlost..... | 15 |
| 3.2.6 | Frekvenční pásma GSM..... | 15 |
| 3.2.7 | Přenosová síť | 15 |
| 3.3 | Typy antén v telekomunikacích | 16 |
| 3.4 | Elektromagnetické spektrum..... | 19 |
| 3.4.1 | Kmitočtové hospodářství | 20 |
| 3.5 | Mikrovlnné záření | 22 |
| 3.5.1 | Použití mikrovlnného záření k ohřevu jídla..... | 23 |
| 3.5.2 | Použití mikrovlnného záření k přenosu informací..... | 24 |
| 3.6 | Šíření signálu pomocí mikrovlnného záření | 26 |
| 3.6.1 | Fresnelova zóna (definice)..... | 26 |
| 3.6.2 | Útlum při pohlcení atmosférou | 28 |
| 3.7 | Hygienické normy pojící se k elektromagnetickému záření | 29 |
| 3.7.1 | Maximální hodnoty a jejich stanovení..... | 31 |
| 3.7.2 | Chybovost | 31 |
| 3.8 | Hodnocení hygienických norem | 31 |
| 4 | Vlastní práce | 34 |
| 4.1 | Výběr hygienických norem | 34 |
| 4.1.1 | Hustota zářivého toku (S , [W/m^2]) | 34 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.1.2 | Intenzita elektrického pole (E, [V/m])..... | 35 |
| 4.2 | Specifikace měření | 36 |
| 4.3 | Tabulky z měření..... | 36 |
| 4.4 | Porovnání hodnot s limitními..... | 45 |
| 5 | Výsledky a diskuse | 50 |
| 6 | Závěr..... | 52 |
| 7 | Použitá literatura..... | 53 |
| | Seznam literárních zdrojů | 53 |
| | Seznam internetových zdrojů..... | 53 |

Seznam obrázků

| | | |
|------------|--|----|
| Obrázek 1 | - Schéma GSM sítě..... | 11 |
| Obrázek 2 | - Realizace mikrovlnných spojů | 16 |
| Obrázek 3 | - Kathrein 80010669, panelová GSM anténa | 17 |
| Obrázek 4 | - Ericsson MINI-LINK HC s parabolickou anténou | 18 |
| Obrázek 5 | - Typy antén | 19 |
| Obrázek 6 | - Elektromagnetické spektrum | 21 |
| Obrázek 7 | - Rádiové spektrum | 22 |
| Obrázek 8 | - Jednotlivé typy vln při šíření..... | 25 |
| Obrázek 9 | - Fresnelovy zóny..... | 27 |
| Obrázek 10 | - Fresnelův elipsoid, výpočet dle učebnice Ericsson..... | 28 |
| Obrázek 11 | - Pohlcení atmosférou při dobrém počasí..... | 29 |

Seznam tabulek

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabulka 1 | - Frekvenční pásma GSM | 15 |
| Tabulka 2 | - Označení mikrovln podle kmitočtového pásma | 23 |
| Tabulka 3 | - Hygienická norma - Maximální hustota zářivého toku pro ostatní osoby | 35 |
| Tabulka 4 | - Hygienická norma + Maximální intenzita elektrického pole | 35 |
| Tabulka 5 | - Průměry, maxima a minima intenzity elektrického pole..... | 38 |
| Tabulka 6 | - Průměry, maxima a minima hustoty zářivého toku..... | 42 |
| Tabulka 7 | - Srovnání s normou pro nepřetržitou expozici 28-61 V/m..... | 45 |
| Tabulka 8 | - Srovnání s normou 61 V/m | 46 |

| | |
|--|----|
| Tabulka 9 - Srovnání se Salcburským doporučením 0,61 V/m | 47 |
| Tabulka 10 - Srovnání s normou pro nepřetržitou expozici 2-10 W/m ² | 48 |
| Tabulka 11 - Srovnání s normou pro přerušovanou expozici 10 W/m ² | 48 |
| Tabulka 12 - Srovnání se Salcburským doporučením 0,01 W/m ² | 49 |

Seznam grafů

| | |
|---|----|
| Graf 1 - Srovnání minim intenzity elektrického pole | 39 |
| Graf 2 - Srovnání maxim intenzity elektrického pole..... | 40 |
| Graf 3 - Srovnání průměrů intenzity elektrického pole | 40 |
| Graf 4 - Srovnání minim hustoty zářivého toku | 43 |
| Graf 5 - Srovnání maxim hustoty zářivého toku..... | 44 |
| Graf 6 - Srovnání průměrů hustoty zářivého toku | 44 |

1 Úvod

V současném světě jsme obklopeni elektromagnetickým zářením. Díky vzrůstajícím potřebám komunikace a všeobecného přenosu informací se po celém světě vybudovala telekomunikační síť a její bezdrátová složka je založena na rádiových a mikrovlnných (jinak zvaných radioreléových, RR) spojích. Tyto spoje se používají na místech, kde není výhodné či možné realizovat kabelové vedení.

Kromě telekomunikací se mikrovlnné záření také používá například k ohřevu a přípravě jídel a v radarové technice. V souvislosti s tím se často objevují články diskutující o bezpečnosti mikrovlnných trub, telefonů i radarů, jež jsou ale málokdy skutečně vědecky podloženy.

Pokrytí mobilním signálem je tvořené množstvím panelových antén, které vysílají na frekvencích 900 a 1800 MHz, 3G síť na frekvenci 2100 MHz, a všechny tyto frekvence spadají pod mikrovlnné pásmo. Dalšími telekomunikačními zařízeními, které jsou zdroji mikrovlnného záření, jsou mikrovlnná pojítka propojující prvky GSM sítí. Množství zdrojů mikrovlnného záření je tedy velmi velké, proto je potřeba dbát na dodržování patřičných hygienických norem.

V České republice jsou dle nařízení vlády č.1/2008 Sb. pro mikrovlnné vyzařování stanoveny maximální hodnoty (podrobnosti viz přehled řešené problematiky, kapitola 3.7 o hygienických normách).

2 Cíl práce a metodika

Cílem této práce je zjistit, nejsme-li vlivem množství telekomunikačních zařízení vystavování zdravotnímu riziku mikrovlnného záření, a zda toto záření nepoškozuje životní prostředí. Hypotéza říká, že určitě existují případy, kdy hygienické normy nejsou dodrženy. Důležité je zodpovědět si otázky jako například: Co spadá pod mikrovlnné spektrum? Jaká telekomunikační zařízení vůbec mikrovlnné záření vytvářejí? Jakým způsobem se mikrovlnné záření šíří? Jaké existují zákonné normy, z čeho tyto zákonné normy pramení a zda jsou dostatečné?

Dále je pro posouzení aktuálního stavu potřeba provést konkrétní spektrální analýzu ve vybraných frekvenčních pásmech a zjistit, zda signálové pokrytí nekoliduje s hygienickými normami.

Jedním z dílčích cílů je charakterizovat stávající stav pokrytí mikrovlnným zářením a ukázat několik pohledů na bezpečnost mikrovlnných antén.

Pokud vyjdou výsledky měření a porovnávání s normami negativní, je nutné spočítat a navrhnout implementaci mikrovlnných spojů v dostatečné vzdálenosti od obytných oblastí.

Pro zjišťování teoretických informací týkajících se tématu telekomunikací a životního prostředí byly vybrány odborné knihy, z nichž bylo v teoretické části práce čerpáno. Byly použity jak knihy, které jsou běžně k vypůjčení v knihovnách, tak vysokoškolská skripta, a také neveřejné materiály určené původně pro vzdělávání zaměstnanců švédské firmy Ericsson (Ericsson Radio Systems AB).

Pro praktickou část byla použita data získaná za pomoci měření spektrálním analyzátozem ve frekvenčních pásmech od FM do 3G 2100 provedená Státním Zdravotním Ústavem v Praze sídlícím na adrese Šrobárova 49/48, 100 00 Praha 10 – Vinohrady. Protože data nejsou veřejně dostupná, bylo k jejich získání nutné podepsat smlouvu o mlčenlivosti a u provedených měření nesmějí být uvedené adresy. Na základě syntézy teoretických poznatků a výsledků praktické části řešení práce byly formulovány závěry bakalářské práce. Data byla zpracována v softwaru MS Excel do jednotné tabulky, poté byla zjednodušena do porovnatelné formy.

Z porovnaných dat byly pomocí vzorců vypočítány statistické údaje o naměřených veličinách, které byly pomocí téhož softwaru převedeny do grafů, z nichž výsledek měření je lépe čitelný. Závěrem praktické části byla data srovnána s hygienickými normami pomocí vypočtení příslušného procenta z limity u naměřených hodnot a bylo zjištěno, zda jsou normy dodržovány či nikoliv. Výzkum byl zaměřen na oblast Hlavního města Prahy.

3 Přehled řešené problematiky

V této části práce je uvedeno obeznámení s pojmy, které se týkají obecně telekomunikací a mikrovlnného přenosu informací. Dále jsou zde uvedeny informace o typech antén, způsobu přenosu signálu vzduchem a zákonné normy limitující vyzařování mikrovlnných antén.

3.1 Historie RF a mikrovlnných bezdrátových systémů

V roce 1864 James Clerk Maxwell prezentoval Maxwellovy rovnice, tedy základní zákony v makroskopické teorii elektromagnetického pole, spojením prací Lorentze (Lorentzova transformace), Faradaye (Zákon elektromagnetické indukce), Ampéra (Ampérův zákon celkového proudu) a Gausse (Gaussův zákon elektrostatiky). Zjistil, že se elektromagnetické záření může vzduchem šířit rychlostí světla.

O dvacet čtyři let později, tedy v roce 1888, tuto hypotézu laboratorně potvrdil Heinrich Rudolf Hertz. Jeho experimentální radiový systém se skládal z dipólového vysílače a přijímače ve formě rezonanční čtvercové smyčkové antény na provozní vlnové délce 4m. Za tuto práci je H. R. Hertz považován za otce rádia a jednotky frekvence jsou pojmenovány po něm, Hertz (Hz). Jeden Hertz je kmitočet periodického jevu, jedna perioda trvá jednu vteřinu (cyklus za vteřinu), např. 50 Hz znamená 50 cyklů za vteřinu.

Po dvě desetiletí zůstala Hertzova vědecká práce v laboratoři, až poté Guglielmo Marconi představil metodu přenosu a příjmu informací, zkomercializoval tento projekt a brzy nato se jeho bezdrátový telegraf stal hlavním prostředkem rychlé (a první) radiové komunikace. Marconi získal za své vynálezy v roce 1909 Nobelovu Cenu za fyziku.

Postupně radiová komunikace rozšiřovala své působení a zvláště za 2. Světové války se uplatňovala a rozvíjela. V té době vznikl radar (zkratka z radio detection and ranging), a zaznamenal se rozvoj radiokomunikace díky zvýšenému množství vysílání, telefonování a PTP radiovým spojům (které však již byly známy před válkou).

V roce 1959 J. R. Pierce a R. Kompfner vynalezli zaoceánskou komunikaci za pomoci satelitů, které používaly vysílací vysokofrekvenční systém schopný obsloužit najednou tisíce uživatelů telefonů, desítky či stovky televizních kanálů a mnoho datových linek. Jejich

provozní kmitočty se pohybují v řádu GHz. Po roce 1980 se bezdrátové a mobilní telefony zpopularizovaly a velmi rychle vzrostl počet jejich uživatelů.

V současné době se na vysokých frekvencích přenáší hlas, pošta, video, chat, data a počítačové on-line služby. Přímé spojení se satelitem může přinést například zvuk, obraz či data odkudkoliv ze světa, dokonce i z nejvzdálenější části planety. V devadesátých letech se zvětšilo množství využití radiové komunikace na další aplikace jako např. satelity pro přímý přenos, GPS (global positioning system) a další.¹

3.2 Architektura GSM sítě²

Telekomunikační sítě v současné době používají několik technologických standardů. Vedle 3G LTE apod. je jedním z nejpoužívanějších standard GSM, tedy Global System for Mobile Communications. Vyskytuje se na třech frekvencích, tedy 900 MHz, 1800 MHz a 1900 MHz. V České republice je využíváno GSM 900 a 1800³. Při plánování (tzv. radio planning) se počítá s různými modely, pro šíření GSM signálu existuje několik druhů modelů (makrobuňky - území 1-30 km, mikrobuňky - území do 1 km či pikobuňky - uvnitř budov). Podle charakteru výpočtu existují modely stochastické, empirické, deterministické a semi-deterministické.⁴

GSM architektura se skládá ze tří základních systémů:

1. Switching System (SS)
2. Base Station System (BSS)
3. Operation & Support System (OSS)

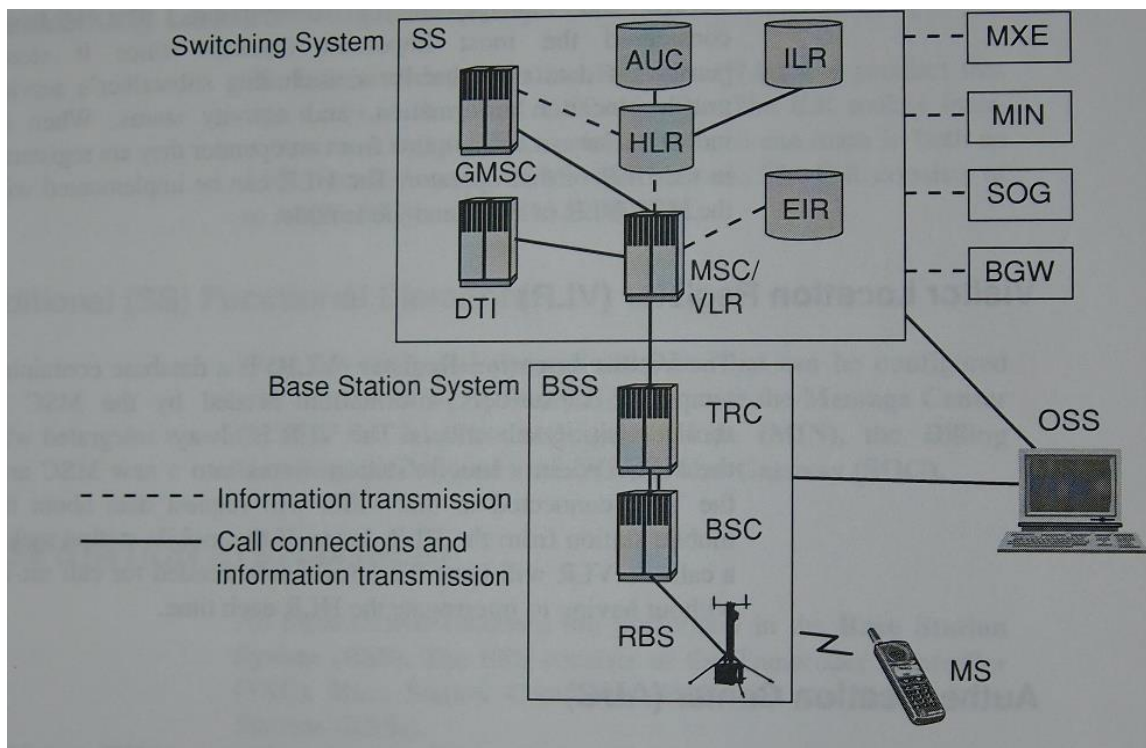
¹ CHANG, Kai, RF and Microwave Wireless Systems, USA, John Wiley & Sons, © 2000, ISBN: 0471224324

² ERICSSON RADIO SYSTEMS AB, GSM RBS 2000 Basics, Student Text EN/LZT 123 3805 R2A, © 1998

³ GSM COVERAGE MAPS. GSM Association Mobile World Live [online]. © 2013 [cit. 2014-09-12], Dostupné z:

<http://maps.mobileworldlive.com/network.php?cid=9&cname=Czech%20Republic>

⁴ MAZÁNEK, Miloš, Šíření elektromagnetických vln a antény, 2. vydání, Pavel Pechač, Praha, vydavatelství ČVUT, © 2004, ISBN: 8001030326



Obrázek 1 - Schéma GSM sítě

zdroj: Ericsson Radio Systems AB, GSM RBS 2000 Basics

3.2.1 Switching System

1. MSC – Mobile Services Switching Center – založeno na technologii AXE, obsahuje modularitu. MSC obstarává telefonní přepínací funkce systému. Ovládá hovory z a do jiného telefonu a datové systémy.
2. GMSC – Gateway MSC – uzel ke spojení dvou sítí, často implementovaný v MSC, tento typ nastavení se nazývá gateway MSC, veškeré MSC v síti mohou fungovat jako gateway.
3. HLR – Home Location Register – databáze určená ke schraňování a management účastníků. HLR je považováno za nejdůležitější databázi, protože shromažďuje trvalá data o účastnících, včetně servisního profilu účastníka, informace o umístění a stav aktivity. Když si někdo koupí odběr u některého operátora, je zaregistrován do HLR tohoto operátora. HLR může být implementováno do MSC/VLR nebo může být jako

samostatný uzel.

4. VLR – Visitor Location Register – databáze obsahující informace o dočasných účastnících, které potřebuje MSC ke službám navštěvujících účastníkům. VLR je vždy integrováno v MSC. Když se mobilní stanice „zatoulá“ do oblasti nového MSC, VLR spojené s tím MSC vyžádá data o této mobilní stanici od HLR. Později, pokud tato mobilní stanice uskuteční hovor, VLR bude mít veškeré informace pro nastavení hovoru, aniž by se muselo znovu dotazovat HLR.
5. AUC – Authentication Centre – poskytuje identifikaci a šifrovací parametry, které určí identitu uživatele a zajišťuje utajení každého hovoru. AUC chrání síťové operátory od různých typů podvodů nacházejících se v dnešním světě. AUC může být implementována v HLR v GSM R6.1/R3.
6. EIR – Equipment Identity Register – databáze s informacemi o identitách mobilních zařízení, které zabraňuje ukradení a neautorizování hovorů nebo chybovosti mobilní stanice. AUC a EIR jsou implementovány jako samostatné uzly nebo zkombinovány jako AUC/EIR uzel.
7. DTI – Data Transmission Interworking Unit se skládá ze softwarové a hardwarové části a poskytuje rozhraní různým sítím ke komunikaci dat. Skrze DTI uživatelé mohou během některých hovorů přepínat mezi hlasem a daty. Mezi hlavní funkce této jednotky patří přizpůsobení modemu a faxu a schopnost přizpůsobovat přenosovou rychlost.
8. ILR – Interworking Location Register – existuje pouze v sítích GSM 1900, umožňuje roaming uvnitř systému, to znamená, že uživatel používá síť AMPS i GSM 1900, ILR se skládá z AMPS HLR a GSM 1900 VLR.
9. Přídavné funkční prvky – existují další volitelné prvky, které mohou být součástí konfigurace Switching Systému, mezi ně patří Message Center (MXE), Mobile Intelligence Node (MIN), Billing GateWay (BGW) a Service Order Gateway (SOG)

3.2.2 Base Station System

Base Station System, tedy systém základnových stanic, je zodpovědný za zřízení a udržení spojení s mobilními stanicemi (mobilními telefony), alokuje rádiové kanály na hlas a data, zřizuje spojení rádií, spojuje mobilní stanice s MSC, což je Mobile Switching Center, část Switching Systému.

BSS se dále dělí na 3 části:

1. TRC - Transcoder Controller, snižuje bitrate z 64 kbps na 16 kbps, což chrání přenos dat mezi MSC a BSC, transkóduje, obsahuje TRAU (Transcoding & Rate Adaptation Unit), které jsou sdružené, použitelné jakoukoli BSC, která o to požádá
2. BSC - Base Station Controller - ovládá funkce týkající se rádiového přenosu, je to aplikace AXE (Automated Cross-Connection Equipment, tedy přepínací telefonní centrála)
3. RBS - Radio Base Station - rádiové zařízení potřebné k obsluze 1 a více buněk sítě, RBS je implementací BTS (Base Transceiver Station, základnové stanice), rozhraní radio & transmission, RBS používá dvě frekvence, jedna slouží k vysílání signálu, druhá ke přijímání signálu z dalších mobilních stanic, BSC přepne MS na jinou BTS, když jednotka zvaná Radio Frequency Measurement oznámí slabší signál než sousední BTS, během hovoru se přenáší hlas po blocích, každý blok je 20 ms přes 13 kbps + 3 kbps pásmový signál, celkem se tedy přenáší mezi MS a BTS 16 kbps, každých 480 ms pošle MS report do BTS a BSC rozhodne, zda je potřeba předání jiné BTS. Každá BTS má jiný algoritmus na šifrování hovoru, kombinuje 0 a 1 podle unikátního vzorce, každá BTS má jiný vzorec, takže jen ona rozluští hovor, při předání jiné BTS se změní šifrování, šifrovací mechanismy jsou např. A5/1 a A5/2.

Radio Base Station se skládá z následujících částí:

1. DXU - Distribution Switch Unit
2. TRU - Transceiver Unit - obsahuje vysílací (transmitting) a přijímací (receiving) obvody ke správě osmi časových slotů informací vzdušného rozhraní

3. CDU - Combiner & Distribution Unit - kombinuje přenášený signál z různých TRU a distribuuje ho do ostatních TRU
4. ECU - Energy Control Unit - dohlíží na zdroje PSU a ovládá je, reguluje vnitřní podmínky v kabinetu
5. PSU - zdroje, AC (alternating current, střídavý proud) nebo DC (direct current, stejnosměrný proud) vstup a DC výstup (tedy AC/DC nebo DC/DC PSU)

3.2.3 Operation and Support System

OSS je implementací OMC (Operation and Maintenance Center) od Ericssonu. OSS poskytuje způsob podpory centralizovaných, regionálních i lokálních provozních i údržbových aktivit požadovaných mobilními sítěmi. OSS je funkční entita, ze které operátor monitoruje a ovládá celý systém. Na OSS můžeme hledět jako na dvouúrovňovou řídicí funkci.

Centralizovaná správa sítě skrz instalaci NMC (Network Management Center) s podružným OMC je výhodná. Pracovníci NMC se mohou soustředit na záležitosti v šíři celého systému, zatímco místní personál u každého OMC se může soustředit na krátkodobé, regionální záležitosti. Funkcionalitu OMC a NMC je možné kombinovat do jedné fyzické instalace nebo se zaimplementovat na různá místa. OSS je navržen tak, aby poskytoval odpovídající řídicí systém, který podporuje řadu síťových prvků. Příklady těchto síťových prvků jsou následující: MSC, BSC, RBS, VLR, HLR, EIR, AUC, MIN

3.2.4 Rozhraní ke komunikaci různých systémů

Různé části GSM sítě komunikují na různých rozhraních, celkem se vyskytují čtyři hlavní rozhraní:

1. A rozhraní: přes toto rozhraní probíhá výměna informací mezi MSC/VLR a TRC
2. A-ter rozhraní: toto rozhraní slouží k přenosu informací mezi TRC s BSC, zde probíhá modulace z 64 kbps na 16 kbps
3. A-bis rozhraní: přes toto rozhraní komunikují BSC s BTS, používají protokol LAPD (Link Access Protocol of the D Channel), zde se nejvíce používají mikrovlnná pojítka
4. Air (vzdušné) rozhraní: přes něj probíhá komunikace mezi základnovou a mobilní stanicí (BTS s MS)

3.2.5 Přenosová rychlost

1. E1 - 2 Mbps PCM (pulsně-kódová modulace - převod zvuku z analogu na digitál), 32 timeslotů, každý má 64 kbps, běžné pro GSM-900 a GSM-1800
2. T1 - 1,5 Mbps, 24 timeslotů, každý má 64 kbps, běžné pro GSM-1900
3. Air - Time Division Multiple Access (TDMA) technika ke komunikaci mezi BTS a MS, TDMA rozdělí každý nosič do 8 timeslotů, každý timeslot se přidělí specifickému uživateli, což umožní až 8 hovorů zároveň na jednom nosiči

3.2.6 Frekvenční pásma GSM

| | GSM 900 | GSM 1800 | GSM 1900 |
|----------|-------------|---------------|---------------|
| Uplink | 890-915 MHz | 1710-1785 MHz | 1850-1910 MHz |
| Downlink | 935-960 MHz | 1805-1880 MHz | 1930-1990 MHz |

Tabulka 1 - Frekvenční pásma GSM

zdroj: Ericsson Radio Systems AB, GSM RBS 2000 Basics

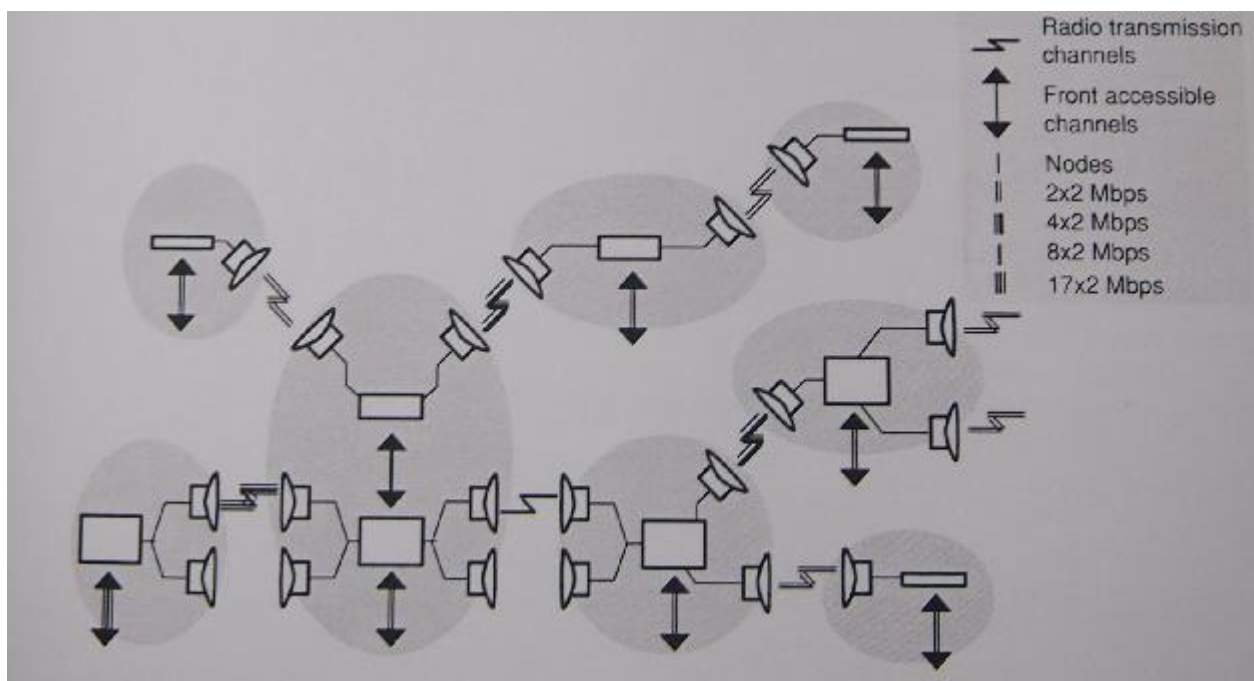
Jak vidíme v tabulce, GSM 1800 a GSM 1900 by kolidovalo a probíhalo by rušení downlinku GSM 1800 a uplinku GSM 1900, z tohoto důvodu se nepoužívá GSM 1800 a 1900 ve stejných oblastech.

3.2.7 Přenosová síť

Stabilní a spolehlivá přenosová síť je základní nutností pro správnou funkci telekomunikační sítě. Výrobce telekomunikačních zařízení Ericsson vyrábí následující přenosová zařízení:

1. MINI-DXC – Mini Digital Cross Connector – určený pro menší sítě
2. DXX – Digital Cross Connector – určený do páteřních sítí (back-bone) i do menších sítí
3. MINI-LINK – mikrovlnný spoj, určený k rychlé a efektivní výstavbě relativně velkých sítí bez použití kabelů mezi síťovými elementy a se širokým pokrytím, MINI-LINK je flexibilní co se týče kapacity, konfigurace i potřebného prostoru. Je vhodný na dočasné i stálé projekty, může být použit kdekoliv v síti, kde je zapotřebí 1 až 17 přenosových

linek o kapacitě 2 Mbps (E1). MINI-LINK, stejně jako i jiné mikrovlnné spoje, se skládá z ODU (Outdoor Unit, venkovní jednotky, která obsahuje anténu, rádio), propojovacího kabelu a IDU (Indoor Unit, vnitřní jednotky, tedy přístupového modulu). Mikrovlnné spoje se v praxi instalují buď ve variantě 1+0 nebo 1+1, což znamená, že buď bez redundance, nebo s redundancí.



Obrázek 2 - Realizace mikrovlnných spojů

zdroj: Ericsson Radio Systems AB, GSM RBS 2000 Basics

3.3 Typy antén v telekomunikacích

Anténa je zařízení sloužící k vysílání či přijímání signálu či k obojímu zároveň, je to klíčový prvek jakékoli bezdrátové komunikace. Modulovaný signál se přenáší vzduchem, a když dorazí k přijímací anténě, zesílí se, demoduluje a přečte se z něj původní informace. Existuje mnoho různých typů antén používaných k různým aplikacím. Mají však mnoho společných parametrů. U každé antény sledujeme směrové (vyzařovací) charakteristiky, polarizační charakteristiky, směrovost a impedanční vlastnosti. Pro každou anténu můžeme nakreslit tzv. horizontální a vertikální diagram (v angličtině "pattern,") ukazující, jak se těmito

směry šíří signál. Na diagramu můžeme vidět hlavní a postranní laloky. Zásadní rozdíl mezi anténami je také v tom, zda se jedná o realizaci pevného či mobilního spoje.

V telekomunikačních technologiích se využívá hned několik typů antén. Prvním typem je panelová směrová anténa, která se využívá k vysílání a přijímání mobilního signálu, různé antény jsou vhodné pro různé technologie, obecně ale platí, že ať je používaná technologie CDMA, GSM, 3G, LTE, 4G či jakákoliv jiná, anténa vysílající signál uživatelům mobilní sítě je panelová. Délka panelové antény může dosáhnout až skoro 3 metry. V současné době mnoho původně pouze GSM antén podporuje více technologií najednou (např. RFS anténa APXV9R26B-C podporuje technologie Digital Dividend, CDMA, GSM, DCS, PCS, UMTS and DVB-SH), některé antény dokážou například vysílat na několika frekvencích zároveň, pokud to jsou dvě, anténa je označena jako dual band, pokud 3, triple band aj. Mezi přední výrobce panelových antén patří německá firma Kathrein⁵ a již zmiňovaný RFS⁶.



Obrázek 3 - Kathrein 80010669, panelová GSM anténa

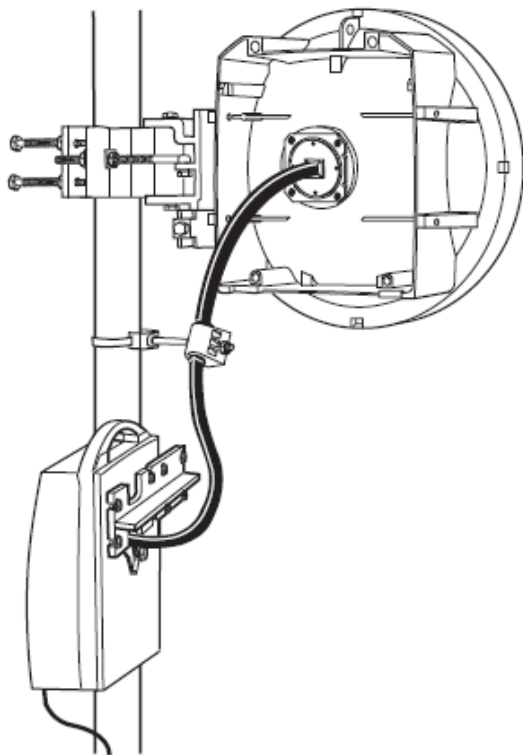
zdroj: Kathrein-Werke KG

Dalším typem antén používaných v telekomunikačních technologiích je anténa přenášející mikrovlnný signál, tvar této antény je obvykle parabolický. Jak již bylo zmíněno, tyto spoje neslouží k pokrytí signálem, ale ke komunikaci mezi síťovými prvky, např. BTS s BSC, BSC s MSC apod. Tyto antény jsou obecně rozměrově menší než antény panelové, ale v závislosti na vzdálenosti přenosu. Parabolické antény k mikrovlnným spojům se používají v průměrech 0,3 m, 0,6 m, 1,2 m, 1,8 m i větší, ve městech však nejčastěji uvidíme antény do velikosti 1,2 m.

⁵ KATHREIN-WERKE KG. Kathrein – Weltmarktführer in Kommunikationstechnologie!, [online], Německo, © 2014 [cit. 2014-09-12], Dostupné z: <http://www.kathrein.de/>

⁶ RADIO FREQUENCY SYSTEMS. RFS – Radio Frequency Systems – Your Global RF Partner, [online], © 2014 [cit. 2014-09-12], Dostupné z: <http://www.rfsworld.com/>

Pokud se na příjem mikrovlnného signálu používá parabolická anténa, rozměry mohou být obrovské, ale takto rozměrné parabolické antény se většinou používají například pro satelitní komunikaci, kde se mikrovlnný signál také používá.

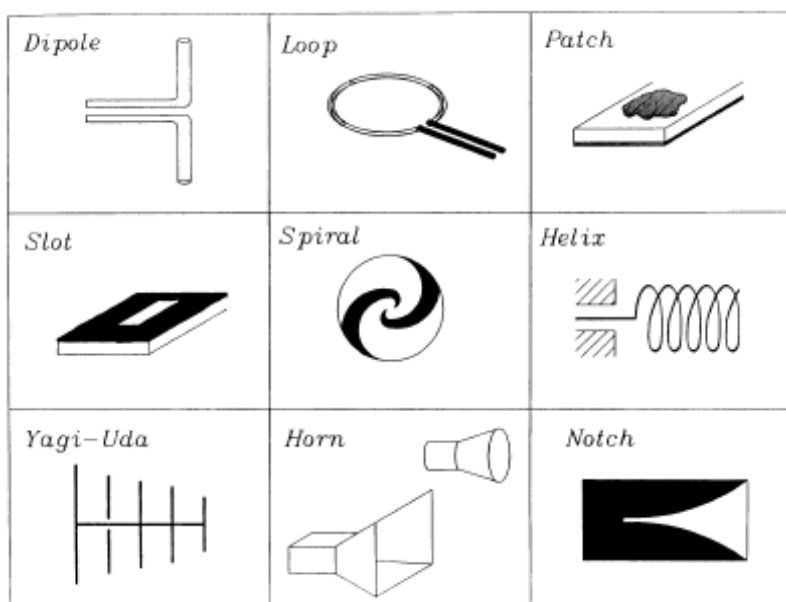


Obrázek 4 - Ericsson MINI-LINK HC s parabolickou anténou

zdroj: TelecomBuster⁷

Dalšími anténami, které můžeme vidět, jsou například všesměrové, dipólové, Yagi, smyčkové apod., ale tyto se v klasických telekomunikacích nepoužívají, jsou určeny například pro příjem radiového či televizního signálu. Tato práce je věnována blíže telekomunikacím a mikrovlnným spojům, proto je podrobnější popis těchto antén vynechán.

⁷ ERICSSON AB, MINI-LINK TN ANSI, [online], © 2007 [cit. 2014-09-14], Dostupné z: http://telecombuster.com/help_files/9129.eps.gif



Obrázek 5 - Typy antén

zdroj: RF and Microwave Wireless Systems. Kai Chang, s. 68

3.4 Elektromagnetické spektrum

Elektromagnetické záření je kombinací elektrického pole a magnetického vlnění. Má duální charakter, tedy za určitých okolností se chová jako vlnění a za jiných jako proudění částic.⁸ Mechanismus vyzařování elektromagnetické vlny se dá zjednodušeně popsat následujícím způsobem:⁹ Harmonicky proměnný zdroj napětí mezi dvěma body vytvoří elektrické a magnetické pole, elektrické pole působí silou na volné elektrony ve vodičích a pohyb těchto elektronů vyvolává proudy tekoucí po deskách a v prostoru následně vytváří magnetické pole. Elektromagnetické pole je tedy spojeno s existencí nábojů v/na vodičích. Jakmile je vlna vyzářena ze struktury vedení, siločáry elektrického pole vytvoří uzavřené smyčky nezávislé na náboji, který by byl nutný pro jejich existenci, vlna se tedy dál samostatně šíří v prostoru.

⁸ HLAVÁČOVÁ, Irena, Institut Fyziky VŠB-TU Ostrava, Elektromagnetické záření, © 2012 [cit. 2014-09-14], Dostupné z: http://if.vsb.cz/Kontakt/Hlavacova/elmg_zareni.doc

⁹ MAZÁNEK, Miloš, Šíření elektromagnetických vln a antény, 2. vydání, Pavel Pechač, Praha, vydavatelství ČVUT, © 2004, ISBN: 8001030326

Základními veličinami elektromagnetického záření jsou vlnová délka značená řeckým písmenem lambda - λ , jejíž jednotkou jsou metry (m), rychlost světla c, jejíž jednotkou jsou metry za vteřinu (m/s) a frekvence vlnění f, jejíž jednotkou jsou Herty (Hz). Vztah mezi nimi je následující:

$$\lambda = c/f \quad c = f \cdot \lambda = 300\,000\,000 \text{ m/s} \quad f = c/\lambda$$

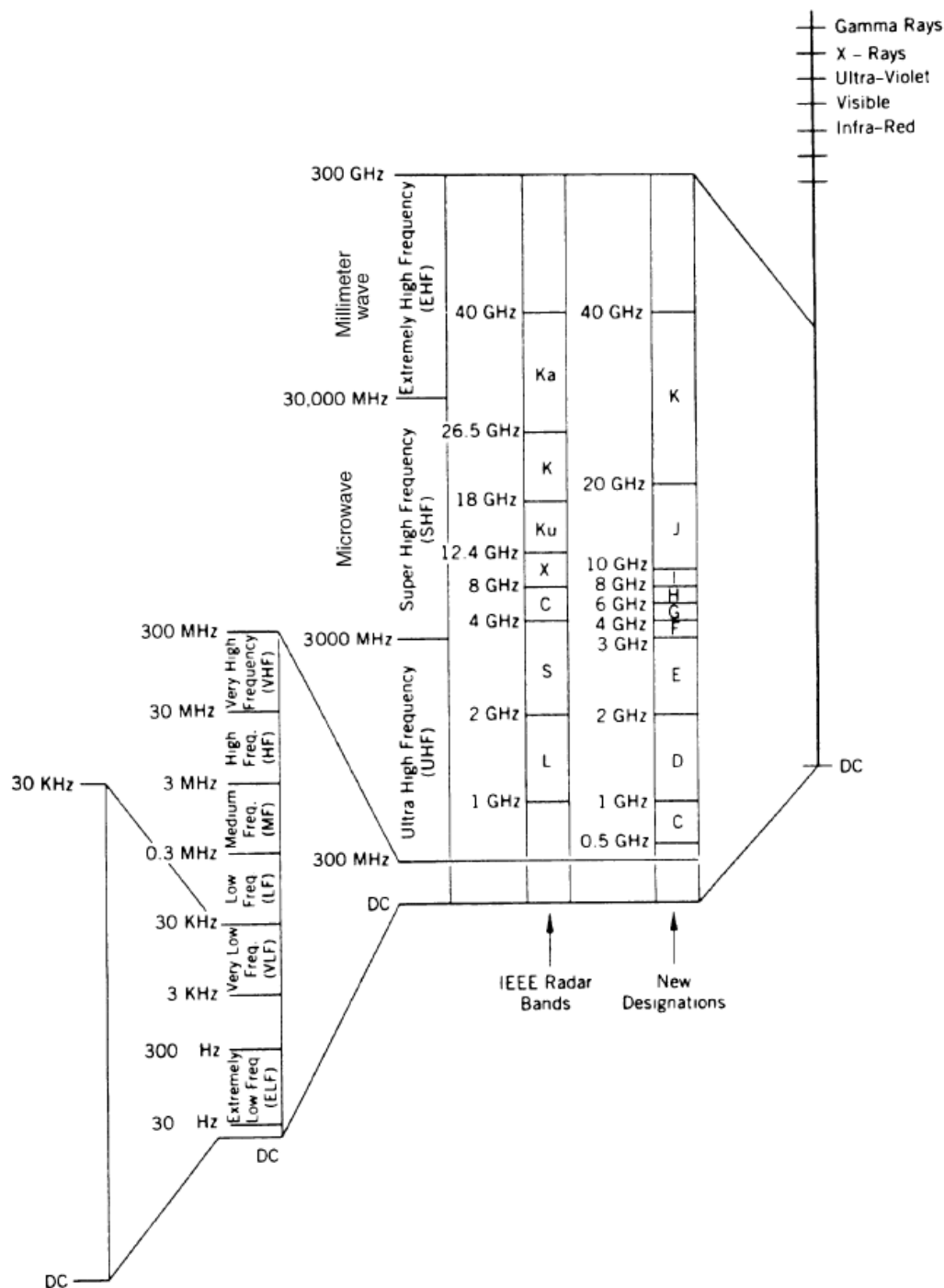
Platí tedy, že čím je vlna delší, tím je frekvence nižší. Do 300 MHz se spektrum nazývá radiové, mezi 300 MHz a 300 GHz se nachází mikrovlnné záření a nad 300 GHz jsou jiné druhy vyzařování jako infračervené záření, viditelné světlo, ultrafialové, rentgenové a gama záření (viz obrázky 6,7).

Objekty, kterými elektromagnetické záření prochází, se mohou chovat různými způsoby. Buď sami záření vysílají, nebo jej propouštějí či odrážejí. Z tohoto důvodu existují dvě možnosti pohledu na elektromagnetické spektrum - pokud objekt vyzařuje, jedná se o tzv. emisní spektrum, pokud záření propouští, jedná se o absorpční spektrum. Standardní spektrum seřazené podle vlnové délky je spektrem emisním.

3.4.1 Kmitočtové hospodářství

Kmitočtové spektrum je omezený přírodní zdroj a je základní nutností s ním nakládat co neekonomičtěji a co nejefektivněji. Efektivní hospodářství (Frequency Spectrum Management) je klíčovým prvkem k zajištění koexistence různých radiokomunikačních systémů, aniž by způsobovaly vzájemné škodlivé rušení.¹⁰

¹⁰ ERICSSON RADIO SYSTEMS AB, MINI-LINK Training Basic Criteria, R1B 1997 – 10 - 20, ©1997



Obrázek 6 - Elektromagnetické spektrum

zdroj: RF and Microwave Wireless Systems. Kai Chang, s. 3

Kapitola 2

Kmitočtová pásma

(Výtah z Článku 2 Řádu)

2.1 Rádiové spektrum je rozděleno na devět pásem označených vzestupnými celými čísly dle dále uvedené tabulky. Jednotkou kmitočtu je hertz (Hz) a kmitočty se vyjadřují:

- v kilohertzech (kHz) do 3000 kHz včetně,
- v megahertzech (MHz) od 3 MHz do 3000 MHz včetně,
- v gigahertzech (GHz) od 3 GHz do 3000 GHz včetně.

V případě, kdy by to vedlo k závažným obtížím, například ve spojení s ohlašováním a zápisem kmitočtů, se seznamy kmitočtů a souvisejícími záležitostmi, lze se od tohoto ustanovení v rozumné míře odchýlit³⁾.

| Číslo pásma N | Symbody | Rozsah kmitočtů (dolní mez mimo, horní mez včetně) | Odpovídající názvy pásem | Metrické zkratky pro pásma |
|---------------|---------|--|--------------------------|----------------------------|
| 4 | VLf | 3 až 30 kHz | myriametrové | Mm |
| 5 | Lf | 30 až 300 kHz | kilometrové | km |
| 6 | Mf | 300 až 3000 kHz | hektometrové | hm |
| 7 | Hf | 3 až 30 MHz | dekametrové | Dm |
| 8 | Vhf | 30 až 300 MHz | metrové | m |
| 9 | Uhf | 300 až 3000 MHz | decimetrové | dm |
| 10 | Shf | 3 až 30 GHz | centimetrové | cm |
| 11 | Ehf | 30 až 300 GHz | milimetrové | mm |
| 12 | --- | 300 až 3000 GHz | decimilimetrové | ---- |

Poznámka 1: Číslo pásma N platí od $0,3 \times 10^N$ Hz do 3×10^N Hz.

Poznámka 2: Předpona k = kilo (10^3), M = mega (10^6), G = giga (10^9).

Obrázek 7 - Rádiové spektrum

zdroj: sb. 105/2010

3.5 Mikrovlnné záření

Mikrovlnné záření je specifikované jako záření o vlnové délce od 100 cm do 1 mm, tedy s frekvencí mezi 300 MHz a 300 GHz. Název mikrovlna tedy není úplně přesný, mikrometrové vlny by spíše odpovídaly infračervenému záření.

Mikrovlnné záření se dále dělí na UHF, SHF a EHF (viz Obrázek 8 - Rádiové spektrum).

Dále se dělí podle názvu:

| Označení | Kmitočtové pásmo (GHz) |
|----------|------------------------|
| Q-band | 33-50 |
| U-band | 40-60 |
| V-band | 50-75 |
| E-band | 60-90 |
| W-band | 75-110 |
| D-band | 110-170 |
| G-band | 140-220 |
| Y-band | 220-325 |

Tabulka 2 - Označení mikrovln podle kmitočtového pásma

zdroj: RF and Microwave Wireless Systems. Kai Chang, s. 3

Do mikrovlnného záření tedy spadá i Wi-Fi, která se pohybuje ve frekvenci Wi-Fi - 2401 MHz až 5825 MHz.¹¹

3.5.1 Použití mikrovlnného záření k ohřevu jídla

V roce 1946 Dr. Percy Spencer objevil tepelný účinek mikrovlnného záření, vynalezl první mikrovlnnou troubu, která se na trh dostala až po roce 1960. Mikrovlny o vlnové délce okolo 12 cm (odpovídající frekvenci 2,45 GHz) způsobují rezonanci nesymetrických molekul, a to převážně vody. Vzhledem k vysokému obsahu vody v jídle probíhá ohřev velmi snadno a

¹¹ POOLE, Ian, Radio-Electronics.com, WiFi Channels | WiFi Frequency Bands List | Radio-Electronics.com, [online], © Adrio Communications Ltd [cit. 2014-09-15], Dostupné z: <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/80211-channels-number-frequencies-bandwidth.php>

rychle. ¹²Mikrovlnný ohřev je primárně založen na tom, že molekuly látek se stálými dipólovými momenty (jako je právě voda) se natáčejí do směru elektrického pole tak, aby dosáhly stavu s minimální energií. Ve snaze sledovat okamžitý směr rychle se měnícího vnějšího pole se tedy tyto molekuly rozkmitávají. Přitom dochází ke kolizím a tření se sousedními molekulami, tedy ke vzniku tepla. Je-li rychlost změny směru vnějšího pole srovnatelná s dobou, kterou potřebují molekuly k tomu, aby se natočily do příslušného směru (tzv. relaxační doba, závislá např. na teplotě, viskozitě a dalších parametrech), a odpovídá vlastní frekvenci kmitání molekuly, podstatná část mikrovlnné energie se přemění v teplo, což vede ke zvýšení teploty.¹³ Vzhledem k této skutečnosti se dají mikrovlny do jisté míry považovat za zdravý nebezpečné a u telekomunikačních pojítek je potřeba sledovat, jak moc mikrovlnné záření vyzařují, aby neškodili okolí ohřevem.

3.5.2 Použití mikrovlnného záření k přenosu informací

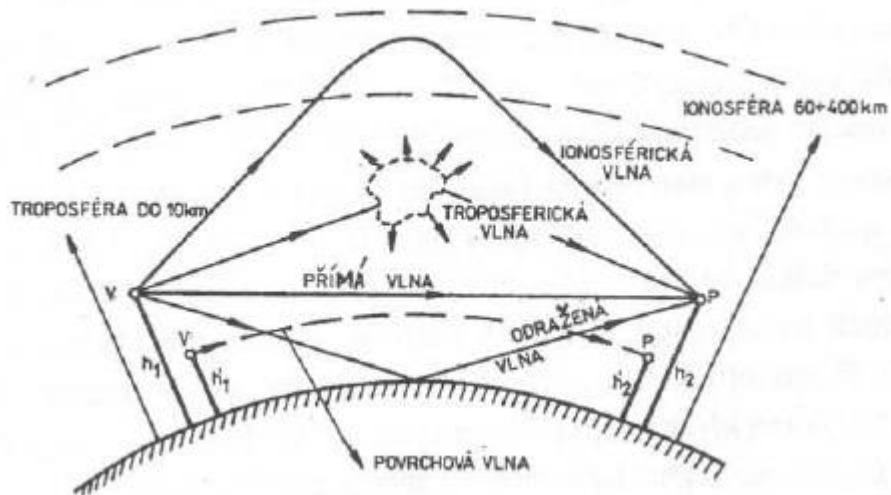
Různé kmitočty elektromagnetického vlnění se šíří odlišně, obecně platí, že čím vyšší je frekvence (čím kratší je vlna), tím přímočařeji se vlnění šíří. Zvyšováním kmitočtu se ovšem snižuje účinnost přenosu a zvětšují obtíže při příjmu signálu, ale přesto je tendence přecházet na vyšší a vyšší pásma, protože nižší frekvence jsou již obsazené, takže by se nedalo vyhnout pro přenos škodlivému rušení. Provoz v nižších pásmech je také rušen průmyslovým rušením, atmosférickou elektřinou apod. Pro přenos informací se tedy používají čím dál vyšší frekvence a platí, že jakákoliv informace se přenáší na tzv. „nosném kmitočtu,“ informace se na něj namoduluje, modulovaný signál se vyše vysílačem a přijímač jej přijme, zesílí a demoduluje, čímž z něj dostane původní informaci. Šířka pásma roste se zvyšováním frekvence.¹⁴ Na obrázku můžeme vidět několik druhů šíření vln. U telekomunikačních zařízení se ve většině

¹² MASARYKOVA UNIVERZITA, Fakulta informatiky, Informační systém Masarykovy Univerzity, © 2014 [cit. 2014-09-16], Dostupné z: http://is.muni.cz/th/77987/prif_m/mikrovlny.pdf

¹³ HLAVÁČOVÁ, Irena, Institut Fyziky VŠB-TU Ostrava, Elektromagnetické záření, © 2012 [cit. 2014-09-14], Dostupné z: http://if.vsb.cz/Kontakt/Hlavacova/elmg_zareni.doc

¹⁴ ČESKÝ, Milan, Antény pro příjem rozhlasu a televize, 2. vydání, Praha, SNTL - Nakladatelství technické literatury, © 1973, SNTL 04-528-73

případů (tedy v případě GSM 900, GSM 1800 a 3G 2100) zajímáme o jednu přímou a jednu odraženou vlnu.¹⁵ V případě mikrovlnných pojítek se jedná o jednu přímou vlnu.



Obrázek 8 - Jednotlivé typy vln při šíření

zdroj: Miloš Mazánek, Šíření elektromagnetických vln a antény, s. 11

3.5.2.1 Příklady bezdrátových aplikací

1. Bezdrátová komunikace
2. Radar
3. Navigace
4. Dálkové monitorovací přístroje
5. RF identifikace
6. Vysílání
7. Automobilový průmysl a dálnice
8. Senzory
9. Video dohled a elektronické války
10. Zdravotnictví
11. Rádiová astronomie a vesmírný výzkum

¹⁵ MAZÁNEK, Miloš, Šíření elektromagnetických vln a antény, 2. vydání, Pavel Pechač, Praha, vydavatelství ČVUT, © 2004, ISBN: 8001030326

12. Bezdrátové silové vysílání

3.6 Šíření signálu pomocí mikrovlnného záření

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.5.2, mikrovlnné záření přenáší informace více méně přímočaře. Dále platí, že ohyb a lom jsou při přenosu zanedbatelné a nevznikají ani odrazy od ionosféry, které u delších vln vznikají. Díky tomu je mikrovlnné záření spolehlivější v tom smyslu, že se nedá lehce rušit. Nevýhodou je ale poměrně nízký dosah vysílače, který je omezen právě nutností viditelnosti, bez ní kvalita signálu rapidně klesá. Další výhodou přenosu informací přes mikrovlny je zásadní skutečnost, a to že mikrovlny se nachází mimo frekvence šumu způsobeného průmyslem či městským provozem, které jsou zhruba mezi 20 a 100 MHz.

3.6.1 Fresnelova zóna (definice)

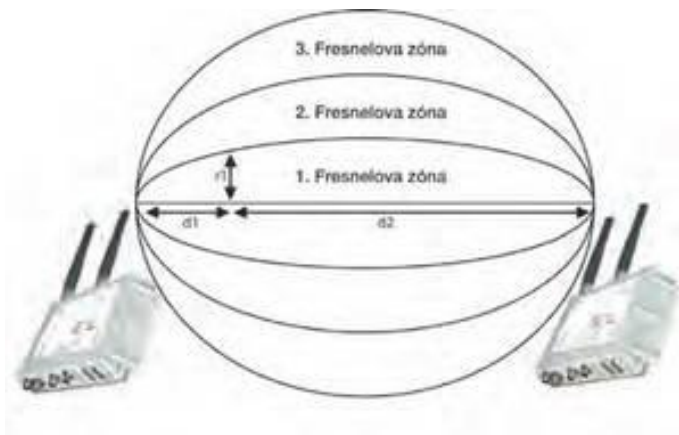
Při šíření signálu za pomoci mikrovlnných pojítek je třeba pozorně dbát na to, aby se dodržovala tzv. první Fresnelova [čte se Frenelova] zóna. Podstatou je, že se mikrovlnný signál nešíří vzduchem tak, jako u rádiových vln, ale platí, že mezi vysílacím a přijímacím bodem musí být nejen přímá viditelnost (tzv. LoS, Line of Sight), ale volný prostor musí být o něco širší.

Fresnelova zóna má tvar rotačního elipsoidu, a pokud se v této zóně nachází překážka, měla by být vzdálená nejméně tolik, kolik určuje následující vztah:

$$r_1 = \sqrt{[(\lambda * d_1 * d_2) / D]}$$

r_1 je poloměr Fresnelovy zóny v daném bodě, λ je vlnová délka, D je vzdálenost mezi přijímacím a vysílacím bodem, d_1 a d_2 jsou vzdálenosti od jedné a druhé strany spoje k danému bodu. Nejširší poloměr r je tedy přesně v polovině vzdálenosti od jedné strany spoje ke druhé ($D/2$) a výpočet se tedy dá zjednodušit:

$$r = \sqrt{[(\lambda * D) / 4]}$$



Obrázek 9 - Fresnelovy zóny

zdroj: Controleng Česko¹⁶

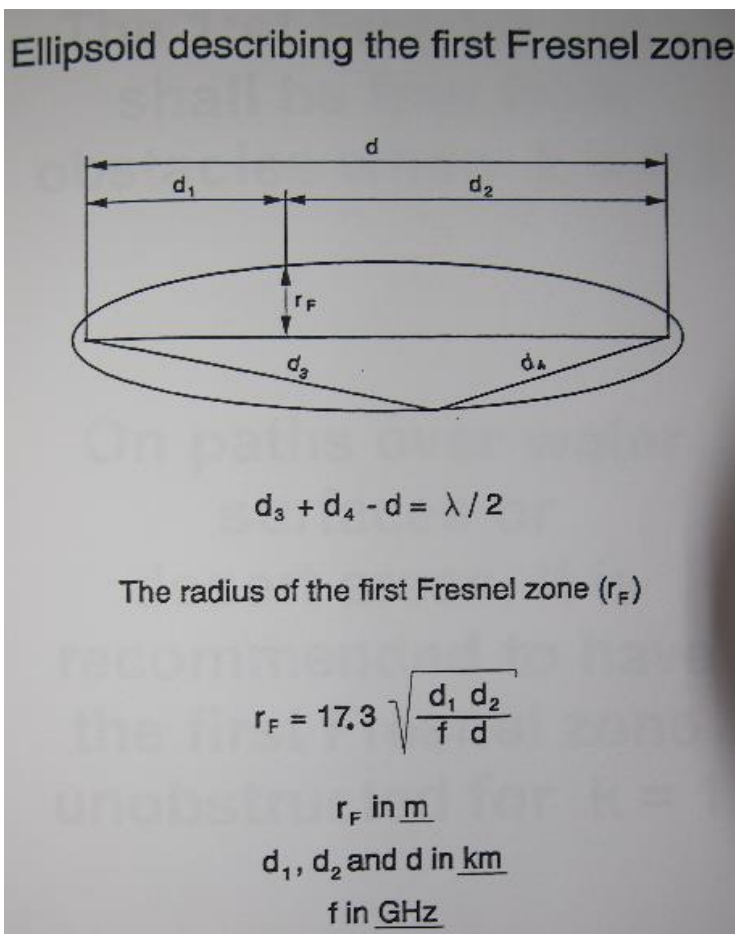
Dále platí, že v blízkosti antény by měl být volný prostor do vzdálenosti h zadané podle vzorce:

$$h = (2 * L^2) / D$$

kde h je vzdálenost, L je nejširší rozměr antény a D je vzdálenost mezi přijímacím a vysílacím bodem

Další alternativní výpočet je popsán podle vzorce $d_3 + d_4 - d = \lambda / 2$, rádius první Fresnelovy zóny r_F je roven $17,3 * \sqrt{[(d_1 * d_2) / (f * d)]}$, r_F je stanoveno v metrech, d_1 a d_2 v kilometrech a frekvence f je určena v GHz. Vzdálenosti jsou popsány na následujícím obrázku.

¹⁶ TRADE MEDIA INTERNATIONAL HOLDINGS Sp.z.o.o., Control Engineering Česko, Polsko, © 2014 [cit. 2014-09-16], Dostupné z: <http://www.controlengcesko.com/>



Obrázek 10 - Fresnelův elipsoid, výpočet dle učebnice Ericsson

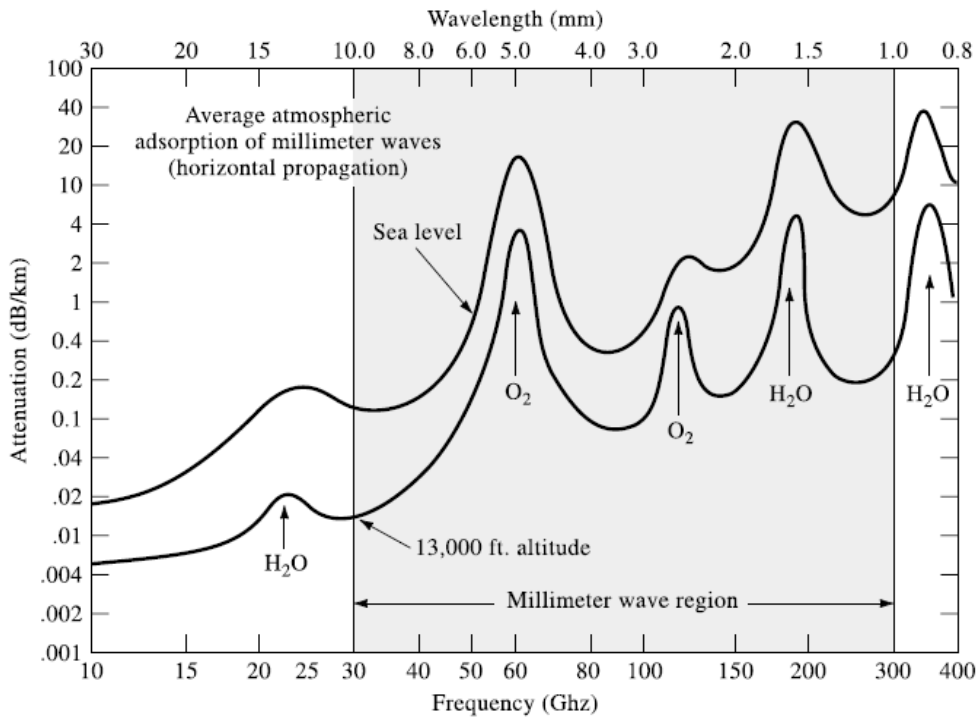
zdroj: Mini-Link Training Basic Criteria

3.6.2 Útlum při pohlcení atmosférou

Samozřejmě také platí, že mikrovlnné pojítko nemůžeme nainstalovat na libovolnou vzdálenost. Atmosféra pohlcuje do určité míry signál a vyzařování je zákonem omezené, proto se musí počítat také se ztrátami (viz obrázek). Déšť má velmi zásadní vliv na šíření vln. Útlum deštěm je vypočítán pomocí intenzity deště (tedy výška vodního sloupce v mm za jednotku času) a spolehlivost je počítána v procentech fungování spoje za rok, například 99,999% spolehlivost znamená, že spoj nefunguje v průměru 5 minut v roce.¹⁷ Během výpočtu

¹⁷ MAZÁNEK, Miloš, Šíření elektromagnetických vln a antény, 2. vydání, Pavel Pechač, Praha, vydavatelství ČVUT, © 2004, ISBN: 8001030326

mikrovlenného spoje se tedy počítá s Fresnelovou zónou, útlumem při průchodu atmosférou, polarizací a depolarizací.



Obrázek 11 - Pohlcení atmosférou při dobrém počasí

zdroj: RF and Microwave Wireless Systems. Kai Chang, s. 5

Na obrázku můžeme sledovat měrný útlum za dobrého počasí při vlnové délce mezi 30 mm a 0,8 mm, který dosahuje hodnot až okolo 30 dB za kilometr.

3.7 Hygienické normy pojící se k elektromagnetickému záření

Zákon 258/2000, resp. § 35 Sbírky o ochraně veřejného zdraví upravuje, jakým způsobem se mají provozovatelé telekomunikačních pojítek chovat v souladu s životním prostředím a zdravím. Specifikuje určité hodnoty a postupy k určení, zda elektromagnetické (zde popsáno jako neionizující, což znamená, že za jeho působení v jakékoliv intenzitě nedochází k odtržení elektronu od atomu) záření odpovídá normám a jakým způsobem se k těmto skutečnostem dojde:

1. Neionizujícím zářením se pro účely tohoto zákona rozumí elektrická a magnetická pole a elektromagnetické záření o frekvenci do $1,7 \cdot 10^{15}$ Hz.
2. Osoba, která používá, popřípadě provozuje stroj nebo zařízení, které je zdrojem neionizujícího záření včetně laserů (dále jen "zdroj neionizujícího záření"), je povinna
 - a. činit taková technická a organizační opatření, aby expozice fyzických osob v rozsahu upraveném prováděcím právním předpisem nepřekračovaly nejvyšší přípustné hodnoty neionizujícího záření
 - b. při zjišťování a hodnocení expozice fyzických osob a úrovně neionizujícího záření postupovat způsobem stanoveným prováděcím právním předpisem
 - c. před zahájením používání nebo provozu zdroje neionizujícího záření veřejné telekomunikační sítě v obytné zástavbě vypracovat dokumentaci, ve které bude doloženo výpočtem nebo měřením dodržení nejvyšších přípustných hodnot neionizujícího záření z hlediska možné expozice fyzických osob, a předložit tuto dokumentaci příslušnému orgánu ochrany veřejného zdraví
 - d. v případech stanovených prováděcím právním předpisem označit výstrahou místa (oblasti, pásma), ve kterých expozice osob neionizujícímu záření může překročit nejvyšší přípustné hodnoty.
3. Pokud dojde k závadě zdroje neionizujícího záření, která by mohla vést k expozici fyzických osob překračující nejvyšší přípustné hodnoty, osoba, která zdroj neionizujícího záření používá, popřípadě provozuje, jeho provoz neprodleně zastaví. Tím nejsou dotčeny její povinnosti podle zvláštních právních předpisů.¹⁸

Podle 1/2008 Sb jsou stanoveny limity. „Nejvyššími přípustnými hodnotami jsou mezní hodnoty expozice, které vycházejí přímo z prokázaných účinků na zdraví a z údajů o jejich biologickém působení a jejichž dodržování zaručuje, že osoby, které jsou vystaveny neionizujícímu záření, jsou chráněny proti všem známým zdraví škodlivým účinkům.“¹⁹

¹⁸ Česko. Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví, Dostupný také z: <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-258-2000-sb-o-ochrane-verejneho-zdravi-a-o-zmene-nekterych-souvisejicich-zakonu>

¹⁹ Česko. Nařízení č. 1/2008 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, se změnami: 106/2010 Sb.

3.7.1 Maximální hodnoty a jejich stanovení

1. Modifikovaná indukovaná proudová hustota: 141.41 mA/m²
2. Maximální měrný absorbovaný výkon (SAR) pro ostatní osoby: 0.08 W/kg - u zaměstnanců 0,4 W/kg, což odpovídá ohřevu o 0,1 stupně Celsia
3. Maximální hustota zářivého toku dopadající na tělo pro hodnoty mezi 10 MHz a 300 GHz pro ostatní osoby: 10 W/m²
4. Maximální hustota zářivého toku od 10 MHz do 300 GHz (nepřetržitá expozice): 2-10 W/m²
5. Maximální intenzita elektrického pole E (nepřetržitá expozice): od 0.3 GHz ($3 \cdot 10^8$ Hz) do 300 GHz ($3 \cdot 10^{11}$): 28 V/m - 61 V/m
6. Maximální magnetická indukce mezi 0.3 GHz a 300 GHz: 0.092 μ T - 0.2 μ T

3.7.2 Chybovost

Ve sbírce zákonů 1/2008 je také specifikována chybovost: „*Je-li střední relativní chyba výpočtu nebo měření příslušné veličiny menší než 1dB (tj. přibližně 25% u výkonových veličin a 12,5% u ostatních), pokládá se nejvyšší přípustná hodnota nebo referenční úroveň za dodržanou, je-li vypočtená nebo naměřená hodnota rovna nejvyšší přípustné hodnotě nebo referenční úrovni, nebo je-li nižší.*“²⁰

3.8 Hodnocení hygienických norem

Navzdory stanovení norem založených pouze na míře ohřevu lidského těla se nachází mnoho skeptiků, kteří pochybují o dostatečnosti hygienických norem a argumentují mimo jiné i tím, že elektromagnetické záření má také jiné než pouze ohřevné účinky na živý organismus.

Hlavním doporučením, které zpochybňuje současné normy, je tzv. Salcburské doporučení "Salzburg Resolution," které doporučuje tisíckrát snížit normy (na 0.01 W/m² a 0,61 V/m). Zohledňuje ale také medicínské využití elektromagnetických polí, které je využíváno ku zdravotnímu prospěchu, ale zároveň upozorňuje na to, že neregulovaná elektromagnetická pole způsobují řadu problémů, mezi nich řadí účinky elektromagnetických

²⁰ Česko. Nařízení č. 1/2008 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, se změnami: 106/2010 Sb.

polí na bolesti hlavy, mužskou neplodnost, vyčerpání, kožní problémy, ztrátě chuti k jídlu a další zdravotní obtíže. Tato studie byla ověřována na stránkách Salcburské vlády a informace o ní podával pan Gerd Oberfeld²¹, který také odkazoval na stránky Bio Initiative a Monographs.

Bio Initiative²², které patří k hlavním zdrojům studií zpochybňující současné hygienické normy, bylo vypracováno 29 autory a říká, že vystavení elektromagnetickému poli u dětí může způsobovat leukémii, rakovinu, u žen rakovinu prsu, u všech lidí poškození DNA, imunitního systému, má vliv na autismus, je neurotoxické a může mít vliv i na Alzheimerovu chorobu. Jako podklady k této iniciativě slouží řada studií, jež jsou všechny ve studii citovány. Další studie Monographs²³ také mluví o jiných než tepelných účincích na zdraví lidského těla.

V České republice se blíže tomuto tématu věnuje pan Kamil Pokorný, jehož webové stránky jsou plné informací z důvěryhodných i nedůvěryhodných zdrojů, nicméně publikuje řadu zajímavých doporučení o hygieně používání zařízení vyzařující elektromagnetické záření. Například uvádí, že bychom měli vypínat telefony i modemy, pokud je nepoužíváme apod. Podle něj tedy můžeme s určitou mírou jistoty počítat s tím, že i kdyby byly hygienické normy dodržovány, nutně to neznamená, že jsme v bezpečí před účinky ozáření.²⁴

Na druhou stranu, normy byly stanoveny na základě hodnot stanovených komisí ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radio Protection), která zhodnotila přes 10 tisíc výzkumů a zpráv na téma bezpečnosti neionizujícího záření a jeho vlivu na biologické objekty a WHO (World Health Organisation - světová zdravotní organizace) a IEEE tyto normy ICNIRP také uznávají. Dalším důvodem k důvěře normám je, že existují i přírodní zdroje neionizujícího záření, jako jsou bouře, slunce a další, které slouží jako protiargument

²¹ Email: gerd.oberfeld@salzburg.gv.at, Tel. +43 662 8042 2969

²² BIOINITIATIVE REPORT. [online] Copyright © 2006 – 2014 [cit. 2014-09-20], dostupné z: www.bioinitiative.org

²³ INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. Francie, [online], © 2014 [cit. 2014-09-20], dostupné z: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol102/mono102.pdf>

²⁴ POKORNÝ, Kamil, Měření elektrosmogu, geopatogenních zón a radiace v Brně, Praze a širším okolí, [online], © 2014 [cit. 2014-09-19], Dostupné z: zony.vbrne.info

k umělým, lidsky vytvořeným elektrickým polím. Elektromagnetické pole tedy vždy existovalo a vždy bylo proměnlivé. Dalším argumentem je, že intenzita záření antén rychle klesá se vzdáleností a místa, kde by záření mohlo eventuálně být nebezpečné, jsou veřejnosti nepřístupná, přístup je na ně povolen pouze zaměstnancům s příslušnými pracovními ochrannými pomůckami (brýle, krém, oděv, folie a další). Většina nemocí přisuzovaná elektromagnetickým polím je také pravděpodobným důsledkem psychosomatických obtíží u lidí, kteří se cítí být hypersenzitivní vůči „elektrosmogu.“ Testy ale ukázaly, že hypersenzitivita není skutečná, protože během testů tito lidé nebyli schopni poznat, v jak intenzivním elektrickém poli se nacházejí, a proto byl prokázán psychosomatický charakter jejich onemocnění. Nejdůležitější je proto duševní pohoda.²⁵

²⁵ PEKÁREK, Luděk, ŠÍSTEK, Pavel, JELÍNEK, Lukáš, Neionizující záření, expozice a zdravotní rizika, 1. vydání, Státní Zdravotní Ústav, © 2006, ISBN: 8070712767

4 Vlastní práce

V této části práce je zkoumáno, zda operátoři provozující GSM sítě a sítě dalších technologií dodržují stanovené hygienické normy. Pro experimentální část bylo nutné provést měření spektrálním analyzátozem a jako reprezentativní vzorek byla vybrána nejčastěji obsazovaná pásma, ze kterých je možné určit, zda hrozí nějaká zdravotní rizika široké veřejnosti či nikoliv.

4.1 Výběr hygienických norem

V následujících výsledcích z měření budou srovnávány hodnoty následujících veličin s limitními hodnoty stanovenými dle zákona, a to jak v nejnižším bodě intervalu u nepřetržité expozice, tak v nejvyšším, který je zároveň normou pro přerušovanou expozici. Dále budou pro zajímavost naměřené hodnoty srovnávány se Salcburským doporučením (tisícina aktuálních limitních hodnot).

4.1.1 Hustota zářivého toku (S , [W/m^2])

Jak již bylo řečeno v literární části této práce, maximální intenzita ozáření osob, tedy hustota zářivého toku je limitována při nepřetržité expozici hodnotami 2-10 W/m^2 . Podle sbírky 1/2008 je v rozmezí 10 MHz až 300 GHz specifikována limitní hodnota pro ostatní osoby (nikoliv zaměstnance pracující s daným zařízením, pro něž je norma pětinasobná) podle následující tabulky. Rozdílné hodnoty pro zaměstnance a pro ostatní osoby jsou z důvodu, že do ostatních osob jsou zahrnuty i osoby nemocné, s poruchami termoregulace aj. Při překročení této hodnoty je možné slyšet hlasité lupnutí v uchu.²⁶ Pro přerušovanou expozici je norma stanovena na jakékoli frekvenci na 10 W/m^2 a pro zaměstnance na 50 W/m^2 .

²⁶ PEKÁREK, Luděk, ŠÍSTEK, Pavel, JELÍNEK, Lukáš, Neionizující záření, expozice a zdravotní rizika, 1. vydání, Státní Zdravotní Ústav, © 2006, ISBN: 8070712767

| Frekvence f (Hz) | S (W/m^2) |
|---|------------------|
| $10^7 - 4 \cdot 10^8$ resp. 10 - 400 MHz | 2 |
| $4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$ resp. 400 MHz - 2 GHz | $f/2 \cdot 10^8$ |
| $2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$ resp. 2 - 300 GHz | 10 |

Tabulka 3 - Hygienická norma - Maximální hustota zářivého toku pro ostatní osoby

zdroj: 1/2008 Sb.

4.1.2 Intenzita elektrického pole (E , [V/m])

Intenzita elektrického pole je podobně jako hustota zářivého toku pro nepřetržitou expozici stanovena v intervalu 28 V/m - 61 V/m a pro přerušovanou expozici na 61 V/m. Výpočet konkrétního limitu pro dané pásmo pro nepřetržitou expozici je dán frekvencí v Hz, tedy pro pásmo 10 – 400 MHz je limitní hodnota 28 V/m, pro pásmo 400 MHz – 2 GHz je limit vypočten podle vzorce uvedeného v následující tabulce ($1,375 \cdot 10^{-3} \cdot f^{0,5}$, kde f = frekvence v Hz) a pro pásmo 2 GHz – 300 GHz odpovídá limitní hodnota 61 V/m.

| Referenční úrovně intenzity elektrického pole E – nepřetržitá expozice | | | |
|--|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Zaměstnanci | | Ostatní osoby | |
| frekvence f [Hz] | E [$V \cdot m^{-1}$] | frekvence f [Hz] | E [$V \cdot m^{-1}$] |
| $10^7 - 4 \cdot 10^8$ | 61 | $10^7 - 4 \cdot 10^8$ | 28 |
| $4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$ | $3 \cdot 10^{-3} \cdot f^{0,5}$ | $4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$ | $1,375 \cdot 10^{-3} \cdot f^{0,5}$ |
| $2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$ | 137 | $2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$ | 61 |

Tabulka 4 - Hygienická norma + Maximální intenzita elektrického pole

zdroj: 1/2008 Sb.

Pokud tato veličina přesáhne stanovené limity, je potenciálně zdraví nebezpečná, a proto byla vybrána jako jedna z měřených hodnot. Laicky se této veličině říká „elektrosmog“ a existuje řada přístrojů, která dokáže měřit hladinu „elektrosmogu“ v různých frekvenčních pásmech. Jako příklad přístrojů dostupných pro laickou veřejnost a měřících tuto veličinu slouží množství měřičů vyrobených firmou Konrad Electronics²⁷. Profesionální spektrální analyzátoři vyrábí např. firma Rohde-Schwarz nebo SAF.^{28, 29}

4.2 Specifikace měření

Měření byla orientována na nejobsazenější frekvenční pásma (GSM 900, GSM 1800, 3G 2100) do frekvence 2310 MHz a pro srovnání byly také uvedené hodnoty standardního pásma FM rádií (87,5–108 MHz), která ale nespádají pod mikrovlnné záření. Protože ale přesahují frekvenci 10 MHz, která je minimální hranicí pro hygienické limity, bude s nimi také srovnávána. Celkem bylo provedeno 68 měření pro několik různých zadavatelů. Vzhledem k citlivé povaze informací není možné u měření zveřejňovat adresy měření, ale všechna měření byla uskutečněna v budovách a jejich okolí na území Hlavního města Prahy.

4.3 Tabulky z měření

S ohledem na mírnou odlišnost původně měřených frekvenčních pásem byly výsledky zjednodušeny do širších pásem, aby bylo možné je srovnávat. Původní měřená pásma byla (údaje jsou uvedeny v MHz) 87,5–108, 370-490, 370-480, 375-480, 380-480, 370-500, 380-470, 380-500, 350-500, 400-500, 500-800, 500-810, 500-830, 500-780, 500-850, 550-800, 570-800, 580-800, 590-790, 590-820, 790-821, 790-825, 500-915, 500-935, 590-800, 600-800, 610-800, 600-850, 935,6, 941, 920-960, 935-960, 1805-1880, 1900-1920, 2070-2310, 2070-2200, 2080-2200, 2100-2140, 2100-2170, 2110-2170, 2100-2180 a 2100-2200 a byla

²⁷ CONRAD ELECTRONICS, Měřiče elektrosmogu, [online], © 2014 [cit. 2014-09-19], Dostupné z: <http://www.conrad.cz/merice-elektrosmogu.c0601102>

²⁸ ROHDE&SCHWARZ, Signal & Spectrum Analyzer – Test & Measurement – Rohde & Schwarz International, [online], © 2014 [cit. 2014-09-19], Dostupné z: http://www.rohde-schwarz.com/en/products/test-measurement/signal-spectrum-analyzers/signal-analyzer-rohde-schwarz/pg_overview_63665.html

²⁹ SAF TEHNIKA, SAF Tehnika > Products > Spectrum Analyzer, Litva, [online], © 2013 [cit. 2014-09-19], Dostupné z: <https://www.saftehnika.com/en/spectrumanalyzer>

zjednodušena do pásem (MHz) 87.5–108, 370-500, 500-800, 800-920, 920-960, 1805-1880 a 2070-2200. Kompletní tabulky z měření naleznete v příloze č. 1 - Výsledky měření.

V následující tabulce jsou uvedena minima, maxima a průměry naměřených hodnot intenzity elektrického pole. Červeně jsou vyznačena ty hodnoty, které vyšly pro dané pásmo nejvyšší a zeleně jsou označeny nejnižší naměřené hodnoty pro daná pásma. Hodnoty se pohybují mezi 0,03 a 23 V/M, přičemž hygienická norma je 61 V/m. Většina hodnot vykazuje velikost v setinách, desetinách až jednotkách V/m, pouze v pásmech GSM 900 a 3G 2100 hodnoty přesáhly 10 V/m, a to ve venkovních prostorech.

| | celkový průměr | celkové maximum | celkové minimum |
|-----------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 87.5–108 | 0.52 | 1.50 | 0.03 |
| 370-500 | 0.44 | 5.20 | 0.03 |
| 500-800 | 0.63 | 3.30 | 0.03 |
| 800-920 | 0.31 | 0.53 | 0.04 |
| 920-960 | 2.53 | 23.00 | 0.07 |
| 1805-1880 | 1.18 | 9.30 | 0.06 |
| 2070-2200 | 1.25 | 12.00 | 0.08 |
| | průměr v bytech | maximum v bytech | minimum v bytech |
| 87.5–108 | 0.50 | 1.40 | 0.12 |
| 370-500 | 0.80 | 5.20 | 0.06 |
| 500-800 | 0.32 | 0.90 | 0.03 |
| 800-920 | 0.35 | 0.53 | 0.04 |
| 920-960 | 0.76 | 2.50 | 0.07 |
| 1805-1880 | 0.96 | 5.50 | 0.09 |
| 2070-2200 | 0.78 | 2.90 | 0.12 |
| | průměr venku + střechy | maximum venku + střechy | minimum venku + střechy |
| 87.5–108 | 0.51 | 1.50 | 0.03 |
| 370-500 | 0.23 | 0.74 | 0.04 |
| 500-800 | 1.01 | 3.30 | 0.03 |
| 800-920 | 0.30 | 0.52 | 0.09 |
| 920-960 | 5.63 | 23.00 | 0.44 |
| 1805-1880 | 2.32 | 9.30 | 0.17 |
| 2070-2200 | 2.34 | 12.00 | 0.31 |

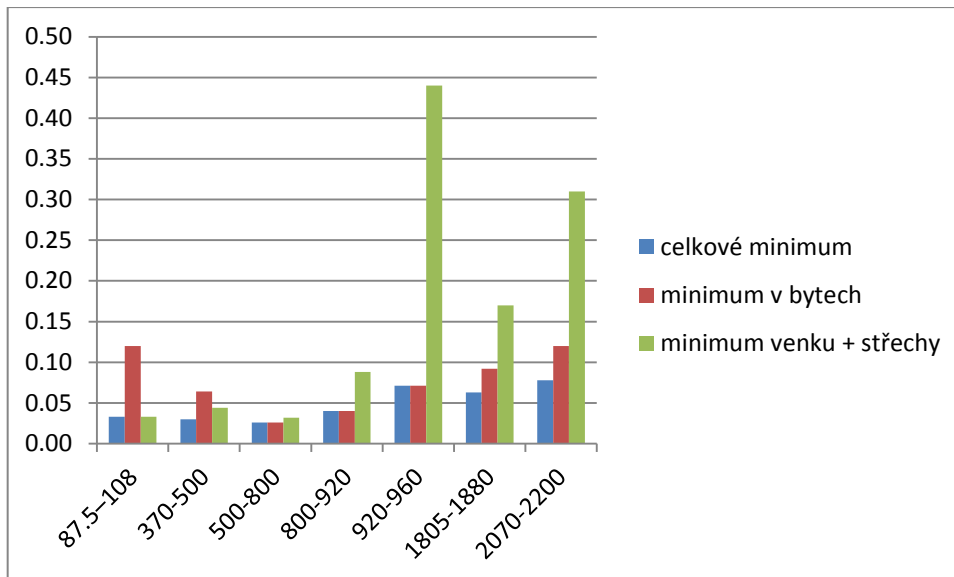
Tabulka 5 - Průměry, maxima a minima intenzity elektrického pole

zdroj: vlastní výzkum

Tyto grafy slouží k porovnání naměřených hodnot venku, v bytech a dohromady. Obecně můžeme z těchto hodnot vyvodit, že ve venkovních prostorech je intenzita

elektrického pole vyšší nežli v bytech. Zároveň také platí, že pásmo GSM 900 vykazuje nejvyšší hodnoty, hned za ním je pásmo 3G 2100, dále GSM 1800.

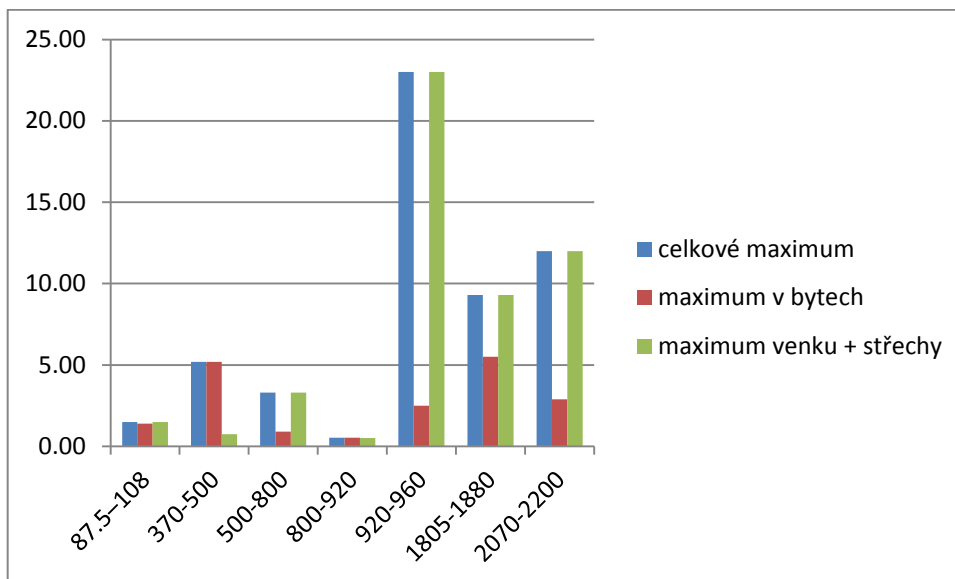
Minimální hodnoty naměřené venku téměř osmkrát přesáhly minimální hodnoty naměřené v bytech, ale přesto vykazovaly zanedbatelné výše, nejvyšší minimum bylo v hodnotě 0,03 V/m. Nejvyšší hodnoty vykazovala pásma GSM 900 a 3G 2100.



Graf 1 - Srovnání minim intenzity elektrického pole

zdroj: vlastní výzkum

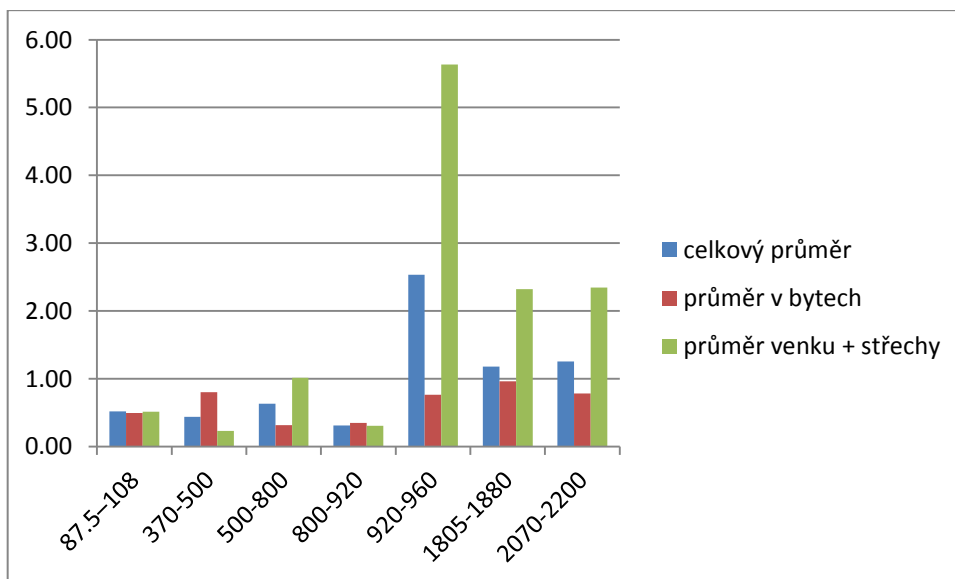
V bytech maximální hodnoty elektrického pole dosahovaly maximální hodnoty 5,5 V/m, přičemž venku maximum bylo 23 V/m. Nejvyšší hodnoty se nacházejí v pásmu GSM 900, jež téměř dvojnásobně přesahuje 3G 2100, které je druhé v pořadí, zde je nejvyšší naměřená hodnota 12 V/m.



Graf 2 - Srovnání maxim intenzity elektrického pole

zdroj: vlastní výzkum

Co se týče průměrných hodnot, nejvyšší hodnoty opět spadají pod pásmo GSM 900, ale nedosahují ani desetiny hygienického limitu 61 V/m, maximální průměrná hodnota (venku) je 5,63 V/m. V bytech je průměrná hodnota ve výši 0,93 V/m.



Graf 3 - Srovnání průměrů intenzity elektrického pole

zdroj: vlastní výzkum

V této tabulce jsou uvedené hodnoty naměřené hustoty zářivého toku, její minimum, maximum a průměr v bytových a venkovních prostorech, a také celkem včetně ostatních prostor jako jsou kanceláře, schodiště, chodby atd. Stejně jako u předchozí tabulky jsou zeleně vyznačeny nejnižší hodnoty v řádku a nejvyšší červeně. Ukazují na hustotu zářivého toku v daném frekvenčním pásmu. Maximální naměřená hodnota na venkovním schodišti kancelářské budovy dosáhla hodnoty $1,5 \text{ W/m}^2$. Ostatní naměřené hodnoty byly zanedbatelné, pohybovaly se v řádu desetin až miliontin.

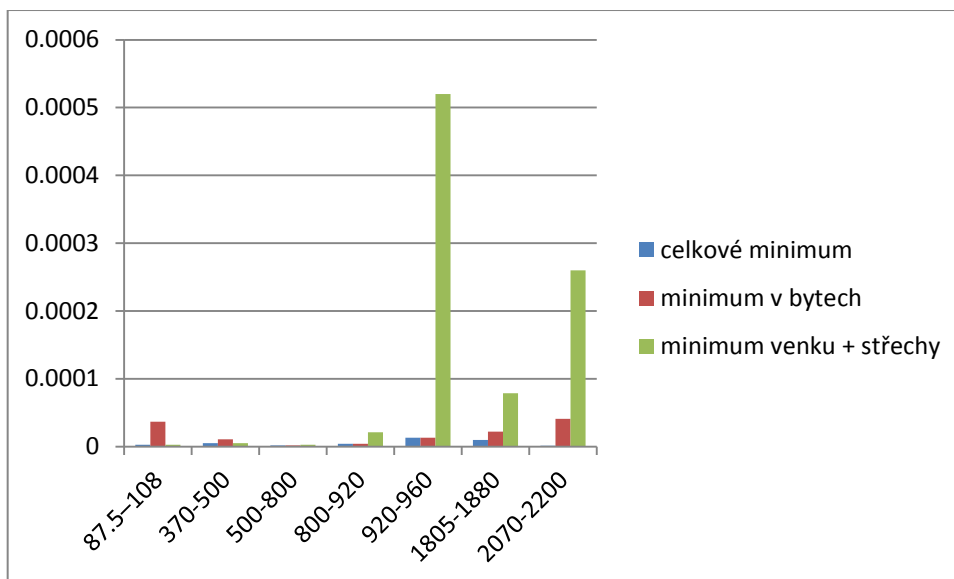
| | celkový průměr | celkové maximum | celkové minimum |
|-----------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| 87.5–108 | 0.001273 | 0.0062 | 0.0000028 |
| 370-500 | 0.003199976 | 0.073 | 0.0000052 |
| 500-800 | 0.002714921 | 0.029 | 0.0000018 |
| 800-920 | 0.00034102 | 0.00076 | 0.0000043 |
| 920-960 | 0.068876925 | 1.5 | 0.000013 |
| 1805-1880 | 0.010893531 | 0.23 | 0.00001 |
| 2070-2200 | 0.014083623 | 0.41 | 0.0000016 |
| | průměr v bytech | maximum v bytech | minimum v bytech |
| 87.5–108 | 0.001202455 | 0.0054 | 0.000037 |
| 370-500 | 0.008233 | 0.073 | 0.000011 |
| 500-800 | 0.000505467 | 0.0022 | 0.0000018 |
| 800-920 | 0.000423575 | 0.00076 | 0.0000043 |
| 920-960 | 0.002395267 | 0.017 | 0.000013 |
| 1805-1880 | 0.005788 | 0.081 | 0.000022 |
| 2070-2200 | 0.002865538 | 0.021 | 0.000041 |
| | průměr venku + střechy | maximum venku + střechy | minimum venku + střechy |
| 87.5–108 | 0.001198333 | 0.0062 | 0.0000028 |
| 370-500 | 0.00032102 | 0.0014 | 0.0000052 |
| 500-800 | 0.0053519 | 0.029 | 0.0000027 |
| 800-920 | 0.00030525 | 0.00072 | 0.000021 |
| 920-960 | 0.204384444 | 1.5 | 0.00052 |
| 1805-1880 | 0.031950818 | 0.23 | 0.000079 |
| 2070-2200 | 0.041266667 | 0.41 | 0.00026 |

Tabulka 6 - Průměry, maxima a minima hustoty zářivého toku

zdroj: vlastní výzkum

V následujících grafech lze vyčíst, že hustota zářivého toku je kromě pásma GSM 900 téměř nulová. Nejnižší hodnoty byly naměřeny na střeše budovy a nejvyšší na venkovním

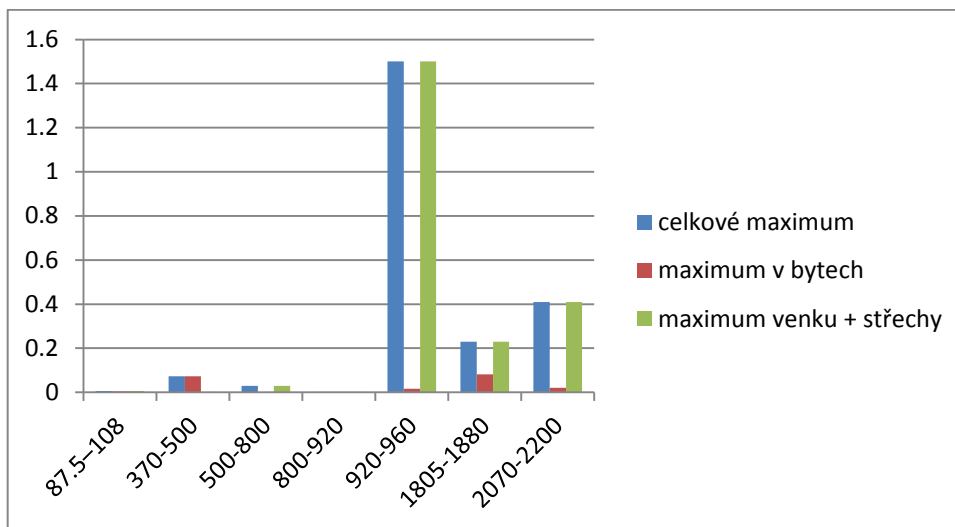
schodišti. Obecně se dá říci, že v bytech je hodnota hustoty zářivého toku nejnižší a ve venkovních prostorách nejvyšší. Minimální naměřené hodnoty v každém spektru se pohybovaly od řádu miliontin do řádu deseti-tisícin.



Graf 4 - Srovnání minim hustoty zářivého toku

zdroj: vlastní výzkum

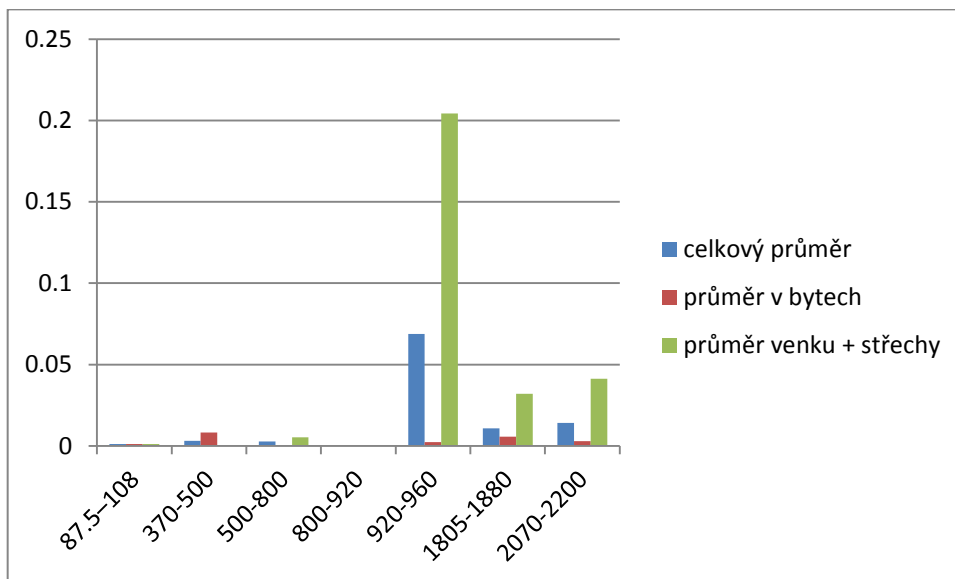
Maximální hodnota hustoty zářivého toku dosáhla výše $1,5 \text{ W/m}^2$ venku, a to v pásmu GSM 900. V bytových prostorách byla maximální hodnota naměřena ve výši $0,081 \text{ W/m}^2$, a to v pásmu GSM 1800. Z grafu také lze vyčíst, že v pásmu 3G 2100 maximální hodnoty dosahovaly ve venkovních prostorách výše přibližně $0,4 \text{ W/m}^2$.



Graf 5 - Srovnání maxim hustoty zářivého toku

zdroj: vlastní výzkum

Průměrné hodnoty hustoty zářivého toku vykazovaly maximum také ve venkovních prostorách, přičemž hodnota dosáhla velikosti $0,204 \text{ W/m}^2$, a to v pásmu GSM 900. V bytech byl průměr ve všech pásmech zanedbatelný, maximální hodnota byla naměřena v pásmu 370-500 MHz (tedy v pásmu FM rádií) a dosahovala velikosti $0,008233 \text{ W/m}^2$.



Graf 6 - Srovnání průměrů hustoty zářivého toku

zdroj: vlastní výzkum

4.4 Porovnání hodnot s limitními

V následující tabulce jsou uvedeny procentuální hodnoty zastoupení naměřených údajů v poměru s hygienickými normami intenzity elektrického pole. Pro pásmo do 400 MHz je norma stanovena na 28 V/m, pro pásmo nad 2 GHz norma odpovídá hodnotě 61 V/m a pro pásmo mezi 400 MHz a 2 GHz je nutné použít výpočtový vzorec:

$$1,375 \cdot 10^{-3} \cdot f^{0,5}, \text{ kde } f = \text{frekvence v Hz}$$

Podle naměřených hodnot v žádném z případů nebyla překročena norma pro nepřetržitou expozici. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v pásmu GSM 900 (54,56% normy), 3G 2100 (19,67% normy) a v pásmu 370-500 MHz (9,41% normy), ale ani jedna nepřesáhla limit pro dané pásmo, tedy 28,67 V/m pro pásmo 370-500 MHz, 42,15 V/m pro GSM 900 a 61 V/m pro 3G 2100.

| srovnání s normou pro nepřetržitou expozici 28-61 V/m | Norma = 28 | 28.6778987 | 35.0557592 | 40.3229153 | 42.1567017 | 59.02098409 | 61 |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-----------|
| | 87.5-108 | 370-500 | 500-800 | 800-920 | 920-960 | 1805-1880 | 2070-2200 |
| celkový průměr | 1.85% | 1.54% | 1.80% | 0.77% | 6.01% | 2.00% | 2.05% |
| celkové maximum | 5.36% | 18.13% | 9.41% | 1.31% | 54.56% | 15.76% | 19.67% |
| celkové minimum | 0.12% | 0.10% | 0.07% | 0.10% | 0.17% | 0.11% | 0.13% |
| průměr v bytech | 1.77% | 2.80% | 0.90% | 0.87% | 1.81% | 1.63% | 1.28% |
| maximum v bytech | 5.00% | 18.13% | 2.57% | 1.31% | 5.93% | 9.32% | 4.75% |
| minimum v bytech | 0.43% | 0.22% | 0.07% | 0.10% | 0.17% | 0.16% | 0.20% |
| průměr venku + střechy | 1.84% | 0.81% | 2.89% | 0.76% | 13.36% | 3.93% | 3.84% |
| maximum venku + střechy | 5.36% | 2.58% | 9.41% | 1.29% | 54.56% | 15.76% | 19.67% |
| minimum venku + střechy | 0.12% | 0.15% | 0.09% | 0.22% | 1.04% | 0.29% | 0.51% |

Tabulka 7 - Srovnání s normou pro nepřetržitou expozici 28-61 V/m

zdroj: vlastní výzkum

V následující tabulce lze vidět srovnání s normou pro přerušovanou expozici, která odpovídá hodnotě 61 V/m. Nejvyšší hodnoty byly vykázány v pásmu GSM 900, a to konkrétně 37,7% limitní hodnoty. Tato hodnota byla naměřena na venkovním schodišti

kancelářské budovy. Další významnější položkou je pásmo 3G 2100, v němž bylo ve venkovních prostorách naměřeno 19,67% limitní hodnoty, a poté 8,52% naměřených v pásmu 370-500 MHz. Ostatní hodnoty se pohybovaly přibližně v desetínách až jednotkách procent.

| srovnání s normou 61 V/m | Měřená frekvence [MHz] | | | | | | |
|--------------------------------|------------------------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|
| | 87.5-108 | 370-500 | 500-800 | 800-920 | 920-960 | 1805-1880 | 2070-2200 |
| celkový průměr | 0.85% | 0.72% | 1.03% | 0.51% | 4.16% | 1.93% | 2.05% |
| celkové maximum | 2.46% | 8.52% | 5.41% | 0.87% | 37.70% | 15.25% | 19.67% |
| celkové minimum | 0.05% | 0.05% | 0.04% | 0.07% | 0.12% | 0.10% | 0.13% |
| průměr v bytech | 0.81% | 1.32% | 0.52% | 0.57% | 1.25% | 1.58% | 1.28% |
| maximum v bytech | 2.30% | 8.52% | 1.48% | 0.87% | 4.10% | 9.02% | 4.75% |
| minimum v bytech | 0.20% | 0.10% | 0.04% | 0.07% | 0.12% | 0.15% | 0.20% |
| průměr venku + střechy | 0.84% | 0.38% | 1.66% | 0.50% | 9.23% | 3.81% | 3.84% |
| maximum venku + střechy | 2.46% | 1.21% | 5.41% | 0.85% | 37.70% | 15.25% | 19.67% |
| minimum venku + střechy | 0.05% | 0.07% | 0.05% | 0.14% | 0.72% | 0.28% | 0.51% |

Tabulka 8 - Srovnání s normou 61 V/m

zdroj: vlastní výzkum

Podle Salcburského doporučení by naměřené hodnoty v mnoha případech několikanásobně (až 37,7 - násobně) přesáhly doporučený limit, ale vzhledem k přílišné skeptičnosti tohoto doporučení nelze brát na takové výsledky přílišný ohled. Pro srovnání, intenzita statického elektrického pole vytvořeného přírodou za dobrého počasí má hodnotu přibližně 130 V/m,³⁰ takže požadování snížení limitů na 0,61 V/m je přehnané.

³⁰ PEKÁREK, Luděk, ŠÍSTEK, Pavel, JELÍNEK, Lukáš, Neionizující záření, expozice a zdravotní rizika, 1. vydání, Státní Zdravotní Ústav, © 2006, ISBN: 8070712767

| srovnání se Salzburškým doporučením 0,61 V/m | Měřená frekvence [MHz] | | | | | | |
|--|------------------------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|
| | 87.5–108 | 370-500 | 500-800 | 800-920 | 920-960 | 1805-1880 | 2070-2200 |
| celkový průměr | 84.91% | 72.21% | 103.49% | 50.67% | 415.53% | 193.27% | 205.49% |
| celkové maximum | 245.90% | 852.46% | 540.98% | 86.89% | 3770.49% | 1524.59% | 1967.21% |
| celkové minimum | 5.41% | 4.92% | 4.26% | 6.56% | 11.64% | 10.33% | 12.79% |
| průměr v bytech | 81.37% | 131.58% | 51.79% | 57.38% | 125.28% | 157.85% | 128.18% |
| maximum v bytech | 229.51% | 852.46% | 147.54% | 86.89% | 409.84% | 901.64% | 475.41% |
| minimum v bytech | 19.67% | 10.49% | 4.26% | 6.56% | 11.64% | 15.08% | 19.67% |
| průměr venku + střechy | 84.40% | 38.28% | 166.14% | 49.92% | 923.32% | 380.63% | 384.34% |
| maximum venku + střechy | 245.90% | 121.31% | 540.98% | 85.25% | 3770.49% | 1524.59% | 1967.21% |
| minimum venku + střechy | 5.41% | 7.21% | 5.25% | 14.43% | 72.13% | 27.87% | 50.82% |

Tabulka 9 - Srovnání se Salzburškým doporučením 0,61 V/m

zdroj: vlastní výzkum

V následující tabulce jsou uvedena srovnání s normou hustoty zářivého toku pro nepřetržitou expozici, která se musí pro každé pásmo nad 400 MHz a pod 2 GHz vypočítat podle následujícího vzorce:

Limitní hustota zářivého toku při nepřetržité expozici = $f/2 \cdot 10^8$, kde f = frekvence v Hz

V naměřených hodnotách můžeme sledovat poměrně stabilní tendenci, většina hodnot nedosahuje ani jednoho procenta limitní hodnoty dle normy, z čehož lze vyvodit, že hustota zářivého toku obecně normy dodržuje. V jednom případě byla na frekvenci GSM 900 naměřena 31% hodnota limitu, který je pro dané pásmo 4,7 W/m². V pásmu 370-500 MHz a v pásmu 3G 2100 odpovídaly v maximálních hodnotách procenta jednotkám, ve všech

ostatních případech srovnání s hygienickou normou ukázalo desetiny až sta-tisíciny procent.

| Srovnání s normou pro nepřetržitou expozici (je nutný výpočet normy pro každé pásmo v Hz roven $f/2 \cdot 10^8$) | norma = 2 | 2.175 | 3.25 | 4.3 | 4.7 | 9.2125 | 10 |
|---|-----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| | 87.5–108 | 370-500 | 500-800 | 800-920 | 920-960 | 1805-1880 | 2070-2200 |
| celkový průměr | 0.06365% | 0.14713% | 0.08354% | 0.00793% | 1.46547% | 0.11825% | 0.14084% |
| celkové maximum | 0.31000% | 3.35632% | 0.89231% | 0.01767% | 31.91489% | 2.49661% | 4.10000% |
| celkové minimum | 0.00014% | 0.00024% | 0.00006% | 0.00010% | 0.00028% | 0.00011% | 0.00002% |
| průměr v bytech | 0.06012% | 0.37853% | 0.01555% | 0.00985% | 0.05096% | 0.06283% | 0.02866% |
| maximum v bytech | 0.27000% | 3.35632% | 0.06769% | 0.01767% | 0.36170% | 0.87924% | 0.21000% |
| minimum v bytech | 0.00185% | 0.00051% | 0.00006% | 0.00010% | 0.00028% | 0.00024% | 0.00041% |
| průměr venku + střechy | 0.05992% | 0.01476% | 0.16467% | 0.00710% | 4.34861% | 0.34682% | 0.41267% |
| maximum venku + střechy | 0.31000% | 0.06437% | 0.89231% | 0.01674% | 31.91489% | 2.49661% | 4.10000% |
| minimum venku + střechy | 0.00014% | 0.00024% | 0.00008% | 0.00049% | 0.01106% | 0.00086% | 0.00260% |

Tabulka 10 - Srovnání s normou pro nepřetržitou expozici 2-10 W/m²

zdroj: vlastní výzkum

V následující tabulce jsou uvedena srovnání s normou pro přerušovanou expozici, která odpovídá hodnotě 10 W/m². Stejně jako v předchozí tabulce vidíme, že v ani jednom bodě nebyla limitní hodnota překročena, Nejvyšší naměřená hodnota, která byla naměřena na střeše domu, odpovídala hodnotě 1,5 W/m², takže v žádném případě nebyly hygienické normy porušeny.

| Srovnání pro přerušovanou expozici (10 W/m ²) | Měřená frekvence [MHz] | | | | | | |
|---|------------------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| | 87.5–108 | 370-500 | 500-800 | 800-920 | 920-960 | 1805-1880 | 2070-2200 |
| celkový průměr | 0.01273% | 0.03200% | 0.02715% | 0.00341% | 0.68877% | 0.10894% | 0.14084% |
| celkové maximum | 0.06200% | 0.73000% | 0.29000% | 0.00760% | 15.00000% | 2.30000% | 4.10000% |
| celkové minimum | 0.00003% | 0.00005% | 0.00002% | 0.00004% | 0.00013% | 0.00010% | 0.00002% |
| průměr v bytech | 0.01202% | 0.08233% | 0.00505% | 0.00424% | 0.02395% | 0.05788% | 0.02866% |
| maximum v bytech | 0.05400% | 0.73000% | 0.02200% | 0.00760% | 0.17000% | 0.81000% | 0.21000% |
| minimum v bytech | 0.00037% | 0.00011% | 0.00002% | 0.00004% | 0.00013% | 0.00022% | 0.00041% |
| průměr venku + střechy | 0.01198% | 0.00321% | 0.05352% | 0.00305% | 2.04384% | 0.31951% | 0.41267% |
| maximum venku + střechy | 0.06200% | 0.01400% | 0.29000% | 0.00720% | 15.00000% | 2.30000% | 4.10000% |
| minimum venku + střechy | 0.00003% | 0.00005% | 0.00003% | 0.00021% | 0.00520% | 0.00079% | 0.00260% |

Tabulka 11 - Srovnání s normou pro přerušovanou expozici 10 W/m²

zdroj: vlastní výzkum

V této tabulce vidíme srovnání se Salcburským doporučením, tedy 0,01 W/m². Pro pásmo 3G 2100 a v pásmech GSM 900 a GSM 1800 by byly hodnoty překročeny v nadpoloviční většině případů a dobře by si podle tohoto doporučení vedlo jen pásmo FM a pásmo 800-920 MHz. Stejně jako u hodnot elektrického pole jsou tato srovnání výhradně orientační.

| srovnání se Salcburským doporučením (0,01 W/m ²) | Měřená frekvence [MHz] | | | | | | |
|--|------------------------|------------|------------|----------|--------------|-------------|-------------|
| | 87.5-108 | 370-500 | 500-800 | 800-920 | 920-960 | 1805-1880 | 2070-2200 |
| celkový průměr | 12.73000% | 31.99976% | 27.14921% | 3.41020% | 688.76925% | 108.93531% | 140.83623% |
| celkové maximum | 62.00000% | 730.00000% | 290.00000% | 7.60000% | 15000.00000% | 2300.00000% | 4100.00000% |
| celkové minimum | 0.02800% | 0.05200% | 0.01800% | 0.04300% | 0.13000% | 0.10000% | 0.01600% |
| průměr v bytech | 12.02455% | 82.33000% | 5.05467% | 4.23575% | 23.95267% | 57.88000% | 28.65538% |
| maximum v bytech | 54.00000% | 730.00000% | 22.00000% | 7.60000% | 170.00000% | 810.00000% | 210.00000% |
| minimum v bytech | 0.37000% | 0.11000% | 0.01800% | 0.04300% | 0.13000% | 0.22000% | 0.41000% |
| průměr venku + střechy | 11.98333% | 3.21020% | 53.51900% | 3.05250% | 2043.84444% | 319.50818% | 412.66667% |
| maximum venku + střechy | 62.00000% | 14.00000% | 290.00000% | 7.20000% | 15000.00000% | 2300.00000% | 4100.00000% |
| minimum venku + střechy | 0.02800% | 0.05200% | 0.02700% | 0.21000% | 5.20000% | 0.79000% | 2.60000% |

Tabulka 12 - Srovnání se Salcburským doporučením 0,01 W/m²

zdroj: vlastní výzkum

5 Výsledky a diskuse

Výsledky plynoucí z vlastního výzkumu byly v předchozí kapitole podrobněji ukázány na tabulkách, kde byla měření porovnána s hygienickými normami.

Intenzita elektrického pole v pásmech do GSM 900 pro nepřetržitou expozici dosahovala procentuálních hodnot od necelého jednoho procenta do 18%, pásmo GSM 900 vykazovalo na nejnižších hodnotách také necelé procento, ale na nejvyšších hodnotách dosáhlo téměř 55% normy, která je v tomto případě 42,15 V/m. Pro vyšší pásma, tedy GSM 1800 a 3G 2100 byly hodnoty v porovnání s limitem od necelého procenta do 19%. Veškeré tyto údaje ukazují na bezpečnost provozu za aktuálních podmínek.

Hustota zářivého toku se v pásmech nižších, nežli GSM 900, pohybovala mezi 0,00006% a 3,356% normy pro nepřetržitou expozici, tedy mezi zanedbatelnými hodnotami. Hodnoty v pásmu GSM 900 se pohybovaly mezi 0,00028% a 31,91%, což bylo zároveň absolutním maximum naměřené hustoty zářivého toku. Pásmo GSM 1800 v maximum dosáhlo necelých 2,5% limitní hodnoty a pásmo 3G 2100 dosáhlo maximum 4,1% limitní hodnoty.

Pokud porovnáme procentuální hodnoty v porovnání s hygienickými limitami, ať pro nepřetržitou nebo přerušovanou expozici, zjistíme, že i v maximálních hodnotách je hodnota intenzity elektrického pole ve venkovních prostorách téměř desetinásobně vyšší nežli v bytech (nepřetržitá expozice 5,93% pro pásmo GSM 900 uvnitř oproti venkovním 54,56% a přerušovaná 4,1% limitu v bytech oproti 37,7% ve venkovních prostorách).

Co se týče hustoty zářivého toku, pro nepřetržitou expozici v bytech dosahovaly hodnoty pro GSM 900 maxima 0,36% v bytech oproti 31,91% venku a pro přerušovanou expozici 0,17% v bytech oproti 15% venku.

Obecně se dá z vyhotovených měření vyvodit, že hodnoty jsou málokdy tak vysoké, aby dosáhly byť jen jednotky procent hygienického limitu určeného zákonnými normami, proto není zapotřebí stanovovat jakékoliv doporučení pro pohyb na veřejně dostupných místech. Nejvyšší procentuální zastoupení v porovnání s limity dosáhla pásma GSM 900, hned poté 3G

2100 a GSM 1800 a pásmo 370-500 MHz. Ostatní pásma nevykazovala žádné výrazné hodnoty.

Pro informaci byla také použita srovnání se Salcburským doporučením, které vyžaduje tisícinásobné snížení hygienických limit. V těchto případech byla srovnání podstatně rozličnější, pro intenzitu elektrického pole zhruba polovina případů překročila doporučení a pro hustotu zářivého toku přibližně jedna třetina případů. Jak již bylo ale zmíněno, Salcburské doporučení má čistě informační charakter a snížení limitů by bylo vzhledem k dostatečnosti aktuálních norem zbytečné.

Celkově lze říci, že současné hygienické limity byly dodrženy ve stu procentech případů, což je ukazatelem na dokonalou bezpečnost a nulový vliv na životní prostředí, co se elektromagnetického záření týče. Počáteční hypotéza, která říkala, že určitě existují místa, na nichž jsou hygienické limity porušeny, tedy byla vyvrácena.

6 Závěr

Cílem této práce bylo prokázat, zda aktuálně používaná telekomunikační zařízení mohou svým mikrovlnným vyzařováním poškozovat lidské zdraví a životní prostředí a byla vyslovena hypotéza, že existují místa, kde jsou hygienické limity překročeny. Pokrytí GSM signálem je v současné době v České republice všudypřítomné, proto je tato otázka velice důležitá.

Metodou měření spektrálním analyzátozem byly naměřeny údaje o míře hustoty zářivého toku a intenzitě elektrického pole na veřejných prostorách v Praze. Dle naměřených údajů na území Hlavního města Prahy lze konstatovat, že provozovatelé telekomunikačních sítí hygienické normy na veřejně dostupných místech dodržují ve stech procentech případů, přičemž navíc v bytech byly naměřené hodnoty přibližně desetkrát nižší nežli venku. Na základě tohoto zjištění je možné usuzovat, že v běžném prostředí žádná zdravotní rizika způsobená mikrovlnným zářením nehrozí.

Pro prostředí se zvýšenými hodnotami, která jsou občanům běžně nepřístupná, hrozí zdravotní rizika jako například spálení či nepříjemné pocity a lupání v uších. Pro zaměstnance pracující s mikrovlnnými anténami je proto nutné používat pracovních ochranných pomůcek, protože v bezprostřední blízkosti vysílačů stále může být vyzařování nadlimitní. Těmito prostory se ale provedená měření nezabývala.

Ve městech, kde jsou vysílače často umístěny na střechách domů, by bylo na místě zvýšit povědomí občanů o možných rizicích, která hrozí v případě, kdy se pohybují v bezprostředním okolí vysílače. Na druhou stranu by se mělo především zvýšit povědomí také o velmi nízkých hodnotách vyzařování, které je možné naměřit v obytných prostorech, na pracovištích a i mimo budovy na úrovni ulic. Pouze tak je možné předejít strachu z neznámého, kterým je obecně slovo záření a elektrosmog u laické veřejnosti zatíženo.

7 Použitá literatura

Seznam literárních zdrojů

Česko. Nařízení č. 1/2008 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, se změnami: 106/2010 Sb.

Česko. Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví, Dostupný také z www:

<<http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-258-2000-sb-o-ochrane-verejneho-zdravi-a-o-zmene-nekterych-souvisejicich-zakonu>>

ČESKÝ, Milan, Antény pro příjem rozhlasu a televize, 2. vydání, Praha, SNTL - Nakladatelství technické literatury, © 1973, SNTL 04-528-73

ERICSSON RADIO SYSTEMS AB, GSM RBS 2000 Basics, Student Text EN/LZT 123 3805 R2A, © 1998

ERICSSON RADIO SYSTEMS AB, MINI-LINK Trainink Basic Criteria, R1B 1997 – 10 - 20, ©1997

CHANG, Kai, RF and Microwave Wireless Systems, USA, John Wiley & Sons, © 2000, ISBN: 0471224324

MAZÁNEK, Miloš, Síření elektromagnetických vln a antény, 2. vydání, Pavel Pechač, Praha, vydavatelství ČVUT, © 2004, ISBN: 8001030326

PEKÁREK, Luděk, ŠÍSTEK, Pavel, JELÍNEK, Lukáš, Neionizující záření, expozice a zdravotní rizika, 1. vydání, Státní Zdravotní Ústav, © 2006, ISBN: 8070712767

Seznam internetových zdrojů

BIOINITIATIVE REPORT. [online] Copyright © 2006 – 2014 [cit. 2014-09-20], dostupné z:

<www.bioinitiative.org>

CONRAD ELECTRONICS, Měřiče elektrosmogu, [online], © 2014 [cit. 2014-09-19],

Dostupné z: <<http://www.conrad.cz/merice-elektrosmogu.c0601102>>

ERICSSON AB, MINI-LINK TN ANSI, [online], © 2007 [cit. 2014-09-14], Dostupné z: http://telecombuster.com/help_files/9129.eps.gif

GSM COVERAGE MAPS. GSM Association Mobile World Live [online]. © 2013 [cit. 2014-09-12], Dostupné z: <http://maps.mobileworldlive.com/network.php?cid=9&cname=Czech%20Republic>

HLAVÁČOVÁ, Irena, Institut Fyziky VŠB-TU Ostrava, Elektromagnetické záření, © 2012 [cit. 2014-09-14], Dostupné z: http://if.vsb.cz/Kontakt/Hlavacova/elmg_zareni.doc

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. Francie, [online], © 2014 [cit. 2014-09-20], dostupné z: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol102/mono102.pdf>

KATHREIN-WERKE KG. Kathrein – Weltmarktführer in Kommunikationstechnologie!, [online], Německo, © 2014 [cit. 2014-09-12], Dostupné z: <http://www.kathrein.de/>

MASARYKOVA UNIVERZITA, Fakulta informatiky, Informační systém Masarykovy Univerzity, © 2014 [cit. 2014-09-16], Dostupné z: http://is.muni.cz/th/77987/prif_m/mikrovlny.pdf

POKORNÝ, Kamil, Měření elektrosmogu, geopatogenních zón a radiace v Brně, Praze a širším okolí, [online], © 2014 [cit. 2014-09-19], Dostupné z: zony.vbrne.info

POOLE, Ian, Radio-Electronics.com, WiFi Channels | WiFi Frequency Bands List | Radio-Electronics.com, [online], © Adrio Communications Ltd [cit. 2014-09-15], Dostupné z: <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/80211-channels-number-frequencies-bandwidth.php>

RADIO FREQUENCY SYSTEMS. RFS – Radio Frequency Systems – Your Global RF Partner, [online], © 2014 [cit. 2014-09-12], Dostupné z: <http://www.rfsworld.com/>

ROHDE&SCHWARZ, Signal & Spectrum Analyzer – Test & Measurement – Rohde & Schwarz International, [online], © 2014 [cit. 2014-09-19], Dostupné z: <http://www.rohde->

[schwarz.com/en/products/test-measurement/signal-spectrum-analyzers/signal-analyzer-rohde-schwarz/pg_overview_63665.html](http://www.schwarz.com/en/products/test-measurement/signal-spectrum-analyzers/signal-analyzer-rohde-schwarz/pg_overview_63665.html)>

SAF TEHNIKA, SAF Tehnika > Products > Spectrum Analyzer, Litva, [online], © 2013 [cit. 2014-09-19], Dostupné z: <<https://www.saftehnika.com/en/spectrumalyzer>>

TRADE MEDIA INTERNATIONAL HOLDINGS Sp.z.o.o., Control Engineering Česko, Polsko, © 2014 [cit. 2014-09-16], Dostupné z: <<http://www.controlengcesko.com/>>