



Bakalářská práce

Analýza vlivu vysokofrekvenčních elektromagnetických komunikačních polí na člověka

Studijní program:

B0914P360007 Biomedicínská technika

Autor práce:

Johana Šťastná

Vedoucí práce:

prof. Ing. Aleš Richter, CSc.

Fakulta zdravotnických studií

Liberec 2023



Zadání bakalářské práce

Analýza vlivu vysokofrekvenčních elektromagnetických komunikačních polí na člověka

<i>Jméno a příjmení:</i>	Johana Šťastná
<i>Osobní číslo:</i>	D20000128
<i>Studijní program:</i>	B0914P360007 Biomedicínská technika
<i>Zadávací katedra:</i>	Fakulta zdravotnických studií
<i>Akademický rok:</i>	2022/2023

Zásady pro vypracování:

Cíle práce:

1. Analýza vysokofrekvenčních elektromagnetických polí používaných v bezdrátových komunikačních technologiích
2. Zhodnocení rizik různých typů bezdrátových komunikací podle frekvence a výkonu na člověka
3. Rozbor vlivu vybraných bezdrátových komunikací v konkrétních situacích v běžném životě

Teoretická východiska (včetně výstupu z kvalifikační práce):

Komunikace pomocí vysokofrekvenčních elektromagnetických polí je hojně užívaná ve všech odvětvích. Bakalářská práce tedy bude zahrnovat teoretický výzkum vlivu těchto polí na člověka v běžném životě. Budou provedeny výpočty působení komunikačních polí na člověka např. ve vyučovací místnosti s WiFi připojením, v běžné domácnosti a v jiných veřejných prostorách. Cílem je zhodnotit vliv elektromagnetických komunikačních polí v různých situacích a místech v praxi.

Výzkumné předpoklady / výzkumné otázky:

1. Předpokládáme, že výskyt vysokofrekvenčních elektromagnetických polí má vliv na člověka
2. Předpokládáme, že vliv je závislý na typu komunikačního přístroje, jeho vysílací frekvenci a intenzitě pole

Metoda:

Analýza a syntéza dostupných zdrojů

Technika práce, vyhodnocení dat:

Teoretická práce – zpracována v editoru Microsoft Office Word a Microsoft Office Excel

Místo a čas realizace výzkumu:

Bakalářská práce zahrnuje laboratorní měření vybraných typů přístrojů a v reálném prostředí. Nebude prováděno měření za účasti člověka.

Vzorek:

Mapování vysokofrekvenčního elektromagnetického pole ve vybraném vnitřním prostoru, učebně, případně JIP.

Rozsah práce:

Rozsah bakalářské práce činí 50–60 stran (tzn. 1/3 teoretická část, 2/3 výzkumná část)

Forma zpracování kvalifikační práce:

Tištěná a elektronická.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování práce:

tištěná/elektronická

Jazyk práce:

Čeština

Seznam odborné literatury:

HAŇKA, Ladislav. 1982. *Teorie elektromagnetického pole*. 2. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.

MAYER, Daniel. 2001. *Teorie elektromagnetického pole*. 1. díl. 3. vyd., dotisk. Plzeň: Západočeská univerzita, Elektrotechnická fakulta. ISBN 80-7082-826-9.

BENEŠOVÁ, Zdeňka a Daniel MAYER. 2001. *Základní příklady z teorie elektromagnetického pole*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni. ISBN 80-7082-818-8.

J. Morava, J. Kupec, A. Richter, T. Souček, HOLTER ECG MONITORING AS METHOD FOR ASSESSING INTERACTION OF IMPLANTED PACEMAKER AND SOURCE OF ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE, *Lekar a technika – Clinician and Technology 2022*, vol. 52, Czech Society for Biomedical Engineering and Medical Informatics, p. 18-22, 5 pages, ISSN: 0301-5491, n. 1, [Online], 2022

A. Richter, Ž. Ferková, V. Bittner, Physical Analysis of Low-dynamic Magnetic Field Impact on Human Tissue, *Transactions on Electrical Engineering*, Prague, ERGO NOMEN, o.p.s., K13114 FEE CTU in Prague, p. 14-17, 4 pages, ISSN: 1805-3386, n. 1, [Online], 2019

Vedoucí práce:

prof. Ing. Aleš Richter, CSc.

Fakulta zdravotnických studií

Datum zadání práce:

25. října 2022

Předpokládaný termín odevzdání: 5. května 2023

L.S.

prof. MUDr. Karel Cvachovec, CSc.,

MBA

děkan

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat především prof. Ing. Aleši Richterovi, CSc. za jeho ochotu vést a zejména číst tento dosavadní „vrchol“ mého studia. Dále mé poděkování patří Ing. Lubomíru Slavíkovi Ph.D. za poskytnutí techniky pro měření, panu Bc. Miroslavu Trojáčkovi za umožnění přístupu do prostor pro uskutečnění měření a v neposlední řadě mým rodičům, kteří mne po celou dobu mého studia podporují.

ANOTACE

Analýza vlivu vysokofrekvenčních elektromagnetických komunikačních polí na člověka

Bakalářská práce se zabývá vysokofrekvenčními elektromagnetickými poli, která se využívají v mikrovlnné komunikační technice. Úkolem bylo popsat tento typ komunikace a zhodnotit jeho dopad na člověka. Dále provést měření komunikačních polí pomocí spektrometru v praxi v nemocničním zařízení a na jiných běžně obývaných místech. Výsledky měření jsou zaznamenány v grafech, tabulkách a nákresech a jednotlivá místa jsou porovnána mezi sebou podle frekvenční oblasti měření.

Klíčová slova

Elektromagnetismus, digitální komunikace, vliv mikrovln, člověk a mikrovlny

ANNOTATION

The Highfrequency Communication Electromagnetic Fields Analysis and their Influence on the Human

The bachelor thesis deals with high-frequency electromagnetic fields used in microwave communication technology. The task was to describe this type of communication and to evaluate its impact on humans. Furthermore, to make measurements of communication fields using a spectrometer in a practical hospital setting and other commonly inhabited places. The results of the measurements are recorded in graphs, tables and drawings and the individual sites are compared with each other according to the frequency range of the measurements.

Keywords

Electromagnetism, digital communication, microwave influence, human and microwaves

Obsah

Obsah

Obsah	7
Seznam použitých zkratek	9
1 Úvod.....	10
2 Teoretická část	11
2.1 Teorie elektromagnetismu.....	11
2.1.1 Mikrovlnné elektromagnetické záření	15
2.2 Digitální mikrovlnná komunikace.....	16
2.2.1 Mikrovlnná pásma a kanály	16
2.2.2 Modulace signálu	18
2.2.3 Rušení mikrovlnného signálu	22
2.3 Elektrosmog a jeho vliv na člověka	23
2.3.1 Měření elektrosmogu - Spektrometrie	24
3 Výzkumná část.....	27
3.1 Cíle výzkumu	27
3.2 Metoda.....	27
3.3 Analýza naměřených dat	29
3.3.1 Naměřené hodnoty(dBm) frekvencí na 920-960 MHz:	30
3.3.2 Naměřené hodnoty(dBm) frekvencí na 1800-1880 MHz:	33
3.3.3 Naměřené hodnoty(dBm) frekvencí na 2110-2170 MHz:	35
3.3.4 Naměřené hodnoty(dBm) frekvencí na 2400-2490 MHz:	38
3.3.5 Naměřené hodnoty(dBm) frekvencí na 2500-2690 MHz:	40
3.3.6 Průměrné hodnoty a oblasti šíření	43
3.4 Zhodnocení výsledků měření	46
4 Diskuze	47
5 Návrh doporučení pro praxi	48
6 Závěr	49

Seznam použité literatury	50
Seznam tabulek	53
Seznam obrázků a grafů.....	54

Seznam použitých zkratk

Symbol	Veličina	Jednotka
\vec{B}	magnetická indukce	T
c	rychlost světla ve vakuu	m/s
\vec{D}	elektrická indukce	C/m ²
\vec{E}	intenzita elektrického pole	V/m
f	vlnová frekvence	Hz
λ	vlnová délka	mm
h	Planckova konstanta	J*s
\vec{H}	intenzita magnetického pole	A/m
\vec{J}	proudová hustota	A/m ²
m	hmotnost	g
ε	permitivita	F/m
μ	permeabilita	H/m
Z	impedance prostředí	Ω
γ	vodivost	Si
v	rychlost	m/s
ρ	hustota volných nábojů	
t	čas	s
W	práce	J

1 Úvod

V současné době jsme v hojné míře obkloповáni nejen přírodními, ale zejména umělými elektromagnetickými poli, které se neustále rozrůstají vlivem enormně se navyšujícího používání mikrovlnné bezdrátové komunikace. K nejpoužívanějším přístrojům, které tato pole vytváří, patří například mobilní telefony, bezdrátová sluchátka, Wi-Fi sítě nebo další komunikátory. Většina z nich již nemyslitelně patří do běžného každodenního života a nejen to, pole jsou užívaná i v lékařské technice, pro léčbu, sběr dat a také komunikaci. V poslední době také dochází k rozvoji telemedicíny a do budoucna se určitě bude navyšovat používání vysílačů a jiných přístrojů komunikujících přes mikrovlny nejen ve zdravotnictví.

V teoretické části této práce si tedy rozebereme teorii elektromagnetismu, rozdělení jednotlivých typů polí a konkrétněji se podíváme na mikrovlnné záření, které je pro nás v tomto případě klíčové. Udáme si příklady komunikačních přístrojů a jejich frekvence a výkony v praxi. Také si popíšeme mikrovlnnou komunikaci a její principy. Představíme si přístroj pro měření polí a k nim příslušnou teorii.

V praktické části pak změříme výskyt těchto polí v kritických místech na zdravotnických pracovištích, kde se nachází i více zdravotnických prostředků, které tato pole využívají. Pokusíme se zjistit, zda nedochází k příliš vysokému vyzařování v oblastech, nebo k rušení vlivem velké koncentrace elektromagnetického vlnění.

2 Teoretická část

2.1 Teorie elektromagnetismu

Elektromagnetické pole je fyzikální pole, vznikající působením magnetických a elektrických sil v prostoru. Skládá se z dvou polí, elektrického a magnetického, které jsou vzájemně propojené. Při popisu těchto polí se užívají charakteristické veličiny popisující jednotlivá pole. Elektrického pole tak popisuje intenzita elektrického pole a magnetické pole popisuje magnetická indukce. (Mayer 1981)

Jako základní parametr se uvádí frekvence elektromagnetického vlnění f a vlnová délka λ pro které platí vzájemný vztah:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (\text{Mayer 1981})$$

c je rychlost světla ve vakuu přibližná hodnota:

$$c \approx 3 * 10^8 \text{ms}^{-1} \quad (\text{Mayer 1981})$$

Tato rychlost je vypočítána na základě permitivity a permeability prostředí. (Mayer 1981)

Permitivita je schopnost materiálu odolávat elektrickému poli. Tato fyzikální veličina popisuje vztah mezi vektory intenzity elektrického pole a elektrické indukce v prostředí nebo vakuu. Značí se písmenem ε , v lineárním homogenním izotropním prostředí platí vztah:

$$\varepsilon = \frac{D}{E} \quad (\text{Mayer 1981})$$

Permeabilita je schopnost materiálu koncentrovat magnetické pole. Jedná se o fyzikální veličinu popisující vztah mezi vektory intenzity magnetického pole a magnetické indukce. Značí se řeckým μ , v lineárním homogenním izotropním prostředí platí:

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (\text{Mayer 1981})$$

Magnetická indukce \mathbf{B} je vektorová fyzikální veličina, která vyjadřuje silové účinky magnetického pole na pohybující se částici s nábojem. (Mayer 1981)

Intenzita magnetického pole \mathbf{H} je vektorová veličina popisující míru silových účinků magnetického pole. (Mayer 1981)

Poslední konstantou je vodivost γ , tj. schopnost materiálu nebo prostředí vést elektrický proud. Je definována tímto vztahem:

$$\gamma = \frac{J}{E} \quad (\text{Mayer 1981})$$

Proudová hustota J popisuje lokálního rozložení elektrického proudu protékajícího uzavřenou plochou. Její směr je stejný jako směr pohybu kladného elektrického náboje.

Elektrická intenzita E též známá jako intenzita elektrického pole, je vektorová fyzikální veličina vyjadřující velikost a směr elektrického pole. Je definována jako elektrická síla působící na těleso s kladným jednotkovým elektrickým nábojem. (Mayer 1981)

Velikost elektrického a magnetického pole rovinné vlny jsou si v každém okamžiku úměrné. Takže platí že:

$$\frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = Z \quad (\text{Mayer 1981})$$

Vlnová impedance prostředí Z se nazývá také jako vlnový odpor prostředí.

Teorii vzniku elektromagnetického pole popisují 4 lineární parciální Maxwellovy rovnice, vypracované skotským fyzikem Jamesem Clarkem Maxwellem, představené v roce 1865. (Mayer 1981)

První rovnice popisuje siločáry, což jsou vektory znázorňující elektrického pole, které začínají a končí tam, kde je elektrický náboj. Elektrická indukce D vychází z oblastí kladných zdrojů a šíří se do oblastí záporných nábojů. Zdrojem elektrického proudu je tudíž elektrický náboj. Rovnici bývá nazývaná také jako Gaussova věta elektrostatiky, což je zobecněný Coulombův zákon:

$$\text{div } \vec{D} = \rho \quad (\text{Mayer 1981})$$

Hustota volných nábojů je značena ρ

Druhá rovnice hovoří o siločárách magnetického pole, které nikde nezačínají a ani nikde nekončí, magnetické pole tak všemi místy pouze prostupuje a křivky siločar, jsou vždycky uzavřené. Neexistují magnetické náboje, tudíž je magnetické pole pokaždé vírové. Tato rovnice bývá označována také jako Gaussova věta magnetostatiky:

$$\text{div } \vec{B} = 0 \quad (\text{Mayer 1981})$$

Třetí Maxwellova rovnice vyjadřuje časovou změnu magnetického pole, při níž je elektrické pole vírové. Totožně jako u druhé rovnice jsou siločáry uzavřené. Okolo vírů je tedy možno měřit napětí, třetí rovnice nám tedy vlastně popisuje Faradayův indukční zákon, tj. změnou magnetického pole je možné měřit napětí:

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (\text{Mayer 1981})$$

Poslední rovnicí se pak vysvětluje, že magnetické pole vzniká vždy kolem obvodu, pokud v něm probíhá proud. Východiskem je, že magnetické pole je vírové. Toto popisuje Ampérův zákon, tj. změnou elektrického pole vzniká magnetické pole:

$$\operatorname{rot} \vec{H} = J + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (\text{Mayer 1981})$$

Všechny 4 rovnice popisují všechny vztahy elektromagnetického pole. Rovnice byly popisovány pomocí hustoty volných nábojů ρ . (Mayer 1981)

Elektromagnetické pole je nositelem energie. Transport této energie je popisován jako Poyntingův vektor, nejčastěji zapisován písmenem S , jedná se o vektorový součin intenzit elektrického a magnetického pole, označován je také jako hustota dopadajícího výkonu podle jeho jednotek: W/m^2 . Platí pro něj:

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \quad (\text{Mayer 1981})$$

Práce konaná elektromagnetickým polem a jeho energií má svou vlastní hybnost a hmotnost, která souvisí s jeho energií podle Einsteinova teoretického vztahu:

$$W = mc^2 \quad (\text{Benešová 2008})$$

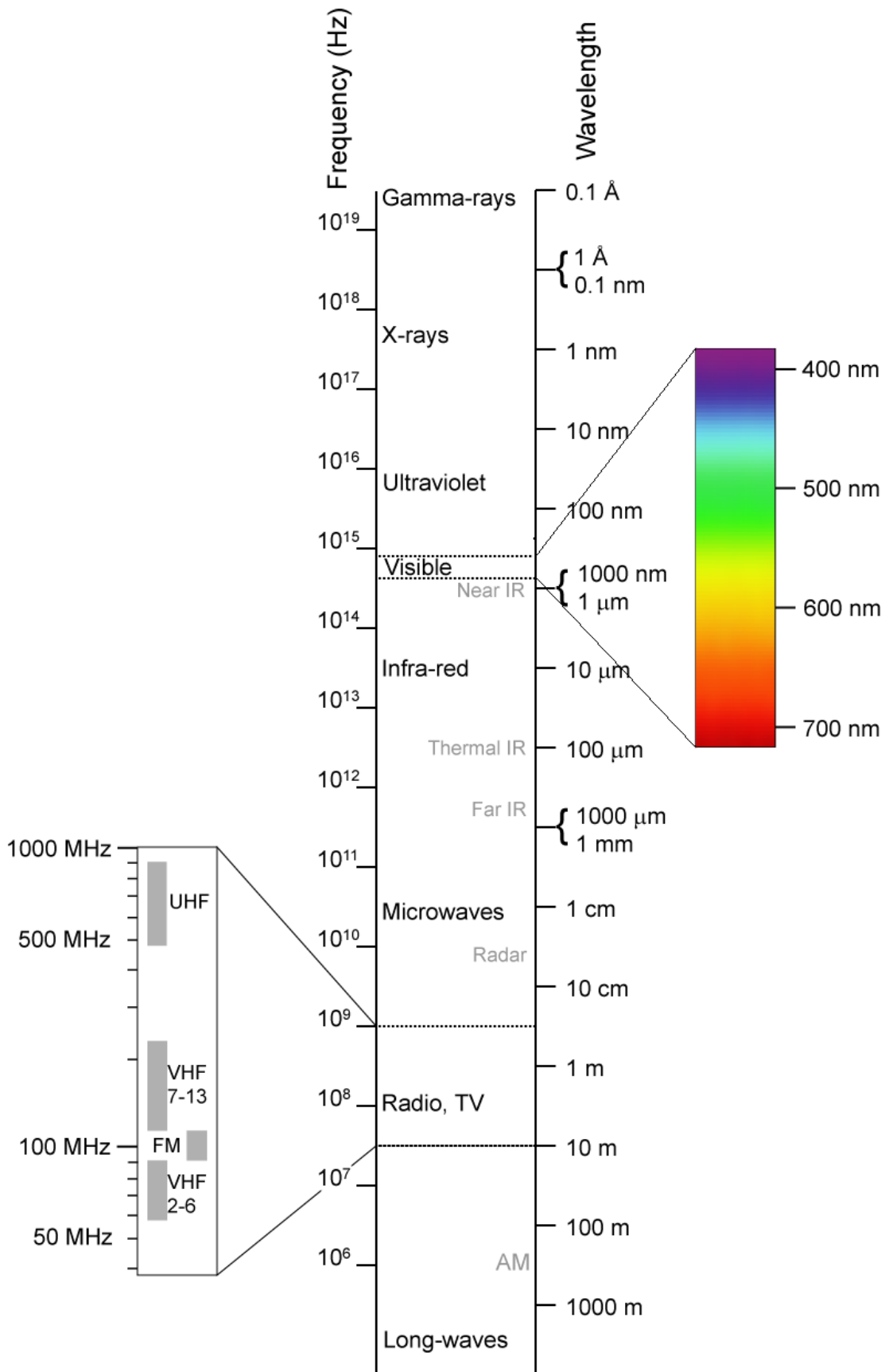
Dále se pole popisuje pomocí fotonů, které představují minimální kvantum energie, jedná se tudíž o částicový popis elektromagnetické energie a odvíjí se od kmitočtu vlny, podle vzorce:

$$W_f = h * f \quad (\text{Benešová 2008})$$

Kde $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ je Planckova konstanta. Pokud je tedy frekvence nulová, je i hmotnost nulová.

Energie světla se ve vakuu přenášejí rychlostí světla. (Mayer 1981)

Pro rozdělení typů elektromagnetických polí se užívá elektromagnetické spektrum (Obrázek 1), ve kterém jsou vyznačeny jednotlivé oblasti polí podle frekvence či vlnové délky, které na sebe vždy navazují a někdy se i částečně překrývají.



Obrázek 1 - Elektromagnetické spektrum (Blacus 2008)

2.1.1 Mikrovlnné elektromagnetické záření

Do oblasti mikrovlnného pásma se tedy řadí elektromagnetické vlny o frekvenci přibližně od 300MHz do 3THz. Jedná se o pásmo mezi radiovými vlnami a infračerveným zářením. Vlnová délka se pohybuje od 1m do 0,1mm. Toto pásmo se pak nadále rozděluje na dílčí části podle specifických technických vlastností.

V tabulce je rozdělení doporučené IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)

Pásmo	Označení frekvenčního pásma	Frekvence	Vlnová délka
9	UHF (Ultra High Frequency)	300 – 3000 MHz	100 – 10 cm
10	SHF (Super High Frequency)	3 – 30 GHz	10 – 1 cm
11	EHF (Extreme High Frequency)	30 – 300 GHz	1 – 0,1 cm
12	Decimillimeter	300 – 3000 GHz	1 – 0,1 mm

Tabulka 1 - Doporučení rozdělení mikrovln

Mikrovlny se díky své vlnové délce užívají k ohřevu potravin, vysoušení, úpravě materiálu, bezdrátové komunikaci, či mikrovlnné hypertermii v lékařství. V současné době se ovšem nejvíce rozvíjí v oblastí zmiňované bezdrátové komunikace a přenosu dat.

Nejčastěji užívaná komunikační zařízení, jejich frekvence a vyzařovací výkon, jsou v následující tabulce.

ZDROJ	Frekvence (MHz)	Vyzářený výkon
Základnová stanice LTE (4G)	800/1800/2600	2 - 15 kW
Základnová stanice UMTS (3G)	2100	2 - 15 kW
Základnová stanice GSM (2G)	900	2 - 15 kW
Mobilní telefon/modem v síti 2G	900	2,5 mW - 2 W
Mobilní telefon/modem v síti 3G	1900	10 nW - 250 mW
Mobilní telefon/modem v síti 4G	800/1700/2500	100 nW - 250 mW
WiFi (WLAN) router	2400/5600	100 mW
WiFi klient	2400/5600	100 mW
Bluetooth (notebook, mobil, handsfree)	2400	1 - 100 mW
Bezdrátová PC myš (+ USB klíč)	2400	5 mW
Bezdrátová PC klávesnice (+ USB klíč)	2400	5 mW

Tabulka 2 - Komunikační zařízení jejich frekvence a výkony

Pro naše měření se tudíž budeme zabývat pouze výskytem UHF, v češtině též označované jako ultra krátké vlnění.

Vyzařovací výkony zařízení mohou být proměnlivé, v závislosti na vzdálenosti antén, nikdy by však neměli překročit v tabulce uvedenou horní hranici vyzařovacího výkonu.

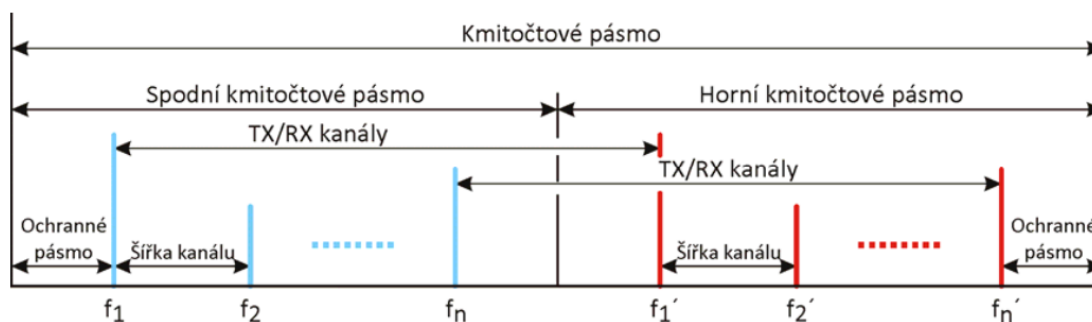
2.2 Digitální mikrovlnná komunikace

Digitální mikrovlnná komunikace je komunikační typ, který pomocí mikrovln přenáší informaci, v digitální podobě, prostorem. Mikrovlny se šíří téměř vždy v přímém směru a málo podléhají ohybům. Jednotlivé stanice by měli být v ideálním případě v dohledu, ale to omezuje přenos informace na velké vzdálenost, proto jsou při větších vzdálenostech vloženy mezistanice tzv. retranslační stanice, aby podmínka přímé viditelnosti byla splněna. Takový spoj je pak nazýván mikrovlnný reléový spoj. (Anon 2012)

Oproti jiným typům komunikací, jako je například použití optického kabelu a přenosu světla, má výhody jako jsou levný přenos dat, rychlá instalace, překonává i velké vzdálenosti, rychlá obnovitelnost spojení při poruše, a dovoluje díky rozdělení na pásma i mnohonásobné využití v různých oblastech. (Anon 2012)

2.2.1 Mikrovlnná pásma a kanály

Uspořádání mikrovlnných pásem však musí být celosvětově koordinováno. Podle rozhodnutí ITU-R (International Telecommunication Union – Radio communication Section) Koordinačním a regulačním orgánem v České republice je Český telekomunikační úřad, který přesně definuje a stanovuje podmínky provozu jednotlivých radiokomunikačních zařízení a rozdělení kmitočtového pásma. V České republice jsou tato rozhodnutí ITU-R závazná. Jednotlivá kmitočtová pásma nejsou kontinuálně navázána. Mezery mezi nimi jsou užívána např. meteorologickými radary, astronomickým měřením apod. Kmitočtový rozsah pásma je určen ve všech kmitočtových pásmech, pak také vzájemný odstup mezi přijímaným a vysílaným kmitočtem a kmitočtový odstup jednotlivých kanálů na pásmu. Odstup těchto kanálů odpovídá šířce přenášeného pásma. (Anon 2012)



Obrázek 2 - Uspořádání kmitočtového pásma (Anon 2012)

Kmitočtové pásmo tak musí být rozděleno do kanálů. Šířka kanálu je zvolena tak, aby dovozovala použít kmitočtové spektrum, které je potřebné pro přenos. Kmitočtový kanál se definuje jeho středním kmitočtem a označuje se pořadovým číslem. Šířka kanálu je určena šířkou spektra přenášeného signálu tj. způsobem modulace a kapacitou přenosu. (Anon 2012)

Při oddělení kanálů musí být brány v potaz různé faktory, jako například: největší možné ekonomické využití přenášeného kmitočtového spektra, dostatečný odstup mezi přijímaným a vysílaným kmitočtem, tím se zabrání rušení přímým přenosem signálu mezi vysílačem a přijímačem, dále pak je třeba dbát na dostatečně velký odstup mezi kanály, který omezí vzájemné rušení stanic pracujících ve vícekanálových sítích, pochopitelně je třeba zajistit ochranná pásma na koncích určitého kmitočtového pásma, ochranná pásma tím zamezí vzniku rušení u pásem, která navazují. Běžně je odstup kanálů 2,5 MHz a 3,5 MHz a jejich násobků. (Anon 2012)

Zdrojem signálu na vysílači je zařízení, které přebírá původní data pro přenos, upravuje je a posílá je k následnému zpracování. Kodér na zdroji zlepšuje spolehlivost signálů, které přenášíme. Při přenosu se ovšem může vyskytnout náhodné rušení a šum nebo například může dojít ke špatnému kódování a tím dochází ke vzniku chybného bitu. Aby bylo možné provést automatickou kontrolu nebo opravu přeneseného kódu na přijímači, přidává kodér na zdroji dodatečnou část kódu ke vstupnímu signálu. Tyto dodatečné bity musí být přidány podle přesných algoritmů, aby vznikl nový blok přenášeného signálu. Dochází tak ale samozřejmě ke snížení rychlosti přenosu původního signálu. Z kodéru přechází signál do modulátoru, kde je vhodně naformátován na nosnou frekvenci. Modulace je proces, který díky změny amplitudy, fáze a kmitočtu umožňuje přenos požadovaného signálu. Mikrovlnný signál je poté pomocí antény přenesen prostorem na přijímací stranu. Na druhé straně, která má za úkol signál přijmout se nachází demodulátor a dekodér s přesně opačnou funkcí, než má

modulátor a kodér na vysílací straně. Výstupem přijímače je téměř shodný signál se signálem vysílače. Poměr chybně přenesených bitů vzhledem k celkovému počtu přenesených bitů, je vyjádřený bitovou chybovostí tzv. BER. Kvalita přenosu je pak hodnocena podle maximální velikosti této chybovosti. (Anon 2012)

2.2.2 Modulace signálu

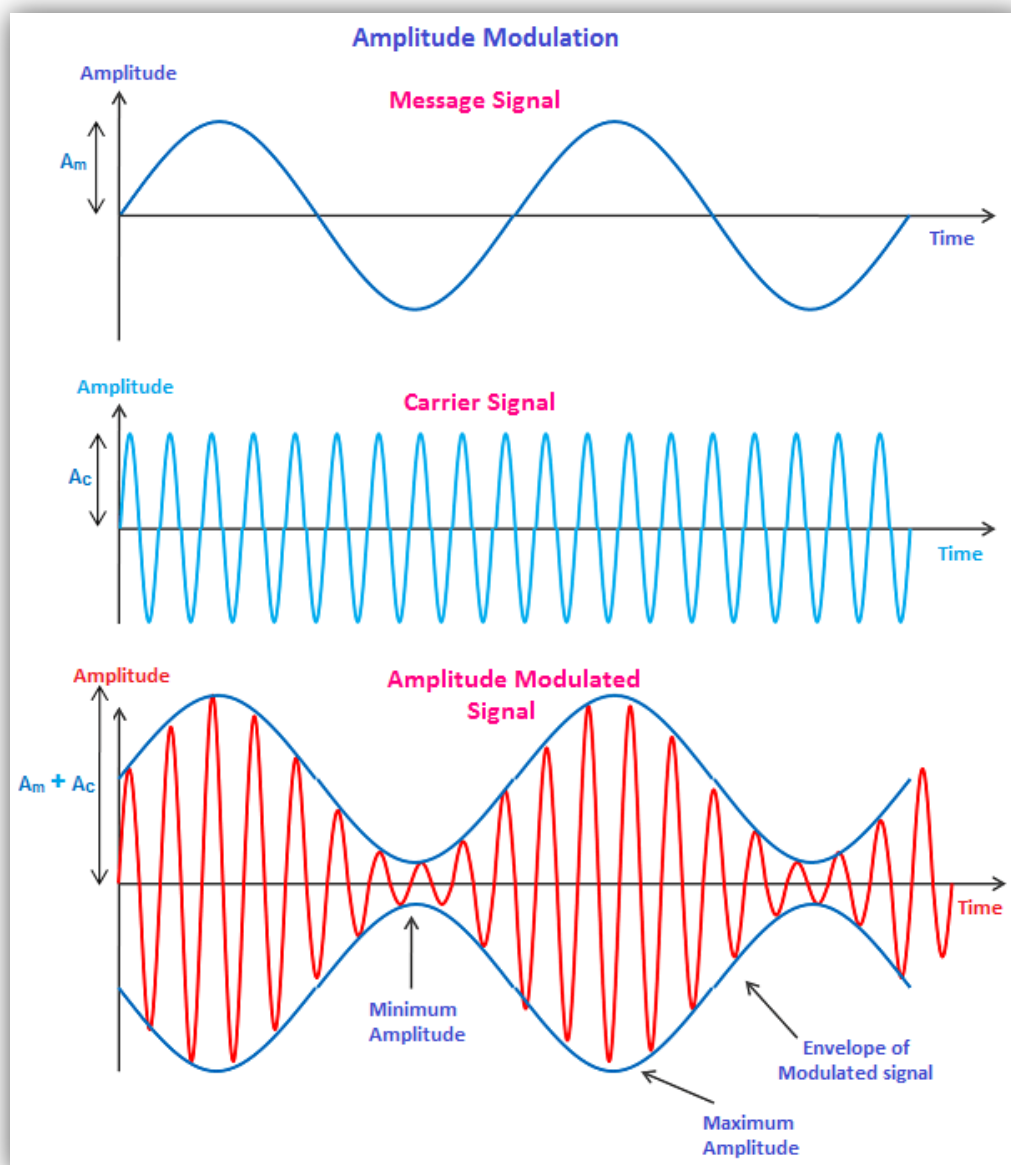
Nemodulovaný digitální signál je nazýván digitální basebandový signál, tento signál ale nelze přenášet přímo v mikrovlnném pásmu, je k tomu potřebné jej nejdříve konvertovat na vyšší frekvenci, která je také nazývána jako mezifrekvenční kmitočet, a ten poté po následné úpravě použit k požadovanému přenosu v mikrovlnném pásmu. Jako mezifrekvenční kmitočet je nejhojněji používán 140 MHz, tedy 70 MHz pro nižší mikrovlnná pásma a 850 MHz nebo 350 MHz pro vyšší pásma. Do mikrovlnného pásma je pak mezifrekvenční kmitočet přenesen díky tzv. upkonvertoru, v něm dochází ke smísení mezifrekvenčního kmitočtu a vlastní frekvence oscilátoru. Po smísení se vybere z nově vytvořeného pásma zkombinovaných kmitočtů horní postranní pásmo, které vzniklo ze součtu mezifrekvenčního kmitočtu a kmitočtu vlastního oscilátoru. Na druhé straně komunikace je downkonvertor, u kterého je tento proces přesně opačný, se stejnými principy. Využívá rozdílovou frekvenci, která vznikla ze zkombinování kmitočtu místního oscilátoru a přijímané frekvence. Stabilita signálu je dána stabilitou oscilátoru, a pokud dojde jen k malému posunu jeho signálu, dojde k významnému posunu i celkového vysílaného nebo přijímaného signálu. (Anon 2012)

Základní princip modulace digitálním basebandovým signálem popisujeme jako harmonickou funkci:

$$A * \cos(2\pi ft + \varphi) \quad (\text{Haňka 1980})$$

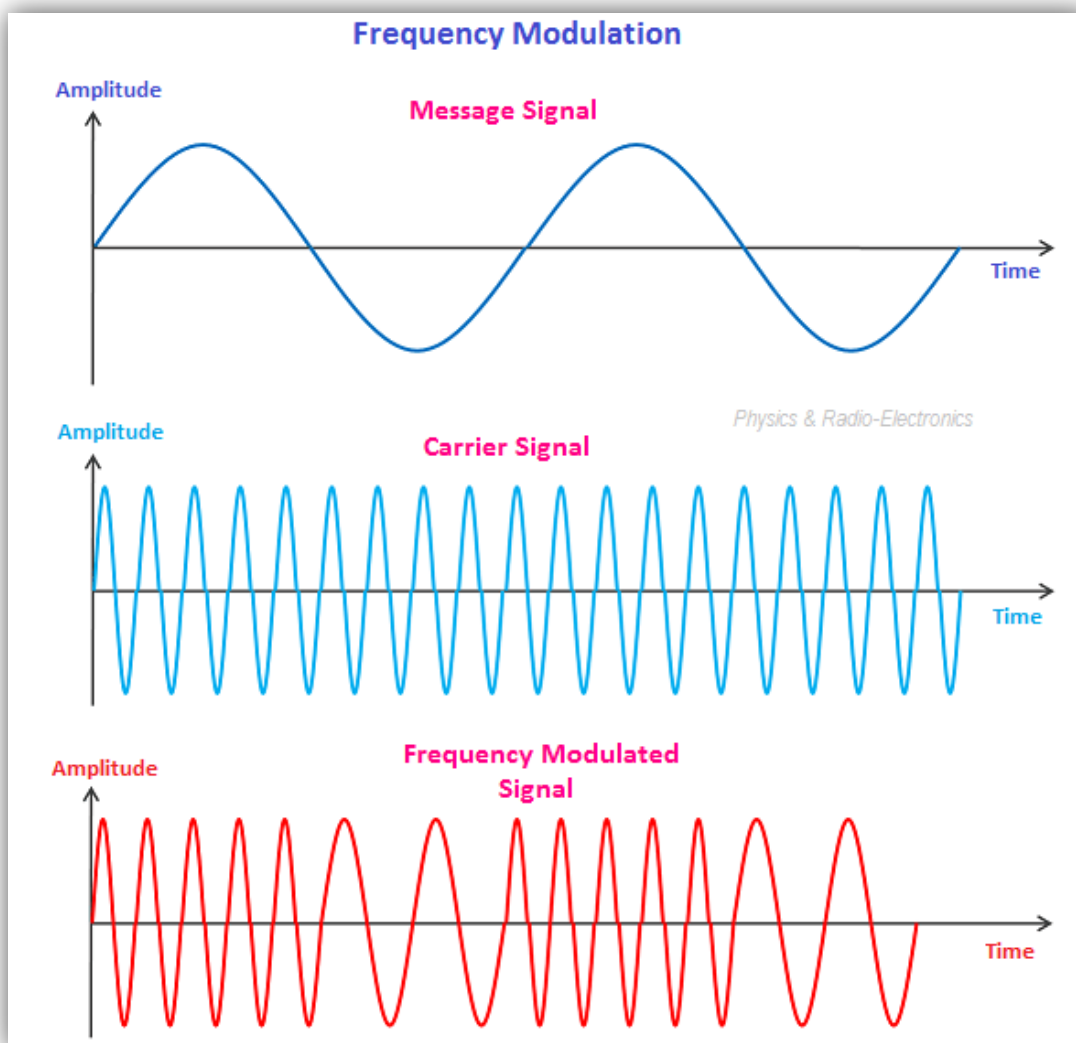
,kde A je amplituda signálu, f je kmitočet (frekvence), t je čas a φ fázový posun.

Amplitudová modulace používá změnu amplitudy nosného (hlavního) kmitočtu podle změny basebandového signálu, hodnoty kmitočtu a fázového posunu se nemění:



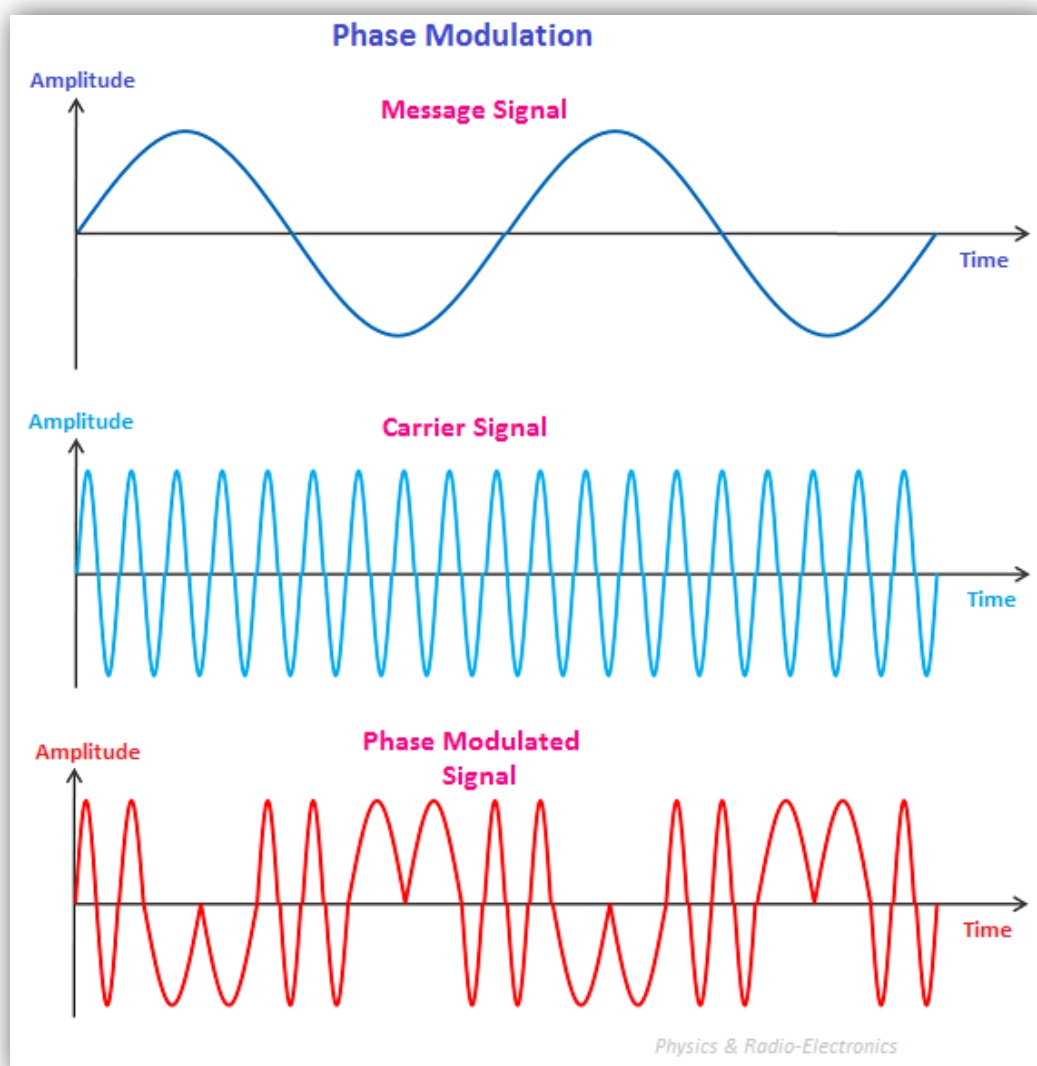
Obrázek 3 - Amplitudová modulace (Anon 2023)

Kmitočtová (frekvenční) modulace používá změnu nosného kmitočtu podle změny basebandového signálu, hodnoty amplitudy a fázového posunu se nemění:



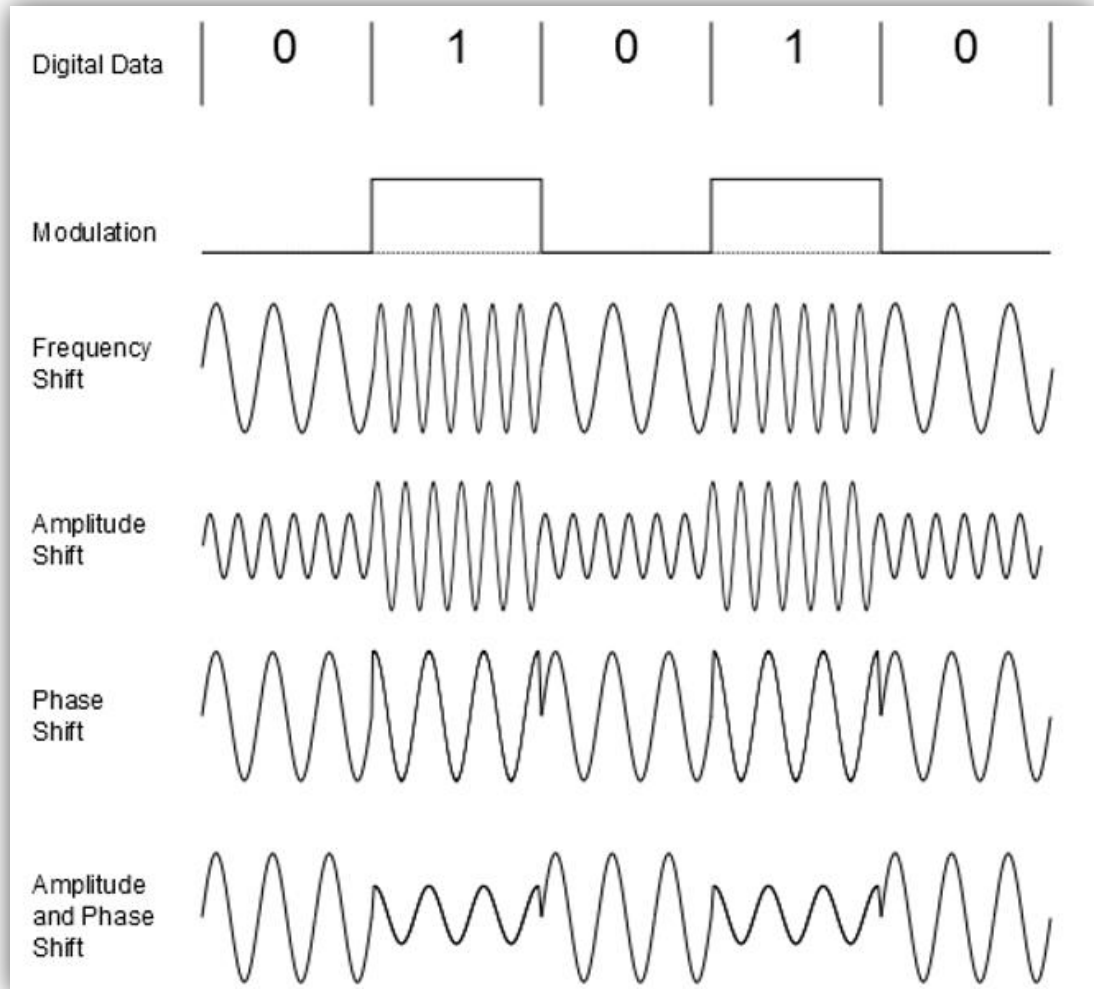
Obrázek 4 - Frekvenční modulace (Anon 2023)

Fázová modulace pak funguje na principu změny fáze nosného kmitočtu podle změny basebandového signálu a amplituda i frekvence zůstává neměnná:



Obrázek 5 - Fázová modulace (Anon 2023)

Kvadrurní amplitudová modulace využívá basebandového signálu ke změně hlavní nosné amplitudy a fázového posunu. Frekvence zůstává neměnná.



Obrázek 6 - Kvadrurní amplitudová modulace (Anon 2023)

V současné době se v profesionálních spojích nejčastěji využívá modulace kvadrurní-amplitudová modulace.

2.2.3 Rušení mikrovlnného signálu

K rušení signálu při mikrovlnné komunikaci dochází z nejrůznějších zdrojů, jako jsou například šumy tepla, který vzniká z teplotního pohybu elektronu ve vodiči, šumem, který je primárně způsoben nesouvislým pohybem náboje uvnitř součástky, tepelným vyzařovacím šumem, který je vyzařován tělesy s teplotou nad 0 Kelvinů, vesmírným šumem a šumem vesmírných objektů, šumem atmosféry, v neposlední řadě

jsou zdrojem rušení elektronická zařízení v průmyslovém odvětví, šum tak vniká například u jiskření, k rušení signálu může dojít i uvnitř vysílacího přístroje, a samozřejmě i při interferenci s jinými frekvencemi z dalších stanic. (Anon 2012)

2.3 Elektrosmog a jeho vliv na člověka

Elektrosmog nebo také elektromagnetické znečištění se vztahuje na veškeré elektromagnetické záření vytvořené člověkem, které se vyskytuje v našem okolním prostředí. (Ben-Aboud 2021)

Podle Mezinárodní komise pro ochranu před neionizujícím zářením = International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) se elektromagnetické znečištění zvyšuje v důsledku rychlého a neustálého vývoje a zavádění nových bezdrátových technologií. (ICNIRP 2020) Z toho důvodu je důležité tento nárůst elektrosmogu sledovat.

Existují mnohé studie zaměřující se na negativní účinky elektromagnetických polí. Ve Švédsku byl proveden výzkum vlivu na výskyt rakoviny, kde byla potvrzena možná souvislost mezi nárůstem používání bezdrátových komunikačních zařízení a výskytem rakoviny štítné žlázy. (Carlberg 2020) V jiné studii se pak zaměřili na narůstající výskyt i anatomickou pozici gliomů a akustického neuromu, vlivem používání mobilních telefonů. (Hardell 2013) Dále výzkum vlivu mobilních stanic na zdraví. (Gosselin 2009) Vliv infračerveného záření mobilního telefonu na oběhový systém poblíž sluchového aparátu. (Spichtig 2012) Výzkum zaměřený na modulaci inter-hemisférického funkčního propojení EEG alfa vln vlivem používání mobilních telefonů v porovnání u starších a mladších osob. (Vecchio 2010) Studie zabývající se účinky expozice radiofrekvenčního záření o frekvenci 1,8 GHz o různé intenzitě na shlukování a fosforylaci receptorů v lidských amniových buňkách. (Sun 2012)

Na druhé straně jsou mnohé studie, které ukazují nevýznamné, či žádné účinky neionizujícího záření. V jedné například nebyl zjištěn žádný vliv na karcinomy u myší vystavením EMC polím. (Okur 2021) V další pak se zabývali vlivem 2G a 3G sítí na EEG alfa signálu u starších, dospívajících a mladých osob, kde například nebyl prokázán žádný účinek 3G sítí. (Croft 2010) Ve výzkumu zabývajícím se vlivem krátkodobého záření GSM telefonu 902,4 MHz na krevní řečiště v mozku také nebyly objeveny žádné účinky. (Kwon 2012) Nebyly pozorovány žádné významné vizuální účinky vlivu na spánek vystavením vyzařování mobilního telefonu. (Loughran 2012)

V databázi pak bylo představeno 1485 recenzovaných studií, které prokazují biologické účinky neionizujícího záření. (Leach et al. 2018)

Souhrn relevantních studií uvádí Vědecký výbor pro vznikající a nově identifikovaná zdravotní rizika = Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. (SCHENIHR 2015)

Při výzkumu vlivu ruky držící mobilní telefon na absorpci EMC různých frekvencí v hlavě, bylo prokázáno, že různé frekvence mohou jinak interagovat s lidskou tkání a došlo k naměření odlišností při použití frekvence 900MHz oproti 1800MHz. (Li 2012)

Byla provedena celá řada studií, jejichž cílem je určit expozice elektrosmogu na určitých místech. V jedné takové studii například použili měřič EMP Spectran HF-6065 ke sběru údajů o úrovni elektromagnetického zamoření na 80 místech univerzity v Erciyes v Turecko. Zjistili, že nejvyšší naměřená expozice činila přibližně 2,5 % hodnoty ICNIRP limitu. (Sorguc 2012)

Jsou také zkoumány vlivy jednotlivých složek elektromagnetických polí, magnetické nebo elektrické. (Richter 2018)

V neposlední řadě je také důležité se zabývat a zkoumat interakce elektromagnetických komunikačních polí se zdravotnickou technikou, abychom předešli případnému ovlivnění například v kardiostimulační technice. (Morava 2022)

I když stále neexistuje shoda na tom, zda EMC záření způsobují nebo nezpůsobují zdravotní rizika, je důležité je průběžně monitorovat a studovat jejich vývoj, zejména v městských oblastech, do kterých zapadají i nemocniční zařízení.

2.3.1 Měření elektrosmogu - Spektrometrie

K měření elektromagnetických polí se používají přístroje zvané spektrometry, jako je například Spectran V3.



Obrázek 3 – Spectran (Anon 2013)

Měření komunikačních polí často vykazují extrémně velké rozdíly mezi jednotlivými úrovněmi. Proto je užitečné vyjadřovat úrovně signálu v logaritmických jednotkách, aby nedošlo ke „ztracení“ naměřených hodnot v nespočetném množství nul. (Anon 2013)

SPECTRAN tak přichází s měřením např. rozsah -80dBm až 0dBm. Vzhledem k tomu, že zesílení se zvyšuje desetkrát po 10 dB, bylo by třeba zobrazit hodnoty od 0 do 100 000 000. Tato čísla by byla v takovém případě nečitelná a vedla by k neustálým drastickým změnám zobrazovaných hodnot. Proto používáme mnohem snadněji ovladatelnou logaritmickou hodnotu jednotku dB. Protože logaritmy jsou bezrozměrné, jsou logaritmické hodnoty vždy vztaženy k hodnotě určité referenční úrovní, tj. mezi dvěma úrovněmi je vytvořen vztah. A běžná referenční úroveň, která se stala standardem v rádiové technice, je 1 mW nebo 1 μ V. Logaritmické údaje o úrovni se tedy vyjadřují v dB miliwattech [dBm], resp. dB mikrovoltů [dB μ V]. (Anon 2013)

Pokud nepřivádíte signály přímo a namísto toho provádíte měření pomocí antény, budete většinou chtít měřit tzv. intenzitu pole nebo výkonovou hustotu, hustotu toku namísto výkonu. V profesionální měřicí technice se většinou měří pouze „zvládnutelná“ intenzita elektrického pole, přičemž se používá jednotka V/m. (Anon 2013)

SPECTRAN může také zobrazovat hustotu toku výkonu v $\mu\text{W}/\text{m}^2$ nebo jiných giga-jednotkách. (Anon 2013)

Funkci automatického rozsahu v režimu W/m^2 , např. namísto zobrazování nekonečného počtu nul zobrazuje před jednotkou pouze příslušnou zkratku f, p, n, μ nebo m. (Anon 2013)

Je třeba si uvědomit, že hustota výkonového toku S (měřená ve W/m^2) se ve skutečnosti skládá ze dvou samostatných polí: elektrické pole E (měří se ve V/m) a magnetického pole H (měří se v A/m). Protože ale tato pole neexistují odděleně, není jejich oddělený údaj pro měření frekvence zajímavý. Vztah mezi hodnotami je popsán již v teorii elektromagnetismu, samotný přepočít pro měřené hodnoty dBm na W/m^2 pak je popsán vzorcem:

$$S = \frac{10^{\left(\frac{p-G}{10}\right)}}{1000} * \frac{4*\pi}{\lambda^2} \quad (\text{Anon 2013})$$

Kde S je hustota výkonu, p naměřená hodnota spektrometru v jednotkách dBm, λ vlnová délka a G zisk antény v dBi = udává zisk vztahovaný k izotropní anténě.

Tabulka převodů dBm na W/m^2 s použitím antény se ziskem 5dBi: (Anon 2013)

Tabulka 3 - Převody dBm na $\text{W}/(\text{m}^2)$ (Anon 2013)

dBm	GSM900	GSM1800	UMTS	WLAN
+10	0,45	1,9	2,2	3,3
+9	0,36	1,5	1,8	2,7
+8	0,28	1,2	1,4	2,1
+7	0,23	0,95	1,1	1,7
+6	0,18	0,76	0,89	1,3
+5	0,14	0,60	0,70	1,06
+4	0,11	0,48	0,56	0,84
+3	0,09	0,38	0,44	0,67
+2	0,07	0,30	0,35	0,53
+1	0,06	0,24	0,28	0,42
0	0,045	0,019	0,022	0,033
-10	0,004 5	0,001 9	0,002 2	0,003 3
-20	0,000 45	0,000 19	0,000 22	0,000 33
-30	0,000 045	0,000 019	0,000 022	0,000 033
-40	0,000 004 5	0,000 001 9	0,000 002 2	0,000 003 3
-50	0,000 000 45	0,000 000 19	0,000 000 22	0,000 000 33
-60	0,000 000 045	0,000 000 019	0,000 000 022	0,000 000 033

Centrální frekvence pásem jsou pro GSM900 – 900MHz, pro GSM1800 – 1850MHz, pro UMTS – 2000MHz a pro WLAN – 2450MHz.

3 Výzkumná část

Výzkum se zabývá přímým měřením elektrosmogu v praxi.

3.1 Cíle výzkumu

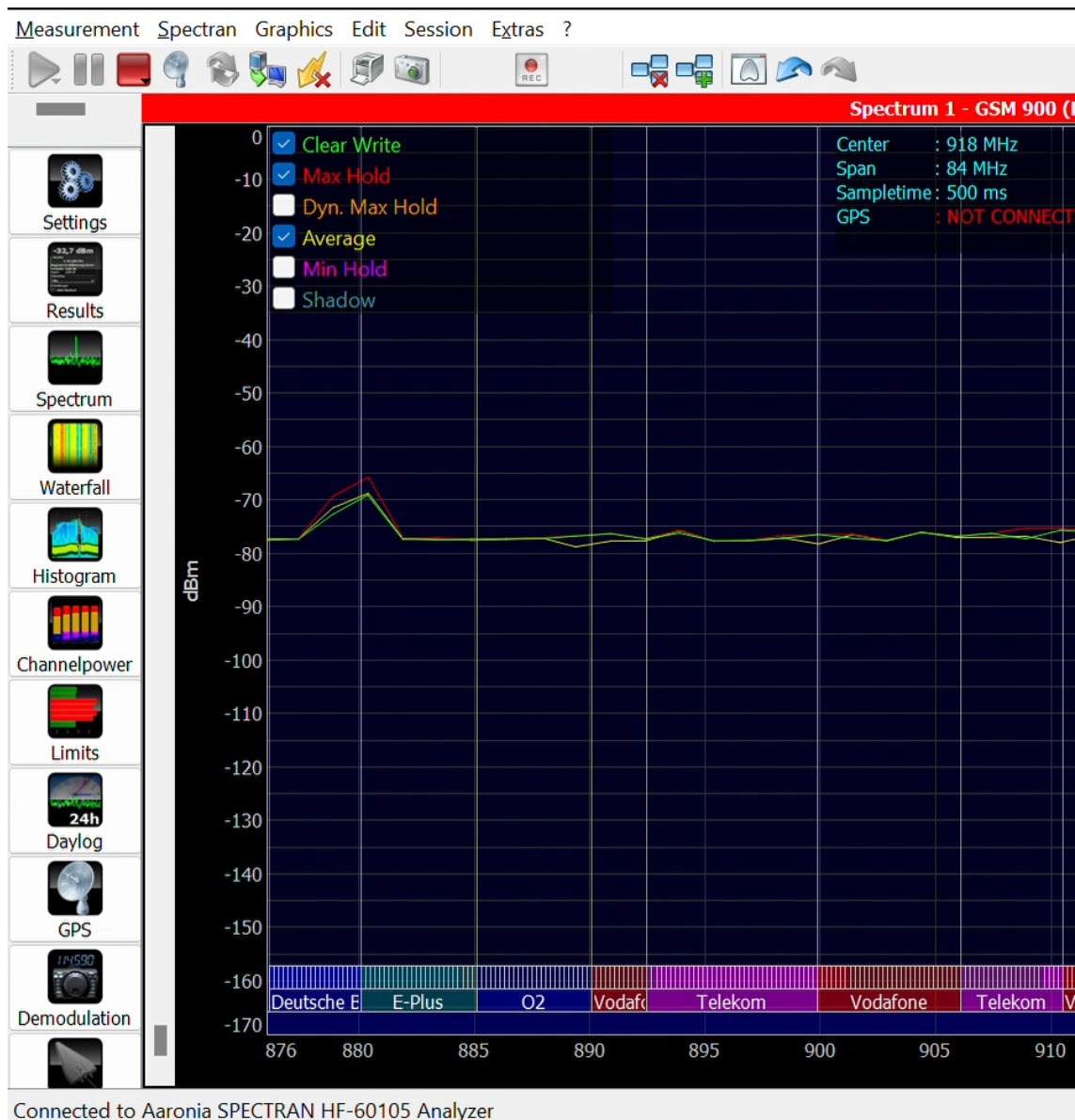
Cíle praktické části bakalářské práce jsou:

- Změřit a zhodnotit různé oblasti v běžném i profesním životě podle výskytu mikrovlnného záření.
- Porovnat naměřená data z různých místností.
- Vybrat oblasti, ve kterých dochází ke většímu výskytu mikrovlnného signálu.

3.2 Metoda

K měření byl použit ruční analyzátor EMI spekter Aaronia HF-60105 Spectran.

Naměřené hodnoty byly zpracovány v programu MCS Spectrum Analyzer, který je s měřicím přístrojem kompatibilní (Obrázek 7). Na vodorovné ose spektra jsou znázorněny frekvence a na svislé pak naměřené hodnoty dBm. Nebyla připojené GPS, a pro přehlednost bylo nastaveno znázornění průměrné hodnoty = average, maximální hodnoty = max hold a právě měřené hodnoty = clear write. Sample time – vzorkovací perioda je 500ms.



Obrázek 7 - MCS Spectrum Analyzer

Přístroj byl nastaven pro snímání pěti rozsahů frekvencí a zaznamenána na nich byla jejich průměrná hodnota a také maximální naměřená hodnota. Byla tak naměřena data, která jednak zobrazovala graficky naměřenou intenzitu na frekvencích a následovně byl přepnut pro měření průměrného přijímaného signálu na rozsahu měřené frekvence.

Celkem pak byla věnována pozornost mikrovlnné komunikaci v sedmi místnostech. Pět z nich se nachází v budově Liberecké nemocnice na oddělení Neuro-JIP, další dvě byly pak pro porovnání změřeny v obytných prostorech, jedna v přízemním bytě na sídlišti v Turnově a druhá na kolejném pokoji ve třetím patře na Harcově v Liberci.

Bylo také provedeno kontrolní měření při použití bezdrátových sluchátek O2pods+ a bez jejich používání, tato sluchátka vysílají na frekvencích Bluetooth 2400 MHz.

Naměřené hodnoty jsou zobrazeny v grafech, ve kterých byly pro lepší čitelnost na papíře invertované barvy, než jak je tomu v programu, a jsou zde zobrazeny celkem 3 barevné křivky. Magenta(inverzní k zelené) označující právě probíhající měřený signál v okolí, tmavě modré(inverzní ke žluté) označující průměr naměřeného signálu a azurová(inverzní k červené) označující maximální naměřenou hodnotou signálu. Na vodorovné ose se, jak už víme, nachází rozsah frekvencí, na kterých bylo měřeno.

Rozsahy frekvencí, kterým byla při měření věnována pozornost, byly:

1. 920-960 MHz
2. 1800-1880 MHz
3. 2110-2170 MHz
4. 2400-2490 MHz
5. 2500-2690 MHz

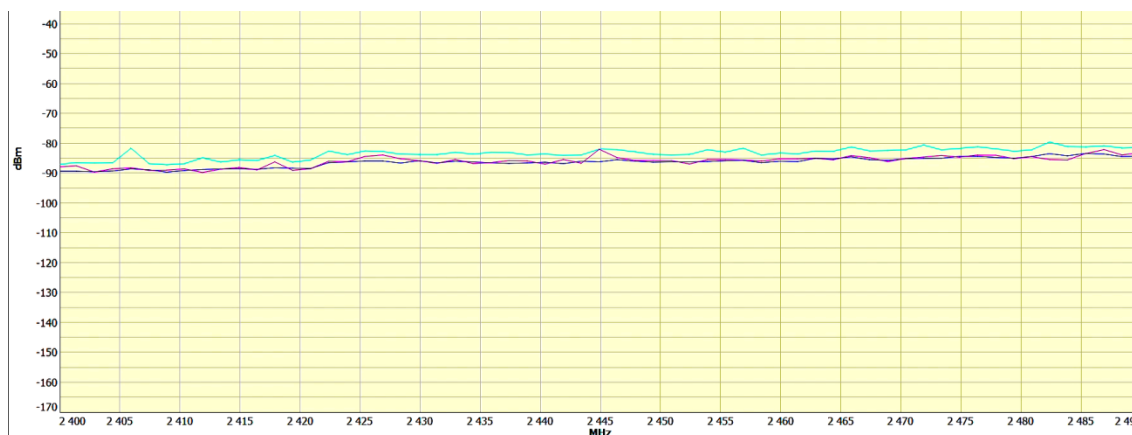
Hodnoty byly zaznamenány v jednotkách dBm (decibel-Miliwatt).

Převod dBm na mW je pak vyjádřený ve vzorci:

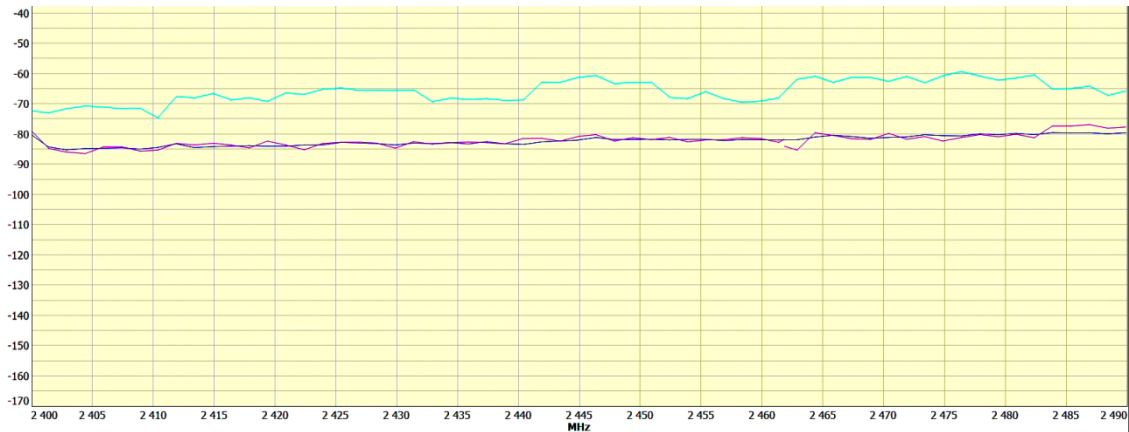
$$mW = 10^{\frac{dBm}{10}} \quad (\text{Anon 2013})$$

3.3 Analýza naměřených dat

Následující dva obrázky porovnávají signál v místnosti, bez zapojení a používání bezdrátových sluchátek a s jejich připojením a poslechem, bylo měřeno na kolejní budově v bezprostřední vzdálenosti od sluchátek, která byla od připojeného zařízení ve vzdálenosti cca 30cm.



Obrázek 8 - 2400 MHz

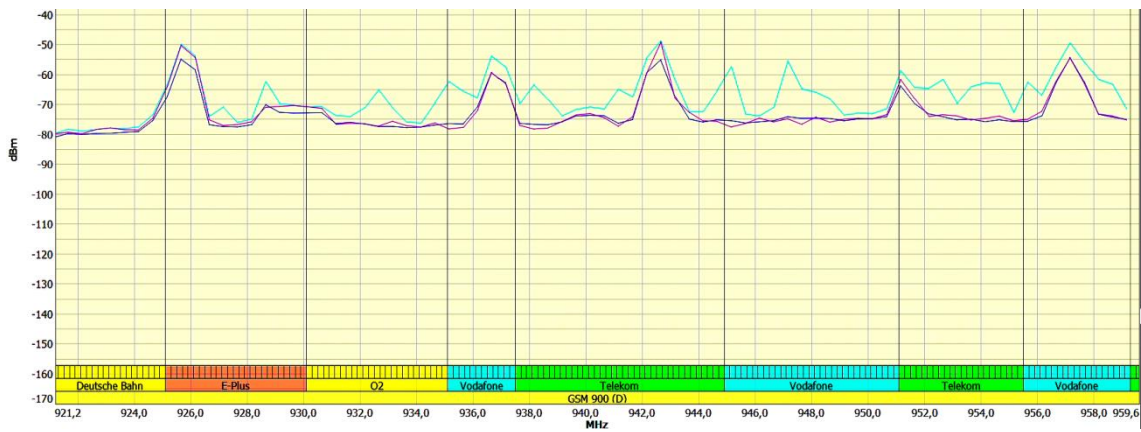


Obrázek 9 - 2400 MHz s použitím sluchátek 0₂ pods+

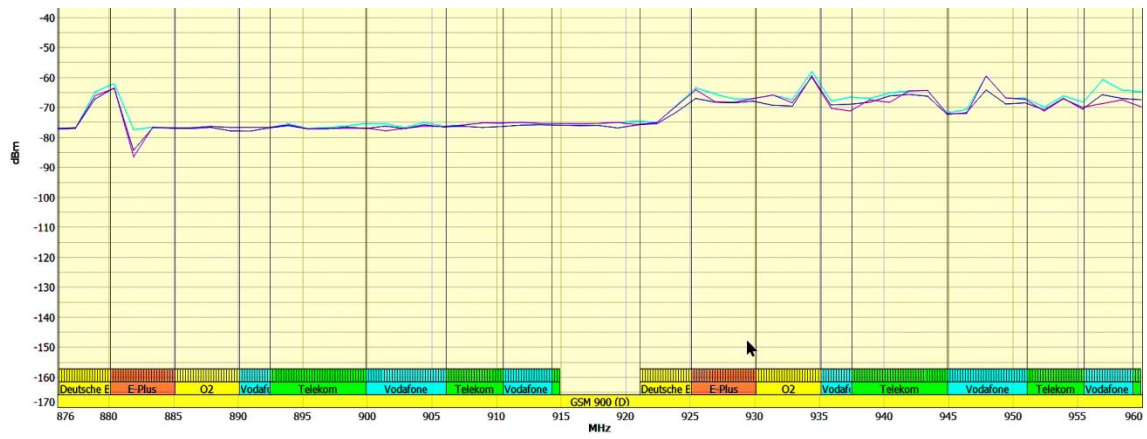
Maximální hodnoty signálu se při průběhu měření, vlivem kódování sluchátek měnily, průměrná hodnota je navýšena o přibližně 5dBm, což odpovídá výkonu 0.0031628 W.

Další grafy(obrázky) pak ukazují naměřené hodnoty ze stejných frekvencí na různých místech.

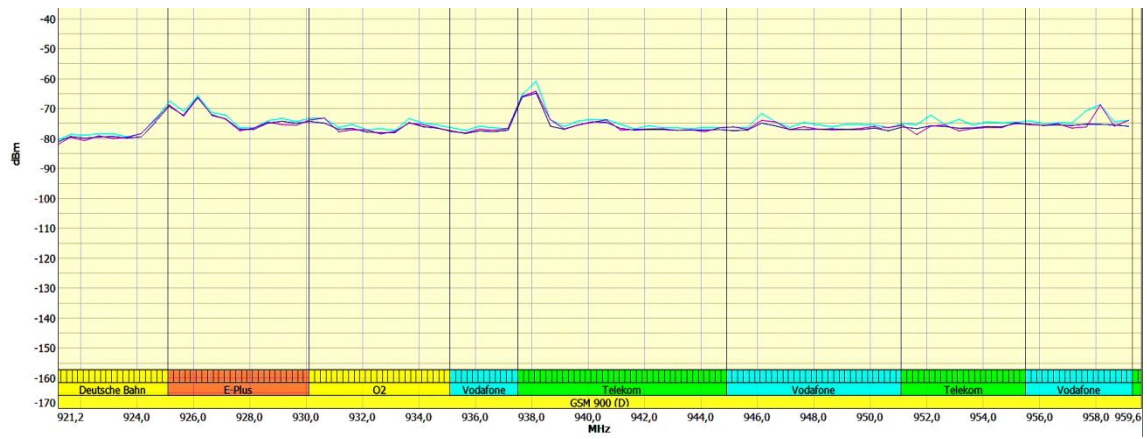
3.3.1 Naměřené hodnoty (dBm) frekvencí na 920-960 MHz:



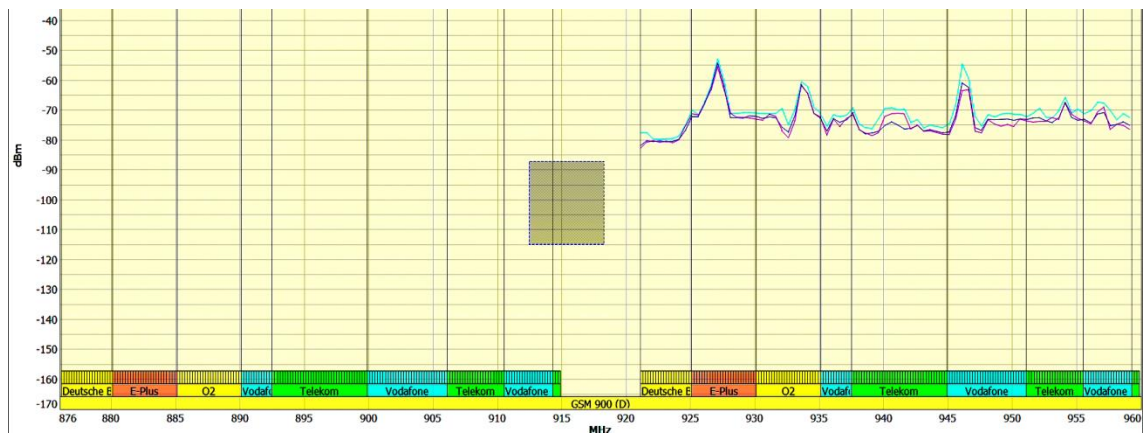
Obrázek 10 - Byt - 900 MHz



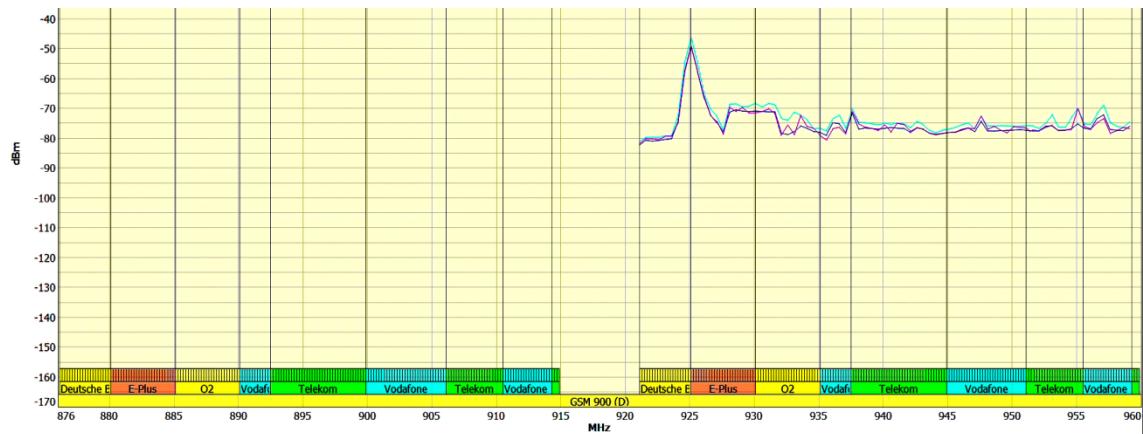
Obrázek 11 - Koleje - 900 MHz



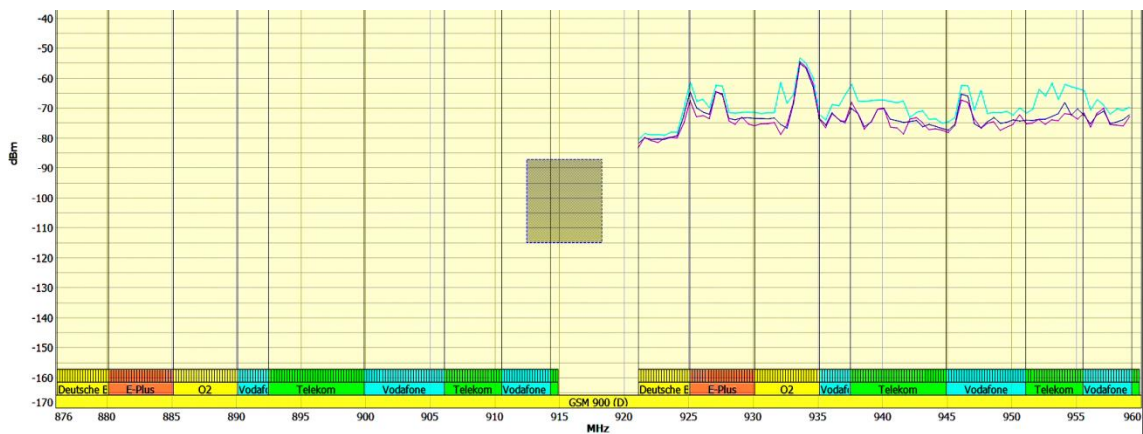
Obrázek 12 - Dospávací pokoj - 900 MHz



Obrázek 13 - Meziprostor - 900 MHz



Obrázek 14 - Oddělená místnost - 900 MHz



Obrázek 15 - Prázdná Kóje - 900 MHz

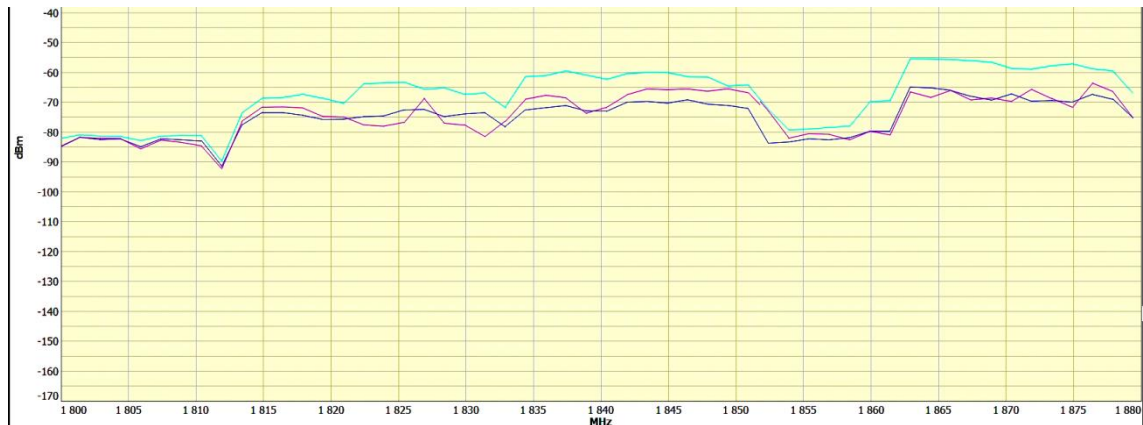


Obrázek 16 - Obsazená kóje - 900 MHz

Na frekvencích 920-960 MHz, byly nejsilnější naměřené hodnoty, v meziprostoru na JIP, zejména kolem oblasti monitorů, kde se nejvíce pohybuje personál. Signál se se vzdáleností od těchto počítačů snižoval. Naopak nejnižší hodnoty pak byly změřeny na kolejích, a to i přes vysokou koncentraci lidí a telefonních zařízení. Nejnižší hodnoty v nemocnici se nacházely v oddělené místnosti JIP, která mimo to, že v ní nebyl žádný pacient a přístroje tudíž neběžely, tak se nachází na

protější straně chodby, mohlo tedy dojít k odstínění signálu zdi. Poklesy nebo nárůsty signálu různých frekvencí v rozsahu závisely na operátorovi, který měl v dané oblasti více klientů nebo své vysílače.

3.3.2 Naměřené hodnoty (dBm) frekvencí na 1800-1880 MHz:



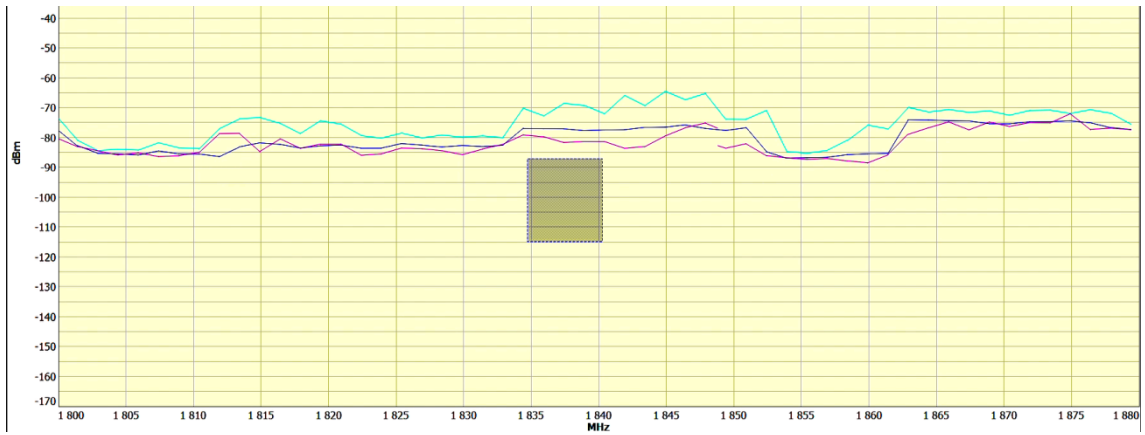
Obrázek 17 - Byt – 1800 MHz



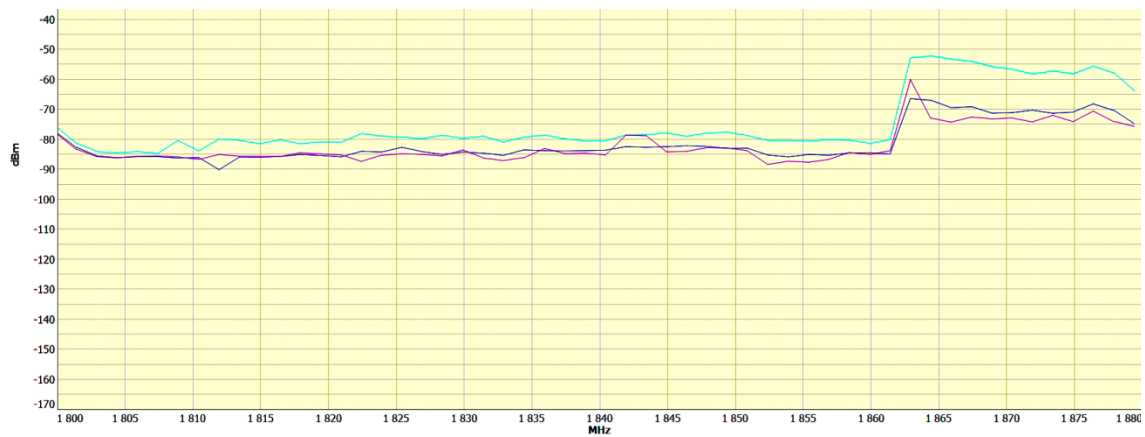
Obrázek 18 - Koleje - 1800 Hz



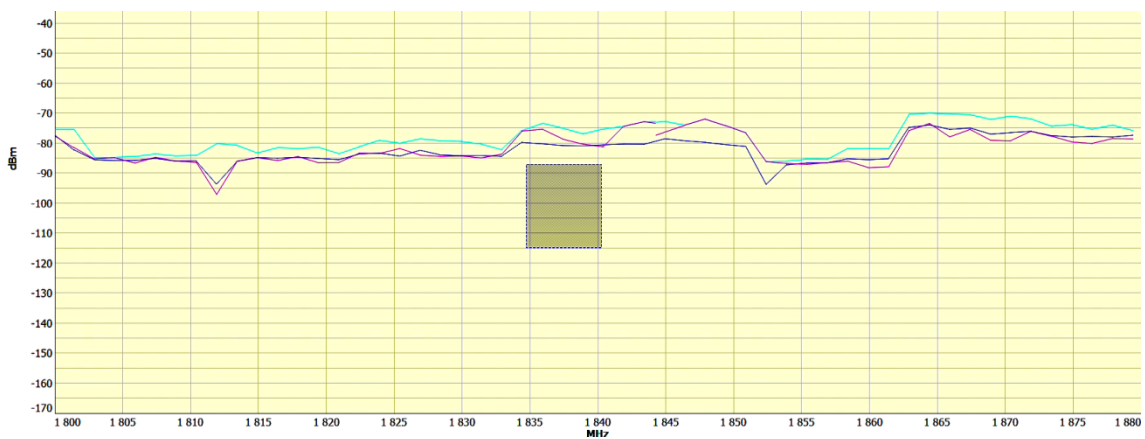
Obrázek 19 - Dospávací pokoj - 1800 MHz



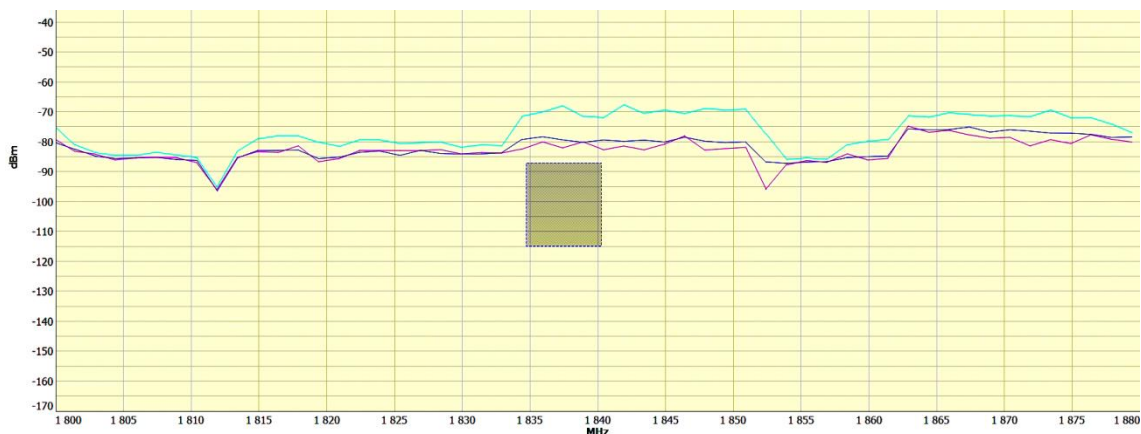
Obrázek 20 - Meziprostor - 1800 MHz



Obrázek 21 - Oddělená místnost - 1800 MHz



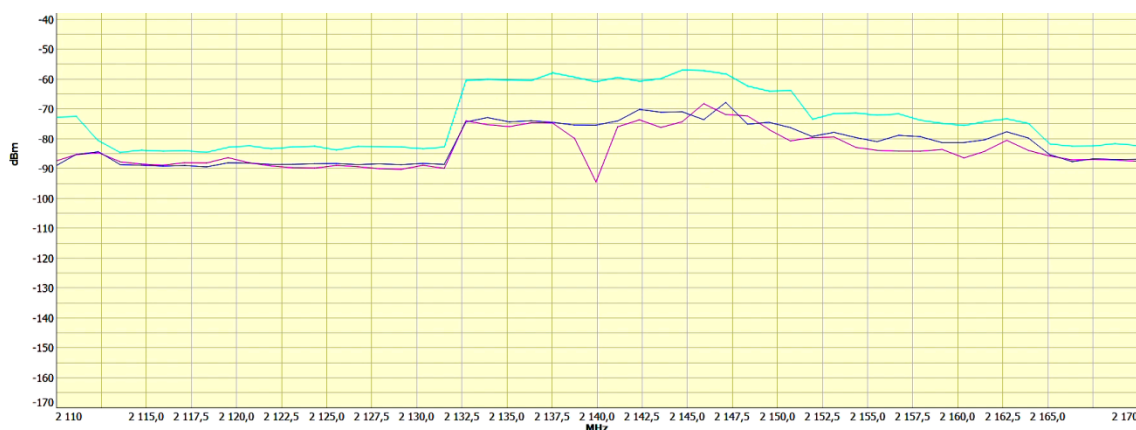
Obrázek 22 - Prázdná kóje - 1800 MHz



Obrázek 23 - Obsazená kóje - 1800 MHz

Na 1800-1880 MHz byly nejvyšší hodnoty naměřeny v bytě a nejnižší na kolejní budově. Obecně grafy na tomto rozsahu frekvencí vykazovali velkou diverzitu signálu pro různé místnosti. V nemocnici, pak nejnižší byly dospávací místnosti = prostor sloužící k odpočinku pacientů po anestezii. Měření na JIP pak dopadlo nejhůře pro oblast s obsazeným lůžkem, lze tedy přepokládat, že na těchto frekvencích zde dochází k vyšší zátěži. Ve všech místnostech byl naměřen propad na frekvencích 1855-1860 MHz a následné zesílení signálu. Ve vytíženějších oblastech byly zvýšené hodnoty zejména na frekvencích 1815-1850 MHz. Na JIP pak vyšly hodnoty vyšší v pravém zadním rohu prostoru (obrázek 45). Na všech místech kromě oddělené místnosti JIP a meziprostoru byl „výřez“ v záznamu při frekvenci 1812MHz.

3.3.3 Naměřené hodnoty (dBm) frekvencí na 2110-2170 MHz:



Obrázek 24 - Byt - 2100 MHz



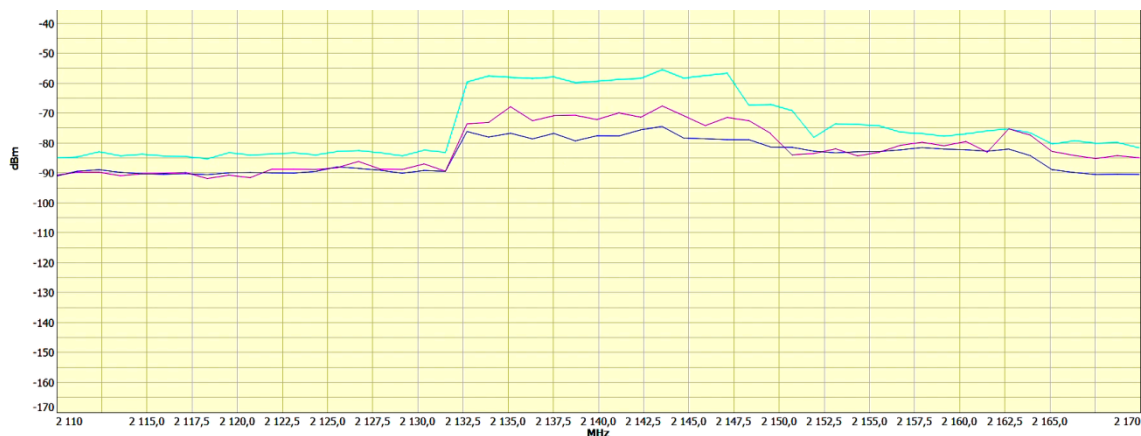
Obrázek 25 - Koleje - 2100 MHz



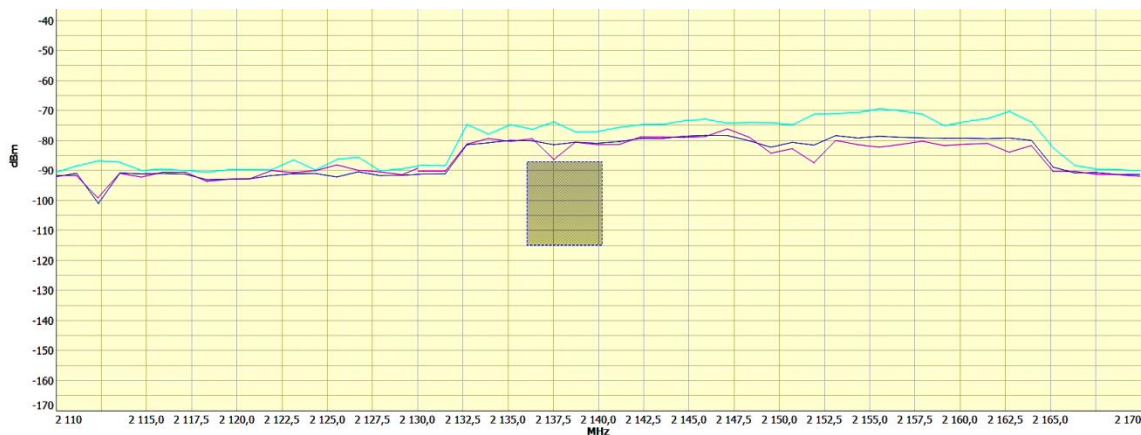
Obrázek 26 - Dospávací pokoj - 2100 MHz



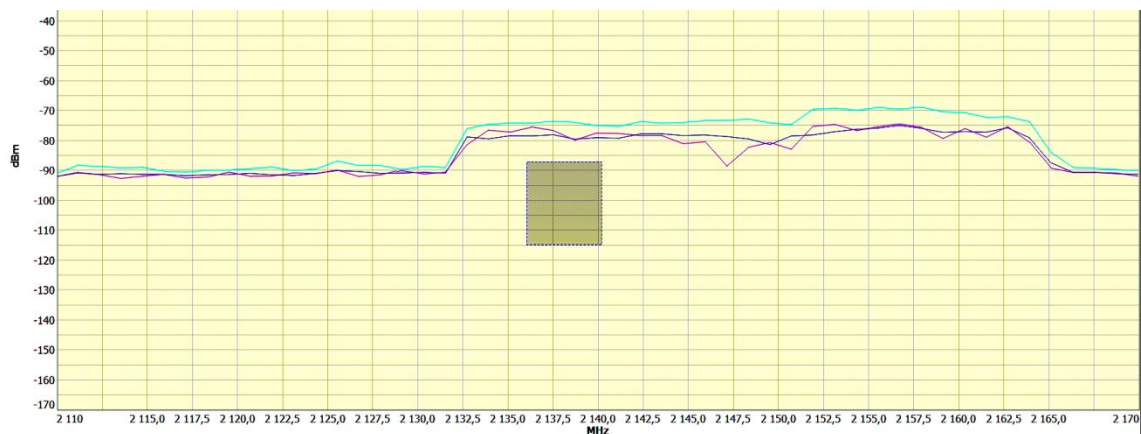
Obrázek 27 - Meziprostor - 2100 MHz



Obrázek 28 - Oddělená místnost - 2100 MHz



Obrázek 29 - Prázdná kóje - 2100 MHz



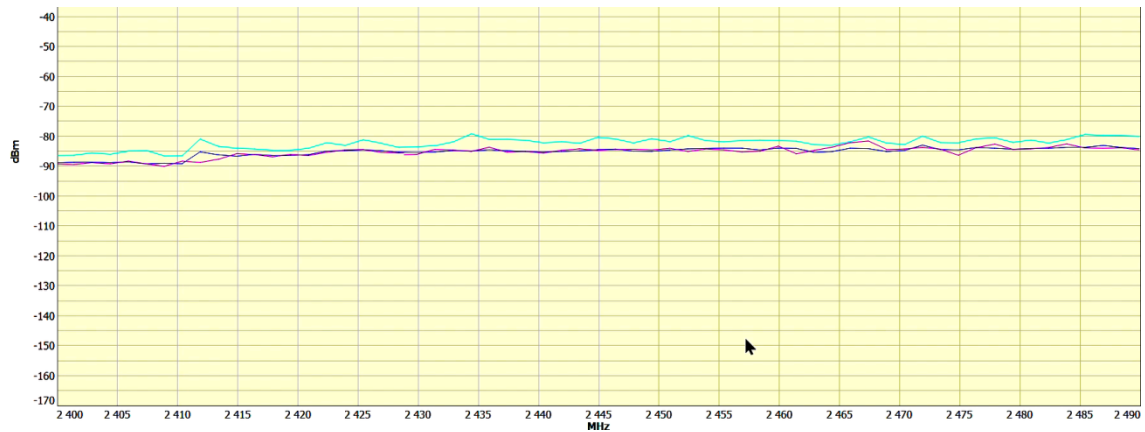
Obrázek 30 - Obsazená kóje - 2100 MHz

Frekvence 2110-2170 MHz opět vyšly nejhůře pro byt a nejlépe pro kolejní pokoj. V nemocnici, pak nejnižší signál byl naměřen opět v dospávací místnosti. K výraznému zesílení ve všech měřených oblastech došlo na frekvenci 2132MHz a k návratu na původní hodnotu na 2165MHz. Podobné grafy vykazují kóje s meziprostorem, ale oddělená místnost naproti v chodbě je více podobná s grafem dospávacího pokoje.

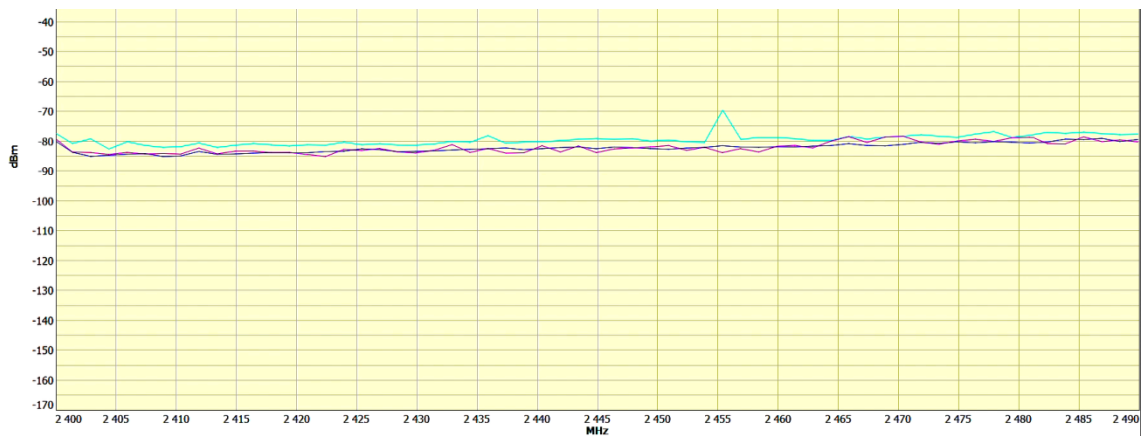
3.3.4 Naměřené hodnoty (dBm) frekvencí na 2400-2490 MHz:



Obrázek 31 - Byt - 2400 MHz



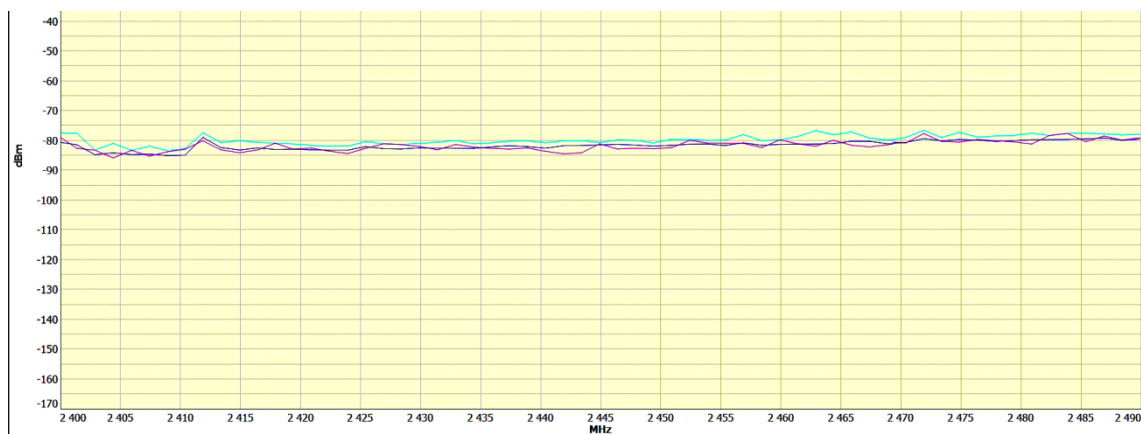
Obrázek 32 - Koleje 2400 MHz



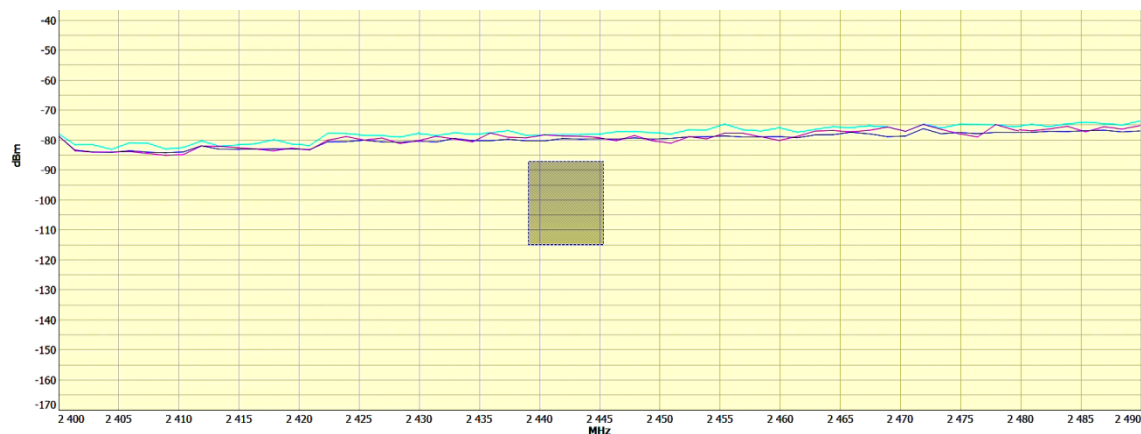
Obrázek 33 - Dospívací pokoj - 2400 MHz



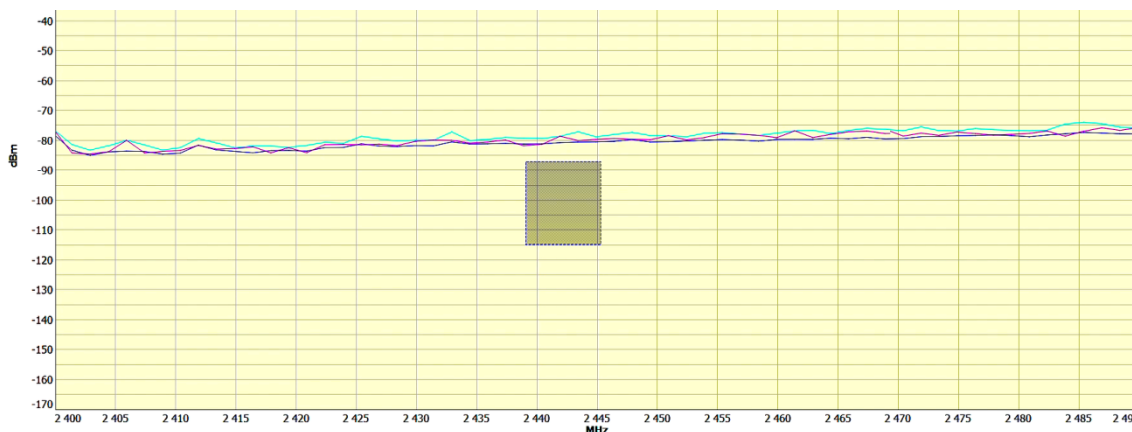
Obrázek 34 - Meziprostor - 2400 MHz



Obrázek 35 - Oddělená místnost - 2400 MHz



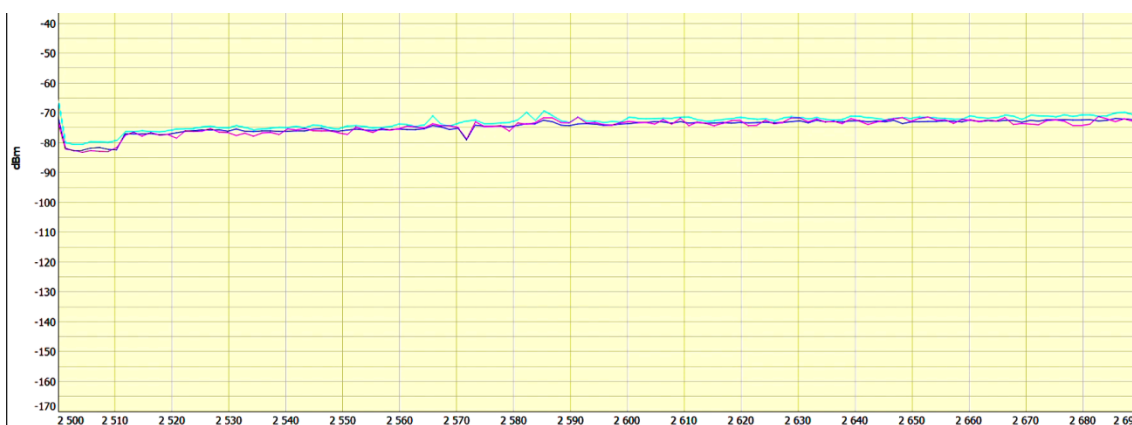
Obrázek 36 - Prázdná kóje - 2400 MHz



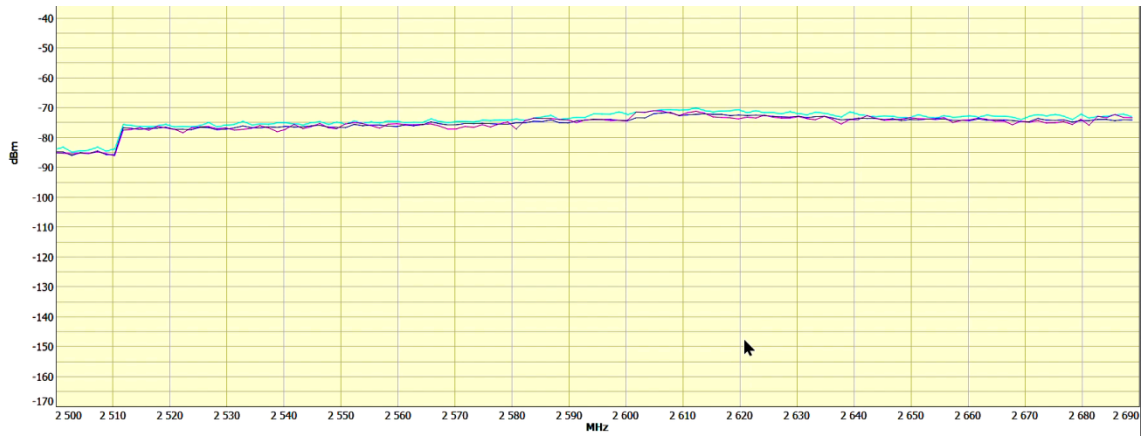
Obrázek 37 - Obsazená kóje - 2400 MHz

Frekvenční pásmo 2400-2490 MHz je vyhrazeno pro přenos dat přes tzv. Bluetooth. Výrazně nejsilnější rušení bylo v bytě, kde tato situace mohla nastat vlivem většího zahuštění užívání bezdrátových sluchátek, reproduktorů, připojení k televizím, nebo obrazovkám v bytovém domě, kde podle měření dochází ke skokovému navýšení na frekvenci 2422MHz a to z průměrných -80dBm na průměrných -65dBm. Výpadky připojení, nebo problémy s kompatibilitou, se v této oblasti, dle výpovědi osob obývajících prostor, vyskytují více, než je pohodlné. Nejnižší hodnoty na Bluetooth frekvencích byly naměřeny na kolejích.

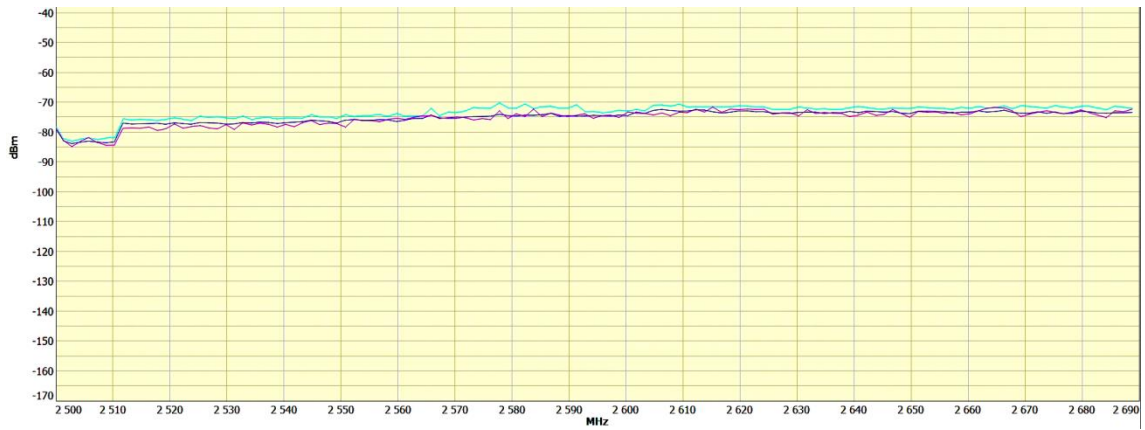
3.3.5 Naměřené hodnoty (dBm) frekvencí na 2500-2690 MHz:



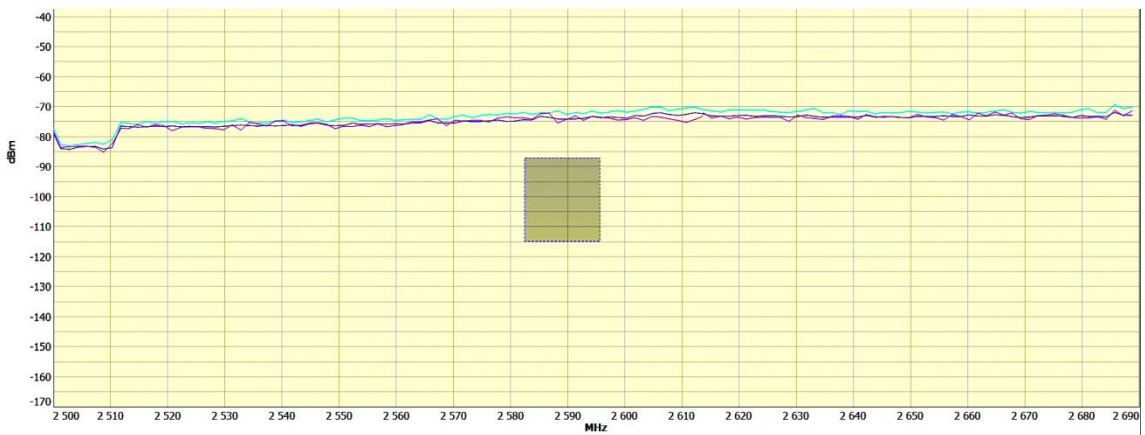
Obrázek 38 - Byt - 2500 MHz



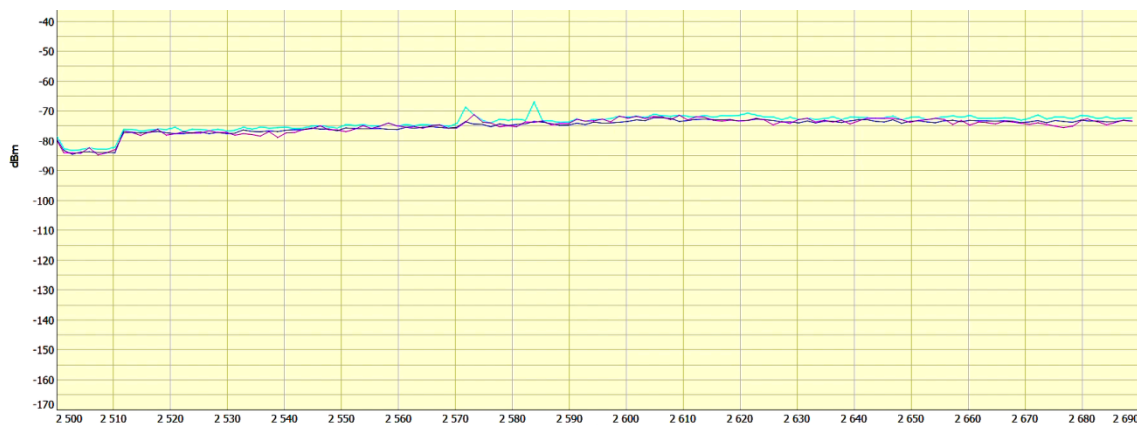
Obrázek 39 - Koleje 2500 MHz



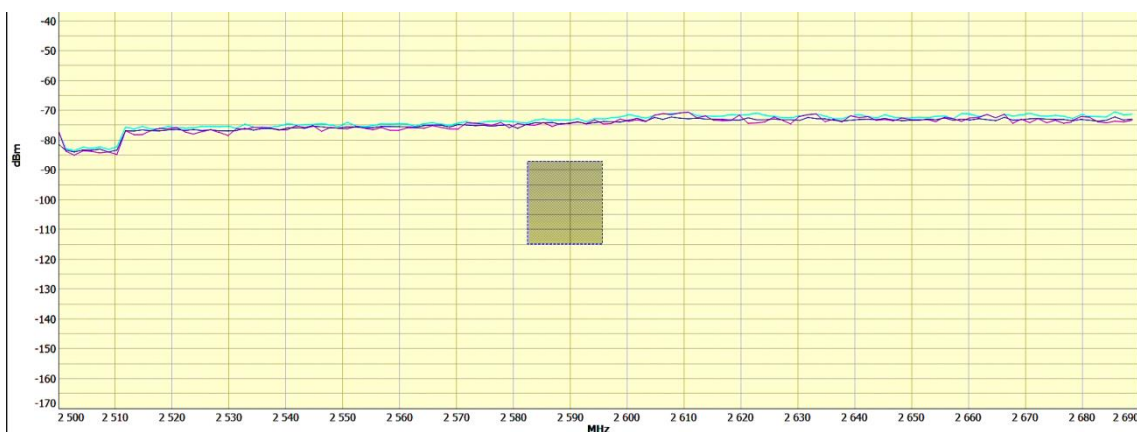
Obrázek 40 - Dospávaci pokoj - 2500 MHz



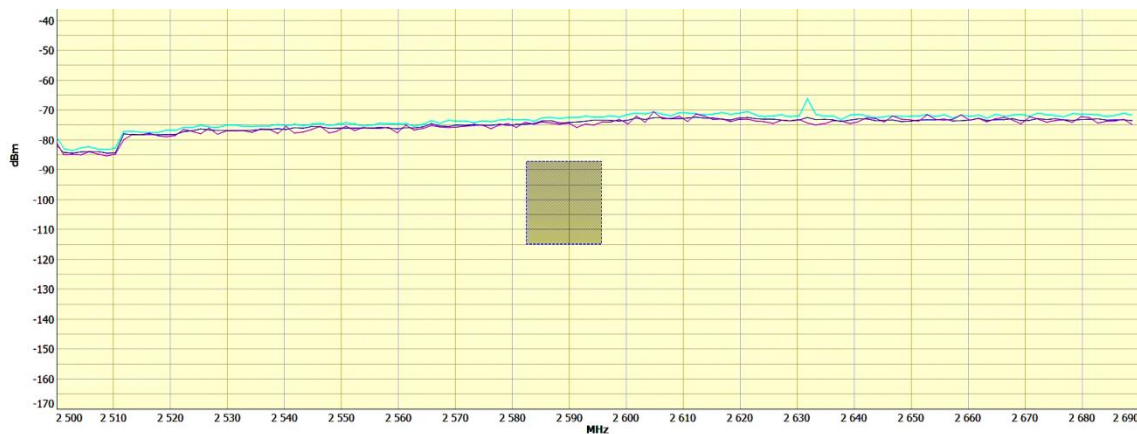
Obrázek 41 - Meziprostor - 2500 MHz



Obrázek 42 - Oddělená místnost - 2500 MHz



Obrázek 43 - Prázdná kóje - 2500 MHz



Obrázek 44 - Plná kóje - 2500 MHz

Frekvence 2500-2690 MHz mají podle měření stálá vytížení ve všech oblastech, ani nebyly vykazovány žádné frekvenční výkyvy. Nejvyšší naměřená hodnota byla v prázdné kóji.

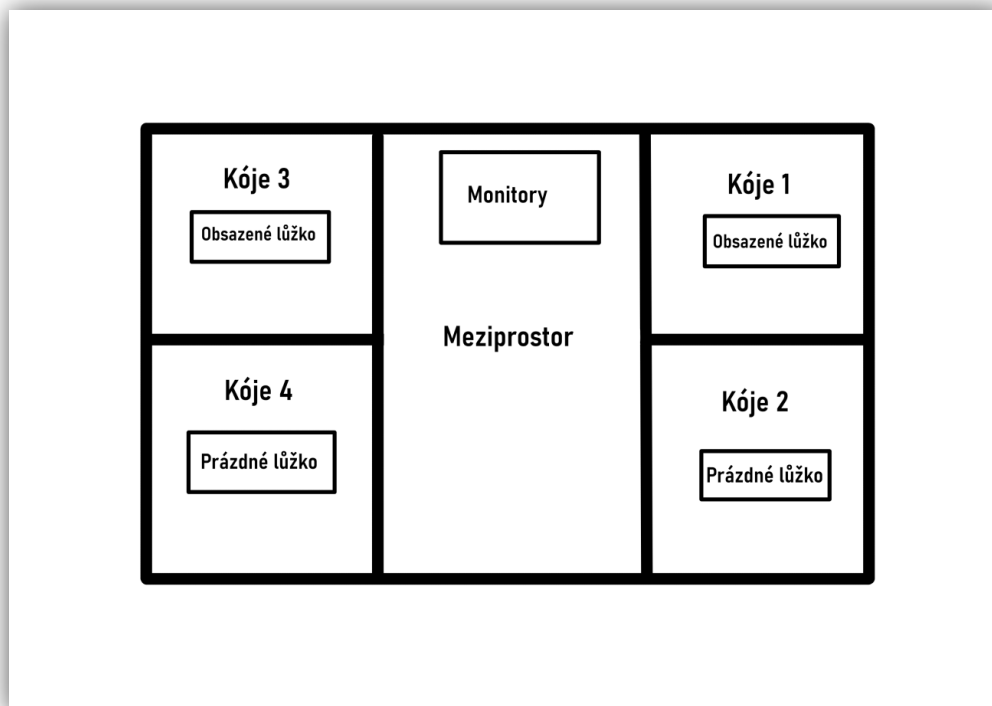
3.3.6 Průměrné hodnoty a oblasti šíření

V následující tabulce jsou pak zapsány průměrné hodnoty na frekvencích naměřené v různých prostorách, červeným písmem jsou zvýrazněny nejvyšší naměřené hodnoty a modře naopak nejmenší naměřené:

Frekvence (MHz)	920-960	1800-1880	2110-2170	2400-2490	2500-2690
Místnosti	Naměřený výkon v místnostech (dBm)				
Kóje 4	-74	-80	-84	-79	-74
Kóje 1 (zadní část)	-74	-81	-83	-79	-75
Kóje 1 (přední část)	-73	-81	-84	-79	-75
Meziprostor	-72	-80	-84	-80	-75
Oddělená místnost JIP	-76	-80	-85	-82	-75
Dospávací pokoj	-75	-84	-87	-82	-75
Obývací pokoj - byt	-73	-75	-82	-68	-75
Kolejní pokoj	-78	-92	-94	-85	-75

Tabulka 4 - Naměřené hodnoty

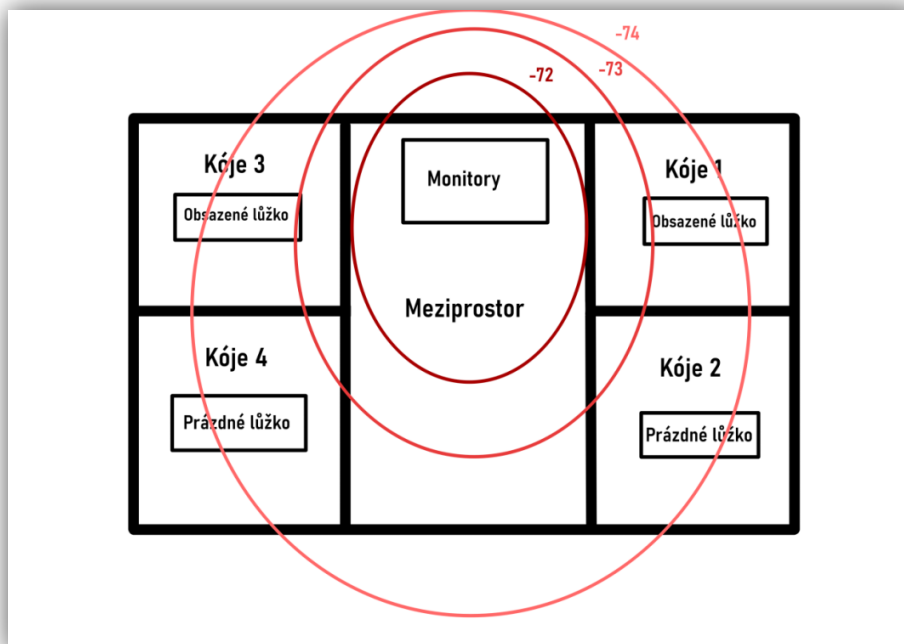
Byl vytvořen náčrt místností s nejzávažnějšími případy Neuro-JIP, ve kterém proběhlo nejvíce měření.



Obrázek 45 - Náčrt Neuro-JIP

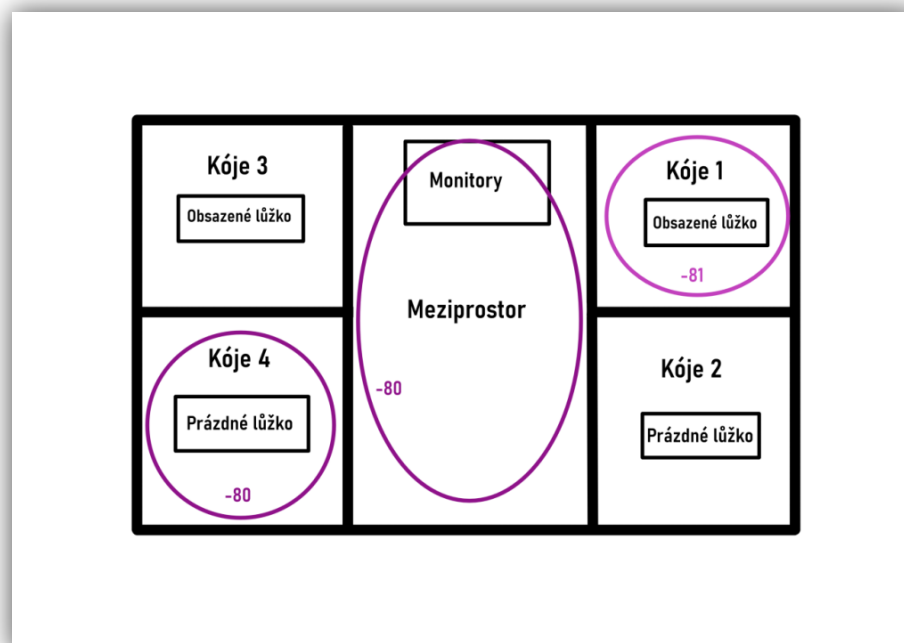
Do nákresu byly zakresleny oblasti naměřených průměrných intenzit na různých frekvencích.

Jako první byl zakreslen výskyt frekvencí 920-960 MHz. Který měl epicentrum kolem monitorů, u kterých seděli zdravotníci:



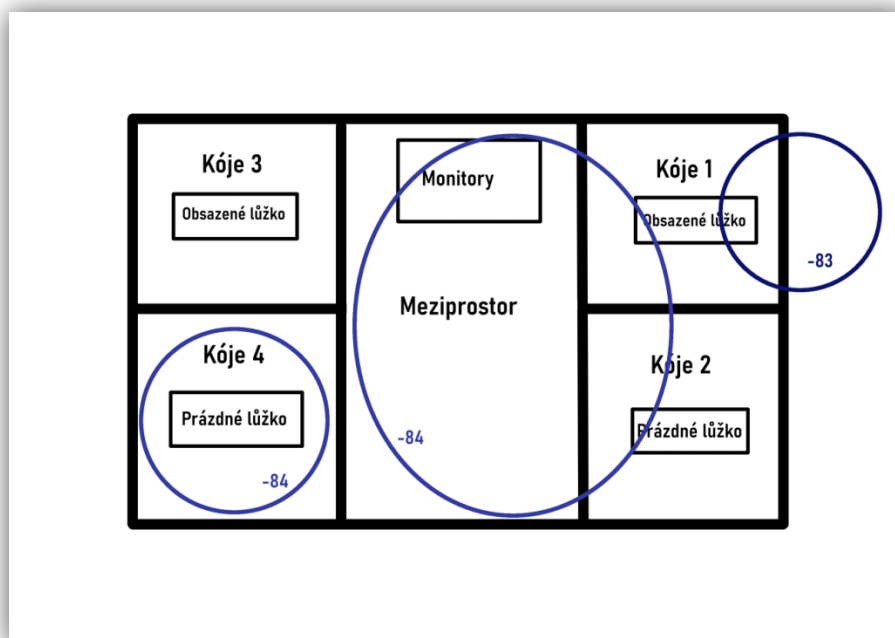
Obrázek 46 - JIP - 900Hz

Další frekvence byly zakresleny frekvence od 1800-1880 MHz. Které měly nejnižší hodnoty v obsazené kóji:



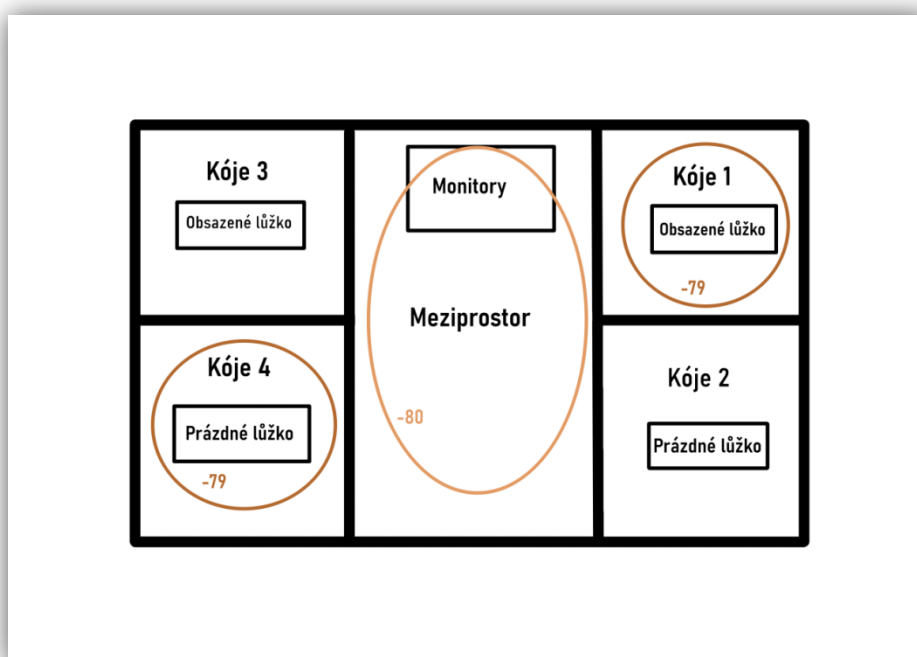
Obrázek 47 - JIP - 1800 Hz

Frekvence na rozsahu 2110-2170 MHz dosahovaly nižších hodnot směrem od obsazeného lůžka:



Obrázek 48 - JIP - 2100 Hz

Frekvence 2400-2490 MHz dosahovaly vyšších hodnot v oddělených místnostech (kójiích) pro pacienty:



Obrázek 49 - JIP - 2400 Hz

3.4 Zhodnocení výsledků měření

Naměřené hodnoty elektrosmogu vypovídají o těchto faktech:

- Celkově nejlépe s nejnižší vytižeností sítí vyšly kolejní budovy na Harcově.
- Nejhůře (s nejvyššími hodnotami elektrosmogu) dopadl přízemní byt na sídlišti.
- Výskyty výpadků a problémů s připojením na bluetooth v bytě mohou být způsobeny vysokou vytižeností frekvencí v oblasti.
- Nemocniční prostory dosahovaly v naměřeném výkonu průměrných hodnot mimo pásmo 900, kde dopadly nejhůře.

Musí se brát na zřetel, že vytižení v nemocnicích mohlo být nižší díky velmi malému počtu pacientů v měřené době, lze předpokládat, že navýšení počtu pacientů a zvýšení počtu vysílajících zařízení by mohlo vést ke zvýšení hustoty signálu.

4 Diskuze

Na měření mohlo mít vliv mnoho faktorů, jednak umístění budovy a jejím okolí, zda se nachází na periferii, nebo v centru města, pak také výška ať nadmořská nebo patro budovy, ve které jsme měřili a zalidněnost oblastí, případná obsazenost nemocnice, pacienti a čas, ve kterém bylo měření provedeno.

Při měření sice nebyly v nemocnici povětšinou naměřeny nijak zvlášť vysoké hodnoty, ale je zřejmé, že prostory s vyšším výskytem komunikátorů byly zatíženější, i když bylo měření provedeno v době, kdy byly zkoumané prostory nemocnice méně vytížené, vzhledem i k nižšímu počtu pacientů.

Do budoucna by bylo určitě vhodné, aby se konala opakovaná měření výskytu EMG polí, vzhledem k nárůstu komunikátorů je třeba stále kontrolovat, zda jsou měřené hodnoty vyšší v porovnání s předchozími měřeními, a jestli se nachází v doporučených normách, nebo jestli nedochází k rušení v určitém místě právě v důsledku vysokého výskytu polí.

5 Návrh doporučení pro praxi

V současné době se ve zdravotnictví popularizuje telemedicína, bezdrátové ovládání či dálková monitorace. Výhodou je zejména pohodlí personálu a pacientů, když nepřekáží kabely, které mohou ztěžovat pohyb nebo manipulaci s nástroji, nábytkem nebo pacientem.

Nicméně se nedomnívám, že dálkové ovládání a podobné úpravy vedou ke dlouhodobě udržitelnému řešení. Vzhledem k narůstajícímu výskytu elektromagnetických komunikačních polí může docházet k přetížení těchto komunikačních kanálů, jak se to děje již v současnosti v hojně zalidněných oblastech nebo místnostech plných různých typů komunikátorů. Přílišné zaplnění těchto komunikačních kanálů pak vede k výpadkům, nebo ke vzájemnému rušení signálu mezi zařízeními.

Navýšení počtu přístrojů komunikujících pomocí EMG by se mělo spíše nějakým způsobem kontrolovat, a ne jej záměrně podporovat a navyšovat.

V praxi to tak například znamená nechávat své osobní telefony nebo bezdrátová sluchátka a jinou nadbytečnou techniku mimo své pracovní působíště, aby nedocházelo ke zbytečnému zatížení komunikačních kanálů.

6 Závěr

Z výsledků lze vyhodnotit, že dochází k navýšení vysokofrekvenčních signálů zejména v hojně zalidněných oblastech, jakými jsou například sídliště nebo centra měst, zatímco periferní oblasti mají méně elektromagnetického.

V nemocničních zařízeních jsou podle provedeného měření hodnoty průměrné, ale z hlediska budoucnosti je třeba je sledovat, zejména kvůli přetížení a rušení komunikačních polí, které by mohlo vést k chybám nebo ztrátám informací, která je zejména ve zdravotnictví klíčová.

V místech s vytíženějšími sítěmi častěji dochází ke vzájemnému rušení signálu a tím ke komplikacím při komunikaci.

Z různých zmiňovaných studií vyplývá, že na nás mikrovlnná komunikační elektromagnetická pole skutečně vliv mají, ale to, jestli má tato expozice na lidský organismus dlouhodobý negativní účinek, například na nervovou soustavu, se zatím nedá přesně určit, protože z historického hlediska nebyl až do nedávné doby takto hojně využívaný mikrovlnný signál a není proto zatím dostatek dat a informací k porovnávání. Různé frekvence EMC signálu navíc interagují s lidskou tkání odlišnými způsoby.

Můžeme pouze pozorovat krátkodobé účinky mikrovln v blízké vzdálenosti od zdroje vysílání a tento efekt je pouze ohřevný a používá se i pro terapeutické účely.

Seznam použité literatury

- ANON. 2012. *2-manual-cz-principy-digitalni-mikrovlne-komunikace-2.1.pdf* [online]. [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://www.alcoma.cz/media/document/2-manual-cz-principy-digitalni-mikrovlne-komunikace-2.1.pdf>
- ANON. 2013. *SPECTRAN-HF-V3-EN.pdf* [Německo]: Aaronia AG. Zveřejnil Aaronia AG. [cit. 2023-03-13] Dostupné z: <https://aaronia.com>
- ANON. 2023. Physics and radio-electronics. *Analog Communication – Physics and Radio-Electronics*. [online] [cit. 2023-04-10] Dostupné z: <https://www.physics-and-radio-electronics.com/blog/category/analog-communication/>
- BEN-ABOUD, Yassine et al. 2021. Electro-Smog Monitoring Using Low-Cost Software-Defined Radio Dongles. *IEEE Access* [online]. **9**, 107149–107158. ISSN 2169-3536. Dostupné z: doi:10.1109/ACCESS.2021.3100773
- BENEŠOVÁ, Zdeňka a Daniel MAYER. 2001. Základní příklady z teorie elektromagnetického pole. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni. ISBN 80-7082-818-8.
- BLACUS, Victor. 2008. A diagram of the electromagnetic spectrum [online obrázek] Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Electromagnetic-Spectrum.png>
- CARLBERG, Michael et al. 2020. Is the Increasing Incidence of Thyroid Cancer in the Nordic Countries Caused by Use of Mobile Phones? *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. **17**(23), 9129. ISSN 1661-7827. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph17239129
- CROFT, R. J. et al. 2010. Effects of 2G and 3G mobile phones on human alpha rhythms: Resting EEG in adolescents, young adults, and the elderly. *Bioelectromagnetics* [online]. **31**(6), 434–444. ISSN 1521-186X. Dostupné z: doi:10.1002/bem.20583
- GOSSELIN, Marie-Christine et al. 2009. Dependence of the Occupational Exposure to Mobile Phone Base Stations on the Properties of the Antenna and the Human Body. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* [online]. **51**(2), 227–235. ISSN 1558-187X. Dostupné z: doi:10.1109/TEM.2009.2013717
- HAŇKA, Ladislav. 1982. Teorie elektromagnetického pole. 2. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury
- HARDELL, L., M. CARLBERG a K. HANSSON MILD. 2013. Use of mobile phones and cordless phones is associated with increased risk for glioma and acoustic neuroma.

- Pathophysiology: The Official Journal of the International Society for Pathophysiology* [online]. **20**(2), 85–110. ISSN 0928-4680. Dostupné z: doi:10.1016/j.pathophys.2012.11.001
- KWON, Myoung Soo et al. 2012. No effects of short-term GSM mobile phone radiation on cerebral blood flow measured using positron emission tomography. *Bioelectromagnetics* [online]. **33**(3), 247–256. ISSN 1521-186X. Dostupné z: doi:10.1002/bem.20702
- LEACH, V., S. WELLER a M. REDMAYNE. 2018. A novel database of bio-effects from non-ionizing radiation. *Reviews on Environmental Health* [online]. **33**(3), 273–280. ISSN 2191-0308. Dostupné z: doi:10.1515/reveh-2018-0017
- LI, Chung-Huan et al. 2012. Influence of the Hand on the Specific Absorption Rate in the Head. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* [online]. **60**(2), 1066–1074. ISSN 1558-2221. Dostupné z: doi:10.1109/TAP.2011.2173102
- LOUGHRAN, Sarah P. et al. Individual differences in the effects of mobile phone exposure on human sleep: Rethinking the problem. *Bioelectromagnetics* [online]. **33**(1), 86–93. ISSN 1521-186X. Dostupné z: doi:10.1002/bem.20691
- MAYER, Daniel. 2001. Teorie elektromagnetického pole. 1. díl. 3. vyd., dotisk. Plzeň: Západočeská univerzita, Elektrotechnická fakulta. ISBN 80-7082-826-9.
- MORAVA, Jan et al. 2022. Holter ECG monitoring as method for assessing interaction of implanted pacemaker and source of electromagnetic interference. *Lékař a technika - Clinician and Technology* [online]. **52**(1), 18–22. ISSN 2336-5552. Dostupné z: doi:10.14311/CTJ.2022.1.04
- OKUR, ZeynepHatice a Dilek SAĞIR. 2021. Effects of cellular phone electromagnetic field exposure on the hippocampi of rats in childhood and adolescence. *Neurological Sciences and Neurophysiology* [online]. **0**(0), 0. ISSN 2636-865X. Dostupné z: doi:10.4103/nsn.nsn_206_20
- ICNIRP - International Commission on Non-Ionizing Radiation. 2020. Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz). *Health Physics* [online]. **118**(5), 483. ISSN 0017-9078. Dostupné z: doi:10.1097/HP.0000000000001210
- RICHTER, A., Ž. FERKOVÁ a V. BITTNER. 2018. Physical Analysis of Low-dynamic Magnetic Field Impact on Human Tissue. *TRANSACTIONS ON ELECTRICAL*

- ENGINEERING* [online]. **7**(1), 14–17. ISSN 1805-3386.
Dostupné z: doi:10.14311/TEE.2018.1.014
- SCHENIHR - Scientific Committee on Emerging Newly Identified Health. 2015. Opinion on potential health effects of exposure to electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* [online]. **36**(6), 480–484. ISSN 1521-186X.
Dostupné z: doi:10.1002/bem.21930
- SORGUC, Ugur a Ibrahim DEVELI. 2012. Measurement and analysis of electromagnetic pollution generated by GSM-900 mobile phone networks in Erciyes University, Turkey. *Electromagnetic biology and medicine* [online]. **31**.
Dostupné z: doi:10.3109/15368378.2012.683223
- SPICHTIG, Sonja et al. 2012. Assessment of intermittent UMTS electromagnetic field effects on blood circulation in the human auditory region using a near-infrared system. *Bioelectromagnetics* [online]. **33**(1), 40–54. ISSN 1521-186X.
Dostupné z: doi:10.1002/bem.20682
- SUN, Wenjun et al. 2012. A 1.8-GHz radiofrequency radiation induces EGF receptor clustering and phosphorylation in cultured human amniotic (FL) cells. *International Journal of Radiation Biology* [online]. **88**(3), 239–244. ISSN 1362-3095. Dostupné z: doi:10.3109/09553002.2011.634882
- VECCHIO, Fabrizio et al. 2010. Mobile phone emission modulates inter-hemispheric functional coupling of EEG alpha rhythms in elderly compared to young subjects. *Clinical Neurophysiology* [online]. **121**(2), 163–171. ISSN 1388-2457. Dostupné z: doi:10.1016/j.clinph.2009.11.002

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Doporučení rozdělení mikrovln.....	15
Tabulka 2 - Komunikační zařízení jejich frekvence a výkony	15
Tabulka 3 - Převody dBm na W/(m*m) (Anon 2013).....	26
Tabulka 4 - Naměřené hodnoty	43

Seznam obrázků a grafů

Obrázek 1 - Elektromagnetické spektrum (Blacus 2008).....	14
Obrázek 2 - Uspořádání kmitočtového pásma (Anon 2012)	17
Obrázek 3 - Amplitudová modulace (Anon 2023)	19
Obrázek 4 - Frekvenční modulace (Anon 2023)	20
Obrázek 5 - Fázová modulace (Anon 2023).....	21
Obrázek 6 - Kvadrurní amplitudová modulace (Anon 2023)	22
Obrázek 7 - MCS Spectrum Analyzer	28
Obrázek 8 - 2400 MHz	29
Obrázek 9 - 2400 MHz s použitím sluchátek 0 ₂ pods+	30
Obrázek 10 - Byt - 900 MHz	30
Obrázek 11 - Koleje - 900 MHz	31
Obrázek 12 - Dospávací pokoj - 900 MHz	31
Obrázek 13 - Meziprostor - 900 MHz	31
Obrázek 14 - Oddělená místnost - 900 MHz	32
Obrázek 15 - Prázdná Kóje - 900 MHz	32
Obrázek 16 - Obsazená kóje - 900 MHz.....	32
Obrázek 17 - Byt – 1800 MHz.....	33
Obrázek 18 - Koleje - 1800 Hz.....	33
Obrázek 19 - Dospávací pokoj - 1800 MHz	33
Obrázek 20 - Meziprostor - 1800 MHz	34
Obrázek 21 - Oddělená místnost - 1800 MHz	34
Obrázek 22 - Prázdná kóje - 1800 MHz	34
Obrázek 23 - Obsazená kóje - 1800 MHz.....	35
Obrázek 24 - Byt - 2100 MHz	35
Obrázek 25 - Koleje - 2100 MHz	36
Obrázek 26 - Dospávací pokoj - 2100 MHz	36
Obrázek 27 - Meziprostor - 2100 MHz	36
Obrázek 28 - Oddělená místnost - 2100 MHz	37
Obrázek 29 - Prázdná kóje - 21000 MHz	37
Obrázek 30 - Obsazená kóje - 2100 MHz.....	37
Obrázek 31 - Byt - 2400 MHz	38

Obrázek 32 - Kolejje 2400 MHz.....	38
Obrázek 33 - Dospávací pokoj - 2400 MHz	38
Obrázek 34 - Meziprostor - 2400 MHz	39
Obrázek 35 - Oddělená místnost - 2400 MHz	39
Obrázek 36 - Prázdná kóje - 2400 MHz	39
Obrázek 37 - Obsazená kóje - 2400 MHz.....	40
Obrázek 38 - Byt - 2500 MHz	40
Obrázek 39 - Kolejje 2500 MHz.....	41
Obrázek 40 - Dospávací pokoj - 2500 MHz	41
Obrázek 41 - Meziprostor - 2500 MHz	41
Obrázek 42 - Oddělená místnost - 2500 MHz	42
Obrázek 43 - Prázdná kóje - 2500 MHz	42
Obrázek 44 - Plná kóje - 2500 MHz	42
Obrázek 45 - Nákres Neuro-JIP	43
Obrázek 46 - JIP - 900Hz	44
Obrázek 47 - JIP - 1800 Hz	45
Obrázek 48 - JIP - 2100 Hz	45
Obrázek 49 - JIP - 2400 Hz	45