

Vliv elektromagnetického smogu na bezdrátový systém OASIS, JA-80.

Influence of electromagnetic smog on the wireless system OASIS, JA-80.

Bc. Kateřina Skovajsová

Diplomová práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Kateřina SKOVAJSOVÁ**
Osobní číslo: **A09397**
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Vliv elektromagnetického smogu na bezdrátový systém OASIS, JA-80.**

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení s problematikou elektromagnetického smogu.
2. Vysvětlení definice a vzniku elektromagnetického smogu a popis jeho zdrojů rozšířených v životním prostředí, vlivů na prostředí a účinků na organismus člověka.
3. Objasnění teorie šíření elektromagnetických vln, typů elektromagnetických vln, transversální elektromagnetickou vlnu a transversální elektrickou vlnu.
4. Měření elektromagnetických vln ve frekvenčních pásmech od 500 MHz – 1 GHz a vliv elektromagnetického smogu na bezdrátový systém OASIS, JA-80.
5. Verifikace hodnot v zobrazení v prostředí 3D programu Matlab.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. KOVÁČ, Dobroslav; KOVÁČOVÁ, Irena; KAŇUCH, Ján. EMC z hlediska teorie a aplikace. Praha : BEN, 2006. 216 s.
2. KÖNIG, Holger; ERLACHER, Peter. Neviditelná hrozba? : elektromagnetická pole kolem nás . Ostrava : Hel, 2001. 120 s.
3. SVAČINA, Jiří . Elektromagnetická kompatibilita : Základní principy a metody. Brno : Ústav radioelektroniky VUT, 2001. 109 s.
4. IVANKA, Ján. Všeobecné zásady testování elektromagnetické odolnosti elektronických . Security magazin. 2006, č. 2, s. 4-6. ISSN 1210-8723.
5. IVANKA, Ján. Druhy elektromagnetického rušení, jeho zdroje a způsoby šíření. Security magazin. 2005, ISSN 1210-8723.
6. IVANKA, Ján. Metodiky měření antén v blízké zóně. Security magazin. 2007, č. 6, s. 38-41. ISSN 1210-8723.
7. IVANKA, Ján Měření rušivých signálů pomocí antén. In Sborník z 10. vědecké konference s mezinárodní účastí. Žilina : FŠI Žilinská univerzita, 2005. s. 211-214. ISBN 80-8070-425-2.
8. IVANKA, Ján ; NAVRÁTIL, Petr Anténní soustavy využívané pro měření elektromagnetických polí v PKB. In Sborník přednášek : 33. mezinárodní konference TD-2010. Zlín : Diagon, 2010. s. 63-69. ISBN 978-80-7318-940-2.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ján Ivanka

Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

25. února 2011

Termín odevzdání diplomové práce:

27. května 2011

Ve Zlíně dne 25. února 2011

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Cílem teoretické části diplomové práce je analýza problematiky "elektromagnetického smogu" a jeho vliv na bezpečnostní technické systémy. Práce popisuje zdroje rozšířené v životním prostředí a jejich možné účinky na organismus člověka, teorii šíření elektromagnetických vln, typy elektromagnetických vln, transversální elektromagnetickou a transversální elektrickou vlnu. Praktická část diplomové práce je zaměřena na měření elektromagnetických vln v kmitočtovém rozsahu od 500 MHz do 1 GHz pro elektromagnetickou susceptibilitu bezdrátového systému OASIS typu JA-80 vzhledem k elektromagnetickému smogu. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v 3D zobrazení v programu Matlab.

Klíčová slova: elektromagnetický smog, elektromagnetická odolnost, bezdrátový systém OASIS

ABSTRACT

Theoretical part of the thesis aims at an analysis of the problems of the "electromagnetic smog" and of its influence on technical safety systems. The work describes resources that are widespread in the environment and their possible effects on the human organism, the theory of the propagation of electromagnetic waves, types of electromagnetic waves, transverse electromagnetic wave and transverse electric wave. Practical part of the thesis is focused on measuring electromagnetic waves in frequency range of 500 MHz to 1 GHz for electromagnetic susceptibility of wireless system OASIS, type JA-80, with respect to electromagnetic smog. Measured values are stored in 3D environment in Matlab files.

Keywords: electromagnetic smog, electromagnetic susceptibility, wireless of OASIS

Děkuji ing. Jánů Ivankovi za odborné vedení, poskytnuté rady, připomínky, pomocné materiály, trpělivost na konzultacích a při zpracování diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat své rodině a příteli za podporu během celého mého studia.

Prohlašuji, že

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 ELEKTROMAGNETICKÝ SMOG	11
1.1 ELEKTROMAGNETICKÉ SPEKTRUM.....	11
1.2 ZDROJE RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ A ROZŠÍŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÉHO SMOGU V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ	12
1.3 ZÁKLADNÍ POJMY	13
1.4 BIOLOGICKÉ ÚČINKY	15
1.4.1 Vliv elektromagnetických polí na člověka.....	15
1.5 ELEKTROMAGNETICKÉ POLE.....	16
1.6 DRUHY ZÓN ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE.....	17
2 ELEKTROMAGNETICKÉ VLNĚNÍ	21
2.1 ŠÍŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÝCH VLN	22
2.1.1 Transversální elektromagnetická vlna.....	25
2.1.2 Transversální elektrická vlna	25
2.1.3 Transversální magnetická vlna.....	25
II PRAKTICKÁ ČÁST	26
3 MĚŘICÍ APARATURA	27
3.1 GENERÁTOR ROHDE&SCHWARZ TYPU SM 300.....	27
3.2 LOGARITMICKO-PERIODICKÁ ANTÉNA SAS-510-2	29
3.3 RUČNÍ SPEKTRÁLNÍ ANALYZÁTOR ROHDE&SCHWARZ FSH3	31
3.4 SMĚROVÁ ANTÉNA ROHDE&SCHWARZ HE 200	34
3.5 DIGITÁLNÍ ANALYZÁTOR ELEKTROSMOGU ME 3851A	35
4 MĚŘENÉHO ZAŘÍZENÍ OASIS TYPU JA-80	37
4.1 ÚSTŘEDNA SYSTÉMU OASIS JA-80	38
4.2 AKTIVACE SYSTÉMU OASIS, JA-80	40
5 POPIS MĚŘENÍ	41
5.1 METODIKA MĚŘENÍ.....	41
6 VÝSLEDKY MĚŘENÍ	47
6.1 CHYBY MĚŘENÍ	55
6.2 SHRNUÍ.....	57
ZÁVĚR	59
ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ	61
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	63

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	66
SEZNAM OBRÁZKŮ	68
SEZNAM TABULEK.....	70

ÚVOD

Vstupem České republiky do Evropské unie se rozšířil zahraniční trh s elektrotechnickými a elektronickými zařízeními. Přístroje se zásluhou člověka stále více modernizují, zařízení bývají instalována většinou v prostředí, v němž jsou vystavena nebezpečným vlivům elektromagnetického rušení. Stále rychleji se rozrůstají firmy propagující telekomunikační systémy, elektroniku, domácí spotřebiče a jiné systémy, které již vlastní většina obyvatel světa. Jedná se například o televize, rádia, satelity, mikrovlnné trouby, elektrické holicí strojky, klimatizační zařízení, ohřívače a ledničky. Často se ovšem zapomíná na vysílače, radary, rozhlas, dálkové elektrické vedení a rozvody, kopírovací stroje, výpočetní techniku a kancelářské zařízení, které používají lidé v zaměstnání.

Mobilní telefony a počítače jsou vynikajícím pomocníkem člověka. Mobilní telefony a počítače jsou zároveň jedním ze zdrojů negativní energie, se kterou přichází člověk každý den do styku. Většina zařízení je instalována na místech, kde mohou být vystavena nebezpečným vlivům elektromagnetického rušení. Nedostatečná odolnost proti rušení může způsobit chybnou funkci zařízení, v horších případech zničení. Aby zařízení fungovala bezchybně, je nutné respektovat elektromagnetickou kompatibilitu (dále jen EMC) ve vývoji i výrobě. Jelikož se stále zvyšují počty televizních, rádiových a komunikačních zařízení, rozvíjí se rychleji rušivé signály. Signály ohrožují důležité měřicí a zdravotnické přístroje, např. vyzařovaným polem mobilních telefonů. Systémy by neměly ovlivňovat svým působením funkce jiného zařízení, a zároveň musí být odolné vůči působení.

EMC problematikou se zabývají i výzkumná lékařská pracoviště posuzující odolnost organismu vůči elektromagnetickým vlivům. Jedním ze zvláštních vlivů je působení elektromagnetických sil na organismus. Jejich neviditelný účinek je nazvaný "elektromagnetický smog" nebo "elektrosmog". Na člověka působí fyzikální, chemické, biologické, psychické a sociální jevy a procesy, které mají přímý a nepřímý vliv na jeho tělesnou, psychickou a sociální pohodu, výkonnost a spolehlivost.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ELEKTROMAGNETICKÝ SMOG

Nepřirodní elektromagnetická pole jsou tak rozšířena, že v běžně zalidněných oblastech se jim prakticky nelze vyhnout. Vytváří "šum", který nese název elektromagnetický smog, zkráceně elektrosmog neboli "neviditelný nepřítel". Název je odvozen z anglického výrazu "smoke" (dým, výpar) a "fog" (mlha). Elektromagnetický smog je produktem technické civilizace, ovlivňující kvalitu životního prostředí. Růst množství zdrojů těchto polí koresponduje s rostoucími obavami veřejnosti z jejich negativních dopadů na zdravotní stav a s množstvím vědeckých prací a studií, zabývajících se tímto tématem.

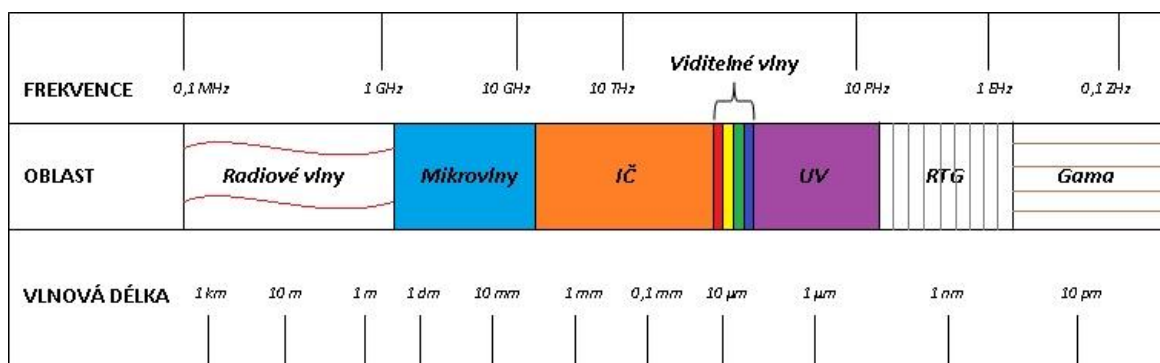
Hlavním zdrojem elektrosmogu je záření z kosmu, které je z části pohlcováno atmosférou. V přírodě existuje přirozené elektromagnetické záření, jehož zdrojem je zemský magnetismus a Slunce. Za jejich působení se vyvíjel a vznikl všechny život na Zemi. Lidé v minulých dobách měli vyvinutou citlivou vnímavost přírodní energie a při osídlování nových území se vyhýbali místům s dráždivými účinky na jejich organismus, tak jak to dodnes dělají zvířata. Elektromagnetický smog je tedy shluk elektromagnetických frekvencí uměle vytvořených a vzájemně se překrývajících elektrických a magnetických polí.

Elektromagnetický smog je těžký, drží se při zemi a neustále přibývá. Už i při malém množství můžeme trpět bolestmi nebo otoky nohou, malé děti mohou být často nemocné, jelikož se stále pohybují celým tělem v úrovni smogu. Působí negativně na naše zdraví, ale zbavíme se jej vykoupáním ve vaně, ve které necháme rozpustit půl kila soli (mořské nebo přešovské jodizované soli). Z místnosti se dá vyčistit zapnutím horského slunce, kde necháme na pár minut zapnuté záření. [33][35]

1.1 Elektromagnetické spektrum

Elektromagnetické spektrum zahrnuje elektromagnetické záření všech vlnových délek. Mechanické i elektromagnetické vlnění je charakterizováno vlnovou délkou λ [m - metr] nebo frekvencí f [Hz - hertz], přičemž součin vlnové délky s frekvencí udává rychlost šíření v m/s. Dělení spektra je celkově přesné, ale občas může dojít k překrytí sousedních typů. Například některé záření gama může mít delší vlnovou délku, než některé rentgenové záření. To proto, že záření gama je jméno pro vzniklé fotony při jaderném štěpení a jiných jaderných procesech, zatímco rentgenové záření vzniká jako brzdné záření

či charakteristické záření elektronu. Překrytí tu tudíž nastává, jelikož paprsky určujeme dle původu a nikoli dle frekvence. [35]



Obr. 1 Dělení elektromagnetického spektra.[35]

1.2 Zdroje rušivých signálů a rozšíření elektromagnetického smogu v životním prostředí

Zdrojem elektromagnetického smogu jsou různé elektrotechnické zařízení a přístroje, které lidé využívají v mnohých oblastech činnosti, jakou jsou ekonomika, obchod, průmysl, energetika, doprava, věda a výzkum, informatika, školství, umění, kultura atd. Podle původu zdroje rušení lze rušivé signály rozdělit na přírodní, umělé, funkční, nefunkční, periodické, spojitě aj.

nízkofrekvenční (dále jen nf.) – projevují se jako energetické nízkofrekvenční rušení (působí od 0 do 2000 Hz a způsobuje především deformaci napájecího napětí a proudu) nebo akustické nízkofrekvenční rušení (od kmitočtu 10 kHz a negativně ovlivňují činnost přenosových informačních zařízení). Provádí se zkoušky magnetickým polem o frekvenci 50 Hz a zkoušky simulováním síťových poruch (kolísání, výpadky, napájení apod.).

vysokofrekvenční (dále jen vf.) – rádiové rušení, působí od 10 kHz do 400 GHz, můžeme zde zařadit téměř všechny zdroje rušení. Provádí se zkoušky uměle generovaným vysokofrekvenčním signálem, šířícím se po výkonných a sdělovacích vedeních a zkoušky uměle generovaným vysokofrekvenčním elektromagnetickým polem (nutnost odstranění rušivých signálů z pozadí).

Působení zdrojů rušení se vzájemně prolíná a problémem jsou velmi složité vztahy a vazby ve sdělovací, přenosové, informační a řídicí technice. Proto se uvádí některé možnosti jejich potlačení. Všechny druhy přírodních nebo technických zdrojů vykonávají

správnou funkci spolu. Zařízení, která fungují v různém prostředí, by měly splňovat požadavky na vyzařování a odolnost. Proto by je měl výrobce nebo instalační firma opatřit tak, aby zajistil správné funkce všech přístrojů v určitých místech. Zařízení, která generují rušivé elektromagnetické spektrum a oslabují moderní systémy, se stále více rozrůstají. [19][33][35]

1.3 Základní pojmy

Při analyzování jevů spojených s elektromagnetickou kompatibilitou je potřeba si definovat určité pojmy. Níže jsou uvedeny citované definice, které byly vybrány z Mezinárodního elektrotechnického slovníku ČSN IEC 50(161), jak jsou interpretovány normou ČSN IEC 1000-1-1. [4]

Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - schopnost zařízení nebo systému fungovat vyhovujícím způsobem ve svém elektromagnetickém prostředí bez vytváření nepřijatelného elektromagnetického rušení pro cokoliv v tomto prostředí.

Elektromagnetické rušení - jakýkoliv elektromagnetický jev, který může zhoršit činnost přístroje, zařízení nebo systému, nebo nepříznivě ovlivnit živou nebo neživou hmotu. (Elektromagnetické rušení může být elektromagnetický šum, nežádoucí signál nebo změna v přenosovém prostředí.)

Elektromagnetické vyzařování - jev, při němž elektromagnetická energie vychází ze zdroje.

Odolnost (proti rušení) - schopnost přístroje, zařízení nebo systému být v provozu bez zhoršení charakteristik za přítomnosti elektromagnetického rušení.

Úroveň rušení - úroveň daného elektromagnetického rušení měřeného předepsaným způsobem.

Úroveň vyzařování - úroveň elektromagnetického rušení vyzařovaného konkrétním přístrojem, zařízením nebo systémem, měřená určeným způsobem.

Úroveň odolnosti - maximální úroveň elektromagnetického rušení působícího na konkrétní přístroj, zařízení nebo systém, při kterém se nevyskytuje zhoršení provozu.

Mez vyzařování - maximální dovolená úroveň vyzařování.

Mez odolnosti - nejnižší požadovaná úroveň odolnosti.

Rezerva vyzařování - poměr úrovně elektromagnetické kompatibility a meze vyzařování.

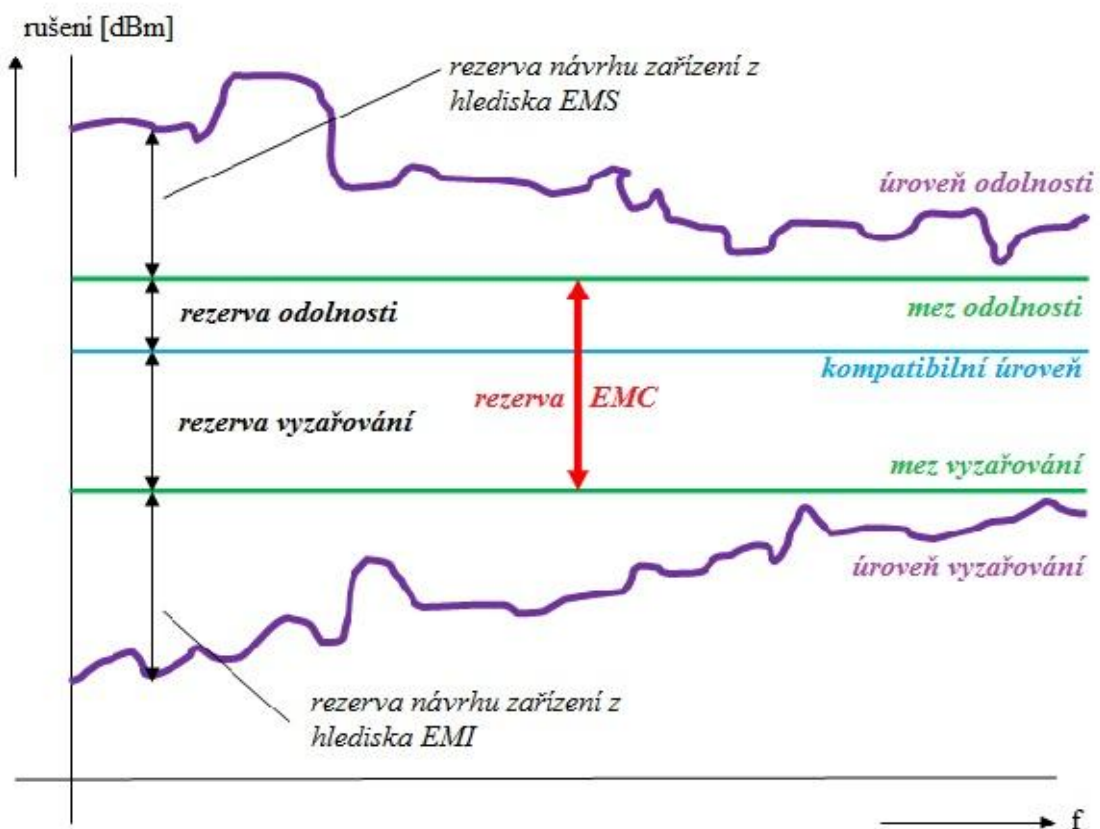
Rezerva odolnosti - poměr meze odolnosti a úrovně elektromagnetické kompatibility.

Rezerva kompatibility - poměr meze odolnosti a meze vyzařování. (Rezerva kompatibility je součinem rezervy odolnosti a rezervy vyzařování.)

Pozn.: Jestliže jsou úrovně vyjádřeny v dB, potom by se ve výše uvedených definicích rezervy mělo místo slova “poměr” použít slovo “rozdíl” a místo slova “součin” slovo “součet”.

Potlačení rušení - opatření, které zmenšuje nebo odstraňuje elektromagnetické rušení.

Oduřování - opatření k zeslabení nebo k odstranění elektromagnetické interference.[35]



Obr. 2 Definice úrovní a mezí vyzařování a odolnosti.[35]

1.4 Biologické účinky

Účinky elektromagnetického záření na organismus člověka dělíme na:

➤ **tepelné** - jsou chápány jako projev nuceně zvýšené teploty při absorpci vyšší úrovně elektromagnetické energie, kdy již dojde k ohřevu biologické tkáně. Intenzivní elektromagnetické záření může způsobit přehřátí lidského těla a způsobit horečku. Dodržením hraničních hodnot se vyhneme těmto efektům. Pokud nedojde k ohřátí organismu o víc jak 1 °C od mikrovln, měl by být daný limit pro organismus bezpečný.

➤ **netepelné** - nf. pole mají natolik nízkou intenzitu, že hustota elektrického proudu, který tato pole v těle indukují, je podstatně menší než hustota pokládaná stále ještě za neškodnou. Jde zpravidla o proudy indukované v těle proměnným magnetickým polem vyskytující se kolem každého vodiče, kterým protéká proud. Toto magnetické pole velmi rychle klesá se vzdáleností od vodiče (případně od transformátoru).

Souhrnné působení elektromagnetického záření na lidský organismus po delší dobu resp. o vyšších frekvencích může vyvolat nespécifické zdravotní problémy u dětí, nemocných a starých lidí. Nejčastěji se mluví např. o silné únavě, horečce, bolesti hlavy, poruchy spánku, snížení koncentrace, dráždivosti očí, hučení v uších, poruchy srdeční činnosti, oslabení imunitního systému a další. [35][37][19]

1.4.1 Vliv elektromagnetických polí na člověka

Vliv stacionárního magnetického pole můžeme charakterizovat jako:

- **slabé působení** pole - nemá žádný vliv na živé organismy
- **dlouhodobé působení** - projevuje se v odezvách centrálního nervového systému, kardiovaskulárního a endokrinního systému
- **silné stacionární** pole – předpokládá se, že krátkodobá expozice v poli může vyvolat výrazně škodlivé účinky, které se mohou projevit snížením rychlosti krevního toku v aortě a významným snížením pracovní schopnosti

Vliv kmitavého magnetického pole můžeme charakterizovat jako:

- **ovlivnění nervového systému**, vizuální funkce a stimulace růstu kostí

poškození zdraví [12][33]

Mechanismy ovlivňující interakci elektromagnetických pole s biologickými objekty:

- geometrické tvary a rozměry tkáně
- orientace a polarizace elektromagnetického pole
- kmitočet elektromagnetického pole
- zdroj vyzařování elektromagnetického pole
- délka trvání experimentu aj.

1.5 Elektromagnetické pole

Elektromagnetické pole je fyzikální pole, které odpovídá míře působení elektrické a magnetické síly v prostoru. Skládá se tedy ze dvou fyzikálně propojených polí, elektrického a magnetického. I když je elektromagnetické pole svým dosahem nekonečné, obvykle se uvažuje jen ta část, která má význam pro pohyby těles v okolí nabitého tělesa, které pole vytváří. [33][18]

Z představ M. Faradaye a J. C. Maxwella vychází elektromagnetické jevy založeny na pojmu elektromagnetického pole. Maxwell zobecnil zákony elektromagnetismu a formuloval obecné zákony elektromagnetického pole v tzv. Maxwellových rovnicích. Rovnice se týkají vzájemných obecných souvislostí mezi veličinami, popisující pole v každém místě prostoru. Rovnice je možné vyjádřit soustavou rovnic v integrálním tvaru. [34]

1. Maxwellova rovnice - vyjadřuje Ampérův zákon celkového proudu, kde jsou složky vodivého proudu, vyvolané zdrojem vlnění I_{zdroj} a indukované elektrickým polem I_{ind} , doplněné o posuvný proud $d\Psi/dt$.

$$\int H \cdot dl = I_{zdroj} + I_{ind} + d\Psi/dt \quad (1)$$

2. Maxwellova rovnice - jde o Faradayův indukční zákon, kde časová změna magnetického toku Φ , která prochází plochou omezenou uzavřenou křivkou l , je vázána s cirkulací vektoru elektrického pole E po této křivce.

$$\int E \cdot dl = - d\Phi/dt \quad (2)$$

3. Maxwellova rovnice - je vyjádřením Gaussovy věty elektrostatiky pro tok elektrické indukce D , který je vyvolaný nábojem Q uvnitř objemu uzavřeného plochou S .

$$\int_S D \cdot dS = Q \quad (3)$$

4. Maxwellova rovnice - je zákon spojitosti siločar magnetického pole, kde výtok vektoru magnetické indukce B z uzavřené plochy je nulový a magnetické siločáry jsou do sebe uzavřenými křivkami.

$$\int_S B \cdot dS = 0 \quad (4)$$

Elektromagnetické pole je specifickou formou hmoty. Náleží mu určitá energie, hmotnost a hybnost (pro tyto veličiny platí zákony zachování), má kvantovou strukturu (elementární částice jsou fotony) a mohou projevovat vlnový charakter. Elektromagnetické pole je zprostředkovatelem elektromagnetických interakcí v makroskopickém a mikroskopickém měřítku. Může existovat i mimo látkové objekty samostatně ve formě elektromagnetického vlnění. [3][28]

1.6 Druhy zón elektromagnetického pole

Dle normy CISPR 18-2 (Rádio rušení nadzemního elektrického vedení a zařízení vysokého napětí Část 2: Metody měření a postupy pro stanovení limitů) vznikají při vyzařování elektromagnetických rušivých signálů charakteristické tři zóny, ve kterých se vyzařování šíří. [19]

Patří zde:

- *blízká zóna*
- *Fresnelova zóna*
- *vzdálená zóna*

Blízká zóna je, když vzdálenost zdroje vlnění od stínící plochy r je mnohem menší než vlnová délka, tedy $r \ll \lambda$, případně přesněji $r \ll \lambda/2\pi$, kde vlnová délka $\lambda = c/f$, c je rychlost šíření ve volném prostoru ($c = 299\,792\,458$ m/s) a f je frekvence. Za této situace lze elektromagnetické pole v blízké zóně považovat za kvazistacionární, tj. měnící se dostatečně pomalu. V blízké zóně existuje stacionární (prostorově omezené) kvazistatické

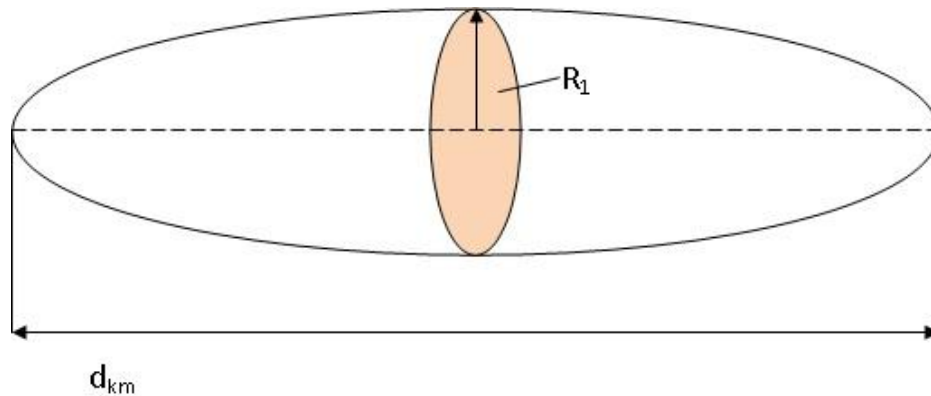
pole, a to buď kvazistatické blízké elektrické nebo magnetické pole. V blízkém elektromagnetickém poli probíhá šíření signálů mezi dvěma blízkými objekty nebo zařízeními prostřednictvím elektrické či magnetické vazby. Vazby jsou charakterizovány intenzitou rušivého elektrického pole E_r a intenzitou rušivého magnetického pole H_r . Blízká zóna je oblastí ve vzdálenosti od zdroje menší než polovina vlnové délky (oblast reaktivního pole). V této vzdálenosti od zdroje je v elektromagnetickém poli nejvíce zastoupena složka, která sice osciluje s frekvencí zdroje, není však vyzařována. Mezi intenzitou elektrického pole a intenzitou magnetického pole neplatí v této oblasti vztah jako rovinné vlně, podle konstrukce zdroje může v reaktivním poli zcela převládat elektrické či magnetické pole. Má-li například zdroj tvar smyčky protékané proudem, převládá v jeho reaktivní zóně pole magnetické, v blízkosti oscilujícího elektrického dipólu je naopak významnější pole elektrické.[14][34][35]

Fresnelova zóna je oblast vzdálená $\lambda/2$ až L_0 od zdroje. Ve vzdálenosti od zdroje větší než polovina vlnové délky a menší než L_0 má elektromagnetické pole složitou prostorovou strukturu způsobenou interferencí (tzv. Fresnelova difrakce) vln s různou fází vycházejících z různých míst zdroje (antény).

Fresnelova zóna je prostor aktivně se podílející na přenosu rádiového signálu. Na délku má tvar elipsoidu, v příčném řezu má tvar kruhu. Poloměr tohoto kruhu se mění po celé délce rádiového signálu a nejvyšší hodnota je uprostřed mezi anténami. Největší význam má první Fresnelova zóna, protože právě v této zóně probíhá přenos prakticky celého rádiového signálu. [14][34][35]

Pro poloměr R_1 první Fresnelovy zóny platí vzorec:

$$R_1 = 17,3 \sqrt{\frac{d_{1km} \cdot d_{2km}}{d_{km} \cdot f_{GHz}}} [m] \quad (5)$$



Obr. 3 Tvar Fresnelovy zóny, kde R_1 je poloměr zóny 1. [34][35]

kde:

$d_{km} = d_{1km} + d_{2km}$ vzdálenost mezi stožáry

d_{1km} vzdálenost od první antény v km

d_{2km} vzdálenost od druhé antény v km

Vzdálená zóna je, když rovinná elektromagnetická vlna ve volném prostoru vykazuje konstantní charakteristickou impedanci Z_0 . Ve vzdáleném elektromagnetickém poli probíhá přenos elektromagnetických vln mezi vzdálenými objekty vyzařováním. Veličiny které měříme jsou intenzity elektrického pole E_r , magnetického pole H_r nebo hustota vyzařovaného výkonu rušivého signálu p_r . [34][35]

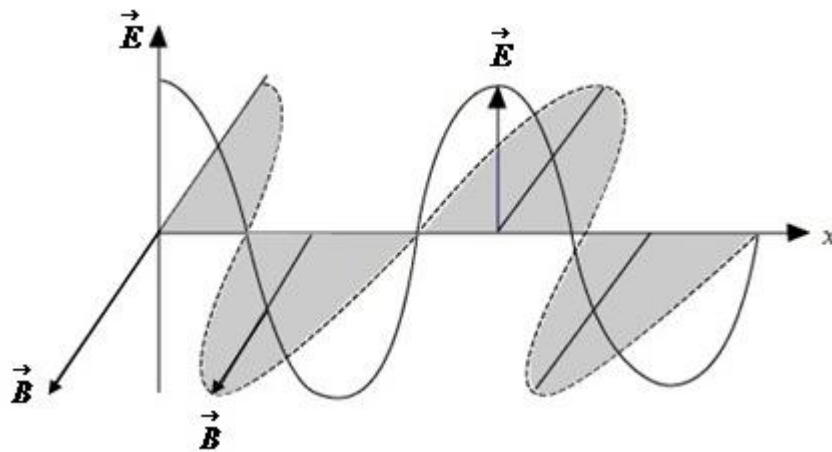
Vzdálená zóna je oblastí postupné rovinné elektromagnetické vlny. Elektromagnetické pole má charakter rovinné vlny nebo rovinné vlně blízký teprve ve vzdálenosti od zdroje větší než $L_0 = 8,3 \cdot 10^{-10} \cdot D^2 \cdot f$, kde D je největší rozměr antény (vyzařovací struktury) v metrech, f je frekvence v Hertzech, L_0 vyjde v metrech. Častěji se výraz používá s vlnovou délkou λ místo frekvencí, tedy ve tvaru $L_0 = D^2 / (4 \cdot \lambda)$. Vlnová délka se zde dosazuje v metrech. V této oblasti je vektor elektrického pole kolmý k vektoru magnetického pole, fáze je stejná a směr obou kolmý na směr šíření vlny. V oblasti vzdáleného pole je směrová charakteristika vyzařování adekvátním popisem struktury vlny.

2 ELEKTROMAGNETICKÉ VLNĚNÍ

Vztah mezi elektrickým a magnetickým polem je uveden Faradayovým zákonem – každá změna indukčního toku vnějšího magnetického pole vytvoří ve vodiči indukované elektrické pole, které silovým působením na nabitě částice vytváří elektrický proud. Alternací vnějšího magnetického pole (častěji však pohybem vodiče ve statickém magnetickém poli) vznikají tedy časově proměnné proudy, elektrické i magnetické pole jsou funkcemi času. [4][33]

V kmitočtovém pásmu nad desítky kHz se elektrické a magnetické pole šíří jako záření ve formě elektromagnetických vln rychlostí světla (ve vzduchu), je odraženo, rozptylováno, absorbováno a polarizováno. Velikost elektromagnetické vlny je vyjadřována jako intenzita nebo výkonová hustota. Jednotkou intenzity elektrické složky \vec{E} je volt na metr (V/m), magnetické složky \vec{H} (B) ampér na metr (A/m) a výkonové hustoty S watt na čtvereční metr (W/m^2). [4][33]

Nejjednodušší případ elektromagnetické vlny je příčná rovinná vlna, která se šíří homogenním nevodivým prostředím rychlostí světla.



Obr. 5 Rovinná elektromagnetická vlna. [34]

Vektory \vec{E} a \vec{B} jsou na sebe kolmé a dále jsou kolmé ke směru šíření. Pokud se mění vektor \vec{E} harmonicky, tak se mění harmonicky i vektor \vec{B} , tudíž vektory jsou ve fázi.

2.1 Šíření elektromagnetických vln

Elektromagnetická vlna je vždy vlnou kulovou, pokud je pozorována dostatečně daleko od jakékoliv antény v homogenním izotropním prostředí. Vlnoplochy jsou soustředné koule a jejich střed se nazývá fázovým středem antény. Je-li anténa všesměrová (izotropní), září do všech směrů stejně a intenzity pole jsou ve všech bodech vlnoplochy stejné (vlna uniformní). Vlny, které se šíří v různých podmínkách, se mohou lišit také svojí strukturou, konkrétně prostorovou orientací vektoru intenzity elektrického pole \vec{E} a intenzity magnetického pole \vec{H} vůči směru šíření vlny. Ve volném homogenním prostředí se mohou šířit jen tzv. příčně elektromagnetické vlny (TEM), u nichž vektory \vec{E} a \vec{H} leží v rovině kolmé na směr šíření. Ve vlnovodech a v méně běžných prostředích vznikají vlny, u nichž jeden z vektorů (\vec{E} nebo \vec{H}) má také složku ve směru šíření vlny. Nazývají se příčně elektrické vlny (vlna TE, vektor \vec{H} má složku ve směru šíření), nebo příčně magnetické vlny (vlny TM), u nichž není na směr šíření kolmý vektor \vec{E} . [13][14][16]

Amplituda i fáze intenzity magnetického pole \vec{H} se mění při šíření stejně jako amplituda a fáze intenzity elektrického pole \vec{E} . Poměr amplitud \vec{E}/\vec{H} je tedy stálý a nazývá se vlnovou (charakteristickou) impedancí prostředí Z_0 . V ideálním dielektriku je vlnová impedance Z_0 reálná a tudíž intenzity polí \vec{E} a \vec{H} jsou ve fázi. Ve vakuu a prakticky i ve vzduchu je $\vec{E}/\vec{H} = 120\pi [\Omega] \cong 377\Omega$. Prostředí s nenulovou vodivostí má vlnovou impedanci komplexní, vlna je při šíření tlumena a ve stejném místě prostoru jsou intenzity polí \vec{E} a \vec{H} fázově posunuty.

Při šíření kulové vlny závisí fáze intenzit polí na vzdálenosti stejně jako u rovinné vlny. Velikost vlnoplochy se však při šíření vlny od zdroje zvětšuje a intenzita pole klesá v důsledku ředění energie vlny i při jejím šíření v ideálním dielektriku (které vlně neodčerpává energii a tedy ji netlumí). Hustota energie se mění stejně jako velikost (plocha) vlnoplochy se čtvercem vzdálenosti od zdroje. Intenzita pole kulové vlny pak klesá nepřímo úměrně první mocnině této vzdálenosti.

Polarizace vlny udává orientaci vektoru intenzity elektrického pole \vec{E} vůči rovině dopadu. Rovina dopadu je rovina proložená směrem šíření a kolmá na rovinu rozhraní. Při kolmé (horizontální) polarizaci vlny je vektor intenzity elektrického pole \vec{E} kolmý na rovinu dopadu, při rovnoběžné (vertikální) polarizaci je vektor \vec{E} s rovinou dopadu rovnoběžný. Vektor \vec{E} může být rozložen na složku kolmou k rovině dopadu a na složku s touto rovinou rovnoběžnou. Vlna má pak složku polarizovanou horizontálně i složku polarizovanou vertikálně. [13][14][16]

Při šíření elektromagnetické vlny v blízkosti rozhraní dvou různých prostředí dochází k dalším fyzikálním jevům, které lze klasifikovat buď jako odraz, ohyb nebo rozptyl. Jedná-li se v úloze o pole v blízkosti neozářené strany plochy konečných rozměrů, o pole v blízkosti okrajů anebo naopak o pole ve velkých vzdálenostech, a také jsou-li rozměry plochy (libovolného tvaru) srovnatelné s délkou vlny, klasifikujeme jevy jako difrakci (ohyb) elektromagnetické vlny. Příkladem je třeba ohyb vlny na různých částech vozidla.

V oboru šíření radiových vln se často vyskytuje příklad, kdy v prostoru mezi vysílačem a přijímačem se nachází nějaká překážka. Schopnost vlny překonat tuto překážku se nazývá difrakce.

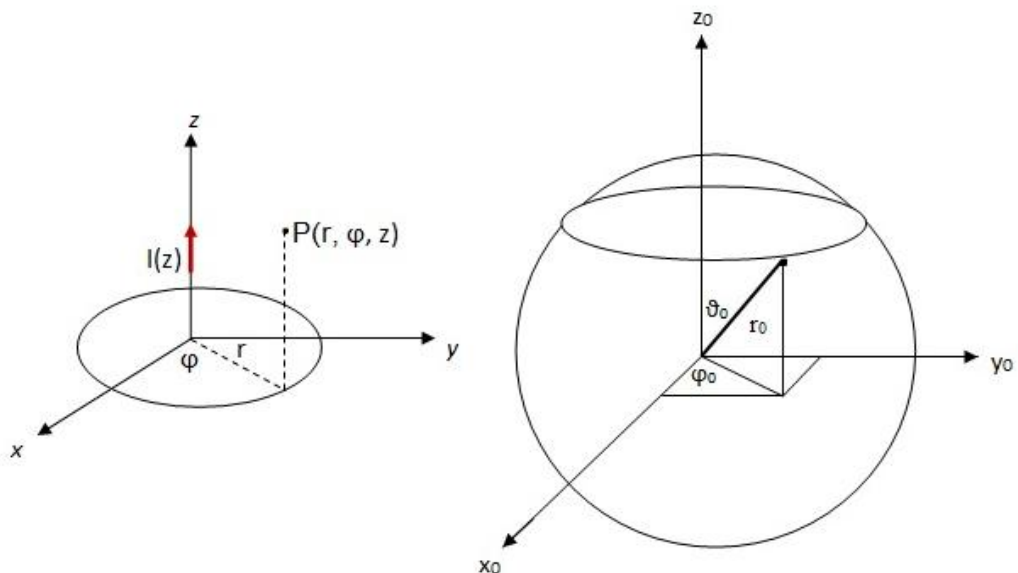
Šíření elektromagnetických vln můžeme chápat jako součást interakce vysílací a přijímací antény. Při jeho studiu vyšetřujeme veškeré změny (amplitudové, fázové, polarizační aj.), kterým elektromagnetické vlnění mezi vysílací a přijímací anténou podléhá. Existuje oblast v okolí spojnice antén, která je rozhodující pro šíření elektromagnetických vln. K jejímu určení se využívají tzv. Fresnelovy zóny.

Fresnel ukázal, že z celého prostoru lze vyčlenit určitou oblast, za jejíž hranicemi již nemají překážky téměř žádný vliv na chování intenzity pole v místě příjmu. Tato oblast se nazývá rozhodující oblast pro přenos energie (pro šíření radiové vlny).

Výsledkem elektrických a magnetických časově proměnných vln je proměnné elektrické pole, které indikuje proměnné pole magnetické. To při otáčení a pohybu zpětně vyvolá změny pole elektrického. Tento proces souvisí s prostorově časovými změnami obou polí a pokračuje až do nekonečna. Energie se při tomto procesu šíření periodicky přelévá z pole elektrického do pole magnetického. Obě pole závisí jedno na druhém

a odděleně nemohou existovat. Energie obsažená v elektrickém a magnetickém poli se šíří ve volném prostoru rychlostí světla $3 \cdot 10^8$ m/s a šíří se spojitě pokud nezanikne (v nekonečnu). Tato kombinace elektrických a magnetických vln se nazývá elektromagnetická vlna. [13][14][16]

Typy elektromagnetických vln jsou určeny orientací vektorů pole vzhledem ke směru šíření. Každý zdroj vlnění konečných rozměrů vytváří ve velké vzdálenosti od zdroje vlnu kulovou. Budeme-li však kulovou nebo válcovou vlnu pozorovat ve velké vzdálenosti od zdroje, bude zakřivení vlnoplochy velmi malé a můžeme ji považovat za vlnoplochu rovinné vlny. Vlnoplochami rovinné vlny jsou rovnoběžné roviny, na které je směr šíření vlny kolmý. Předpokládaný směr šíření bude shodný se směrem osy z a vektor intenzity elektrického pole \vec{E} bude rovnoběžný s osou x . Rovina xy a roviny s ní rovnoběžné pak budou vlnoplochami (viz. obr. 5). Zkoumání šíření rovinné vlny je tedy zjednodušením skutečné situace, které nám pomůže snadněji sledovat jevy a souvislosti při šíření vlny a závěry pak přiměřeně využít i při sledování šíření kulové (obr. 7) a válcové vlny (obr. 6). Zdrojem Válcové vlny může být dlouhý přímý vodič. Pro řešení můžeme zvolit válcovou souřadnou soustavu (r, φ, z) a vyzářující vodič umístíme do osy z . Vlnoplochami jsou pak válcové plochy $r = \text{konst.}$ souměrné podle osy z . [28]



Obr. 6 Vyzářující vodič ve válcové soustavě, kulová souřadná soustava. [3][28]

2.1.1 Transversální elektromagnetická vlna

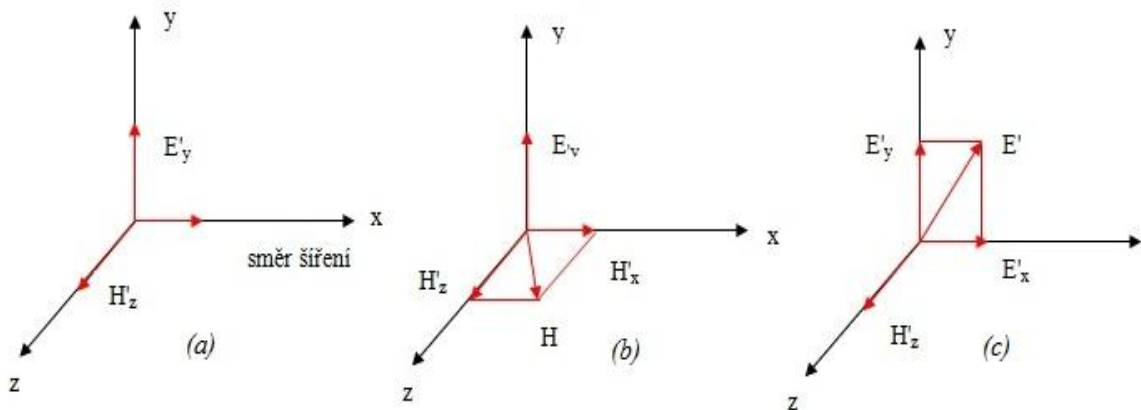
Když vektor intenzity elektrického pole \vec{E} a vektor intenzity magnetického pole \vec{H} jsou kolmé na směr šíření, jedná se o transversální elektromagnetickou vlnu (dále jen TEM vlnu), znázorněnou na obrázku 16a.

2.1.2 Transversální elektrická vlna

Když je vektor \vec{E} kolmý na směr šíření a vektor \vec{H} má složku ve směru šíření, pak se jedná o transversální elektrickou vlnu (dále jen TE vlnu), znázorněnou na obrázku 16b.

2.1.3 Transversální magnetická vlna

Když vektor \vec{H} je kolmý ke směru šíření a vektor \vec{E} má složku ve směru šíření, jedná se o transversální magnetickou vlnu (dále jen TM vlnu). Směrem osy x, kterým se šíří elektromagnetická vlna, budeme označovat Poyntingovým vektorem S . TM vlna je znázorněna na obrázku 16c. [16]



Obr. 7 Struktura transversálních vln. [16]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 MĚŘÍCÍ APARATURA

Pro měření elektromagnetické odolnosti bezdrátového systému OASIS typu JA-80 byly použity měřicí přístroje, které jsou zobrazeny na schématu měřicí aparatury 1 a 2 (obr. 21 a 22). V kapitole je uveden přehled měřícího vybavení a některé jeho parametry. Měřicí technika použitá k měření elektromagnetické odolnosti a elektromagnetické interference splňuje požadavky elektromagnetické kompatibility a byla specifikována dle norem ČSN EN 61000-4-1 Přehled zkoušek odolnosti, základní norma EMC a ČSN EN 61000-4-3 Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole - zkouška odolnosti.

3.1 Generátor Rohde&Schwarz typu SM 300

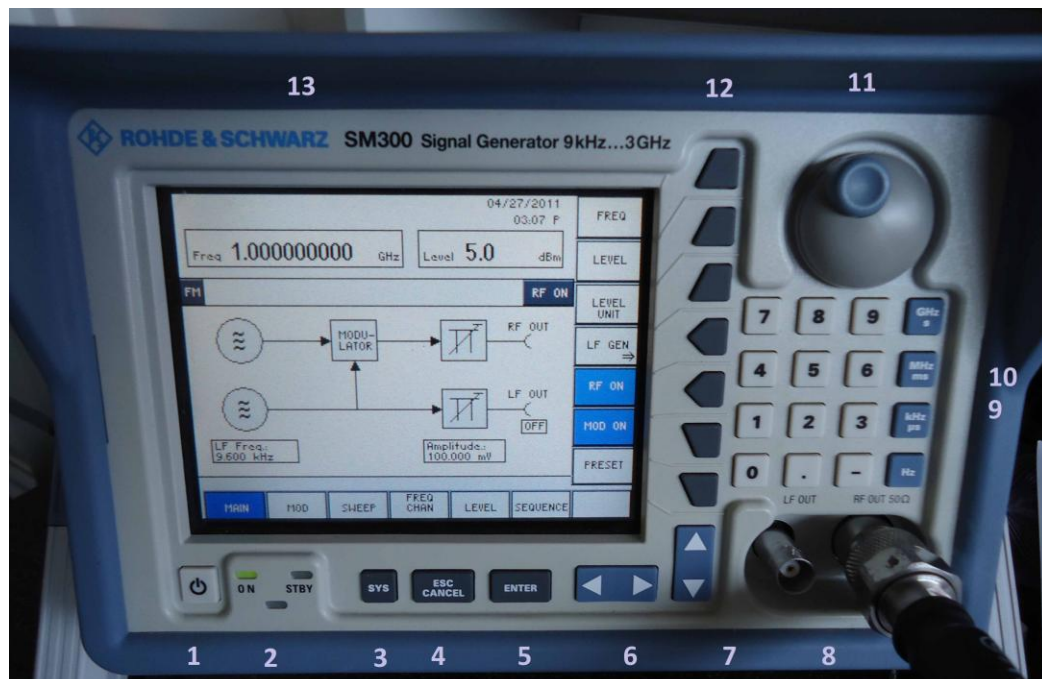
Signálový generátor Rohde&Schwarz (dále jen R&S) s nastavitelným kmitočtem 9 kHz až 3 GHz je vhodný pro aplikace, kde je požadován signál o vysoké kvalitě. Jedná se o měřicí přístroj pro generování přesných zkušebních signálů pro laboratorní aplikace nebo pro EMC zkoušky a zkoušky elektromagnetické susceptibility (dále jen EMS). Generátor představuje zdroj periodických elektrických průběhů a patří k primárním částem měřicí techniky. Tvoří skupinu elektrických obvodů, které vytvářejí opakující se průběhy napětí a proudů požadovaného tvaru. Používá se pro radioelektronická měření, umožňuje amplitudovou a frekvenční modulaci generovaného signálu. Přepínáním frekvencí v širokém rozsahu dosáhneme převedením signálu tvarovacím obvodem na pravoúhlé impulsy. Číslicovým dělením těchto impulsů lze frekvenci snížit a filtrací pomocí laděného filtru získáme opět harmonický signál. K amplitudové modulaci slouží zvláštní blok – amplitudový modulátor, je to například zesilovač s elektricky řízeným zesílením. Frekvenční modulaci dosáhneme přidáním modulačního napětí k ladícímu napětí oscilátoru. Výstupní impedance generátoru i amplitudového zeslabovače bývá 50Ω . Při provozu se musí používat vhodné stíněné signálové a řídicí kabely. V tabulce níže jsou uvedeny základní údaje generátoru.

Kmitočtový rozsah	9 kHz až 3 GHz
Rozlišení	0,1 Hz
Referenční kmitočet	10 MHz
Vysokofrekvenční úroveň (RF) rozsah	-127 až +13 dBm
Nízkofrekvenční generátor (LF) kmitočtový rozsah	20 Hz až 80 kHz

Tab. 1 Základní údaje generátoru Rohde&Schwarz SM300.

Na následujícím obrázku přední části generátoru SM 300, jsou znázorněny jeho součásti označené pomocí bodů:

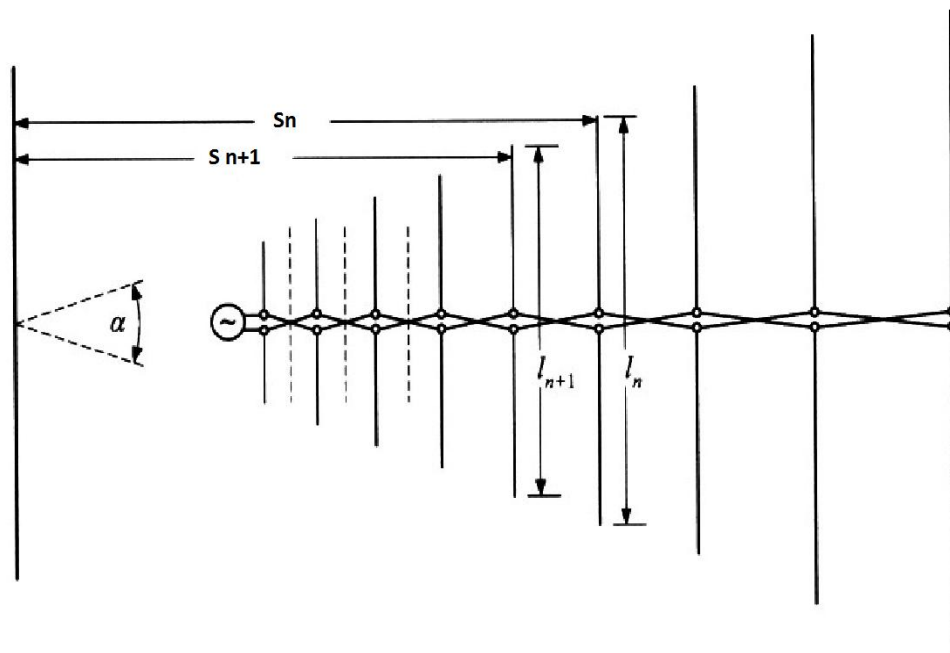
1. Přepínač ON/STANDBY, 2. Indikátor ON/STANDBY, 3. Tlačítko SYS, 4. Tlačítko ESC/CANCEL, 5. Tlačítko ENTER, 6. Kurzová tlačítka ◀▶, 7. Kurzová tlačítka ▲▼, 8. Výstupní nf. typu BNC) a vf. (typu N) konektor, 9. Tlačítko jednotek, 10. Numerická tlačítka, 11. Točítka, 12. Funkční tlačítka, 13. Obrazovka. [26]



Obr. 8 Přední část Generátoru Rohde&Schwarz SM 300.

3.2 Logaritmicko-periodická anténa SAS-510-2

Širokopásmová logaritmicko-periodická anténa SAS 510-2 od firmy A. H. Systems, Inc. byla použita pro měření elektromagnetické odolnosti systému Oasis. Anténa je tvořena řadou propojených fázově napájených rezonančních unipólů. Délky sousedních unipólů stejně jako vzdálenosti mezi nimi jsou dány poměrem podílů logaritmů jejich rezonančních kmitočtů. Vyzařovací diagram a vstupní impedance je konstantní v celém pracovním pásmu, díky své konstrukci. Logaritmicko-periodická anténa je citlivá na elektrickou složku elektromagnetického pole o intenzitě E_r s lineární polarizací a měření se provádí v polarizační rovině, kde je nejvyšší měřená hodnota rušivého pole. Anténa pro frekvenční modulaci má kmitočtový rozsah od 290 MHz do 2 GHz, je lehká, kompaktní a může být použita pro testování uvnitř stíněného prostoru nebo i venku.



Obr. 9 Návrh logaritmicko-periodické struktury. [28]

Délky jednotlivých dipólů se prodlužují podél antény a úhel α si zachovává konstantní velikost. Mezi délkami l a vzájemnými vzdálenostmi prvků s je konstantní poměr τ .

$$\tau = \frac{l_{n+1}}{l_n} = \frac{s_{n+1}}{s_n} \quad [28] \quad (6)$$

Vztahem je určen tzv. ukazatel geometrické řady, pro název geometrická anténní řada. Činnosti antény se vždy zúčastňují jen ty prvky, které jsou v okolí $\lambda/2$ kmitočtu. Ostatní nesou pouze malé proudy a tak se nezúčastňují činnosti antény. Prvky delší než $\lambda/2$ představují indukční zátěž a kratší naopak kapacitní zátěž. Každý element antény je buzený s fázovým posunem 180° . Dipóly, které jsou blízko vstupu téměř mimo fázi a vedle sebe, ruší navzájem své vyzařování. Mezi prvky prochází pomyslný bod podél struktury, kde fázový posun v přenosové lince v kombinaci se 180° střídáním nese dohromady 360° . Vyzařované pole od dvou dipólů ve fázi nese směr šíření ke špičce. Hlavní vyzařovací lalok má směr od špičky antény.

Elektromagnetické vlnění je tvořeno transversální elektromagnetickou vlnou (elektrickou a magnetickou složkou, které jsou na sebe vzájemně kolmé). Abychom zaručili translaci energie do antény při příjmu, je potřeba anténu natočit - polarizovat tak, že siločáry elektrického pole budou rovnoběžně se zářičem antény. Pokud elektrická složka nemění svoji prostorovou orientaci, jedná se o lineární polarizaci. Je-li elektrická složka pole rovnoběžně se zemským povrchem, mluvíme o horizontální polarizaci. Anténa je natočena pro příjem či vysílání vodorovně se zemní plochou. Pokud je elektrická složka kolmá k zemskému povrchu, jedná se o polarizaci vertikální. V tabulce níže jsou uvedeny základní parametry antény.

Kmitočtový rozsah	290 až 2000 MHz
Impedance	50 Ω
Max. vyzařované pole	200 V/m
Rozsah	14 - 32 dBm

Tab. 2 Základní údaje logaritmicko-periodické antény SAS-510-2.



Obr. 10 *Logaritmicko-periodická
anténa SAS-510-2.*

3.3 Ruční spektrální analyzátor Rohde&Schwarz FSH3

Spektrální analyzátor umožňuje měření a analýzu spektra signálu ve zvoleném kmitočtovém rozsahu. Spektrum daného spektrálního analyzátoru se zobrazuje na displeji a frekvenční rozsah je 100 kHz až 3 GHz. Přístroj je možné prostřednictvím sběrnice USB propojit s osobním počítačem a následně načíst charakteristiky měřených spekter do počítače pomocí upraveného programu. Prostřednictvím standardního stíněného vodiče (koaxiálního kabelu) byla připojena k přístroji směrová anténa HE 200 od výrobce Rohde&Schwarz. V níže uvedené tabulce jsou popsány určité parametry spektrálního analyzátoru.

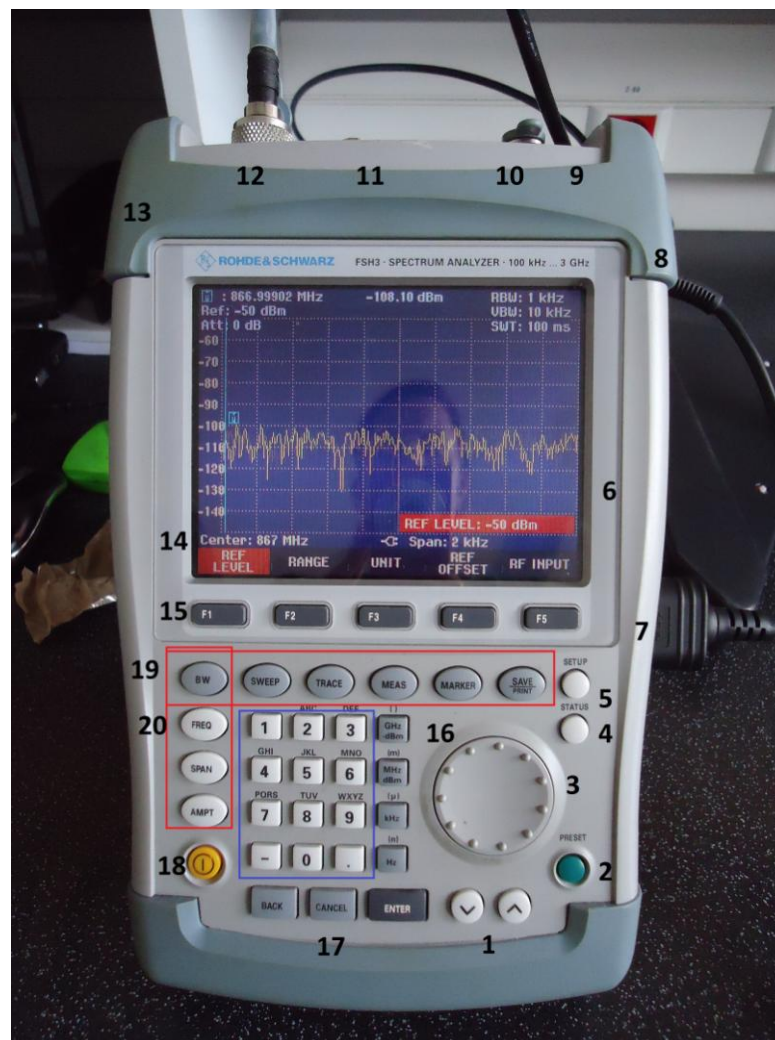
Frekvenční rozsah	100 kHz až 3 GHz
Frekvenční čítač - rozlišení	1 Hz
Span (frekvenční krok)	10 kHz až 3 GHz
Vf. vstup - vstupní impedance	50 Ω
Nf. výstup - výstupní impedance	10 Ω
Fázový šum SSB, f = 500 MHz	< 85 dBc/(1 Hz)
Odchylka od nosné 30 kHz	< 100 dBc/(1 Hz)
Odchylka od nosné 100 kHz	< 120 dBc/(1 Hz)
Odchylka od nosné 1 MHz	< 120 dBc/(1 Hz)
Průměrná úroveň zobrazení šumu	+ 20 dBm
Maximální výkon	20 dBm, 30 dBm (1 W)

Tab. 3 Základní údaje spektrálního analyzátoru

Rohde&Schwarz FSH3.

Následující obrázek znázorňuje přední stranu spektrálního analyzátoru FSH3, a jsou na něm zobrazeny jeho části označené pomocí bodů:

1. Kurzová tlačítka, 2. Tlačítko PRESET, 3. Točítka, 4. Tlačítko STATUS, 5. Tlačítko SETUP, 6. Displej, 7. Optické rozhraní RS-232, 8. Konektor pro síťový napáječ, 9. Výstup sledovacího generátoru konektor N, 10. Konektor pro snímač výkonu, 11. Vnější spouštěcí konektor BNC, 12. Vf. vstupní konektor N, 13. Konektor pro sluchátka, 14. Označení multifunkčních tlačítek, 15. Multifunkční tlačítka, 16. Tlačítka jednotek, 17. Tlačítka pro ukládání údajů, 18. Vypínač, 19. Funkční tlačítka, 20. Alfnumerická klávesnice. [25]



Obr. 11 Spektrální analyzátor Rohde&Schwarz FSH3.

3.4 Směrová anténa Rohde&Schwarz HE 200

Příruční širokopásmová směrová anténa HE 200 je ideální pro lokalizaci vysílacích a rušících zdrojů. Směr je získán nasměrováním antény ve směru maximálního napětí signálu. Celkový kmitočtový rozsah od 0,01 do 3000 MHz je pokryt čtyřmi výměnnými širokopásmovými anténními moduly, z nichž každý má výrazný směrový diagram. Zesilovač je v pasivním režimu přemostěn a anténa může být použita i v blízkosti silných vysílačů. Aktivní směrová anténa má vlastnost jednoznačného vyhledávání směru, výrazný směrový diagram maximem příjmu směřujícím dopředu v kmitočtovém rozsahu 20 MHz až 3 GHz. Anténa byla použita pro vertikální i horizontální polarizované signály. Vertikální polarizace pro všechny anténní moduly, horizontální pro otočení podélné osy antény o 90°. Pro měření byla použita logaritmicko-periodická anténa s vysokofrekvenčním anténním modulem pro rozsah 500 až 3000 MHz.



Obr. 12 Směrová anténa

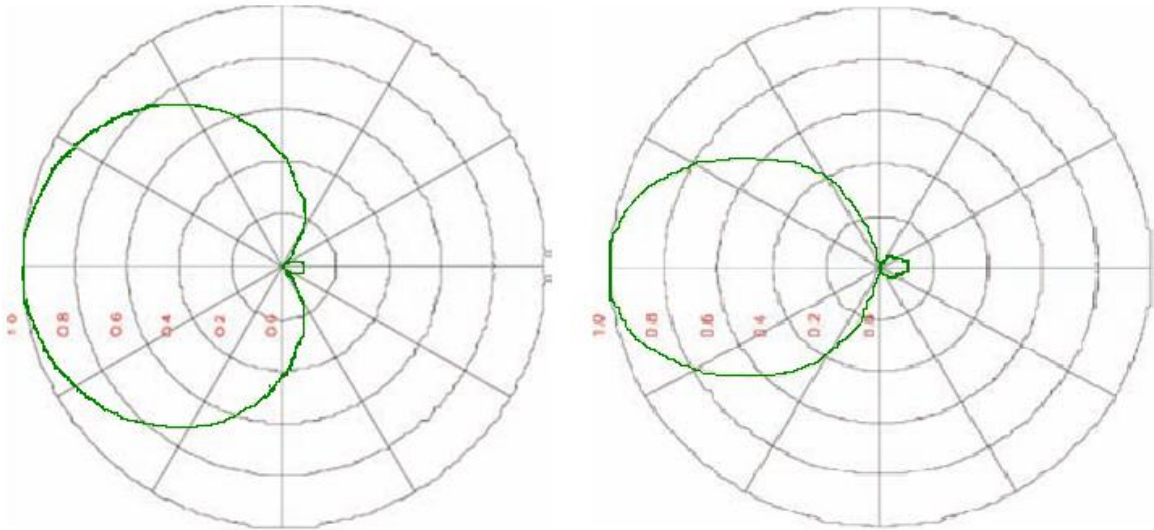
Rohde&Schwarz HE 200. [30]

V tabulce znázorněné níže jsou uvedeny parametry širokopásmové směrové antény HE 200.

Kmitočtový rozsah	0,01 až 3000 MHz
Vf. anténní modul, logaritmicko-periodická anténa	500 až 3000 MHz
Jmenovitá impedance	50 Ω
Vysokofrekvenční výstup	1 m - kabel s konektorem N

Tab. 4 Základní údaje směrové antény Rohde&Schwarz HE 200.

Obrázek 13 znázorňuje horizontální a vertikální diagram pro anténní modul v kmitočtovém rozmezí od 0,5 až 3 GHz.

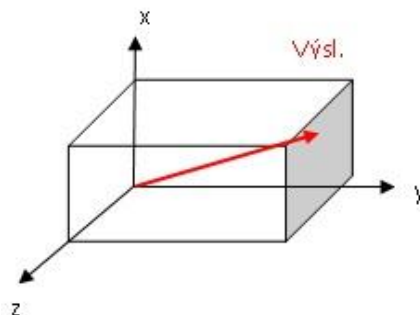


Obr. 13 Horizontální a vertikální diagramy pro anténní modul 0,5 až 3 GHz. [27]

3.5 Digitální analyzátor elektrosmogu ME 3851A

Pro měření elektrických a magnetických polí v blízké zóně u systému Oasis a vyzářených polí v prostoru byl použit přístroj digitální analyzátor elektrosmogu ME 3851A. Rozsah přístroje je od 5 Hz do 100 kHz. K přístroji je zapotřebí adaptér s externím napětím, zemnicí vedení dlouhé 5 m s konektory o velikosti 2,5 mm a svorkou. Intenzita elektrického pole se měří ve vodorovné poloze. Měření intenzity magnetických polí bylo provedeno ve třech směrech (x,y,z), dle níže uvedeného obrázku. Výsledná intenzita magnetického pole byla vypočtena podle následující rovnice:

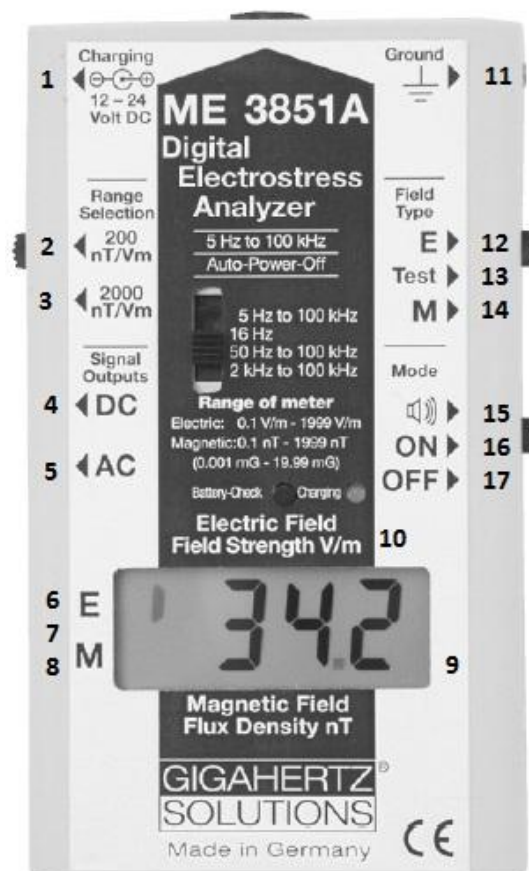
$$H(B) = \sqrt[3]{(x^2 + y^2 + z^2)} [24] \quad (7)$$



Obr. 14 Měření magnetického pole.

Následující obrázek znázorňuje digitální analyzátor elektrosmogu ME 3851A a jsou zde zobrazeny jeho části označené pomocí ovládacích bodů zařízení:

1. Napájení, 2. a 3. Měřené rozpětí, 4. DC - výstup signálu, 5. AC - výstup signálu,
6. Intenzita elektrického pole, 7. Dvě čárky - testovací režim, 8. Magnetická indukce,
9. LC - displej, 10. Světelná dioda, 11. Uzemnění, 12. Elektrické pole, 13. Test,
14. Magnetické pole, 15. Reprodukční, 16. Zařízení zapnuto, 17. Zařízení vypnuto.[24]



Obr. 15 Digitální analyzátor elektrosmogu
ME 3851A.[24]

4 MĚŘENÉHO ZAŘÍZENÍ OASIS TYPU JA-80

Pro laboratorní měření byl vybrán zabezpečovací bezdrátový systém typu OASIS, JA-80. Bezdrátový systém OASIS vytvořila firma Jablotron a je vhodný pro všechny typy obytných objektů, kanceláří, garáží aj. Jelikož je systém sestaven z více zabezpečovacích prvků, byly vybrány pouze určité z nich, a tím se celkově urychlil průběh měření. Instalace je snadná a rychlá.

Systém OASIS pracuje s bezpečným kódovaným rádiovým signálem na frekvenci 868 MHz s velkým dosahem mezi jednotlivými prvky systému. Šířka pásma systému Oasis pracujícího na frekvenci 868 MHz je 200 kHz a přenosová rychlost je 9600 bps. Všechny součásti systému mají zdroj energie lithiové baterie a při běžném provozu vydrží přibližně 3 roky. Baterie jsou kontrolovány systémem průběžně a čas výměny oznámí. Bezdrátový systém OASIS je certifikovaný dle normy EN 50 131 pro 2. stupeň zabezpečení.



Obr. 16 *System OASIS JA-80.*

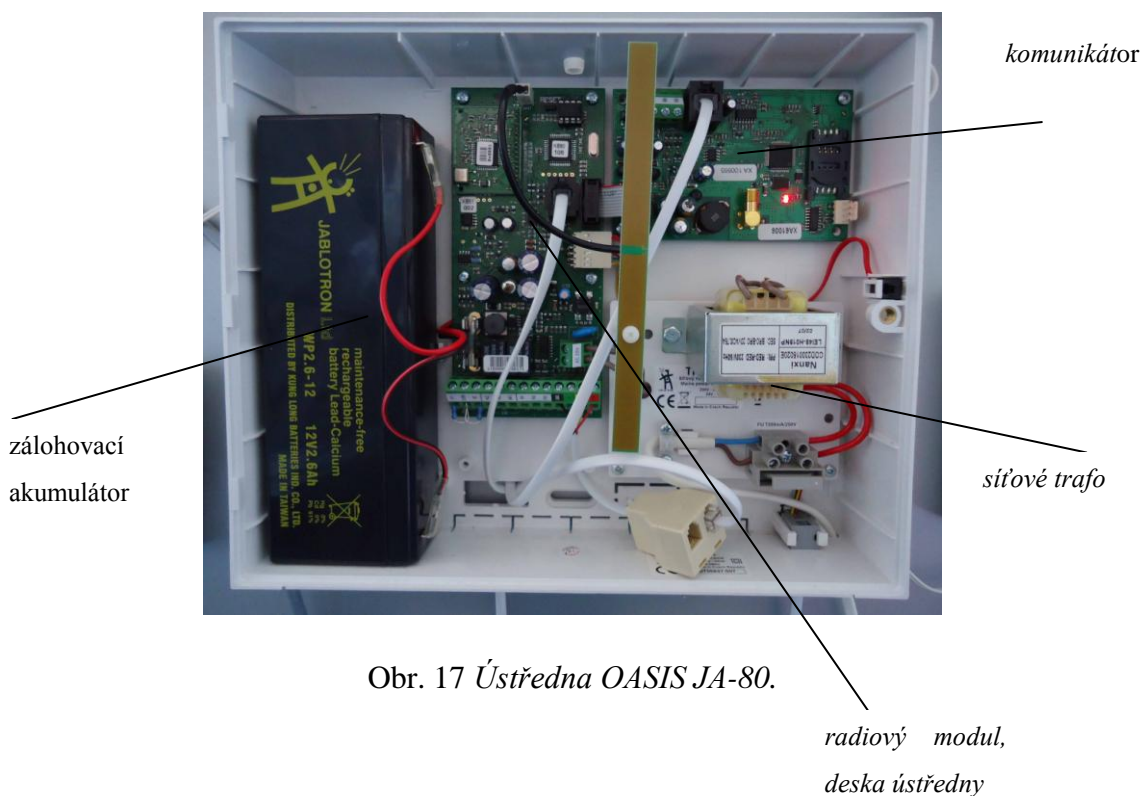
4.1 Ústředna systému OASIS JA-80

Ústředna je řídicí jednotkou systému Oasis, má 50 adres a 4 drátové vstupy. Pro rádiovou komunikaci používá systém OASIS spolehlivý komunikační protokol s pracovním kmitočtem 868 MHz. Je zde použita technologie plovoucího kódování a digitální přenos.

Nastavení systému je možné provádět připojením k počítači nebo dálkově pomocí některého z komunikátorů. Můžeme si vybrat mezi GSM komunikátorem, LAN + telefonní linkou nebo hlasovým telefonním komunikátorem. Systém můžeme ovládat kódem, kartou nebo čipem, dálkovým ovladačem nebo dálkově přes mobilní telefon a internet.

Důležité informace o systému se zaznamenávají do interní paměti ústředny. Umožňuje hlásit vybrané události textovými zprávami, zasílat podrobnosti na pult centralizované ochrany (dále jen PCO) nebo informovat technika.

Periferie jsou rozděleny do tří sekcí: A, B, C, uplatňují se při neděleném systému, částečném hlídání nebo rozdělení systému na více částí (např. pro obytné prostory: A (odpolední hlídání), AB (noční hlídání), ABC (kompletní hlídání)). Systém můžeme programovat drátovou nebo bezdrátovou klávesnicí, připojeným počítačem se SW O-LINK, případně mobilním telefonem nebo z internetu.



Obr. 17 Ústředna OASIS JA-80.

Pro ucelení systému pro měření byla vybrána bezdrátová klávesnice, detektor pohybu (JA-80P), dveřní magnetický detektor (JA-80M), dálkový ovladač (RC-80), detektor rozbití skla (JA-85B) a akustický signalizátor, které můžete vidět na obrázcích uvedených níže.



Obr. 18 Klávesnice.



Obr. 19 Detektor pohybu, magnetický detektor, klíčenka, glassbreak.

4.2 Aktivace systému OASIS, JA-80

Systém OASIS se používá při výuce, proto je nutné prvně zkontrolovat zapojení a provést restart ústředny. Restart ústředny byl proveden odpojením akumulátoru i sítě, spojením propojky reset, a byl zpět zapojen akumulátor a síť, vyčkali jsme na rozblikání zelené kontrolky a propojku reset rozpojili. Po provedení resetu se nám všechny bezdrátové periferie a uživatelské kódy vymažou. Zpět se nám nastavil Master kód, a to na číslo 1234 a servisní kód na 8080.

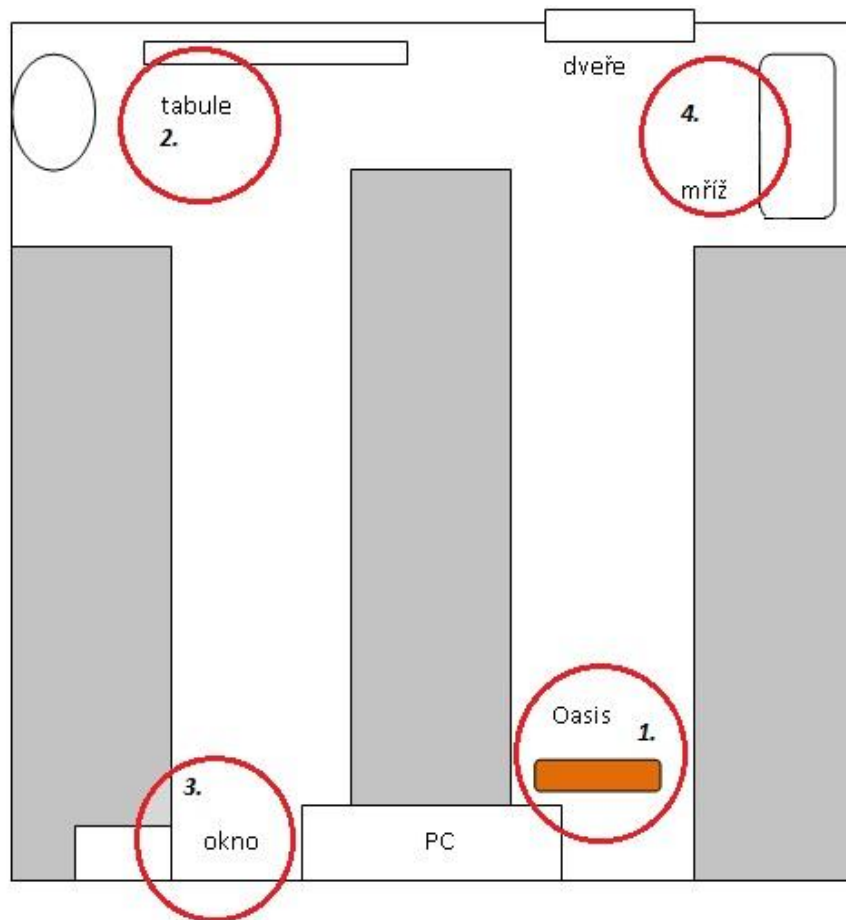
Vybrané bezdrátové periferie byly přidány k adresám ústředny naučením v režimu Servis. Do režimu Servis jsme přešli pomocí zadání na klávesnici *0 servisního kódu 8080. Stisknutím klávesy 1 byl spuštěn učící režim a nabídka první volné adresy. Svítí-li nám u zadané periferie signálka A, byla adresa naučena. Periferie byla na zvolenou adresu naučena zapojením baterie. Dokončení se provedlo klávesnicí #. Po dokončení jsme se ujistili, že spolu všechny periferie bezchybně komunikují, a to měřením kvality signálu, který byl proveden též v režimu Servis zadáním na klávesnici 298. Po provedení by se nám měla zobrazit kvalita signálu v rozsahu 1/4 až 4/4. Aktivovaná periferie by měla mít intenzitu signálu alespoň 2/4, pokud je signál slabší, měli bychom periferie přemístit, případně nastavit vyšší citlivost ústředny nebo připojit externí anténu. Měření udává kvalitu signálu přenášeného z periferie do ústředny. V případě nastavení byla kvalita signálu 4/4.

5 POPIS MĚŘENÍ

Praktická část diplomové práce je zaměřena ke splnění zadání bodu 4, který se týká měření elektromagnetické odolnosti bezdrátového systému OASIS typu JA-80 v kmitočtovém rozsahu od 500 MHz do 1,0 GHz a zjištění, zda působení elektromagnetického smogu ovlivňuje dané zařízení. Měření bylo provedeno na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně, na Fakultě aplikované informatiky v místnosti D315. V místnosti byla instalována bezpečnostní mříž a jiné učební pomůcky mechanických zábranných systémů, rádio, počítač a jiné přístroje, které mohly ovlivnit měření z hlediska vyzařování elektromagnetického smogu a mohlo by zde docházet k odrazům elektromagnetických vln, proto spadají prostory k měření do klasifikace normy ČSN EN 61000-2-9 (EMC - Část 2: Prostředí - Oddíl 9: Popis prostředí HEMP - vyzařované rušení - Základní norma EMC) do kategorie II. - Vnitřní všeobecné, kde musí veškeré zařízení pracovat i při působení vlivů vyskytujících se všeobecně v objektech, kde není stálá teplota. Při střední relativní vlhkosti 68-75% se teploty předpokládají v rozmezí od -10 °C do + 40 °C. Bylo provedeno měření pro průmyslové prostředí typu I. a II.

5.1 Metodika měření

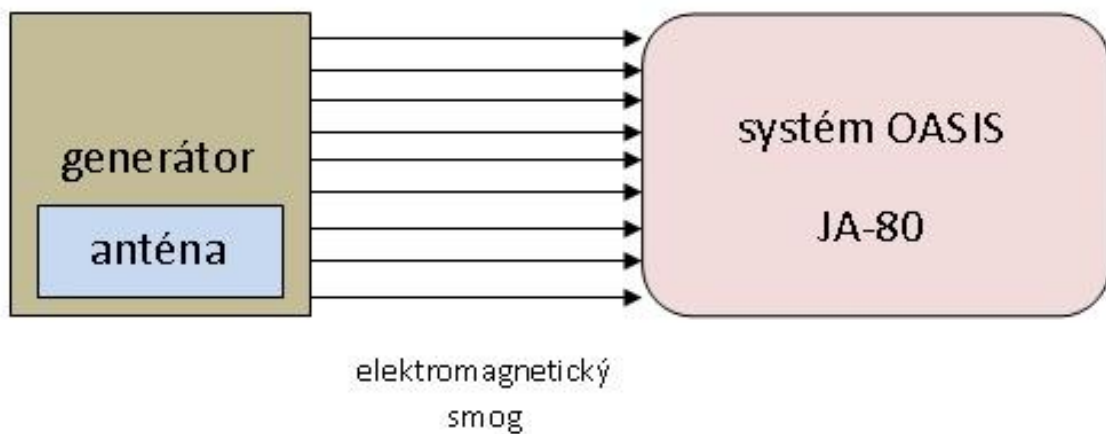
Pro přehled zjištění elektromagnetického smogu se provedlo měření blízké zóny pro stacionární pole měřicím přístrojem digitální analyzátor elektrosmogu ME 3851A pro systém Oasis a vybrané prvky (ústředna, bezdrátová klávesnice, detektor pohybu, dveřní magnetický detektor). Vyzařování elektrického a magnetického pole se měřilo ve čtyřech bodech v místnosti, které můžete vidět na obrázcích níže. Rozměry místnosti jsou uvedeny na obrázku 23. Na přístroji byla nastavena volba rozsahu na 200 nT/Vm, frekvenční rozsah 50 až 100 kHz a postupně se nastavovalo zvlášť měření elektrického pole a magnetického pole. Měřila se síla intenzity elektrického pole uvedená v V/m a magnetická indukce uvedená v nT. Měření bylo provedeno dle obrázku 14.



Obr. 20 Vizualizace místnosti D315.

Soustava přístrojů pro měření elektromagnetické odolnosti systému OASIS typu JA-80 byla složena z:

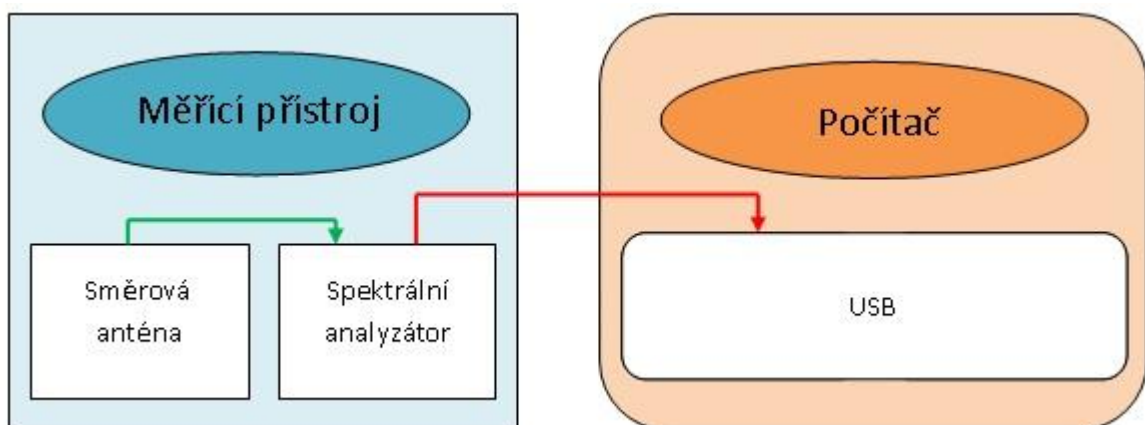
- systému OASIS JA-80
- generátoru Rohde&Schwarz SM 300
- logaritmicke periodické anténa SAS-510-2



Obr. 21 Schéma měřicí aparatury 1.

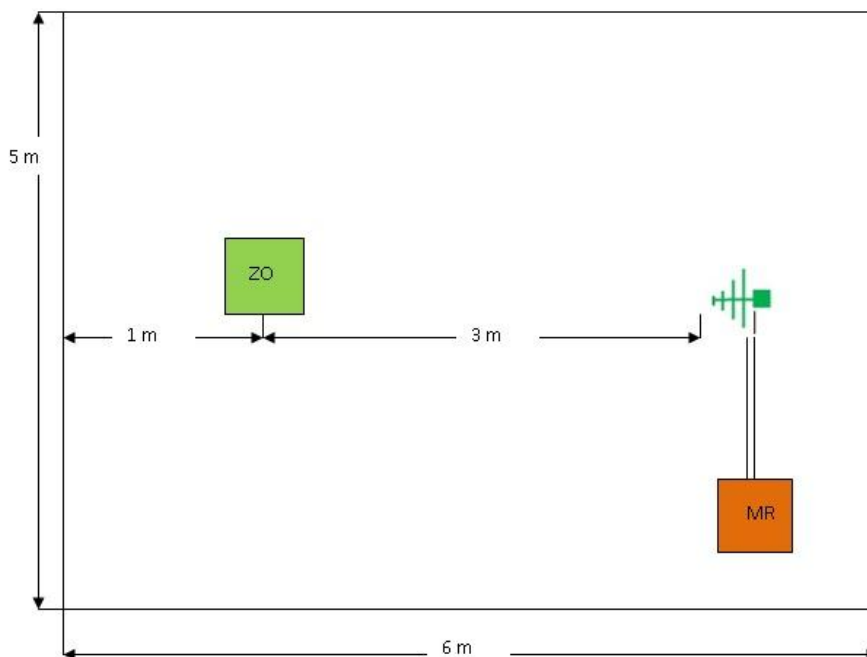
Soustava přístrojů pro kontrolu měření elektromagnetické odolnosti systému OASIS typu JA-80 byla složena z:

- vlastního počítače s programovým vybavením
- ručního spektrálního analyzátoru Rohde&Schwarz FSH3
- směrové antény Rohde&Schwarz HE 200



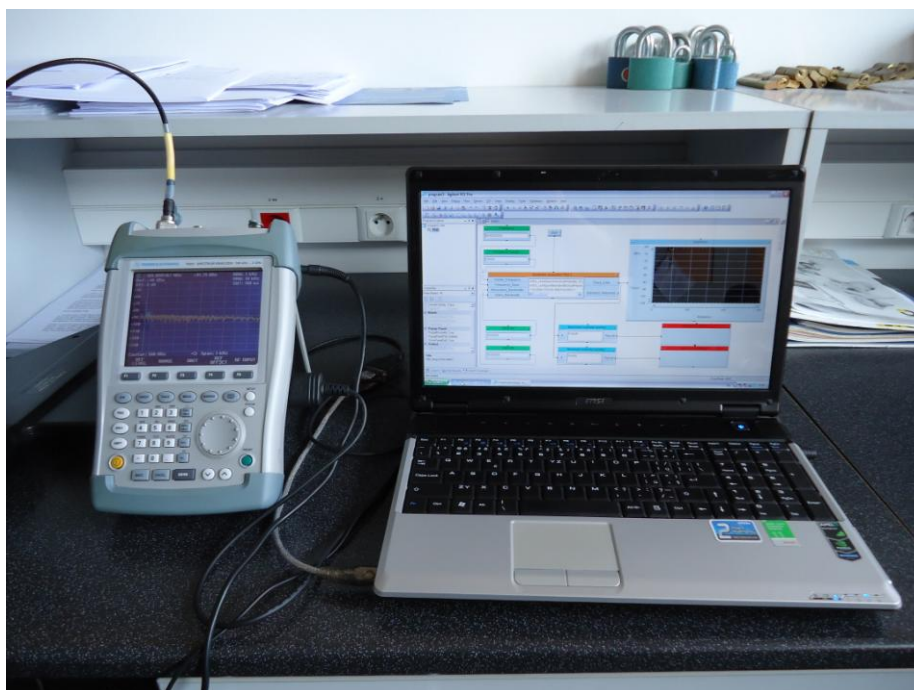
Obr. 22 Schéma měřicí aparatury 2.

První realizace zapojení a nastavení měřící aparatury byla provedena dle schématu 1. Systém Oasis, měřený objekt byl umístěn do místnosti D315 (obr. 20 a obr. 23) a přímo před ním byla umístěna logaritmicko-periodická anténa (obr. 25). Po provedení aktivace systému Oasis dle popisu v kapitole 4.2 byla provedena kalibrace logaritmicko-periodické antény pro správnou funkci anténního měření. K anténě byl připojen standardně stíněný napájecí kabel (koaxiální kabel s impedancí 50Ω) od vysílacího zařízení - generátoru. Na generátoru byly postupně nastaveny funkce: kmitočet nf. signálu 9,6 kHz tak, aby byl schopen správně komunikovat se systémem OASIS a amplituda 100 mV. Přenosová rychlost systému Oasis je 9600 bps. Bylo též nutné přepnout v nastavení frekvenční modulaci. Nastavení úrovně vf. signálu bylo zvoleno pro tři rozsahy: -20 dBm, -5 dBm a 5 dBm. Výstupní vf. signál byl postupně nastaven dle zadání pro frekvenci od 500 MHz do 1 GHz. Měření bylo provedeno po 10 MHz a v oblasti 868 MHz, bylo provedeno měření po 1 MHz pro přesnější měření. Měření bylo realizováno pro vertikální polohu logaritmicko-periodické antény ve vzdálenostech 3 m, 1 m, 25 cm a pro horizontální polohu ve 3 m vzdálené od systému Oasis. Při měření byl systém Oasis celou dobu aktivní ve stavu poplachu. Na níže uvedeném obrázku je formou blokového schématu uvedeno anténní měření ve vzdálenosti 3 m od zkoušeného objektu.



Obr. 23 Anténní měření v místnosti D315 (ZO - zkoušený objekt, MR měřič rušení).

U soustavy přístrojů měření dle schématu 2 bylo provedeno propojení směrové antény s ručním spektrálním analyzátozem koaxiálním kabelem, kabelem RS-232 s redukcí UC 232A (redukce pro USB konektor), k osobnímu počítači. V počítači byl spuštěn program Agilent Wee Pro ke komunikaci a správné nastavení se spektrálním analyzátozem. Pro kontrolu správnosti vysílaného signálu generátorem bylo měřeno spektrum vyzařované logaritmicko-periodickou anténou, přičemž se na spektrálním analyzátozu pomocí programu Agilent Wee Pro nastavila centrální frekvence, která se postupně měnila s nastavením na generátoru, šířka pásma pro systém Oasis, šířka pásma mezifrekvenčního filtru (filtr RBW) na hodnotu 300 kHz, a filtr VBW na hodnotu 1 MHz. Program byl spuštěn po kliknutí na tlačítko start v programu, a zobrazil vysílané spektrum a maximální hodnotu daného spektra, tzv. peak (maximální špička daného signálu). Interval snímání daného spektra byl 4 sekundy. Aparatura byla použita především pro ověření funkčnosti zařízení pro kontrolu správného generování zkušebních vyzařených signálů dle obrázku 24. Na obrázku níže je znázorněno připojení spektrálního analyzátozu k osobnímu počítači se spuštěným programem Agilent Wee Pro.



Obr. 24 Spektrální analyzátoz *Rohde&Schwarz FSH3* připojený k počítači.

Na uvedeném obrázku je znázorněno anténní měření elektromagnetické odolnosti systému Oasis, při vyhlášení poplachu.



Obr. 25 Měření odolnosti systému OASIS, JA-80.

6 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

V uvedené kapitole jsou prezentovány a uvedeny naměřené hodnoty a následné zobrazení hodnot v 3D prostředí programu Matlab.

Následující tři po sobě jdoucí tabulky prezentují výsledky měření elektromagnetické odolnosti bezdrátového systému OASIS typu JA-80. V prvním sloupečku tabulek je uvedena frekvence, následuje výkon (ve sloupci uveden atribut 0 - systém neovlivněn, 1 - systém ovlivněn) a poslední sloupec označený atributem 1 znamená, že byl systém Oasis ve stavu poplachu. Pro velké množství naměřených hodnot byly tabulky pro snadnější přehled zjednodušeny a nejsou v nich uvedeny všechny hodnoty.

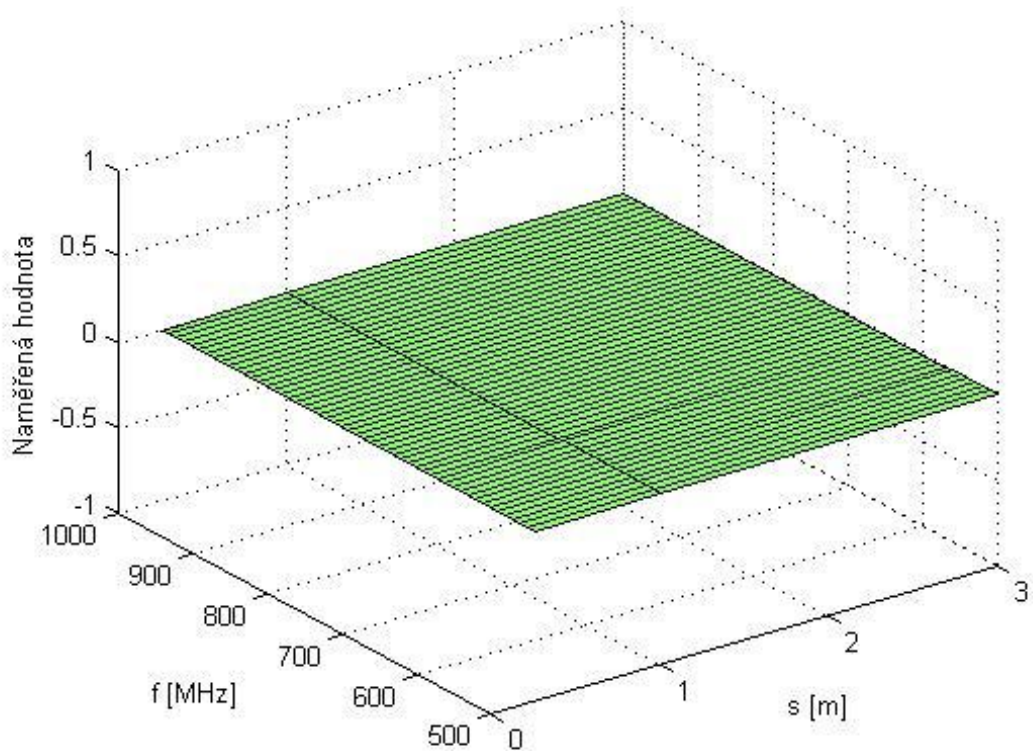
f [MHz]	Výkon [dBm]			Oasis
	-20	-5	5	
500 - 600	0	0	0	1
600 - 700	0	0	0	1
700 - 800	0	0	0	1
800 - 900	0	0	0	1
900 - 1000	0	0	0	1

Tab. 5 Hodnoty naměřené pro všechny vzdálenosti.

Výše uvedená tabulka znázorňuje hodnoty naměřené ve všech vzdálenostech ve vertikální poloze antény (25 cm, 1 m, 3 m) a ve vzdálenosti 3 m v horizontální poloze antény. Měření bylo provedeno ve frekvenčním rozsahu od 500 - 1000 MHz po inkrementu 10 MHz. Bylo provedeno 50 měření v každé vzdálenosti a pro kontrolu se provádělo 2x.

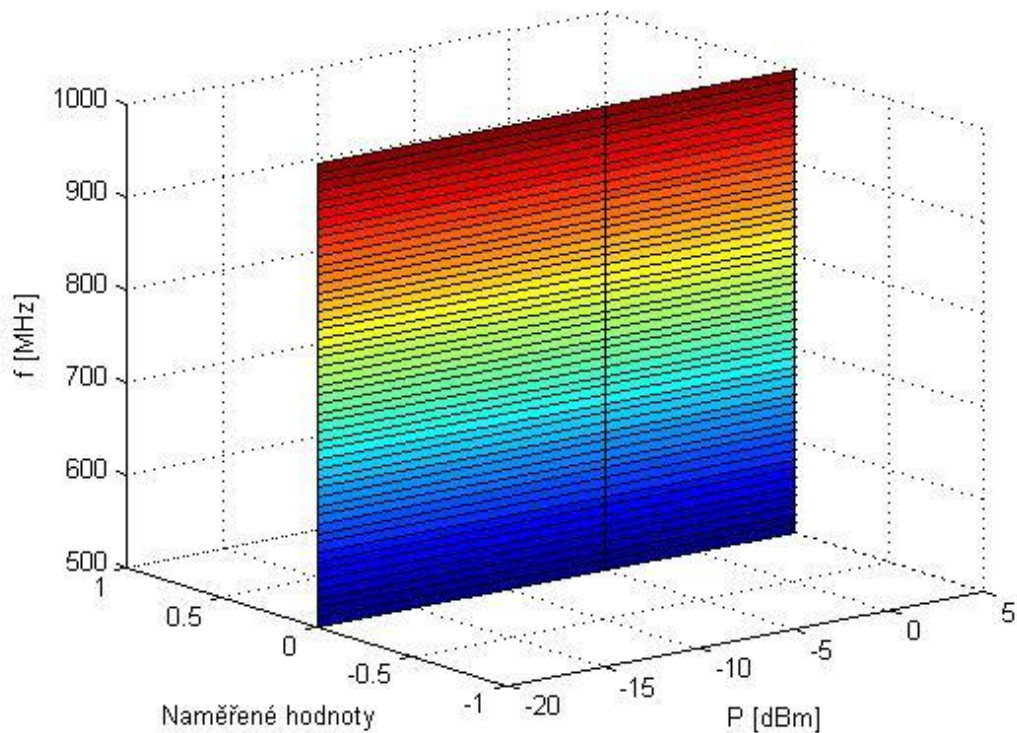
Hodnoty z tabulky 5 byly využity pro následující grafické vyhodnocení provedené v 3D prostředí programu Matlab.

Na následujících obrázcích je znázorněno měření elektromagnetické susceptibility bezdrátového systému Oasis. Na obrázku 26 jsou na ose x uvedeny vzdálenosti měření od zkoušeného objektu a na ose y frekvenční rozsah v MHz. Osa z popisuje, zda byl zkoušený objekt ovlivňován elektromagnetických smogem.



Obr. 26 Vizualizace naměřených hodnot pro všechny vzdálenosti.

Na níže uvedeném obrázku jsou na ose x uvedeny výkony, pro které se provádělo měření, osa z znázorňuje frekvenční rozsah v MHz a osa y popisuje ovlivňování zkoušeného objektu.



Obr. 27 Vizualizace naměřených hodnot pro dané výkony.

Následující tabulka splňuje stejné požadavky jako tabulka předchozí. Při měření byl zúžen frekvenční rozsah od 800 - 900 MHz, abychom se nejvíce přiblížili pracovnímu pásmu 868 MHz systému Oasis. Postupovalo se po intervalu 2 MHz a bylo provedeno 50 měření v každé z uvedených vzdáleností pro všechny zadané výkony. Následně bylo měřeno po intervalu 1 MHz ve stejném kmitočtovém rozmezí pro ještě větší přiblížení. Bylo realizováno 400 měření, aby se v průběhu měření předešlo chybnému naměřením hodnot.

f [MHz]	Výkon [dBm]			Oasis
	-20	-5	5	
858	0	0	0	1
859	0	0	0	1
860	0	0	0	1
861	0	0	0	1
862	0	0	0	1
863	0	0	0	1
864	0	0	0	1
865	0	0	0	1
866	0	0	0	1
867	0	0	0	1
868	0	0	0	1
869	0	0	0	1
870	0	0	0	1
871	0	0	0	1
872	0	0	0	1
873	0	0	0	1
874	0	0	0	1
875	0	0	0	1
876	0	0	0	1
877	0	0	0	1
878	0	0	0	1
879	0	0	0	1
880	0	0	0	1
881	0	0	0	1
882	0	0	0	1
883	0	0	0	1
884	0	0	0	1

Tab. 6 Hodnoty naměřené při zúženém frekvenčním rozsahu.

Bylo realizováno ještě jedno měření přímo pro zadané frekvenční hodnoty nejbližší pracovnímu pásmu systému Oasis 868 MHz.

f [kHz]	Výkon [dBm]			Oasis
	-20	-5	5	
867990	0	0	0	1
867992	0	0	0	1
867994	0	0	0	1
867996	0	0	0	1
867998	0	0	0	1
868000	0	0	0	1
868002	0	0	0	1
868004	0	0	0	1
868006	0	0	0	1
868008	0	0	0	1
868010	0	0	0	1

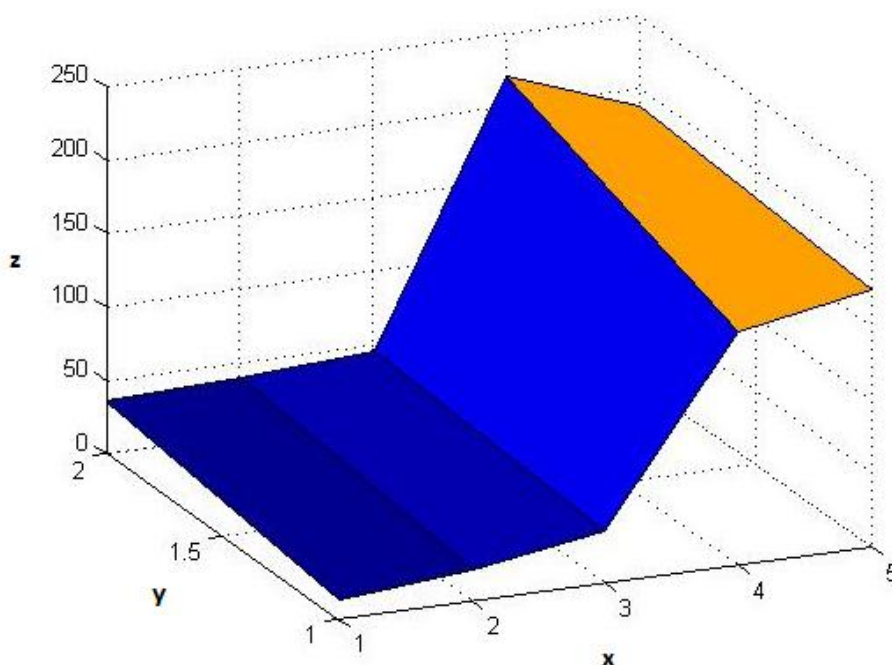
Tab. 7 Hodnoty naměřené v nejbližším okolí frekvence 868 MHz.

Následující tabulka prezentuje výsledky měření vyzářeného pole v určených bodech místnosti tak, jak je popsáno v kapitole 5. Magnetické pole lze vypočítat podle matematického vztahu 7.

Prostor	Elektrické pole [V/m]	Magnetické pole [nT]		
		18,9	24,7	17,5
u dveří (1)	12,9	18,9	24,7	17,5
u tabule (2)	21,2	15,2	13,4	34,6
u okna a PC (3)	35,1	21,9	37,2	14,2
u rádia (4)	159,1	132,9	78,4	157,1
vodní filtr + zářivka (5)	175,2	128,2	29,1	134,9

Tab. 8 Naměřené hodnoty elektrického a magnetického pole.

Následující obrázek popisuje grafické zobrazení výsledků měření vyzářeného pole v určených bodech místnosti. Osa x popisuje prostor, ve kterém bylo měřeno dle tabulky 9, osa y znázorňuje elektrické a magnetické pole a na ose z jsou uvedeny naměřené hodnoty.



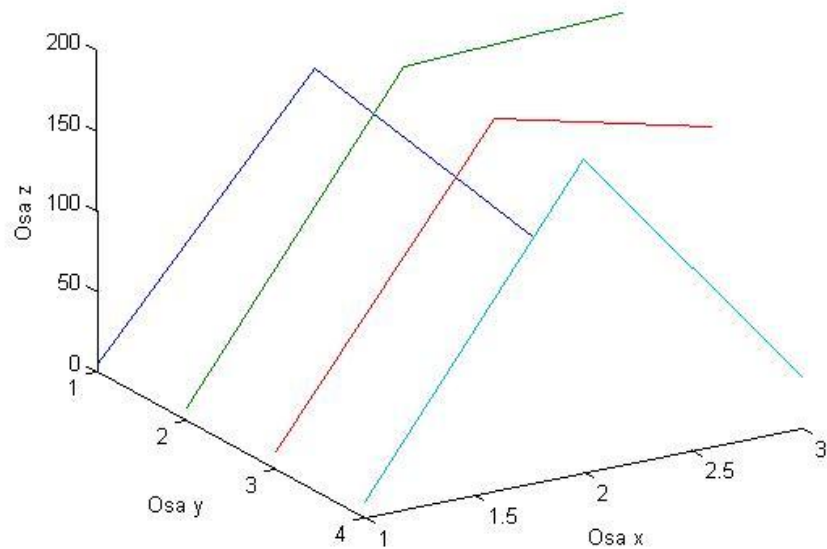
Obr. 28 Grafické vyhodnocení tabulky 9.

Níže uvedená tabulka prezentuje výsledky měření elektrického pole v blízké zóně systému Oasis. Měřily se vybrané prvky ve stavu klidu (baterie), v aktivaci (při napájení) a v poplachu.

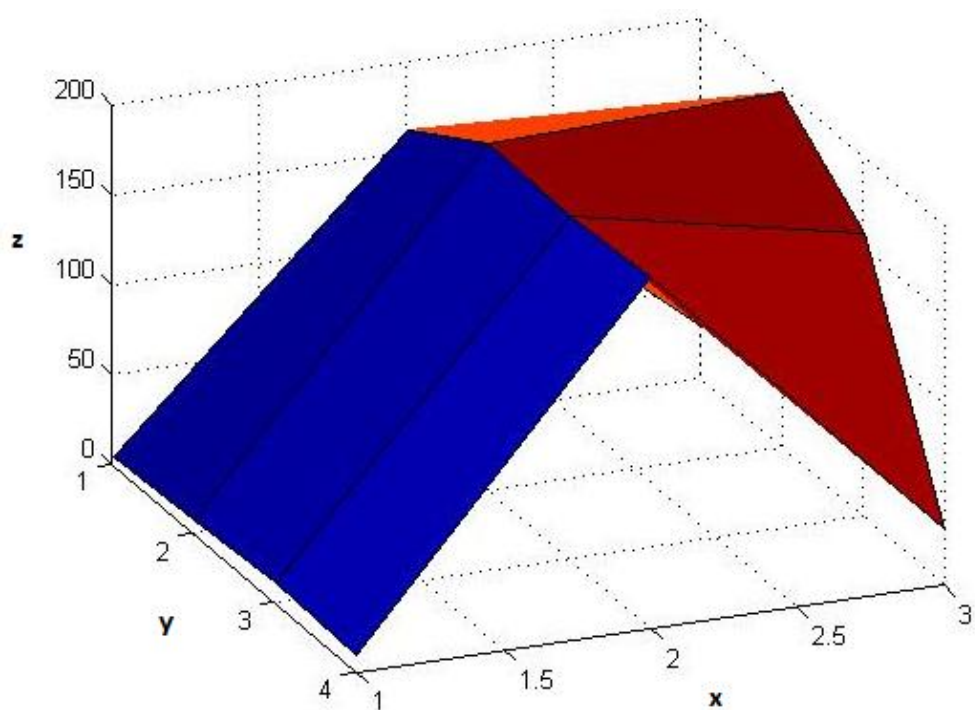
Prvek	Elektrické pole [V/m]		
	v klidu (baterie)	v aktivaci (napájení)	v poplachu
PIR	4,2	161,5	28,2
klávesnice	0,76	192,6	198,1
ústředna	11	190,9	157,2
magnet. kontakt	9,2	195,5	31,8

Tab. 9 Naměřené hodnoty elektrického pole.

Následující obrázek znázorňuje grafické zobrazení výsledků měření elektrického pole v blízké zóně systému Oasis. Osa x znázorňuje určené stavy dle tabulky 10, osa y čtyři vybrané prvky měření a na ose z jsou uvedeny naměřené hodnoty.



Obr. 29 Spojnicový graf prezentující vyhodnocení tabulky 10.



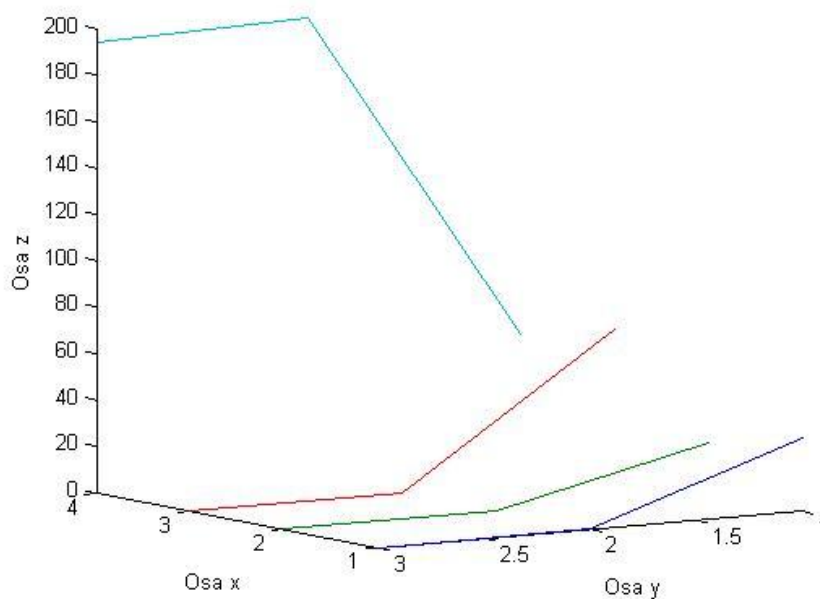
Obr. 30 Plošný graf prezentující vyhodnocení tabulky 10.

Níže uvedená tabulka prezentuje výsledky měření magnetického pole v blízké zóně systému Oasis. Měřily se vybrané prvky ve stavu klidu (baterie), v aktivaci (při napájení) a v poplachu.

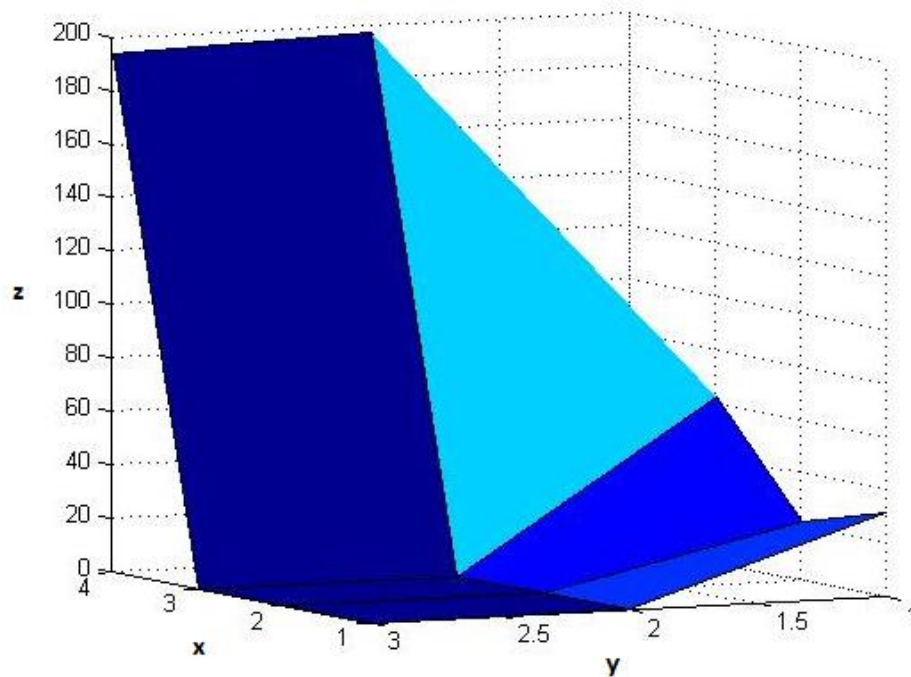
Prvek	Magnetické pole [nT]								
	v klidu (baterie)			v aktivaci (napájení)			v poplachu		
PIR	11,9	13,8	25,9	69,8	198,2	0	191,7	173,1	0
klávesnice	11,3	12,1	14,2	0	196,2	0	0	192,2	0
ústředna	22,1	25,1	52,8	0	0	0	0	0	0
magnet. kontakt	31,6	17,2	38,8	31,4	41,1	190,1	32,1	21,4	190

Tab. 10 Naměřené hodnoty magnetického pole.

Následující obrázek znázorňuje grafické zobrazení výsledků měření elektrického pole v blízké zóně systému Oasis. Osa x znázorňuje čtyři prvky dle tabulky 10, osa y stavy nastavené při měření a na ose z jsou uvedeny naměřené hodnoty. K přesnému grafickému zobrazení bylo nutné vypočítat magnetické pole dle matematického vztahu 7.



Obr. 31 Spojnicový graf prezentující vyhodnocení tabulky 11.



Obr. 32 Plošný graf prezentující vyhodnocení tabulky 11.

6.1 Chyby měření

Pro měřicí soustavu dle schématu 2 (spektrální analyzátor FSH3 a směrová anténa HE 200), která byla použita ke kontrole správnosti vysílaného signálu generátorem, bylo provedeno 5 shodných měření pro stejný měřicí bod, pro zjištění chyby měření. Naměřené referenční hodnoty pro soustavu dle zapojení schématu 2 jsou zobrazeny v níže uvedené tabulce.

Výkon [dBm]	Referenční hodnoty [dBm]				
-20	-20,1	-20	-20,2	-20,1	-20
-5	-5	-5,1	-5,09	-5,1	-5
5	5,1	5	5	5,1	5,2

Tab. 11 Naměřené referenční hodnoty dle zapojení schématu 2.

Chyba měření je statisticky vyhodnocena prostřednictvím směrodatné odchylky měření. Směrodatná odchylka je ukazatelem, který značí do jaké míry se od sebe liší měřená data. Jedná se o rozptyl dat v okolí centrální naměřené hodnoty. Pro výpočet byl použit následující vzorec:

$$s = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n^2}} \quad [39] \quad (8)$$

kde:

n - počet naměřených hodnot

x - konkrétní naměřená data

Následující rovnice 9, 10 a 11 prezentují výpočty chyb měření dle následujících nastavených výkonů, které jsou uvedeny v tabulce 11.

$$s = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n^2}} = \sqrt{\frac{5 * 2016,06 - 10080,16}{25}} = 0,0056 \quad (9)$$

$$s = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n^2}} = \sqrt{\frac{5 * 127,9281 - 639,5841}{25}} = 0,0022 \quad (10)$$

$$s = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n^2}} = \sqrt{\frac{5 * 129,06 - 645,16}{25}} = 0,0056 \quad (11)$$

U měření digitálním analyzátozem elektrosmogu ME 3851A bylo provedeno též 6 shodných měření. Měření bylo provedeno ve stejném měřicím bodě pro intenzitu elektrického i magnetického pole.

Systém Oasis	v poplachu				
elektrické pole [V/m]	157,2	157,9	158	157,7	157,9
magnetické pole [nT]	192,9	192,3	193	192	192,8

Tab. 12 Naměřené referenční hodnoty elektrického a magnetického pole.

Z naměřených hodnot, které jsou uvedeny v tabulce 12, jsou podle vzorce 8 vypočítány směrodatné odchylky. Rovnice 12 zachycuje chybu měření pro intenzitu elektrického pole a rovnice 13 chybu měření pro intenzitu magnetického pole.

$$s = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n^2}} = \sqrt{\frac{5 \cdot 124410 - 622047,7}{25}} = 0,0824 \quad (12)$$

$$s = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n^2}} = \sqrt{\frac{5 \cdot 185474,5 - 927369}{25}} = 0,148 \quad (13)$$

6.2 Shrnutí

V praktické části diplomové práce byla realizována zkouška odolnosti dle normy ČSN EN 50 130-4, stanovující požadavky na odolnost komponent požárních systémů, zabezpečovacích systémů a systémů přivolání pomoci. Jak již bylo uvedeno na začátku, dle klasifikace normy EN 61000-2-9 pro definování vlivů prostředí spadá svým určením pro prostory kategorie **II – vnitřní všeobecné**. Dle požadavků ČSN EN 50 130-4 musí zařízení v daném prostředí vykazovat normální funkci při vystavení rušivých signálů do úrovně od běžných zařízení (např. PC, zářivkové osvětlení, televizor apod.).

Měřením bylo zjištěno, že systém OASIS typu JA-80 od firmy Jablotron je ve frekvenčním rozsahu od 500 MHz do 1 GHz a s měřeným výkonem -20, -5 a 5 dBm odolný vůči elektromagnetickému smogu, což je uvedeno v tabulkách 5 - 8 a graficky znázorněno na obrázcích 26 a 27. Při měření se v místnosti nacházela bezpečnostní mříž, počítač, rádio, akvárium s filtrem a nízkotlaké výbojky (zářivky) pro zdroj světla v místnosti. Zářivky a počítač byly při měření zapnuty, avšak ostatní zařízení byla v klidovém stavu. Měření byla prováděna v místnosti neodstíněné vzhledem k elektromagnetickému vlnění, a v důsledku těchto specifikací mohlo být měření chybné. Měřicí soustava přístrojů byla správně nastavena a pro přesnost měření bylo každé měření provedeno znovu pro kontrolu a dle výše uvedeného matematického vzorce byla vypočítána směrodatná odchylka pro přesnost měření měřících přístrojů. Systém Oasis při měření nevykazoval chyby, proto z hlediska normy ČSN EN 50 130-4 zabezpečovací systém OASIS typu JA-80 vyhovuje.

Při měření digitálním analyzátozem elektrosmogu ME 3851A, nastavení frekvenčního rozsahu 50 až 100 kHz bylo zjištěno, že elektrické a magnetické pole (vypočítané dle uvedeného matematické vztahu) vyzařované do prostoru nabývalo hodnot:

- prostor: E složka: 12,9 - 175,2 V/m; B (H) složka: 35,69 - 220,2 nT
- prvky v klidu: E složka: 0,76 - 11 V/m; B (H) složka: 21,8 - 62,5 nT
- prvky v aktivaci: E složka: 161,5 - 195,5 V/m; B (H) složka: nelze naměřit
- prvky v poplachu: E složka: 28,2 - 198,1 V/m; B (H) složka: nelze naměřit

Hodnoty jsou vedeny v tabulkách 9 - 11 a graficky znázorněny na obrázcích 28 - 32. U tabulky 12 jsou ve sloupečku magnetické pole (u stavů v aplikaci a v poplachu) znázorněny nuly, jelikož nebylo možné naměřit hodnoty ve frekvenčním rozsahu od 50 do 100 kHz. Z uvedených hodnot vyplývá, že nejvyšší úroveň záření byla zjištěna u ústředny systému Oasis. Hodnoty zde nebylo možné naměřit ani při zakrytování ústředny.

ZÁVĚR

Elektronické a elektrotechnické systémy zabezpečovací techniky jsou stále více v popředí zájmu. Lidé budou techniku pro zabezpečení svých domů, pozemků a cenností zdokonalovat. Otázkou však zůstávají vlivy na okolní prostředí, vlivy na živé organismy a působení rušivých signálů na různé zařízení.

V teoretické části diplomové práce jsem pro seznámení se s oblastí elektromagnetického smogu vytvořila stručný úvod do této problematiky. Práce popisuje zdroje rušení rozšířené v životním prostředí a jejich možné působení na organismus člověka. Mezi přirozené zdroje rušení patří především elektrické výboje v ovzduší, prudké změny zemského magnetického i elektrického pole a elektromagnetické vlnění. Teoretická část popisuje problematikou šíření elektromagnetických vln a jejich typů. Umělými zdroji rušení mohou být například i domácí elektrické a elektronické přístroje.

Pro správnou funkci zařízení fungujících v podmínkách elektromagnetické kompatibility je nutné zajistit, aby odolnost zařízení proti elektromagnetickému rušení byla vyšší, než je skutečná úroveň rušení v místě instalace zařízení, a též je nutné, aby zařízení neovlivňovalo samo sebe. Pokud tato okolnost není splněna, je nutné zvýšit odolnost zařízení proti elektromagnetickému rušení nebo snížit hladinu rušení v místně instalace. V praxi se projevuje jako nejvhodnější použít vzájemně obě tyto možnosti.

Cílem praktické části diplomové práce bylo provést měření elektromagnetických vln v kmitočtových rozsazích od 500 MHz do 1 GHz. Byla měřena elektromagnetická susceptibilita bezdrátového systému OASIS, JA-80 vzhledem k elektromagnetickému smogu. Měření bylo provedeno pro průmyslové prostředí typu I. a II. a zkouška se prováděla v místnosti D315 na Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Jednalo se o laboratorní místnost, která je určena pro výuku elektronických zabezpečovacích systémů. Soustava pro měření elektromagnetické odolnosti byla sestavena ze Systému OASIS, JA-80, generátoru SM 300 a spektrálního analyzátoru FSH3, směrové antény HE 200 od renomované firmy Rohde & Schwarz, logaritmicke-periodické antény SAS-510-2 od firmy A. H. Systems a osobního počítače (viz. obr. 24 a 25). Digitálním analyzátozem elektrosmogu ME 3851A se provádělo měření vyzářování elektrického a magnetického pole v místnosti. Generátor od firmy Rohde & Schwarz byl použit jako měřicí přístroj pro generování přesných zkušebních signálů pro laboratorní aplikace, pro

zkoušky elektromagnetické odolnosti. Generátor byl propojen s logaritmicko-periodickou anténou standardním stíněným vodičem s impedancí 50 Ω . Frekvenční rozsah antény byl 290 až 2000 MHz. Pro ověření správnosti zapojení, funkčnosti zařízení a kontrolu správného generování zkušebních vyzářených signálů byl použit spektrální analyzátor SM 300 zapojen standardním stíněným vodičem se směrovou anténou HE 200, obě zařízení od firmy Rohde & Schwarz. Spektrální analyzátor byl propojen s osobním počítačem stíněným vodičem RS-232. Pro komunikaci se spektrálním analyzátozem byl využit program vytvořený v prostředí Agilent Vee Pro.

Naměřené hodnoty byly prezentovány v tabulkách, které byly zjednodušeny pro velké množství naměřených hodnot a nejsou v nich uvedeny všechny naměřené hodnoty, v kapitole 6. Pro vizualizaci hodnot byla využita 3D podpora programu Matlab, která slouží pro zobrazování, modelování a simulaci, nejen pro zpracování naměřených hodnot v 2D a 3D prostředí. Podpora byla využita především pro zřetelnější přehled zobrazení naměřených hodnot v 3D grafech.

Měření nebylo provedeno v bezodrazové anechoické komoře vhodné pro měření rušení vyzařováním a proto mohlo být měření chybné vlivem elektromagnetického smogu. Měřicí aparatura byla správně nastavena a pro přesnost bylo každé měření provedeno znovu pro kontrolu.

Měřicí technika byla použita dle norem EN 61000-4-1 Přehled zkoušek odolnosti, základní norma EMC a EN 61000-4-3 Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole - zkouška odolnosti. Odolnost zařízení byla též prověřena dle mezinárodní normy CISPR 16-1 (Specifikace metod a přístrojů na měření rádiového rušení a odolnosti vůči rádiovému rušení, Část 1: Přístroje na měření rádiového rušení a odolnosti vůči rádiovému rušení) a dle normy CISPR 16-2 (Část 2: Metody měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti vůči rušení). Z výsledků měření bylo zjištěno, že bezdrátový zabezpečovací systém OASIS typu JA-80 je odolný proti elektromagnetickému smogu.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

Electronic and electrotechnical systems are more and more in the forefront of interest. People will improve safety technologies for their houses, estates and valuables. But a question is how the electromagnetic interference influences ambient environment, live organisms and various appliances.

In theoretical part of the thesis, in order to familiarize with the area of electromagnetic smog, I have created a short introduction into these problems. The work describes resources that are widespread in the environment and their possible effects on the human organism. Above all the electric discharges in the air, rapid changes of earth magnetic and electric field and electromagnetic waves belong among natural sources of electromagnetic interference. Theoretical part describes problems of electromagnetic wave propagation and types of electromagnetic waves. Home electrical and electronic appliances can be artificial sources of electromagnetic interference.

To ensure proper function of the appliances which are working in conditions of electromagnetic compatibility, it is necessary to provide a higher level of electromagnetic interference immunity as compared to real level of electromagnetic interference at the place where the appliance is installed. In addition, the appliance itself shall be electromagnetic compatible. If this condition is not met, it is necessary to increase electromagnetic interference immunity or decrease the level of electromagnetic interference at the place of installation. A combination of both of these possibilities appears to be optimal in practice.

Practical part of the thesis aims at measuring electromagnetic waves in frequency range of 500 MHz to 1 GHz. The electromagnetic susceptibility of wireless system OASIS JA-80 with respect to electromagnetic smog has been measured. The measurement has been performed for the industrial environment, type I. and II., the test has been performed in the room D315 at the Faculty of Applied Informatics of the Tomas Bata University in Zlín. It was a laboratory room which is intended for teaching the problems of electronic safety systems. The system for measuring electromagnetic interference immunity has been built from the system OASIS JA-80, generator SM 300 and spectrum analyzer FSH3, directional antenna HE 200 from reputable company Rohde & Schwarz, log-periodic antenna SAS-510-2 from the company A. H. Systems and personal computer (see Fig. 24

and 25). The measurement of magnetic and electric field radiation in the room has been performed with the help of digital analyzer of electromagnetic smog ME 3851A. The generator from the company Rohde & Schwarz has been used as measuring instrument to generate accurate testing signals for laboratory applications, for electromagnetic interference immunity tests. The generator has been interconnected with log-periodic antenna by standard shielded conductor of 50Ω impedance. Frequency range of the antenna was 290 to 2000 MHz. The spectrum analyzer SM 300 has been used to verify correct connection and function of the equipment and to check if testing radiated signals have been properly generated. It has been connected by standard shielded conductor with directional antenna HE 200, both devices are from the company Rohde & Schwarz. The spectrum analyzer has been interconnected with personal computer by shielded conductor RS-232. A program created in Agilent Vee Pro environment has been used for communication with spectrum analyzer.

Measured values have been presented in the tables which have been simplified due to large number of measured values, and so all of measured values are not stated in them, see Chapter 6. For visualization of the values, it has been used 3D support of the program Matlab, which serves for imaging, modeling and simulation, not only for processing measured values in 2D and 3D environment. The support has been used above all to provide clearer imaging of measured values in 3D charts. The measurement has not been performed in anechoic room suitable for measuring radiated disturbance, and therefore the measurement could be faulty influence of electromagnetic smog. Measuring apparatus has been correctly set and each measurement has been repeated in order to check it. Measuring technology has been used according to the Standards EN 61000-4-1 Electromagnetic compatibility (EMC). Testing and measurement techniques. and EN 61000-4-3 Electromagnetic compatibility (EMC). Testing and measurement techniques. Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test. The immunity of the appliance has also been verified according to international standard CISPR 16-1 (Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus) and according to the standard CISPR 16-2 (Part 2: Methods of measurement of disturbances and immunity). It follows from measurement results that wireless safety system OASIS, type JA-80, is resistant to electromagnetic smog.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *CENELEC* [online]. 2009 [cit. 2009-03-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.cenelec.eu>>.
- [2] ČERNOHORSKÝ, Dušan; NOVÁČEK, Zdeněk. *Antény a šíření rádiových vln*. Přednášky. Skriptum FEI VUT Brno. MJ servis, s.r.o., Brno, 2001.
- [3] ČERNOHORSKÝ, Dušan; NOVÁČEK, Zdeněk; RAIDA, Zbyněk. *Elektromagnetické vlny a vedení*. Skriptum FEI VUT Brno. VUTIUM Brno, 1999.
- [4] *Encyklopedie elektromagnetické kompatibility* [online]. c2004 [cit. 2009-03-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.urel.feec.vutbr.cz/EncyklopedieEMC/index.php?>>
- [5] *Frankonia* [online]. 2009 [cit. 2009-04-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.frankonia-emv.com/>>.
- [6] HUDEC, Jaroslav. *Přepětí a elektromagnetická kompatibilita*. Hradec Králové, 1996.
- [7] *Humusoft* [online]. 2009 [cit. 2009-03-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.humusoft.cz/index.php?lang=cz>>.
- [8] *IEC* [online]. c2009 [cit. 2009-03-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.iec.ch/>>.
- [9] IVANKA, Ján. Druhy elektromagnetického rušení, jeho zdroje a způsoby šíření. *Security magazin*. 2005. ISSN 1210-8723.
- [10] IVANKA, Ján. Interferenční rušení systémů a elektromagnetická kompatibilita z pohledu bezpečnosti. In Sborník příspěvků ze 7. konference, Internet a konkurenceschopnost podniku, UTB ve Zlíně. Zlín, s. 32. ISBN 80-7318-269-6.
- [11] IVANKA, Ján. Měření magnetických polí elektrických systémů v průmyslu komerční bezpečnosti II. In *Security magazin*. Praha : Familymedia, 2006, č. 4/2006, s. 4-6. ISSN 1210-8723.
- [12] IVANKA, Ján. Měření magnetických polí elektrických systémů v průmyslu komerční bezpečnosti. Zlín : UTB.
- [13] IVANKA, Ján. Měření rušivých signálů pomocí antén. In *Sborník z 10. vědecké konference s mezinárodní účastí*. Žilina : FŠI Žilinská univerzita, 2005. s. 211-214. ISBN 80-8070-425-2.

- [14] IVANKA, Ján. Metodiky měření antén v blízké zóně. *Security magazín*. 2007, č. 6, s. 38-41. ISSN 1210-8723.
- [15] IVANKA, Ján. Všeobecné zásady testování elektromagnetické odolnosti elektronických systémů. *Security magazín*. 2006, č. 2, s. 4-6. ISSN 1210-8723.
- [16] IVANKA, Ján; NAVRÁTIL, Petr. Anténní soustavy využívané pro měření elektromagnetických polí v PKB. In *Sborník přednášek : 33. mezinárodní konference TD - 2010*. Zlín : Diagon, 2010. s. 63-69. ISBN 978-80-7318-940-2.
- [17] KLVANŮVÁ, Hana. *Aktivační a uživatelský manuál bezdrátového systému typu OASIS*. Zlín, 2009. 63 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati.
- [18] KÖNIG, Holger; ERLACHER, Peter. *Neviditelná hrozba? : Elektromagnetická pole kolem nás*. Ostrava : Hel, 2001. 120 s.
- [19] KOVÁČ, Dobroslav; KOVÁČOVÁ, Irena; KAŇUCH, Ján. *EMC z hlediska teorie a aplikace*. Praha : BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-202-7.
- [20] KÜNZEL, Karel; ŽÁČEK, Jaroslav. EMC v technické praxi I: Legislativní požadavky. *Automa* [online]. 2006, č. 02 [cit. 2009-04-28].
- [21] *Log Periodic Antenna Model SAS-510-2 : Manual* : A. H. SYSTEMS.
- [22] MÍKA, Petr. *Grafické znázornění stacionárních magnetických polí*. Zlín, 2007. 79 s. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati.
- [23] MYSLÍK, Jiří . *Elektromagnetické pole - základy teorie*. Praha : BEN - Technická literatura, 2002. ISBN 80-86056-43-0.
- [24] *Návod k obsluze Digitální analyzátor elektrosmogu ME 3851A*. Germany : GIGAHERTZ SOLUTIONS, 20 s.
- [25] *Návod k obsluze Ruční spektrální analyzátor R&S FSH3*. Praha : ROHDE & SCHWARZ - PRAHA, s.r.o, 114 s
- [26] *Návod k obsluze Signálový generátor R&S SM 300*. Praha : ROHDE & SCHWARZ - PRAHA, s.r.o, 2004. 224 s.
- [27] *Návod k obsluze Směrová anténa R&S HE 200*. Praha : ROHDE & SCHWARZ - PRAHA, s.r.o, 28 s.

- [28] NOVÁČEK, Zdeněk. *Elektromagnetické vlny, antény a vedení*. Skriptum FEI VUT Brno. VUTIUM Brno, 2002. 132 s.
- [29] *OASiS Bezdrátový domovní systém : Skripta 2007/2008*. 117 s.
- [30] *Rohde & Schwarz* [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Rohde-Schwarz.com. Dostupné z WWW: <<http://www2.rohde-schwarz.com/product/he200.html>>.
- [31] SCHEJBAL, Vladimír. *Studie o metodikách měření antén v blízké zóně*. Pardubice. 2009.
- [32] SKOVAJSOVÁ, Kateřina, SPURNÁ, Helena. Rušivé signály elektromagnetické kompatibility a odolnost budov. In *TD 2008 - DIAGON 2008*. Zlín, 2008. s. 56-59. ISBN 978-80-7318-707-1.
- [33] SKOVAJSOVÁ, Kateřina. *Studium metod měření elektromagnetické kompatibility v průmyslu komerční bezpečnosti*. Zlín, 2009. 87 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati.
- [34] SLEZÁKOVÁ, Zuzana. *Měření elektromagnetické interference systému PCO Global*. Zlín, 2008. 92 s. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati.
- [35] SVACHINA, Jiří. *Elektromagnetická kompatibility : Základní principy a metody*. Brno : Ústav radioelektroniky VUT, 2001. 109 s.
- [36] SVOBODA, Jaroslav; VACULÍKOVÁ, Polina; VONDRÁK, Miroslav; ZEMAN, Tomáš. *Základy elektromagnetické kompatibility*. Praha : ČVUT, 1994.
- [37] VACULÍKOVÁ, Polina; VACULÍK, Emil. *Elektromagnetická kompatibility*. Praha: Grada Publishing, 1998.
- [38] *Www.jablotron.cz* [online]. 2008 [cit. 2011-05-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.jablotron.cz/component.php?cocode=section&seid=18>>.
- [39] *Www.support.microsoft.com* [online]. 2011 [cit. 2011-05-16]. Statistické funkce aplikace Excel: SMODCH. Dostupné z WWW: <<http://support.microsoft.com/kb/826406/cs>>.
- [40] ŽÁČEK, Jaroslav; KUNZEL, Karel. EMC v technické praxi II: Rušivé signály, jejich zdroje a šíření. *Automa* [online]. 2006, č. 03 [cit. 2009-04-28].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AO	Absorpční odbočnice
B	Magnetická indukce
bps	Bit za sekundu (hlavní jednotka přenosové rychlosti)
CISPR	Výbor pro rádiovou interferenci (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
ČSN	Česká národní norma
D	Tok elektrické indukce
dB	Decibely (základní jednotka intenzity zvuku)
dBm	Poměr výkonu v decibelech (jednotka výkonu)
E	Elektrická složka
EMC	Elektromagnetická kompatibilita
EMI	Elektromagnetická interference
EMS	Elektromagnetická susceptibilita
EN	Evropská norma
H	Intenzita magnetického pole
H (B)	Magnetická složka
Hz	Hertz (základní jednotka frekvence)
I	Proud
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise (International electrotechnical commission)
LAN	Lokální síť, počítačová síť (Local Area Network)
LISN	Umělá zátěž měření
MR	Měřič rušení
nf	nízkofrekvenční
PC	Počítač

PCO	Pult centrální ochrany
PIR	Pasivní infračervený detektor pohybu
PT	Proudový transformátor
R	Vzdálenost antén
R&S	Rohde & Schwarz
T	Tesla (základní jednotka magnetické indukce)
TE	Transversální elektrická vlna
TEM	Transversální elektromagnetická vlna
TM	Transversální magnetická vlna
USB	Sériová sběrnice (Universal Serial Bus)
vf	vysokofrekvenční
V/m	Volt na metr (základní jednotka intenzity elektrického pole)
ZO	Zkoušený objekt – zdroj rušení

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Dělení elektromagnetického spektra.[35].....	12
Obr. 2 Definice úrovní a mezí vyzařování a odolnosti.[35]	14
Obr. 3 Tvar Fresnelovy zóny, kde R_1 je poloměr zóny 1. [34][35]	19
Obr. 4 Způsoby měření rušivých elektromagnetických signálů.[35]	20
Obr. 5 Rovinná elektromagnetická vlna. [34].....	21
Obr. 6 Vyzařující vodič ve válcové soustavě, kulová souřadná soustava. [3][28]	24
Obr. 7 Struktura transversálních vln. [16]	25
Obr. 8 Přední část Generátoru Rohde&Schwarz SM 300.....	28
Obr. 9 Nákres logaritmicko-periodické struktury.[28]	29
Obr. 10 Logaritmicko-periodická anténa SAS-510-2.	31
Obr. 11 Spektrální analyzátor Rohde&Schwarz FSH3.....	33
Obr. 12 Směrová anténa Rohde&Schwarz HE 200. [30]	34
Obr. 13 Horizontální a vertikální diagram pro anténní modul 0,5 až 3 GHz.[27].....	35
Obr. 14 Měření magnetického pole.	35
Obr. 15 Digitální analyzátor elektrosmogu ME 3851A.[24]	36
Obr. 16 System OASIS JA-80.	37
Obr. 17 Ústředna OASIS JA-80.....	38
Obr. 18 Klávesnice.....	39
Obr. 19 Detektor pohybu, magnetický detektor, klíčenka, glassbreak.....	39
Obr. 20 Vizualizace místnosti D315.....	42
Obr. 21 Schéma měřicí aparatury 1.	43
Obr. 22 Schéma měřicí aparatury 2.	43
Obr. 23 Anténní měření v místnosti D315 (ZO - zkoušený objekt, MR měřič rušení).	44
Obr. 24 Spektrální analyzátor Rohde&Schwarz FSH3 připojený k počítači.....	45

Obr. 25 Měření odolnosti systému OASIS, JA-80.....	46
Obr. 26 Vizualizace naměřených hodnot pro všechny vzdálenosti.	48
Obr. 27 Vizualizace naměřených hodnot pro dané výkony.	49
Obr. 28 Grafické vyhodnocení tabulky 9.....	52
Obr. 29 Spojnicový graf prezentující vyhodnocení tabulky 10.	53
Obr. 30 Plošný graf prezentující vyhodnocení tabulky 10.....	53
Obr. 31 Spojnicový graf prezentující vyhodnocení tabulky 11.	54
Obr. 32 Plošný graf prezentující vyhodnocení tabulky 11.....	55

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Základní údaje generátoru Rohde&Schwarz SM300.	28
Tab. 2 Základní údaje logaritmicko-periodické antény SAS-510-2.	30
Tab. 3 Základní údaje spektrálního analyzátoru Rohde&Schwarz FSH3.....	32
Tab. 4 Základní údaje směrové antény Rohde&Schwarz HE 200.....	34
Tab. 5 Hodnoty naměřené pro všechny vzdálenosti.	47
Tab. 6 Hodnoty naměřené při zúženém frekvenčním rozsahu.....	50
Tab. 7 Hodnoty naměřené v nejbližším okolí frekvence 868 MHz.	51
Tab. 8 Naměřené hodnoty elektrického a magnetického pole.	51
Tab. 9 Naměřené hodnoty elektrického pole.	52
Tab. 10 Naměřené hodnoty magnetického pole.....	54
Tab. 11 Naměřené referenční hodnoty dle zapojení schématu 2.	55
Tab. 12 Naměřené referenční hodnoty elektrického a magnetického pole.	57