

Hodnocení účinnosti konstrukce stínících krytů pro účely EMC

Classification of shielding efficiency of construction boxes -
electromagnetic compatibility problem

Bc. František Slouka

Diplomová práce
2008



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav automatizace a řídicí techniky

akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. František SLOUKA
Studijní program: N 3902 Inženýrská informatika
Studijní obor: Automatické řízení a informatika

Téma práce: Hodnocení účinnosti konstrukce stínících krytů pro účely EMC.

Zásady pro vypracování:

- 1. Seznamte se s principy konstrukce stínících krytů v přístrojové technice.**
- 2. Prostudujte základní principy měření v oblasti EMC.**
- 3. Nastudujte normy používané v oblasti EMC.**
- 4. Navrhněte metodiku hodnocení kompozitních materiálů.**
- 5. Seznamte se přístrojovým vybavením laboratoře.**
- 6. Odzkoušejte navrženou metodiku hodnocení kompozitních materiálů.**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. PAUL, R., CLAYTON Electromagnetic compatibility. John Wiley & Sons (second edition), New Jersey, Canada 2006, ISBN 13-978-0-471-75500-5
2. DIPAK, L., SENGUPTA, VALDIS, V., LIEPA Applied electromagnetics and electromagnetic compatibility., John Wiley & Sons, New Jersey, Canada 2006, ISBN 13-978-0-471-16549-1
3. SVAČINA, J., Základy elektromagnetické kompatibility. VUT, Brno 2005, ISBN 80-214-2864-3
4. VACULÍKOVÁ, P., VACULÍK, E. aj. Elektromagnetická kompatibility elektrotechnických systémů. Grada Publishing, Praha 1998
5. KOVÁČ, D., KOVÁČOVÁ, I., KAŇUCH, J. EMC z hlediska teorie a aplikace. BEN -- technická literatura, Praha 2006, ISBN 80-7300-202-7
6. NOVÁČEK, Z., ČERNOHORSKÝ, D. Antény a šíření rádiových vln. FEKT VUT v Brně, MJ servis s.r.o., 2001.
7. CHATTERTON, P.A., HOULDEN, M.A. EMC - Electromagnetic Theory to Practical Design. John Wiley, New York 1992
8. <http://www.elektrorevue.cz>
9. <http://www.technickenormy.cz>
10. Firemní literatura Schaffner, Agilent, Rohde&Schwarz, Laure apod.

Vedoucí diplomové práce: doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
Ústav elektrotechniky a měření

Datum zadání diplomové práce: 22. února 2008

Termín odevzdání diplomové práce: 6. června 2008

Ve Zlíně dne 22. února 2008


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

V teoretické části diplomové práce bylo základním úkolem seznámit se s vědeckotechnickou disciplínou EMC (elektromagnetické kompatibility). Následně se seznámit se signály ovlivňující EMC, popřípadě jejich odstraněním. Dále se základními normami, které jsou v oblasti EMC nutné dodržovat. Úkolem v praktické části diplomové práce bylo navrhnout a odzkoušet metodiku hodnocení kompozitních materiálů, určeny zejména ke konstrukci dílů pro leteckou techniku. Měření bude prováděno z hlediska stínících účinků proti rušivým elektromagnetickým polím ve vysokofrekvenční oblasti spektra.

Klíčová slova: EMC, stínící účinnost, kompozitní materiál

ABSTRACT

A major task of theoretical part of this diploma thesis was to introduce science-technological discipline called EMC (Electromagnetical compatibility). After that to mention signals that influences EMC and furthermore how to get rid of them. Then introduce basic rules of EMC which has to be followed. The task of practical part of this paper was to design and test ranking method of composite materials intended mainly for construction of air planes technology parts. Measurement will perform - time in light of shady effects against disturbing electromagnetic fields in HF areas spectra.

Keywords: EMC, operation shielding, composite store

Zde bych chtěl velice poděkovat svému vedoucímu diplomové práce panu doc. RNDr. Vojtěchu Křesálkovi, CSc. za odborné vedení, rady a připomínky, které mi při řešení mé diplomové práce poskytoval. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Michalu Smolovi a panu Ing. Stanislavu Goňovi, Ph.D. za odbornou pomoc při řešení praktické části diplomové práce. Neméně veliký dík patří také mé rodině a mým přátelům, kteří mě v mé práci podporovali.

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně 6.6.2008

Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 ZÁKLADNÍ POJMY A ČLENĚNÍ OBORU EMC	11
1.1 ZÁKLADNÍ ŘETĚZEC EMC	11
1.2 ZÁKLADNÍ DĚLENÍ EMC	12
1.2.1 Elektromagnetická interference EMI.....	12
1.2.2 Elektromagnetická susceptibilita EMS.....	12
1.3 ZÁKLADNÍ POJMY OBLASTI EMC	13
2 SIGNÁLY RUŠENÍ A JEJICH PŘENOS	17
2.1 SIGNÁLY A ZDROJE RUŠENÍ	17
2.2 VAZBY PŘI PŘENOSU RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ	19
2.2.1 Induktivní vazba	20
2.2.2 Kapacitní vazba	21
2.2.3 Galvanická vazba.....	22
2.2.4 Elektromagnetická vazba.....	23
3 MOŽNOSTI OMEZENÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ	26
3.1 ODRUŠOVACÍ TLUMIVKY A TLUMIVKOVÉ FILTRY	27
3.2 ODRUŠOVACÍ KONDENZÁTORY	28
3.3 ELEKTROMAGNETICKÉ, ELEKTRICKÉ A MAGNETICKÉ STÍNĚNÍ	29
4 STÍNÍCÍ KRYTY URČENY PRO ZLEPŠENÍ EMC ZAŘÍZENÍ	31
4.1 MOŽNOSTI ZVÝŠENÍ ODOLNOSTI ZAŘÍZENÍ VŮČI ELEKTROMAGNETICKÉMU RUŠENÍ.....	31
4.2 VLIV KONSTRUKČNÍCH PRVKŮ STÍNÍCÍHO KRYTU NA VÝSLEDNOU ÚČINNOST STÍNĚNÍ	34
5 NORMY V OBLASTI EMC	39
5.1 ÚŘADY A ORGANIZACE VYDÁVAJÍCÍ SMĚRNICE A NORMY	39
5.2 DRUHY NOREM V OBLASTI EMC	40
5.3 TABULKOVÝ SEZNAM NOREM	42
II PRAKTICKÁ ČÁST	45
6 PRAKTICKÉ MĚŘENÍ	46
6.1 PROSTŘEDKY POTŘEBNÉ K PRAKTICKÉMU MĚŘENÍ	46
6.1.1 Spektrální analyzátor R&S FSP 40	47
6.1.2 Wattmetr R&S NRP	48
6.1.3 Signálový generátor R&S SMR 20.....	49
6.1.4 Antény R&S HF 906	50
6.1.5 Měřicí pracoviště - uspořádání	52
6.1.5.1 Zařízení pro uchycení měřených vzorků	52

6.1.5.2	Zařízení pro odstínění okolí měřených vzorků.....	53
6.1.6	Software používaný při měření.....	54
6.2	MĚŘENÉ VZORKY – MATERIÁLY.....	56
7	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	61
7.1	NÁVRH MĚŘICÍHO OKRUHU.....	61
7.2	NÁVRH PROGRAMU PRO MĚŘENÍ.....	64
7.3	NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY	66
7.3.1	První informativní měření	66
7.3.2	Měření všech vzorků	71
7.3.3	Paralelní řazení dvou dvojbranů	74
7.3.4	Měření vzorků pomocí stínící stěny a venkovní měření.....	75
7.3.5	Matematické ověření	78
7.4	DISKUSE MĚŘENÍ	79
	ZÁVĚR.....	82
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ	83
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	84
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	86
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	88
	SEZNAM TABULEK.....	90
	SEZNAM GRAFŮ.....	91
	SEZNAM PŘÍLOH.....	92

ÚVOD

Pojem elektromagnetická kompatibilita (EMC) se dá presentovat jako schopnost elektrotechnického zařízení, přístroje nebo systému pracovat i za podmínek či v prostředích, kde mohou působit i jiné zdroje elektromagnetických rušivých signálů a současně zařízení svoji vlastní „elektromagnetickou“ činností neovlivňovat své okolí nebo jiné přístroje. Tzn. nevysílat elektromagnetické vlnění - signály, které by mohly ovlivňovat nebo způsobit nesprávnou činnost (rušit) jiného elektrotechnického zařízení. Zjednodušeně EMC je schopnost správné funkce tzv. koexistence zařízení či systému nacházejícím se v elektromagnetickém poli.

Samotný vznik názvu „elektromagnetická kompatibilita“ je překládán z anglického slova „electromagnetic compatibility“, odtud také mezinárodně užívaná zkratka EMC, v německých textech se lze setkat s pojmem „Elektromagnetische Verträglichkeit“ (EMV).

Tato problematika se začala vědci a technickými pracovníky zabývat už kolem 30.let 20.století. Nicméně díky málo vyvinuté celkové technice civilizace v tomto období, se tato problematika začala brát jako nová vědecko-technická disciplína až kolem 60.let 20.století v USA. Bylo to samozřejmě za účely vojenského a kosmického výzkumu. Z prvopočátku tento obor zkoumal podmínky slučitelnosti fungování jednotlivých systémů a cesty směřující k její optimalizaci. Od 80. let 20. stol. se tento obor začal propracovávat i do dalších disciplín a lze konstatovat, že v dnešní době je každé elektrotechnické zařízení v tomto směru sledováno.

Jedním z předních průkopníků tohoto oboru neodmyslitelně patří H. M. Schlike, který roku 1968 vyslovil tuto myšlenku resp. větu: *„Systém sám o sobě může být dokonale spolehlivý, bude však prakticky bezcenný v provozu, pokud současně nebude elektromagneticky kompatibilní. Spolehlivost a elektromagnetická kompatibilita jsou neoddělitelné požadavky na systém, který má fungovat v každé době a za všech okolností.“* [1] S postupem času se zjišťovalo, že zařízení či systémy (a to jak technické, tak i biologické) musí být odolné proti působení rušivých signálů jiných zařízení a zároveň nesmí ovlivňovat svými vyzařovanými signály normální funkci ostatních zařízení. Přitom každé zařízení nebo jeho určitá část může být zároveň vysílačem (zdrojem) i přijímačem (obětí) rušení. A proto nelze slučovat elektromagnetickou kompatibilitu jen s pojmem jako spolehlivost zařízení, s níž byla dříve mylně ztotožňována.

V posledních desetiletích šel rozvoj elektroniky a elektrotechniky neskutečně výrazně kupředu, což má také za následek stále se zvyšující počet elektrických zařízení a spotřebičů, které vyzařují velké množství rušivých signálů, a to dá se říci v celé oblasti kmitočtových pásem od 0 Hz až stovky GHz.. Každé elektrotechnické zařízení používané v praxi je vystaveno rušivým vlivům pocházejících z různých cizích zdrojů elektromagnetického záření. Jsou to například různé zesilovače (vf, nf, impulsní), generátory vysokofrekvenčních a obrazových impulsů, vysokofrekvenční ohřev, komutátorové motory, výkonové spínače, stykače, relé, obloukové pece, výkonové polovodičové měniče a podobně.

V důsledku těchto nepříznivých účinků a pro jejich odstranění se vytvořila samostatná oblast EMC, a to elektromagnetické stínění, což je jedním z nejzákladnějších prostředků odrušení systémů či zařízení od vnějších rušivých elektromagnetických signálů a odrušení zase naopak okolních systémů od vlastního vyzařování.

A právě tyto prostředky (stínící materiály) pro odrušení přístrojů v letecké technice budou zkoumány v praktické části této diplomové práce. Společnost pro vývoj letecké techniky dodá několik vzorků stínících materiálů a cílem této práce bude vyhodnotit tyto vzorky z hlediska účinnosti elektromagnetického stínění na určitých frekvencích. Dále pak vypracovat způsob sběru dat z měřících přístrojů používaných při měření a následně navrhnout způsob a pracoviště nejvhodnějšího měření. Poté provést základní měření těchto vzorků.



I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁKLADNÍ POJMY A ČLENĚNÍ OBORU EMC

V této kapitole se seznámíme se základními pojmy, výrazy a teoriemi používanými v této vědecko-technické disciplíně (EMC).

1.1 Základní řetězec EMC

Jestliže zkoumáme elektromagnetickou kompatibilitu daného zařízení, přístroje nebo systému (a to jak technického, tak i biologického) vychází se vždy z tzv. základního řetězce EMC, který je naznačen na Obr. 1. Tento řetězec zdůrazňuje systémový charakter problematiky EMC, kdy v obecném případě vždy vyšetřujeme všechny tři jeho složky.



Obr. 1 Základní řetězec EMC a příslušné příklady u jednotlivých oblastí [1]

První oblast, **zdroj elektromagnetického rušení**, zahrnuje zkoumání obecných otázek mechanismů vzniku rušení, jeho charakteru a intenzity. Patří sem jednak tzv. přírodní (přirozené) zdroje rušivých signálů (Slunce, kosmos, elektrické procesy v atmosféře apod.), dále pak uměle vytvořené zdroje, tzn. vytvořené lidskou rukou („*man made noise*“) a to jsou například zapalovací systémy, elektrické motory, elektronická zařízení, světelné a tepelné zdroje - spotřebiče a v neposlední řadě samotná elektrická energie.[1]

Následující oblast, **přenosové prostředí a jeho elektromagnetické vazby**, se zabývá způsoby i cestami, kterými se energie ze zdroje rušení přenáší do rušených objektů – přijímačům rušení.

Poslední oblastí je už konečná **problematika přístrojů, respektive objektů či přijímačů**, které mohou být ovlivněny elektromagnetickými vlnami. Zabývá se klasifikací typů a podobnou specifikací rušivých účinků na základě analýzy konstrukčních a technologických parametrů zařízení a z toho plynoucí jejich elektromagnetickou odolností.

Vazby ve skutečných souvislostech těchto tří oblastí základního řetězce EMC jsou samozřejmě mnohem složitější než je zakresleno na Obr. 1. Každý systém nebo zařízení,

nebo jeho určitá část, může být současně jak vysílačem (zdrojem), tak i přijímačem elektromagnetického rušení. Přesto můžeme v technické praxi většinou označit element méně citlivý na rušení a generující větší úroveň rušení jako zdroj (vysílač) rušícího signálu a naopak, citlivější element s menší úrovní generovaného rušení za přijímač signálů. V obou směrech jsou přitom zdroj a přijímač vázány mezi sebou parazitní elektromagnetickou vazbou.

Ve skutečném řetězci EMC se rovněž nikdy nejedná o působení jediného zdroje rušení a jediného přijímače, ale řeší se vždy vzájemné vztahy více systémů vzájemně se všestranně ovlivňujících. Přesto obvykle postupujeme tak, že jeden systém považujeme nejprve za systém ovlivňující (zdroj rušení) a všechny ostatní za systémy ovlivňované (přijímače rušení). Pak tento vybraný systém naopak považujeme za ovlivňovaný a hodnotíme důsledky jeho možných ovlivnění všemi ostatními systémy, které tvoří tzv. obklopující elektromagnetické prostředí. Souhrn jejich rušivého působení se ve zkoumaném systému může projevat různými způsoby, počínaje zhoršením kvality systémových parametrů přes částečné nebo úplné omezení systémové funkce až k havarijním technologickým či bezpečnostním stavům. [1]

1.2 Základní dělení EMC

1.2.1 Elektromagnetická interference EMI

Je to proces, při kterém se signál generovaný zdrojem rušení přenáší prostřednictvím elektromagnetické vazby (prostředím) do rušených systémů. EMI se tedy zabývá identifikací zdrojů rušení, popisem a měřením rušivých signálů. EMI se také především zabývá analýzou příčin rušení a jejich odstraněním.[1]

1.2.2 Elektromagnetická susceptibilita EMS

Je to elektromagnetická citlivost či odolnost proti rušení a vyjadřuje schopnost zařízení a systému pracovat bez poruch nebo s přesně definovaným přípustným vlivem v prostředí, kde se vyskytuje elektromagnetické rušení. EMS se tedy prakticky zabývá technickým opatřením a zvyšováním elektromagnetické odolnosti vůči těmto vlivům. EMS se tedy především zabývá analýzou důsledků rušení bez odstraňování jejich příčin.[1]

1.3 Základní pojmy oblasti EMC

V dalších kapitolách diplomové práce se budou objevovat některé pojmy používané v oblasti elektromagnetické kompatibility, popřípadě v praktické části diplomové práce. Proto je třeba tyto některé pojmy definovat a vysvětlit. Ty jsou vybrány a citovány z Mezinárodního elektrotechnického slovníku [ČSN IEC 50(161)], jak jsou interpretovány normou [ČSN IEC 1000-1-1].

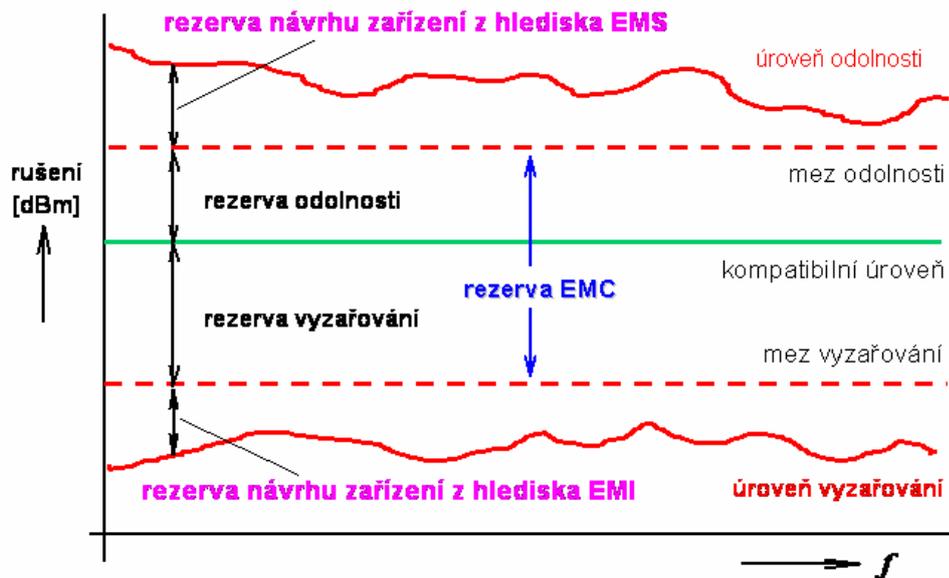
- ➔ **Elektromagnetické rušení** - jakýkoliv elektromagnetický jev, který může zhoršit činnost přístroje, zařízení nebo systému a nebo nepříznivě ovlivnit živou nebo neživou hmotu. (Elektromagnetické rušení může být elektromagnetický šum, nežádoucí signál nebo změna v přenosovém prostředí.[2]
- ➔ **Elektromagnetická interference (EMI)** - zhoršení provozu přístroje, zařízení nebo systému, způsobené elektromagnetickým rušením. [9]
- ➔ **Elektromagnetická kompatibilita (EMC)** - schopnost zařízení nebo systému fungovat vyhovujícím způsobem ve svém elektromagnetickém prostředí bez vytváření nepřijatelného elektromagnetického rušení pro cokoli v tomto prostředí. [9]
- ➔ **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. Ačkoli elektromagnetické pole je svým dosahem nekonečné, obvykle se uvažuje, jen ta část, která má význam pro pohyby těles v okolí nabitého tělesa, které pole vytváří. [1]
- ➔ **Anténa** – je to přístroj (zařízení), které přetváří (transformuje) elektromagnetické vlnění, šířící se podél vedení na elektromagnetické vlnění, šířící se ve volném prostoru a naopak. Proto je anténa nejdůležitější částí radiokomunikačního zařízení a nelze ji nahradit žádným jiným elektronickým obvodem. Během rádiového provozu se mezi vysílací a přijímací anténu prostřednictvím prostoru (éter) uskutečňuje bezdrátové spojení, při kterém dvakrát dochází k uvedené transformaci vysokofrekvenční energie.[7]
- ➔ **Kompozitní materiál** - nebo zkráceně **kompozit** je obecně vzato materiál ze dvou, nebo více substancí s rozdílnými vlastnostmi, které dohromady dávají výslednému

výrobku nové vlastnosti, které nemá sama o sobě žádná z jeho součástí. Jedním z neznámějších kompozitních materiálů je železobeton, kompozit z ocelových drátů a betonu (beton je kompozit z kameniva a cementu), dalším známým zástupcem je skelný laminát, kompozit z skleněných vláken a pryskyřice, obvykle polyesterové. Dalšími zástupci jsou kompozity z vláken uhlíkových a aramidových, ze kterých se vyrábějí extrémně pevné a lehké díly pro konstrukce letadel a raket, užití mají i v automobilovém průmyslu a v ozbrojených složkách (neprůstřelné vesty). Obvykle jedna ze součástí dodává výrobku pevnost a druhá slouží jako pojivo.[10]

- ➔ **Rádiový vysílač** – je elektronické zařízení, které pomocí antény vyzařuje elektromagnetický signál, který může být přijat rádiovým přijímačem.
- ➔ **Vysokofrekvenční signál** – je základem každého rádiového vysílače, vzniká v tzv. vysokofrekvenčním oscilátoru. Tento vysokofrekvenční signál z vysílače většinou nese nějakou informaci (radio, televize, jiná data) v podobě nízkofrekvenčního signálu. Říkáme, že vysokofrekvenční signál neboli nosná vlna je modulován. Modulace nosné probíhá v modulátoru vysílače. Takto zmodulovaný signál se zesílí a vyzáří anténou do prostoru. [4]
- ➔ **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.[1]
- ➔ **Úroveň** - velikost veličiny vyhodnocené předepsaným způsobem. (Úroveň veličiny může být vyjádřena v logaritmických jednotkách, například v decibelech vůči vztažné hodnotě.)
- ➔ **Úroveň rušení** - úroveň daného elektromagnetického rušení měřeného předepsaným způsobem. [9]
- ➔ **Úroveň vyzařování** - úroveň elektromagnetického rušení vyzařovaného konkrétním přístrojem, zařízením nebo systémem, měřená určeným způsobem.
- ➔ **Mez vyzařování** - maximální dovolená úroveň vyzařování.[1]

- **Úroveň odolnosti** - maximální úroveň elektromagnetického rušení působícího na konkrétní přístroj, zařízení nebo systém, při kterém se nevyskytuje zhoršení provozu.
- **Mez odolnosti** - nejnižší požadovaná úroveň odolnosti.
- **Kompatibilní úroveň** - předepsaná úroveň rušení, při které by měla být přijatelně vysoká pravděpodobnost elektromagnetické kompatibility.
- **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.) [1]
- **Potlačení rušení** - opatření, které zmenšuje nebo odstraňuje elektromagnetické rušení.[12]
- **Odrušování** - opatření k zeslabení nebo k odstranění elektromagnetické interference.

Mezi uvedenými jednotlivými úrovněmi a mezemi rušení existují základní vztahy. Znázorňuje je následující Obr. 2. Výše zmíněné rezervy respektují neurčitosti, které se při stanovení mezí vyskytují.

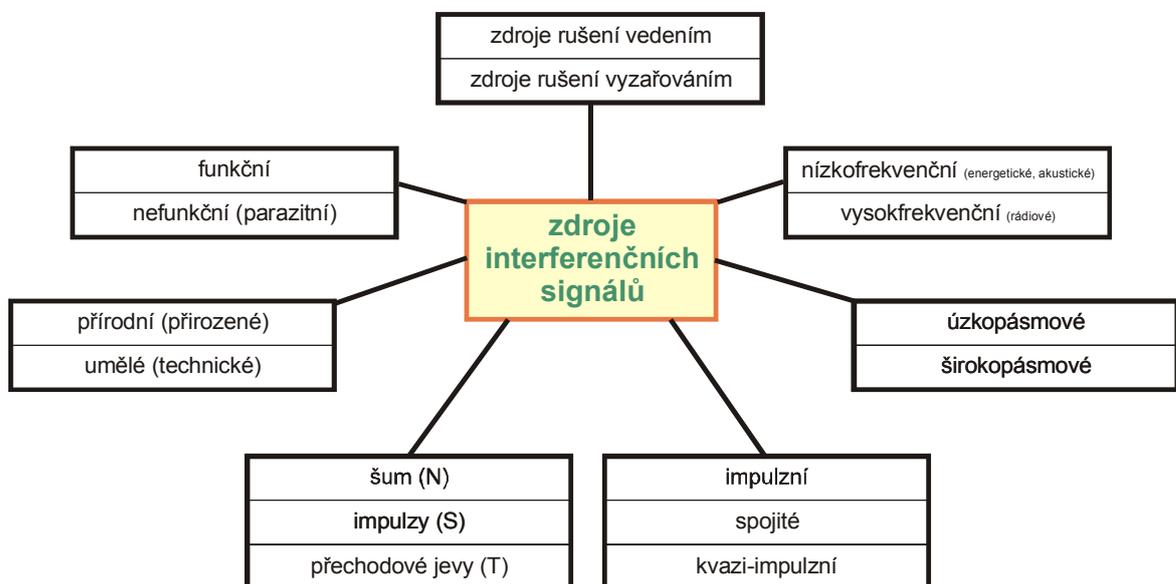


Obr. 2 Meze, rezervy vyzařování a odolnosti [9]

2 SIGNÁLY RUŠENÍ A JEJICH PŘENOS

2.1 Signály a zdroje rušení

Už výše bylo zmíněno, že každý elektrotechnický obvod nebo celý systém může být považován jak za zdroj elektromagnetického rušení, tak i samozřejmě za přijímač těchto signálů. Ovšem u některých systémů jejich vyzařovací schopnost rušivých signálů je tak vysoká, že je nelze považovat za přijímače rušení. Tyto systémy se v technické literatuře nazývají **interferenční zdroje** nebo též **zdroje elektromagnetického rušení**. Tyto zdroje lze rozdělit podle několika základních aspektů, jak je následně naznačeno na Obr. 3



Obr. 3 Základní rozdělení zdrojů elektromagnetického rušení [12]

Z tohoto celého rozdělení si následně popíšeme pouze rozdělení podle velikosti frekvence (nízkofrekvenční a vysokofrekvenční). Je to z důvodu toho, že tyto zdroje rušivých signálů budou následně zkoumány na vliv kompozitních materiálů v praktické části mé diplomové práce a to zejména tedy vysokofrekvenční (rádiové) zdroje rušení.

1) Nízkofrekvenční rušení – toto rušení se projevuje dvojím způsobem, a to:

- a) **Energetické nízkofrekvenční rušení** – působí zejména na napájecí energetickou soustavu v pásmu kmitočtů od nuly do 2 kHz a způsobuje hlavně zkreslení (deformaci) napájecího napětí a odebíraného proudu energetických sítí. To se projevuje rušivě v provozu zařízení, která jsou závislá na tvaru křivky napájecího

elektrického napětí, jako jsou např. ovládací a sdělovací systémy, osvětlení, stroje a přístroje a další. Zdrojem energetického rušení je obecně každá nelineární zátěž napájecí sítě způsobující deformaci odebíraného proudu.[1]

b) Akustické nízkofrekvenční rušení působí v pásmu do 10 kHz, kde negativně ovlivňuje funkci přenosových informačních systémů jako jsou telefony, rozhlas, měřicí a řídicí zařízení, komunikační a informační soustavy apod. Toto rušení generují prakticky všechny energetické zdroje, dále systémy číslicového přenosu dat, radary apod.[1]

2) Vysokofrekvenční (rádiové) rušení – jde vlastně o tzv. vzdálené elektromagnetické pole, které leží podle Radiokomunikačního řádu v pásmu od 10 kHz do 400 GHz. Ke zdrojům rádiového rušení patří prakticky všechny existující interferenční zdroje, neboť jejich rušivé signály sahají prakticky vždy až do těchto kmitočtových oblastí. Z obecného hlediska se z každého interferenčního zdroje šíří rušivý signál jak vyzářováním (prostorem), tak i po napájecích či sdělovacích vedeních. U různých zdrojů rušení však obvykle jeden z těchto způsobů šíření převažuje, a proto se interferenční zdroje někdy rozdělují na *zdroje rušení šířených vedením* a na *zdroje rušení šířených vyzářováním (prostorem)*. [1]

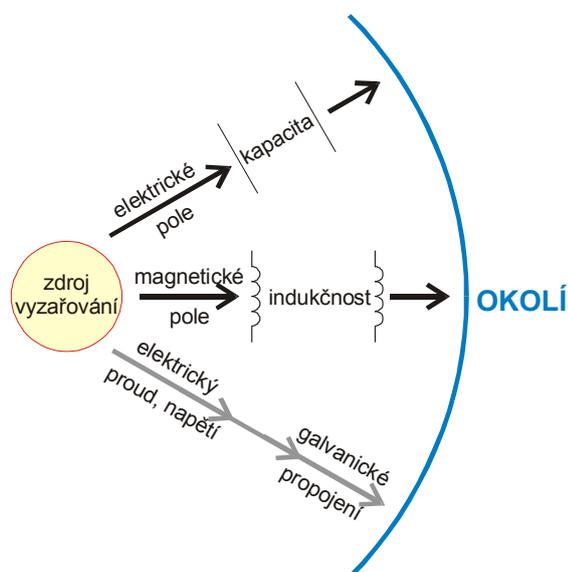
Vysokofrekvenční signál, který je základem každého rádiového vysílače, vzniká v tzv. vysokofrekvenčním oscilátoru. Tento vysokofrekvenční signál z vysílače většinou nese nějakou informaci (rádio, televize, jiná data) v podobě nízkofrekvenčního signálu. Říkáme, že vysokofrekvenční signál neboli nosná vlna je modulován. Modulace nosné vlny probíhá v modulátoru vysílače. Takto zmodulovaný signál se zesílí a vyzáří anténou do prostoru. Rušivé vysokofrekvenční signály se šíří jednak elektromagnetickým polem do okolí, jednak pronikají vnitřními kapacitami vazbami napájecího transformátoru do napájecí sítě. Zdrojem vysokofrekvenčních signálů jsou rovněž řídicí obvody tyristorových měničů a spínačů. Vytváří totiž impulsy s velmi strmou náběžnou hranou, a tedy i s harmonickými impulsy vysokého řádu. Vysokofrekvenční rušení působí nepříznivě na telekomunikační, řídicí a výpočetní zařízení nalézající se v okolí měniče. Nebezpečný je vliv tohoto rušení i na vlastní řídicí obvody měniče.[2]

Zdroje rušivých signálů	Kmitočtové pásmo	Způsob šíření
<i>zářivka</i>	0,1 Hz - 3 MHz 100 Hz - 3 MHz	po vedení prostorem
<i>rtuťová výbojka</i>	0,1 Hz - 1 MHz	po vedení
<i>kolektorové motory</i>	2 Hz - 4 MHz 10 Hz - 400 kHz	po vedení prostorem
<i>síťové vypínače</i>	0,5 Hz - 25 MHz	po vedení
<i>výkonové spínače</i>	10 Hz - 20 MHz 0,1 Hz - 20 MHz	po vedení prostorem
<i>spínané síťové zdroje</i>	0,1 Hz - 30 MHz 0,1 Hz - 30 MHz	po vedení prostorem
<i>koronový výboj</i>	0,1 Hz - 10 MHz	po vedení
<i>klopné obvody</i>	15 kHz - 400 MHz	prostorem

Tab. 1 Kmitočtové rozsahy rušení některých vybraných zdrojů [1]

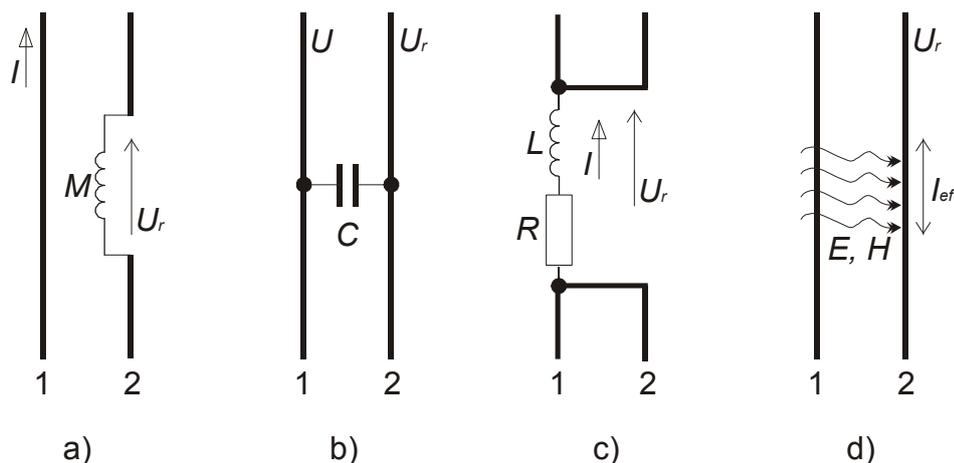
2.2 Vazby při přenosu rušivých signálů

Jednotlivé vzájemné elektromagnetické ovlivňování systémů se může vytvářet více přenosovými cestami (=vazbami). Tyto vazby můžeme dělit podle několika kritérií, ovšem to nejdůležitější a nezákladnější dělení je z fyzikálního principu. Rozlišujeme tedy vazbu induktivní, kapacitní, galvanickou a vazbu vyzařovací (vazba elektromagnetickým polem).



Obr. 4 Možnosti vzájemného elektromagnetického ovlivňování [5].

Pro představivost jednotlivých vazeb si tyto vazby lze ukázat zjednodušeně na dvou souběžných vodičích.



Obr. 5 Zjednodušená ukázka vazeb u dvou vodičů (a) induktivní, b) kapacitní c) galvanickou, d) elektromagnetické pole) [1]

2.2.1 Induktivní vazba

Induktivní magnetická vazba je typická pro dvě galvanicky oddělené smyčky elektrického obvodu, přičemž alespoň jednou z nich protéká časově proměnlivý proud. Tento v okolí kolem vodiče vytváří časově proměnlivé magnetické pole. Vliv jednoho obvodu na druhý je v tomto případě dán velikostí proudu, strmostí jeho nárůstu nebo poklesu, magnetickými vlastnostmi prostředí, ve kterém se obvody nacházejí a v neposlední řadě také uspořádáním obou obvodů.[5] Při časové změně magnetického toku Φ se v obvodu indukuje rušivé napětí dané Faradayovým indukčním zákonem jako

$$U_r = -\frac{d\Phi}{dt} \approx -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -S \frac{\Delta B}{\Delta t} = -\mu_0 \cdot S \frac{\Delta H}{\Delta t} \quad (1)$$

kde S je plocha smyčky, v níž je rušivé napětí indukováno. Je-li magnetické pole vytvářeno průtokem proudu I vodičem přibližně kruhového průřezu, lze pro jeho intenzitu H ve vzdálenosti r podle Ampérova zákona celkového proudu psát

$$H = \frac{I}{2\pi r} \quad (2)$$

, takže indukované rušivé napětí

$$U_r \approx -\frac{\mu_0 S}{2\pi r} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (3)$$

Parazitní induktivní vazba je nebezpečná zejména v případech velmi rychlých změn primárního (rušivého) proudu velké velikosti. Takové situace nastávají typicky při elektrostatických výbojích, ať již přírodních (blesk) či umělých lokálních výbojích (ESD). Proudové impulzy bleskového výboje dosahují strmosti jednotek až několika stovek kA/ μ s, proudové impulzy lokálních elektrostatických výbojů ESD mají typickou strmost jednotek až desítek A/ns.. podle vztahu (2) tak v řadě případů dochází k indukování nepřijatelně velikých rušivých napětí v parazitně vázaných elektronických obvodech.[1]

Pro minimalizaci popřípadě odstranění parazitní induktivní vazby z obvodu je nutné aby:

- Vzdálenost obou obvodů byla co největší
- Délka souběžně probíhajících vodičů obou obvodů byla minimální
- Velikost proudové smyčky rušeného obvodu (obvodu přijímače) byla co nejmenší
- Omezení induktivní vazby pomocí závitu K na krátko
- Kompenzace induktivní vazby zkroucením vodičů obvodu přijímače
- Minimalizace vazby kolmým natočením vazebních smyček
- Minimalizace vazby stínění obvodu přijímače

2.2.2 Kapacitní vazba

Kapacitní vazba (nemyslíme tím vlastní kapacitu smyčky elektrického obvodu) je typická především pro uzly galvanicky oddělených elektrických obvodů, mezi kterými existuje vzájemné působení prostřednictvím jednotlivých vektorů E_i intenzit elektrostatického pole. Vliv jednoho obvodu na druhý je dán strmostí nárůstu nebo poklesu potenciálu příslušného uzlu, velikostí plochy elektrod, dialektickými vlastnostmi prostředí, ve kterém se obvody nacházejí a geometrickým uspořádáním vodičů v příslušných uzlech. [5]

$$I_r = C \frac{dU}{dt} \approx C \frac{\Delta U}{\Delta t} \quad (4)$$

V technické praxi existuje velké množství různých variant parazitních kapacitních vazeb mezi různými typy obvodů. Nejčastější a nejznámější jsou tyto tři typy kapacitní vazby: [1]

- Kapacitní vazba galvanicky oddělených obvodů
- Kapacitní vazba mezi obvody se společným vodičem
- Kapacitní vazba vůči zemi

Jednou z nejvíce používaných ochran, která by zabránila vzniku kapacitních vazeb, je užití stínění jednotlivých vodičů nesoucí užitečný signál.

2.2.3 Galvanická vazba

Při galvanické vazbě se jedná o propojení jednotlivých elektrotechnických zařízení nebo jejich částí takovým způsobem, že existuje minimálně jeden nebo (v některých případech jako je např. napájecí síť) více společných vodičů propojujících tato zařízení, prostřednictvím kterých dochází k jejich vzájemnému ovlivňování. Vždy musíme vzít v úvahu velikosti pracovních kmitočtů jednotlivých zařízení a délky společných vodičů. Ve všech případech elektromagnetického ovlivňování jiných zařízení prostřednictvím galvanické vazby se jedná o skutečnost, že elektrotechnické komponenty nejsou ideální a tedy, že obsahují jisté parazitní kapacity, indukčnosti a reálné odpory.[5] Na nízkých kmitočtech (v pásmu kHz) je rozhodující část společné impedance tvořena její odporovou složkou R . v oblasti vyšších kmitočtů se výrazně uplatňuje především induktivní složka, na níž i poměrně malý proud prvního bloku může při rychlé časové změně vyvolat nezanedbatelné napětí, které je rušivé pro druhý blok zařízení. Indukčnost L společné impedance a rozložené kapacity spojů současně tvoří navíc rezonanční obvody, jejichž vlivem může být společná impedance (a tím i galvanická vazba) na některých vyšších kmitočtech dosti velká.[1]

$$U_r = L \frac{dl}{dt} \approx L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (5)$$

Galvanickou vazbu lze potlačit několika způsoby:

- Oddělovací transformátor
- Neutralizační transformátor, BALUN
- Feritové kroužky, případně feritové perličky

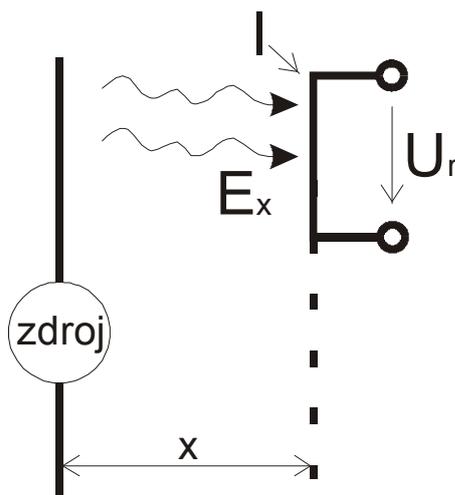
- Vedení s útlumovým pláštěm
- Elektromechanické relé
- Optočlen
- Optický kabel, optická linka

2.2.4 Elektromagnetická vazba

V některých literaturách se lze setkat též s názvem *vazba vyzařováním*. Tato vazba je typická pro galvanicky oddělené elektrické obvody, mezi kterými dochází k výměně elektromagnetické energie ve formě vyzářeného a absorbovaného výkonu. Tato vazba vzniká až ve větších vzdálenostech vysílače a přijímače rušení, kdy už nemůže v zásadě působit kapacitní ani induktivní vazba. K parazitním vazbám vyzařování lze typicky zařadit rušení blízkými vysílači, atmosférická rušení a řadu dalších druhů průmyslových poruch. Toto rušení se projevuje hlavně v radiových přijímačích, do nichž vstupuje anténou, popřípadě jinými svody, a to je charakteristické pro elektromagnetickou vazbu. Působením elektromagnetické vlny se ve vodičích rušeného přijímače indukuje rušivé napětí, které se v jeho obvodech sečítá s užitečným signálovým napětím nebo jej dokonce zcela překryje.[1] Elementární situace při elektromagnetické vazbě je načrtnuta na Obr. 6. Celkovou intenzitu elektromagnetické vazby lze vyjádřit vztahem:

$$E_x \approx 0,3 \frac{\sqrt{P}}{x} \quad [\text{V/m; kW, km}] \quad (6)$$

kde, x je vzdálenost od zdroje, který vysílá signál s výkonem P a dále platí, že vzdálené elektromagnetické pole, tedy pro vzdálenost $x \gg \lambda/2\pi$, kde λ je vlnová délka signálu.



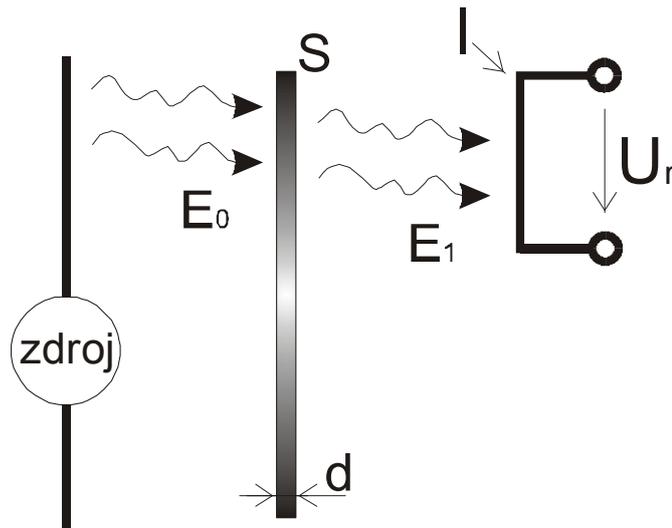
Obr. 6 Zjednodušený princip
elektromagnetické vazby [1]

Díky tomuto se následně v rušeném obvodu (vodiči obvodu) indukuje rušivé napětí U_r

$$U_r = E_x \cdot l_{ef} \quad (7)$$

, zde pak l_{ef} je tzv. aktivní délka antény. Tato hodnota samozřejmě závisí na tvaru a rozměrech antény (přijímače), dále pak na vlnové délce (popř. kmitočtu) přijímaného signálu.

Jednou z nejlepších a nejpoužívanějších ochran proti takovéto vazbě je ochrana realizovaná pomocí stínícího krytu nebo přepážky, která je umístěna mezi přijímačem a vysílačem rušení (viz. Obr. 7). Stínící kryt (přepážka) vyzářený signál o intenzitě E_0 zeslabí na hodnotu E_1 na jejím výstupu. Zeslabení je určeno nejenom vlastnostmi materiálu přepážky (tloušťka, plocha, vodivost, permeabilita apod.), díky nimž se část vyzářeného signálu *absorbuje* v přepážce, ale také díky *odrazivosti* elektromagnetické vlny od přepážky zpět směrem ke zdroji záření.



Obr. 7 Vliv vložené přepážky mezi vysílač a přijímač rušivého signálu [1]

Přímo v samostatném zařízení může dojít k parazitní elektromagnetické vazbě na mikrovlnných kmitočtech, což jsou vlny o vlnové délce větší jak 1 mm a menší jak 1 m, to odpovídá kmitočtům 300 MHz – 300 GHz. K této vazbě dojde při vlnové délce mikrovlnné vlny menší jak příčný rozměr přístroje. Kovový kryt přístroje lze za těchto podmínek považovat za úsek dutého kovového vlnovodu, kterým se mohou šířit vlny elektromagnetického vlnění. Takovým způsobem je možná parazitní vazba vyzařováním (tzv. vlnová vazba), jsou-li v jednom společném kovovém krytu zdroj i přijímač rušení, pracující v oblasti vlnových délek kratších než dvojnásobek nejdelší strany uzavřeného kovového krytu. Tuto vazbu lze odstranit pouze změnou (zmenšením) příčných rozměrů parazitního vlnovodu tak, aby vlnová délka největšího kmitočtu rušivého signálu byla delší než dvojnásobek největšího rozměru. Rušivý signál se pak tímto vlnovodem nešíří, zůstává v něm pouze pole vybuzené v těsné blízkosti rušivého zdroje. Toto pole se pak velmi rychle tlumí s rostoucí vzdáleností od zdroje rušení.[1]

3 MOŽNOSTI OMEZENÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ

Rušivé signály lze omezit, popřípadě úplně odstranit na 3 místech, které již byly zmíněny v podkapitole 1.1. Základní řetězec EMC. A to přímo u zdroje (vysílače) rušení, v objektu (přijímači) rušení či na přenosové trase, tedy v oblasti vazby rušivých signálů elektromagnetických signálů. Rušení je nejvýhodnější potlačovat u jeho zdroje, protože tím zaručíme, že nebude rušen pouze zkoumaný přijímač, ale ani žádné další objekty, které by také mohly být nepříznivě ovlivněny v budoucnu.[1] Velmi častým případem je, že rušivý signál přichází s užitným signálem na stejné frekvenci. Zde je odstranění rušivého signálu na straně vysílače jediným možným přijatelným způsobem. U ostatních případů je nutné odstranění rušivého signálu nejen u zdroje nebo na trase šířeného signálu, ale také u přijímače tohoto signálu. Zásah u zdroje vysílání je naopak úplně vyloučen v případech, kde vyslaný signál pro jedno zařízení se stává signálem rušení a pro druhé zařízení je tento signál signálem užitečným nesoucí informací (např. vysílání vysílače).

Prostředky používané v technické praxi, které jsou určeny k omezení případně k odstranění elektromagnetického rušení v kterékoliv části základního řetězce EMC, nazýváme **odrušovací prostředky**. Tyto prostředky používáme jak k potlačení rušivých signálů u jejich zdroje, tak i pro zvýšení odolnosti přijímacího zařízení proti němu. Mezi nejzákladnější odrušovací prostředky patří: [9]

- Odrušovací tlumivky a jednoprvkové tlumivkové filtry
- Odrušovací kondenzátory a kondenzátorové filtry
- Odrušovací filtry LC
- Přepět'ové ochranné prvky (bleskojistky, plynem plněné výbojky, variátory, omezovací diody)
- Elektromagnetické, elektrické a magnetické stínění

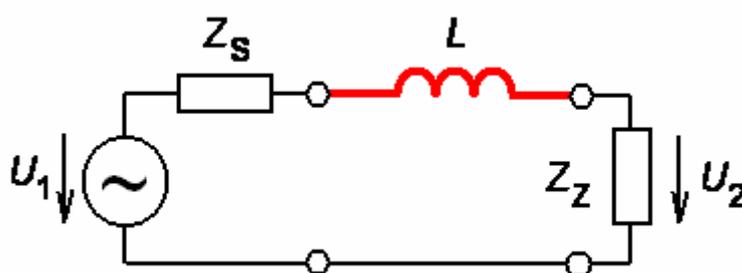
Jedním ze základních hledisek, kterým pohlížíme na problém omezení příp.odstranění rušivých signálů a to v maximálním efektu, je zda se tyto signály šíří k přijímacímu zařízení pomocí vedení nebo pomocí vyzářování. Pro omezení rušivých signálů na vedení se zejména používají odrušovací tlumivky, kondenzátory kmitočtové filtry LC, přepět'ové ochrany. Omezení elektromagnetického záření a zvýšení odolnosti proti této vazbě lze nejlépe dosáhnout pomocí správně použitého stínícího krytu. Nesprávná volba

odrušovacího prostředku nejen že nepřinese očekávaný efekt, ale může být dokonce příčinou zhoršení parametrů odrušovaného zařízení nebo dokonce ohrožení bezpečnosti obsluhy. Nevhodně zvolený odrušovací prostředek nebo jeho nesprávné použití (montáž) a instalace může ve svém důsledku zvýšit celkovou hladinu rušení tak, že toto odrušené zařízení ruší ba dokonce je rušeno více než zařízení, které by toto odrušení nemělo. Hlavní podmínkou pro správné použití odrušovacích prostředků je znalost jejich fyzikálních vlastností a technických parametrů a zároveň také znalost principů chráněných zařízení a principů vazeb kolem nich.

Pozn. V následujících kapitolách budou popsány pouze vybrané prostředky odrušení a to tlumivky, kondenzátory a elektromagnetické stínění.

3.1 Odrušovací tlumivky a tlumivkové filtry

Jde o jedny z nejzákladnějších prvků používaných pro odrušení rušivých signálů na vedení. Velkou výhodou je, že jde o pasivní prvek, a lze jej užit samostatně nebo jako součást odrušovacího filtru. Jelikož se tyto odrušovací prostředky užívají v proudových obvodech, jejich velikost závisí na velikosti protékajícího pracovního proudu v obvodě. Zapojení odrušovací tlumivky mezi zdroj rušení (např. výstup napájecí energetické sítě) a přijímač rušení (např. napájecí vstup elektronického obvodu) je zjednodušeně zobrazeno na Obr. 8 [9]

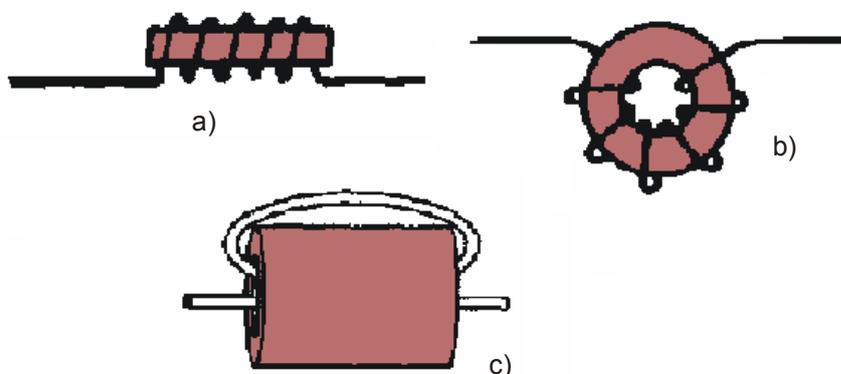


Obr. 8 Použití odrušovací tlumivky v obvodu [9]

Výslednou hodnotu tzv. **vložného útlumu** odrušovací tlumivky lze spočítat ze základního vztahu:

$$L = 20 \cdot \log \left| \frac{U_{20}}{U_2} \right| = 20 \cdot \log \left| 1 + \frac{j\omega L}{Z_s + Z_z} \right| \quad (8)$$

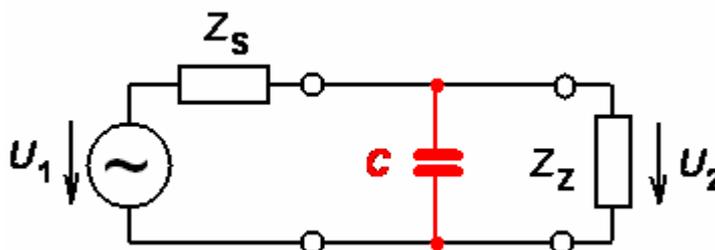
, kde U_2 je napětí na výstupu filtru, U_{20} je napětí na výstupu, ovšem bez použití filtru (tj. bez zapojené tlumivky), Z_S je vnitřní impedance sítě a Z_Z je vstupní impedance napájecího vstupu chráněného přístroje.



Obr. 9 Odrušovací tlumivky s feritovým jádrem (a) otevřené jádro, b) uzavřené jádro, c) pro vysoké frekvence) [1]

3.2 Odrušovací kondenzátory

V zásadě tyto odrušovací prvky bývají zapojeny jako samostatný prvek v paralelním zapojení s vnitřní impedancí sítě a vstupní impedancí napájecího vstupu chráněného přístroje. Je možné však tyto prvky použít jako součást odrušovacích filtrů LC nebo článků RC. Zjednodušené zapojení odrušovacího kondenzátoru je vyobrazeno na Obr. 10 [9]



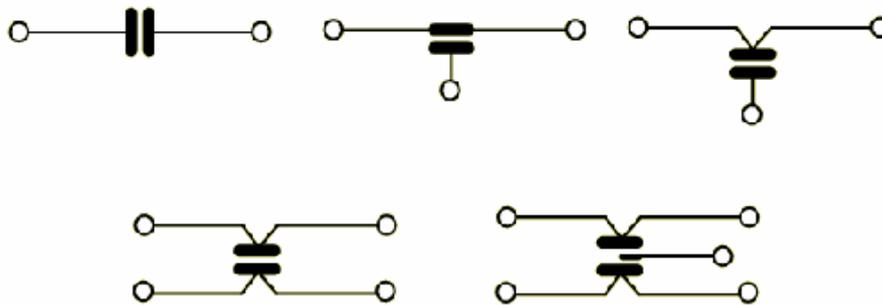
Obr. 10 Použití odrušovacího kondenzátoru v obvodu [9]

Vložný útlum takového prvku lze potom spočítat podle následujícího vztahu:

$$L = 20 \cdot \log \left| \frac{U_{20}}{U_2} \right| = 20 \cdot \log \left| 1 + j\omega C \frac{Z_S \cdot Z_Z}{Z_S + Z_Z} \right| \quad (9)$$

, kde U_2 je napětí na výstupu filtru, U_{20} je napětí na výstupu, ovšem bez použití filtru (tj. bez zapojené tlumivky), Z_S je vnitřní impedance sítě a Z_Z je vstupní impedance napájecího vstupu chráněného přístroje.

Velikost kapacity odrušovacího kondenzátoru volíme v závislosti na kmitočtovém spektru rušení. Čím nižší je dolní kmitočet potlačovaného kmitočtového pásma, tím větší kapacitu volíme. Při širokopásmovém rušení je lepší použít pro dosažení lepších výsledků většího počtu kondenzátorů menších nominálních hodnot zapojených paralelně.[1]



Obr. 11 Typy jednotlivých odrušovacích kondenzátorů (2, 3, 4, 5 pólové) [1]

3.3 Elektromagnetické, elektrické a magnetické stínění

Elektromagnetické stínění je jedním z nejzákladnějších a nejdůležitějších odrušovacích prostředků EMC umožňujících jak zmenšení rušivého vyzařování na straně zdrojů rušivých signálů, tak i zvýšení elektromagnetické odolnosti na straně přijímačů rušivých signálů. Stínění je konstrukčním prostředkem k zeslabení pole rušivých signálů ve vymezené části prostoru. Technické prostředky (konstrukce), kterými dosahujeme uvedených cílů, nazýváme stínicími kryty či stíněním. Stínění se užívá k ochraně jak jednotlivých součástí a funkčních bloků, tak i celých elektronických zařízení, která mohou být současně zdroji i přijímači elektromagnetického rušení. Stínění je jedním z vysoce efektivních způsobů elektromagnetické ochrany před výkonovým rušením kontinuálního či impulsního charakteru. Současně je třeba si uvědomit, že ke stínění každého zařízení by mělo být přikročeno vždy až po vyčerpání ostatních metod zajištění elektromagnetické kompatibility, zejména metod optimálního návrhu a konstrukce zařízení z hlediska EMC.[1]

Elektromagnetické stínění můžeme vyhodnocovat jak matematickými metodami tak i experimentálními. Pokud jsou nám známy konstanty (μ_r , σ) daného materiálu (Tab. 2), většinou jde o kovové materiály, lze získat matematický model účinnosti elektromagnetického stínění. Ovšem pokud nám tyto parametry nejsou známy, provádíme experimentální měření daného materiálu.

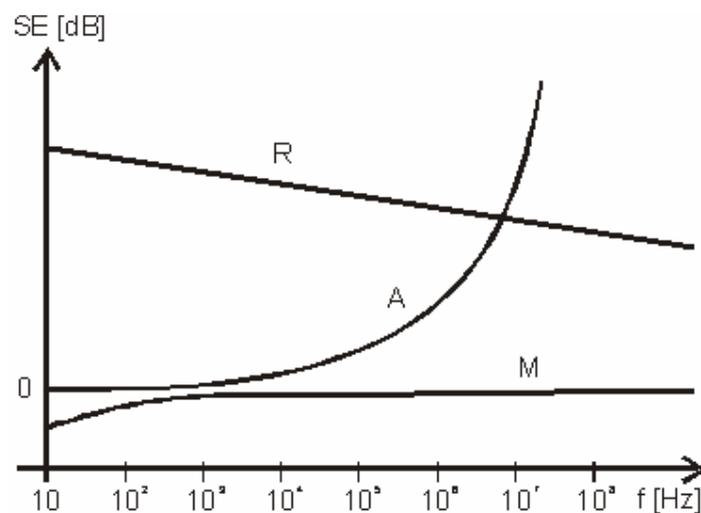
Materiál	σ [$S.m^{-1}$]	μ_r
<i>měď</i>	$5,7 \cdot 10^7$	0,999 990
<i>hliník</i>	$3,5 \cdot 10^7$	1,000 023
<i>platina</i>	$9,1 \cdot 10^6$	1,000 264
<i>mosaz</i>	$1,4 \cdot 10^7$	1,000 093
<i>sklo</i>	$9 \cdot 10^{-12}$	0,825 123
<i>plexisklo</i>	$4,3 \cdot 10^{-12}$	0,810 110
<i>porcelán</i>	$8,3 \cdot 10^{-11}$	0,829 990
<i>vzduch</i>	$1 \cdot 10^{-15}$	0,789 970

Tab. 2 Hodnoty vybraných materiálů [12]

legenda:

σ - konduktivita (převrácená hodnota vodivosti)

μ_r - permeabilita



Obr. 12 Závislost jednotlivých složek účinnosti stínění na kmitočtovém průběhu [12]

4 STÍNÍCÍ KRYTY URČENY PRO ZLEPŠENÍ EMC ZAŘÍZENÍ

Důsledek vlivu elektromagnetické vazby mezi dvěma elektrickými obvody se projevuje ve formě vzniku parazitního indukovaného napětí ve smyčce ovlivňovaného-rušeného elektrického obvodu. Toto napětí je složeno ze dvou složek, a to elektrické a magnetické. Při uvážení složitých matematických vztahů a rovnic definujících účinnost stínění, můžeme zjistit, že velikost elektromagnetické vazby je přímo úměrná velikosti a časové změně proudu v obvodu vyzařujícím elektromagnetickou energii a jeho délce. Taktéž je přímo úměrná velikosti plochy a délce rušeného obvodu od zdroje rušení, koeficientu odrazu vlny a velikosti permeability prostředí mezi oběma obvody.

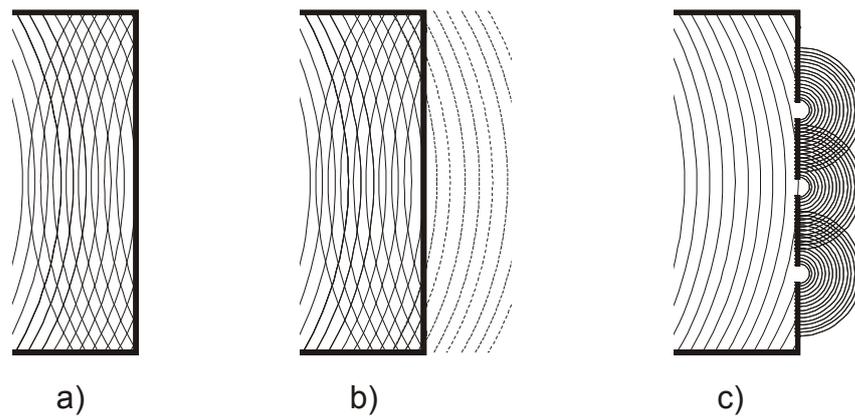
4.1 Možnosti zvýšení odolnosti zařízení vůči elektromagnetickému rušení

1) Snížení velikosti a časové změny proudu ve vyzařujícím obvodu – dá se realizovat jen v případě, že to není v rozporu s požadavky na funkci daného zařízení. Je samozřejmé, že silnoproudá elektrotechnická zařízení jsou obklopena většími elektrickými a magnetickými poli než zařízení slaboproudá. Účinek těchto polí působících na okolní zařízení je zapotřebí eliminovat. Kromě požadavku na snížení pracovního kmitočtu z hlediska menšího rušivého indukovaného napětí se v praxi často užívá také princip elektromagnetického stínění zařízení. Paradoxně však platí, že čím je kmitočet nižší, tím je nižší také koeficient tlumení b elektromagnetické vlny a větší hloubka jejího vniku d . Znamená to, že na jedné straně je vzniklé indukované napětí menší, na straně druhé je však stínění nízkofrekvenčního elektromagnetického pole o moc složitější a stínící vrstva krytu musí být o hodně silnější. Z tohoto pohledu se v případě spínání velkých proudů v oblasti výkonové elektroniky jeví jako výhodné volit vyšší spínací frekvenci s navrženým, účinným stínícím krytem.[5]

2) Zkrácení délky obvodu vyzařování – je možné realizovat určitou formou miniaturizace obvodů, u kterých se předpokládá, že by se mohly stát a působit jako zdroje rušivého elektromagnetického signálu. Toto řešení je možné realizovat pouze ve stadiu vývoje zařízení. Jedním z ukázkových příkladů řešení daného problému může být využití integrovaných bezpotenciálových modulů výkonových

polovodičových měničů. Jako dodatečné řešení je to však ekonomicky, a obvykle i technicky, velmi náročný způsob řešení problému.[5]

- 3) ***Zmenšení velikosti plochy a délky rušeného obvodu*** – prostřednictvím zvyšování hustoty integrace moderních elektrotechnických zařízení je dalším z možných způsobů zlepšení EMC daného zařízení. Pokud má totiž ovlivňované zařízení malý objem, tak má obvykle malou i plochu svého povrchu, skrz kterou proniká do jeho nitra rušivý signál. Tato přímá úměra logicky znamená i vyšší odolnost takového zařízení.[5]
- 4) ***Zvětšení vzdálenosti rušeného zařízení od zdroje rušení*** – jde o klasické řešení problému vzájemného rušení obvodů. V případě vazby prostřednictvím elektromagnetické vlny však existuje specifický problém spočívající ve frekvenční závislosti koeficientu šíření a měrného útlumu jako i v principu využití přenosu této formy energie na velké vzdálenosti pro potřeby telekomunikační techniky. Tato metoda zvýšení odolnosti daného elektrotechnického zařízení se proto obvykle kombinuje ještě s dalšími metodami umožňujícími zvýšení jeho EMC.[5]
- 5) ***Zvětšení koeficientu odrazu vlny, měrného útlumu a velikosti permeability a permitivity prostředí mezi oběma obvody*** – toto se v praxi obvykle realizuje prostřednictvím stínícího krytu zařízení vyzařujícího rušivou energii jakož i stínícího krytu rušeného zařízení. Ve většině případů se jedná o dostatečně hrubý, dobře vodivý a kvalitní magnetický materiál, jehož úlohou je vytvořit účinnou bariéru pro průnik elektromagnetické vlny skrz něj (Obr. 13 a). V případě nedostatečné tloušťky stěny stínícího krytu dochází jenom k částečnému útlumu pronikající složky vlny, přičemž ta se však za krytem šíří dále se zmenšenou intenzitou. Tato situace je vyobrazena na Obr. 13 b. Kromě dostatečné tloušťky musí být kryt navíc konstruován i bez otvorů, ty by právě mohly představovat samostatné zdroje vyzařování, a to by samozřejmě zhoršovalo EMC daného zařízení, jak je vyobrazeno na Obr. 13 c. [5]



Obr. 13 Stínící kryt elektronického zařízení a) ideální kryt – úplné pohlcení rušivých vlivů, b) kryt s částečným stíněním – některé frekvence rušivých signálů projdou skrz kryt, c) nedostatečné krytí díky technologickým otvorům – funkce jako zesilující anténa [1]

Eliminace všech možných technologických otvorů není však někdy možná, proto se často využívá dalších prostředků jako jsou kovové samolepící pásy, vodivé tmely, různé druhy lepidel, lamel, stínících materiálů a dalších doplňků, které jsou uvedeny na Obr.14. samozřejmostí je i požadavek vzájemného, dobře vodivého propojení všech částí krytu, včetně pohyblivých a demontovatelných. Pro zlepšení EMC se mimo principu útlumu vlny ve vnitřku materiálu krytu užívají i principy odrazu vlny na nerovnostech jeho povrchu. Proto stínící kryty nebývají konstruovány s hladkým povrchem, ale bývají nastříkané vodivou barvou, která vytváří určitý povrchový reliéf.[5]



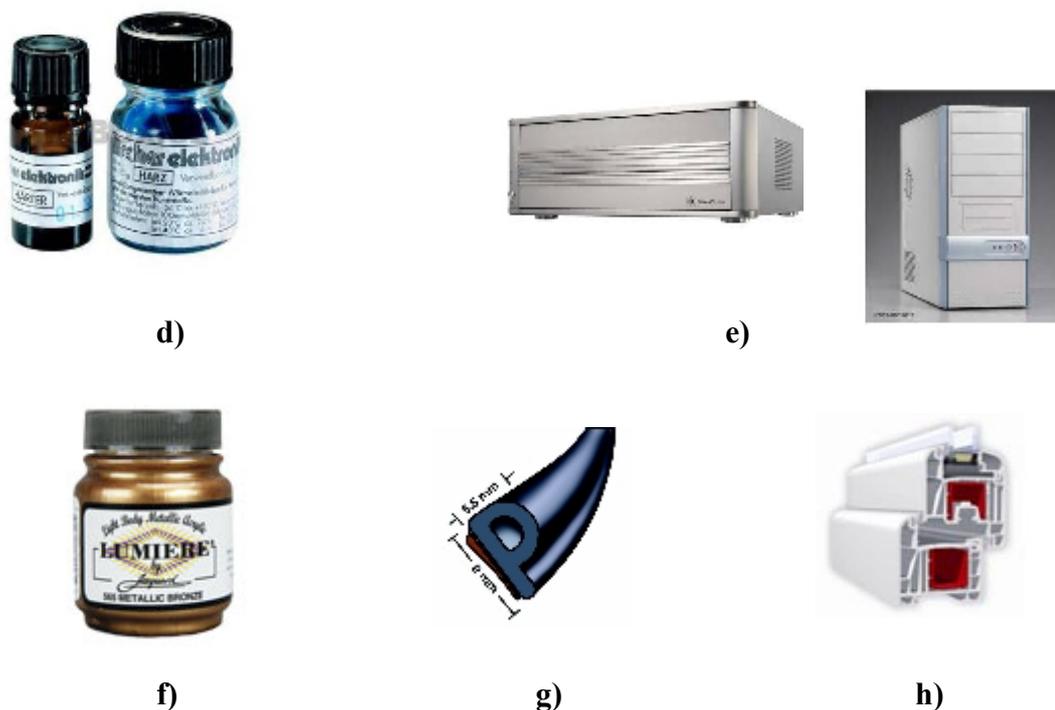
a)



b)



c)



Obr.14 Další možnosti zvýšení EMC elektronického zařízení doplňkovým materiálem

- | | |
|------------------------------------|--|
| a) kovové samolepící pásky | b) vodivá viskózní pasta |
| c) kovové těsnící kroužky | d) elektricky a tepelně vodivé lepidlo |
| e) kovově – plastový kryt | f) vodivá barva |
| g) vodivé těsnící profily - pružné | h) vodivé těsnící profily – pevné |

4.2 Vliv konstrukčních prvků stínícího krytu na výslednou účinnost stínění

Je samozřejmé, že nejlepšími výsledky a nejideálnější stínící kryt by byl ten, který by byl celistvý kovový a bez technologických prvků, jako jsou např. otvory, štěrby, další otevřené plochy v krytu, dvířka, okénka, větrací otvory, vstupy pro vnější napájení apod. Pokud jde o přístroj vysílající nežádoucí signál, též velice záleží na vnitřním uspořádání jednotlivých prvků zařízení, neboť rušivý signál se může od těchto prvků odrazet a zpětně rušit vlastní prvky. Konstrukční kryt by měl být navržen tak, aby zamezil průchodu signálu (rušivého), jak ven ze zařízení, tak i dovnitř tohoto zařízení. Ovšem tyto podmínky jsou velice složité a není možné je na 100% dodržet. Každé zařízení musí být nějakým

způsobem spojeno s okolním prostředím, ať už je to např. napájecí napětí, výstupní modul, odvětrávací štěrby apod.

Účinnost stínění [dB]	slovní hodnocení
0 ~ 10	nedostatečné stínění
10 ~ 30	stínění pro minimální požadavky
30 ~ 60	stínění dostačující pro většinu běžných požadavků
60 ~ 90	velmi dobré stínění
90 ~ 120	vysoce kvalitní stínění

Tab. 3 Tabulka stínicí účinnosti v [dB] a její slovní ohodnocení

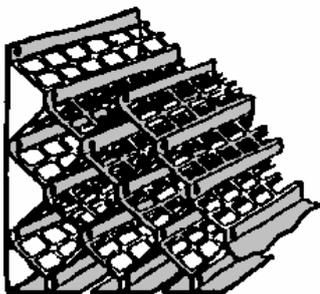
Kromě zajištění požadované účinnosti stínění musí stínicí kryt splňovat i další technické požadavky nutné pro správný chod stíněného zařízení, např. správný tepelný režim zařízení, tj. chlazení a větrání, technologičnost konstrukce, opravitelnost zařízení, tj. rozebíratelnost krytu, přístup ke vstupům a výstupům, k měřicím bodům apod. Všechny tyto funkce nelze zajistit, aniž se naruší kompaktnost, celistvost a homogennost kovové stínicí plochy. Každý reálný stínicí kryt tak obsahuje řadu nehomogenit, netěsností a přerušení, jejichž existence do značné míry určuje skutečnou účinnost jeho stínění. V praxi rozlišujeme tři druhy technických nehomogenit ve stínění: [1]

- **Otvory, štěrby a další otevřené stínicí plochy** - např. dveře, okna, větrací otvory, štěrby a netěsnosti mezi jednotlivými kovovými plochami stínění, vstupní otvory pro přípojné kabely, vedení, případně vnější mechanické ovládací prvky stíněného zařízení.[1]
- **Špatné vodivé (vysokoimpedanční) části stínění** - vodivě nedokonalá spojení jednotlivých částí stínění, nedokonale vodivé průhledné plochy (skla) při požadavku vizuální kontroly zařízení.[1]
- **Vnější přívodní kabely a přípojná vedení** - napájecí, signálové a datové kabely, jimiž se mohou dostávat elektromagnetické rušivé signály do vnitřního prostoru stínicího krytu.[1]

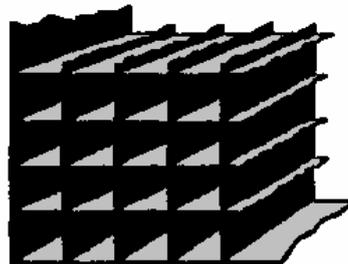
Základní vliv na výslednou účinnost stínění reálných kovových krytů mají zejména otvory ve stínící ploše. Malý kruhový otvor o poloměru a v tenké kovové stínící přepážce, na kterou dopadá rovinná elektromagnetická vlna, se vůči stíněnému prostoru chová jako plošná anténa s výkonovým ziskem:[1]

$$G = \frac{P_t}{P_i} = \left(\frac{2\pi a}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{2\pi a \cdot f}{c} \right)^2 \quad (10)$$

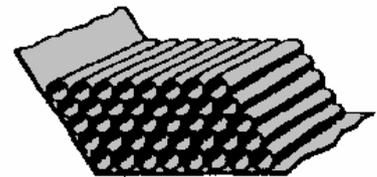
Pokud je nutné, aby ve stínícím krytu byl otvor používaný hlavně jako odvětrávací otvor, je možné tyto otvory vytvořit, ovšem takovým způsobem, aby nesloužili jako zesilující anténa. Tyto otvory se musejí nějakým způsobem upravit. Jedním z neefektivnějších prostředků je vytvoření řady vlnodů, které jsou však navrženy jako podkritické vlnovody. Následně pak tvoří jakousi komínovou strukturu podle Obr. 15. Používané vlnovody mají pravoúhlý, kruhový nebo hexagonální příčný průřez, jehož rozměry musí být takové, aby i pro nejvyšší předpokládaný kmitočet elektromagnetického rušení byla zajištěna jejich správná činnost dalece pod nejnižším mezním kmitočtem vlnovodu.[9]



1000 MHz



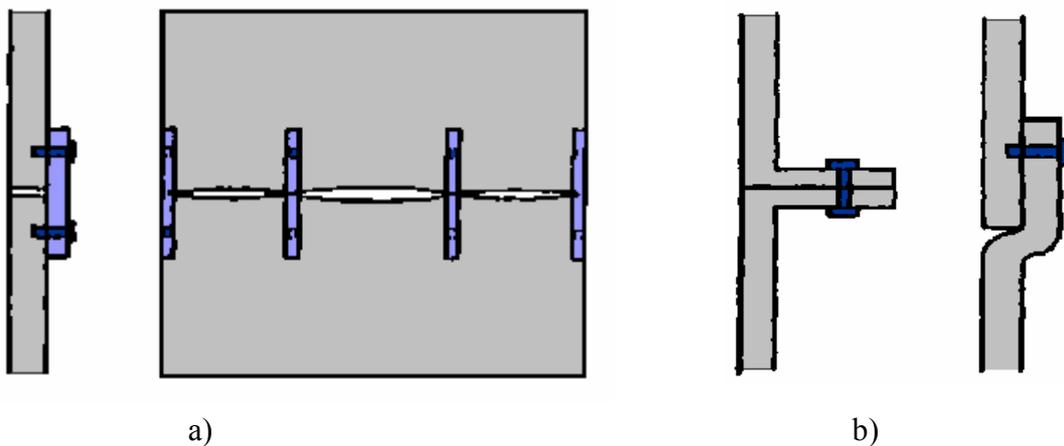
10 000 MHz



35 000 MHz

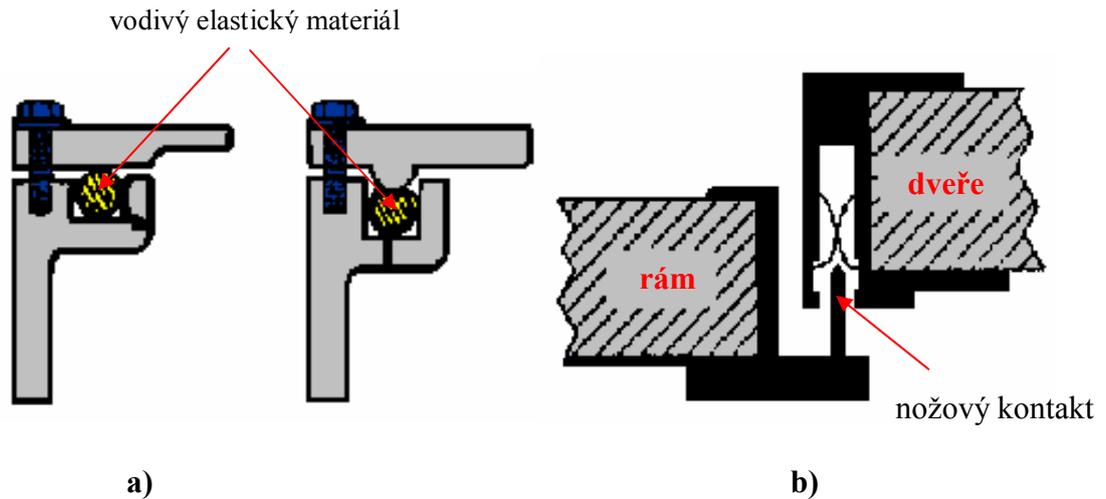
Obr. 15 Možnosti vyústění- zakončení odvětrávacích otvorů stínícího krytu (hodnoty uvedené pod jednotlivými obrázky jsou maximální hodnoty kmitočtu, pro které je daný způsob zakončení ještě dostačující) [1]

Jedním z dalších technologických problémů spojených s elektromagnetickou netěsností stínících krytů přístrojové techniky jsou mechanické spoje jednotlivých dílů krytu. Kromě využití vlnodů jak jsou zobrazeny na Obr. 15 nebo použitím některého vybraného doplňkového materiálu vyobrazeného na Obr.14 je možné použít pevný způsob spojení dvou dílů (překrytí dvou dílů) Obr. 16.



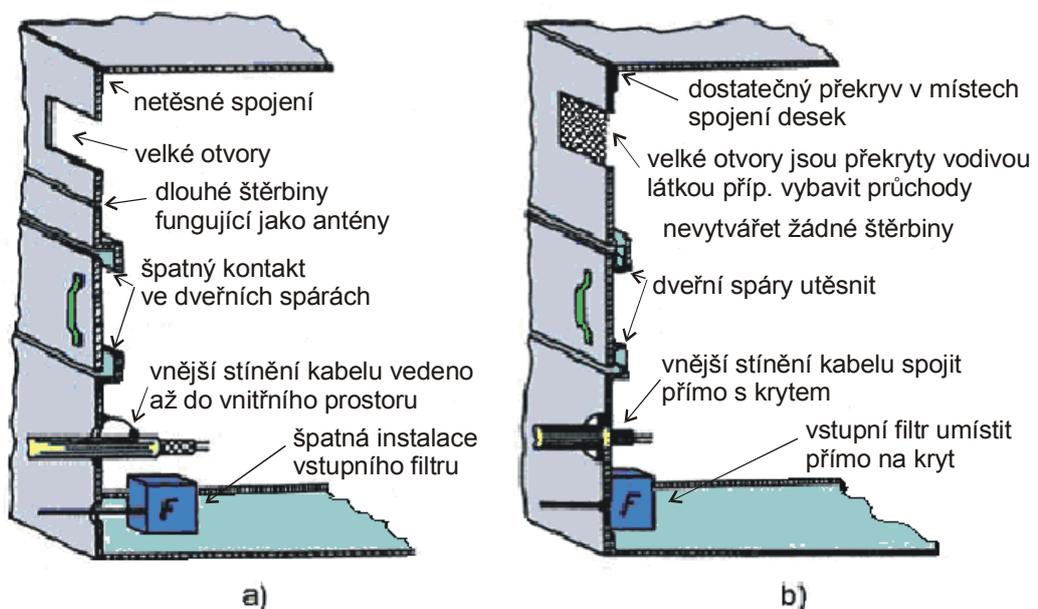
Obr. 16 a) Možnost vzniku nežádoucích štěrbin ve stínícím krytu a b) možnosti jejich odstranění (pevné spoje dílů krytů) [9]

Pokud však potřebujeme mít ve stínícím krytu otvor, kterým budeme v budoucnu vstupovat do vnitřních prostor elektronického zařízení, je nutné tento otvor také zabezpečit vůči elektromagnetickým vlnám. V zavřeném stavu musí tyto přístupy zajišťovat dokonalou elektromagnetickou těsnost. Pro tento účel slouží jednoduchý technický prvek, a to jsou obyčejná dvířka. Ty jsou samozřejmě vyrobeny ze stejného materiálu jako je celý stínící kryt. Největší problém u tohoto prostředku odstínění je, že elektromagnetické vlny se na tomto rozhraní kryt – dvířka odráží, zesilují, lámou apod., proto je nutné tyto štěrbinu určitým způsobem utěsnit. Jedním ze způsobů je použití některých doplňkových těsnících prostředků, jež jsou vyobrazeny na Obr.14. Lze také použít jiných prvků, a to jsou pružné kontakty na pohyblivých částech, případně užitím pérových nožových kontaktů. Jednoduché příklady těchto prvků jsou zobrazeny na Obr. 17



Obr. 17 Elektromagnetické těsnění pohyblivých částí a) pružný kontakt, b) nožový kontakt [9]

Díky dlouhodobému pozorování a měření máme zkušenosti v potřebách elektromagnetického stínění elektrotechnických a elektronických přístrojů, či dokonce celých systémů. To vedlo k určité kategorizaci stínící účinnosti. Tyto kategorie jsou uvedeny v Tab. 3, další vybrané konstrukční prvky, které vedou ke zlepšení elektromagnetické stínící účinnosti kovového krytu jsou vyobrazeny na Obr. 18.[1]



Obr. 18 Základní zásady konstrukce elektromagneticky stíněných krytů a) špatná konstrukce krytu, b) vylepšená konstrukce krytu a to vše z hlediska EMC [12]

5 NORMY V OBLASTI EMC

Základní normy a předpisy v oblasti EMC určitého zařízení či celého systému předepisují na jedné straně nepřekračování určitých mezních emisních hodnot produkovaných rušivých signálů, na druhé straně pak předepisují určitou velikost imunity každého elektrotechnického zařízení proti těmto rušivým signálům. Normy samozřejmě také berou v úvahu a definují prostředí, kterými se rušivé signály šíří. Proto všechny normy EMC lze rozdělit do několika základních skupin. (viz. kapitola 5.2). Nejprve však poukážu na některé hlavní organizace a úřady, které jsou kompetentní normy (směrnice) vydávat a předepisovat, samozřejmě nejen v oblasti EMC.[1]

5.1 Úřady a organizace vydávající směrnice a normy

Jako základní kámen struktury vytváření norem a směrnic je organizace zastřešující celou oblast elektrotechniky, a to **mezinárodní elektrotechnická organizace IEC** (*International Electrotechnical Commission*), kde se tvoří veškeré elektrotechnické normy a předpisy, a tedy i normy pro oblast EMC. Tato organizace je zařazena do celosvětového normalizačního procesu řízeného a koordinovaného **mezinárodní organizací pro normalizaci ISO** (*International Standard Organization*). V rámci IEC se otázkami elektromagnetické kompatibility



zabývá především specializovaný **výbor pro radiovou interferenci CISPR** (*franc. Comité International Spískal des Perturbations Radioélectriques*). V současné době je tato organizace orientována hlavně do oblasti elektromagnetického rušení od zařízení informační techniky. S postupem sjednocování států celé Evropy se samozřejmě otevíral i mezinárodní obchod a trh, tím přirozeně vzniká nutnost sjednotit a harmonizovat (tzn.



uvést ve vzájemný soulad) mnoho různých předpisů a norem, a to i samozřejmě v oblasti elektromagnetické kompatibility. Proto vzniká v evropském společenství systém jednotných

evropských norem EN (*European Norms*). Jejich technickou přípravou se zabývají zejména dvě komise, a to: **komise**



evropské unie CEN (*Comité Europeen de Normalisation*), která je tvořena normalizačními organizacemi

všech států evropské unie a ze států Evropského sdružení volného obchodu. Dále pak **evropská komise pro normalizaci v elektrotechnice CENELEC** (*Comité European de Normalisation en Electrotechnique*). Je tvořena normalizačními organizacemi států zakládajících evropskou unii. Normy a doporučení vytvářené těmito komisemi jsou celoevropsky harmonizované. V České republice je koordinačním institutem pro tvorbu všech norem pověřen **Český normalizační institut ČNI** v Praze. Jeho **technická normalizační komise TNK 47** „Elektromagnetická kompatibilita“ postupně reviduje existující **české státní normy ČSN** v oblasti EMC a harmonizuje je s normami IEC, CISPR a EN. Převzetím a překladem těchto světových a evropských norem tak vznikají harmonizované normy ČSN s označením ČSN IEC, ČSN CISPR, ČSN EN.[1]



5.2 Druhy norem v oblasti EMC

Celý normalizační systém oblast EMC je možné samozřejmě, tak jako i v jiných odvětvích, rozdělit do mnoha skupin a podskupin, kde každá skupina má další směrnice, články, vyhlášky a doplňky. Jak již bylo uvedeno v kapitole (viz. kapitola 5.1) jsou užívány normy vzniklé jak v České republice, tak i zahraničí (Evropská unie), nebo normy převzaté, celosvětově uznávané.

Nakonec v oblasti normalizace EMC lze normy rozdělit do takových 3 základních skupin:
[5]

- 1) **Základní normy** – definují problém EMC a stanovují základní všeobecné podmínky a pravidla pro metodu testování EMC libovolného výrobku. Nestanovují limity rušení ani odolnosti. Jsou zaměřeny na: [5]
 - terminologii
 - prostředí, nf vyzařování
 - nf a vf impulsní odolnost
 - vf odolnost a vyzařování
- 2) **Všeobecné normy** – jsou vztaženy na jednotlivá prostředí a stanovují minimální požadavky a testovací metody použitelné pro všechny výrobky nebo systém pracující v daném prostředí. Požadavky určené těmito normami jsou základem pro

hodnocení kompatibility všech zařízení, a tedy i základem pro normy výrobků. Na vlastní hodnocení EMC by se však měly používat jenom v případě, že neexistuje příslušná norma výrobků pro daný druh zařízení. Všeobecné normy se při popisu zkoušek, zkušebních metod a zkušebního uspořádání odvolávají na normy základní. Jsou zaměřeny na:[5]

- vyzařování (harmonické, kolísání napětí, vf rušení po vedení a polem)
- odolnost (elektrostatický výboj, rychle napět'ové přechodové jevy, rušení vf polem)
- prostory obytné, obchodní a lehkého průmyslu
- průmyslové prostředí

3) **Normy výrobků** – jsou obvykle normy předepisující požadavky pro příslušný typ zařízení ze všech hledisek. Požadavky na EMC v nich bývají zakomponovány mezi ostatními požadavky. Jsou zaměřeny na:[5]

- domácí spotřebiče a podobná zařízení – nf rušení, vf rušení
- průmyslová, vědecká a lékařská vf zařízení – vf rušení
- motorová vozidla, zařízení se zážehovými mototy – vf rušení
- rozhlasové a televizní přijímače – vf rušení, odolnost
- zařízení s elektrickým pohonem, elektrické nářadí a podobně – vf rušení
- zařízení informační techniky – vf rušení, odolnost
- systémy regulovaných elektrických pohonů

Standardní normy tvoří základní soubor předpisů, který se dále dělí na specifické části:

Část 1 – všeobecné úvahy, definice a terminologie

Část 2 – popis prostředí, třídění prostředí a kompatibilní úrovně

Část 3 – meze emisí rušení, meze odolnosti

Část 4 – zkušební a měřicí techniky

Část 5 – směrnice o instalacích a zmírnění a působení vlivů

Část 6 – různé

5.3 Tabulkový seznam norem

V této kapitole jsou uvedeny normy používané v oblasti EMC. Jsou zde však uvedeny pouze normy, které se nějakým způsobem dotýkají tématu diplomové práce v oblasti měření, tzn. měření stínící účinnosti konstrukčních krytů, a to v oblasti radiofrekvenčního spektra (tzv. vzdálené elektromagnetické pole). Normy jsou uvedeny v tabulkové formě, a to pouze číslo normy a její název.

Všeobecné normy EMC – elektromagnetické prostředí

číslo a označení normy	název normy
IEC 50	Mezinárodní elektrotechnický slovník Kapitola 161: Elektromagnetická kompatibilita.
IEC 1000-1-1	Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 1 :Všeobecné informace. Oddíl 1: Použití a interpretace základních definic a pojmů.
EN 50081-1	EMC. Všeobecní norma týkající se vyzařování. Část 1: Obytné prostory, obchodní prostory a prostory lehkého průmyslu.
EN 50081-2	Část 2: Průmyslové prostředí.
EN 50082-1	EMC. Všeobecní norma týkající se odolnosti. Část 1: Obytné prostory, obchodní prostory a prostory lehkého průmyslu.
EN 50082-2	Část 2: Průmyslové prostředí.

Tab. 4 Všeobecné normy EMC – elektromagnetické prostředí [5]

EMC – vysokofrekvenční rušení

číslo a označení normy	název normy
EN 55011	Meze a metody měření charakteristik elektromagnetického rušení od průmyslových, vědeckých a lékařských vysokofrekvenčních zařízení.
EN 55013	Meze a metody měření charakteristik radiového rušení způsobeného rozhlasovými a televizními přijímači a přidruženými zařízeními.
EN 55014	Meze a metody měření charakteristik radiového rušení způsobeného zařízeními s elektrickým pohonem, tepelným zařízením pro domácnost a podobné účely, elektrickým nářadím a podobným elektrickými přístroji.
EN 55015	Meze a metody měření charakteristik radiového rušení způsobeného elektrickými svítilny a podobným zařízením.
EN 55022	Meze a metody měření charakteristik radiového rušení způsobených zařízeními informační techniky
EN 55102-1	Požadavky na EMC pro koncové zařízení ISDN. Část 1: Požadavky na vyzařování.
CISPR 12	Meze a metody měření charakteristik vf rušení motorovými vozidly, motorovými čluny a zařízeními poháněnými zážehovými motory.
CISPR 18-1	Charakteristiky rušení od venkovních vedení a zařízení VN. Část 1: Popis jevů.
CISPR 18-2	Charakteristiky rušení od venkovních vedení a zařízení VN. Část 2: Metody měření pro určení limit.
CISPR 18-3	Charakteristiky rušení od venkovních vedení a zařízení VN. Část 3: praktické způsoby omezení vzniku vysokofrekvenčního šumu.
CISPR 23	Stanovení mezních hodnot pro průmyslové, vědecké a lékařské přístroje.

Tab. 5 EMC – vysokofrekvenční rušení [5]

EMC - společné normy pro odolnost a vysokofrekvenční rušení

číslo a označení normy	název normy
CISPR 16	Specifikace CISPR pro přístroje a měřicí metody na měření radiového rušení.
CISPR 16-1	Specifikace metod a přístrojů na měření radiového rušení a odolnosti vůči radiovému rušení. Část 1: Přístroje na měření radiového rušení a odolnosti vůči radiovému rušení.
CISPR 16-2	Specifikace metod a přístrojů na měření radiového rušení a odolnosti vůči radiovému rušení. Část 2: metody měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti vůči rušení.

Tab. 6 EMC - společné normy pro odolnost a vysokofrekvenční rušení [5]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 PRAKTICKÉ MĚŘENÍ

Celé praktické měření je směřováno k takovému cíli, abychom se pokusili vyhodnotit dané kompozitní materiály - vzorky, použité jako stínící kryt. Vyhodnocení spočívá ve zjištění útlumové charakteristiky pro jednotlivé frekvence, z nichž by bylo možné zjistit konstantu permitivity $\underline{\epsilon}_r$, která by byla dále využita ve výpočtech. Měřené vzorky jsou nové nevyzkoušené materiály, které vyvinula firma Evektor spol. s.r.o., závod Kunovice, a které by popřípadě využila do nových výrobních konceptů. Vzorky jsou určeny zejména na plášť letadlových dílů. Dané vzorky budou vyhodnocovány na vzdálené elektrické pole, tzn. radiofrekvenční oblast spektra 10 kHz – 400 GHz. Tuto oblast nemůžeme samozřejmě obsáhnout celou nejenom díky rozsahům moderních přístrojů laboratoře, ale také se musí brát ohled na okolní vazby. Měření se bude provádět experimentálně, pomocí dvojice antén na vysokofrekvenční elektromagnetická pole, jedna jako vysílací anténa, druhá (stejná) jako přijímací anténa, obě od firmy Rohde & Schwarz. Mezi ně se budou umisťovat již zmíněné vzorky měření a vzorky, které budou z jiných materiálů, a to pro následné vyhodnocení a srovnání naměřených výsledků. Ovšem tyto vzorky je nutné určitým způsobem umisťovat stále do stejné polohy mezi antény (vysílací a přijímací), aby byly zajištěny stále stejné podmínky měření. A proto je nutné vyrobit prostředek, který by nám toto zajišťoval, což je také jedna z dalších částí mé diplomové práce, kterou je nutné zvládnout, pro úspěch celé práce. Vysílací anténa bude zapojena na vysokofrekvenční generátor kmitů firmy R&S a přijímací anténa bude zapojena na spektrální analyzátor taktéž od firmy R&S. Tyto přístroje pak budou propojeny kabeláží k PC. Ten bude obsahovat určitý software, pomocí něhož se budou jednotlivé přístroje ovládat, sbírat data a podobně.

6.1 Prostředky potřebné k praktickému měření

Veškeré prostředky pro celé měření diplomové práce budou použity od jedné firmy, nejen z důvodů její kompatibility, ale hlavně z důvodů její kvality v oblasti laboratorních měření. Jedná se o prostředky světově známé německé firmy Rohde & Schwarz, zejména tedy spektrální analyzátor FSP 40, frekvenční generátor SMR 20, vysokofrekvenční směrové antény HF 906, popřípadě také wattmetr NRP Wattmeter.

6.1.1 Spektrální analyzátor R&S FSP 40

Jeden z nejmodernějších přístrojů své řady. FSP je ideální měřicí prostředek jak pro vývoj a laboratorní účely, tak také pro výrobní proces. Tento postoj získal i díky velice malé nejistotě měření nebo jeho RF charakteristiky. FSP je význačný pro jeho inovační techniku měření, funguje a včleňuje nové technologie, vysoký výkon, spolehlivý a snadnost ovládání. [11]



Obr. 19 Spektrální analyzátor R&S FSP 40 [11]

Technické parametry:

- kmitočtový rozsah 9 kHz až 40 GHz
- Šířka zkoumaného pásma 1 až 10 MHz
- Šumové pásmo 155 dBm (1Hz)
- Šum fáze 113 dBm
- Přídavné filtry
 - Filtry kanálu od 100Hz do 5 MHz, RRC filtry
 - FFT filtry od 1Hz do 30 kHz
- EMI šířka pásma a kvazi-bodový detektor
- Nejistota měření 0.5 dB
- Běžné měření pomocí TOI, ACP®, OBW, CCDF, APD
- Rychlý přenos dat
- Schopnost 80 –ti měření za sekundu (včetně převodu dat přes GPIB)
- Elektronické tlumení
- Dostupný firmware pro GSM/EDGE, Bluetooth, WCDMA/HSDPA/TD-SCDMA, CDMA
- 2000/1xEV-DV/1xEV-DO, WLAN, [11]

6.1.2 Wattmetr R&S NRP

Wattmetr řady NRP od firmy Rohde&Schwarz je všestranný laboratorní měřič výkonu. Lze jej využít nejen k laboratorním účelům, ale i ve výrobních procesech. Je to díky novým řadám senzorů, které lze k tomuto přístroji připojit. Tyto senzory jsou samostatné inteligentní nástroje, které komunikují se základní jednotkou nebo PC přes digitální rozhraní. [11]



Obr. 20 Wattmetr R&S NRP [11]

Technické parametry:

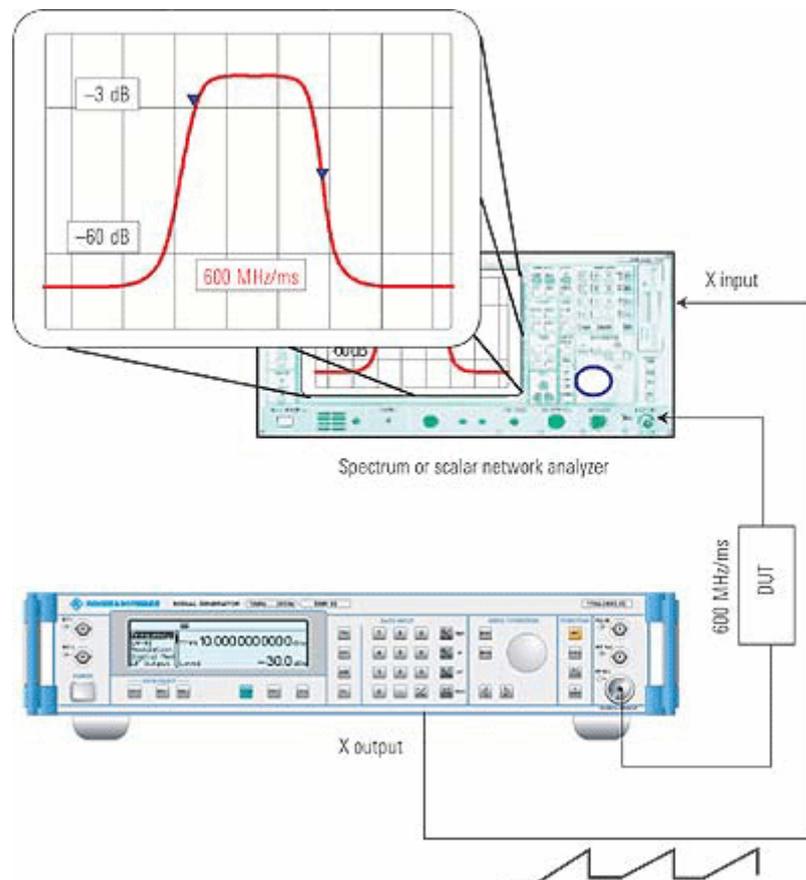
- Vysoký rozsah měření , až 90 dB
- Stupeň měření -67 dBm....+45dBm
- Rychlost měření 1500 měření za sekundu
- Nejistota měření 1,5 %
- Přesné průměrkování při měření v nastaveném režimu
- Až 128 časových úseků (pouze pro elektrický senzor)
- Připojení i přes USB rozhraní
- Rozměry (LxWxH) 274 mm x 112 mm x 267 mm
- Váha 2 kg [11]

6.1.3 Signálový generátor R&S SMR 20

Tento signálový generátor je z rodiny CW generátorů se schopností impulsové modulace. Tento model je nejnižší z řady, má rozsah 10 MHz až 20 GHz.. Tento model se též vyznačuje velmi rychlou frekvencí v čase přepínání signálů $<10\text{ms}+2\text{ms} / \text{GHz}$, rozklad po 0.1 Hz. Tento signálový generátor se velmi často využívá v laboratorních prostředích pro kalibraci ostatních přístrojů. Generuje totiž velmi přesný výstupní signál, který nekolísá a nemá cizí rušivé šумы.[11]

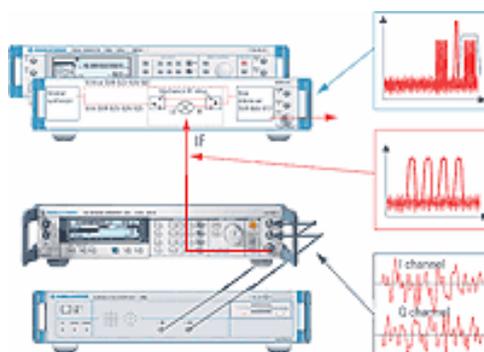


Obr. 21 Signálový generátor R&S SMR 20 [11]



Obr. 22 Připojení SMR 20 do měřicího obvodu (+ filtr) [11]

SMR 20 je schopen generovat signály vektorově modulovány v mikrovlnném kmitočtovém rozsahu. A to tři základní typy:



Obr. 23 Typy modulací umožňující signálový generátor SMR 20 [11]

6.1.4 Antény R&S HF 906

Tyto antény jsou konstruovány jako směrové vysokofrekvenční antény, určené zejména pro vysílání případně přijímání vysokofrekvenčních (radiofrekvenčních) signálů.

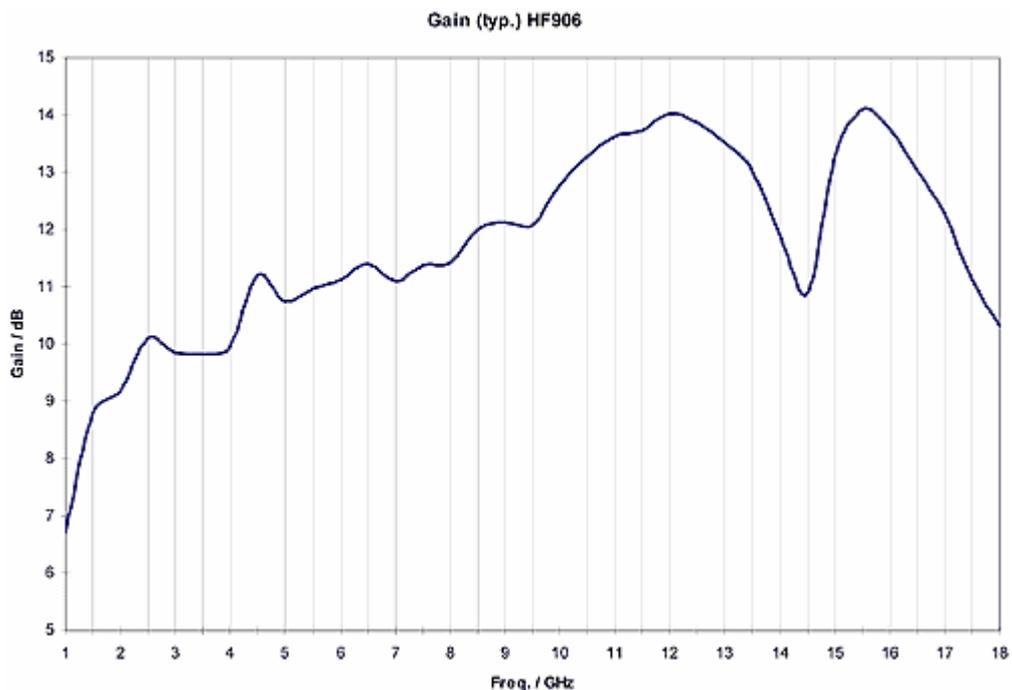


Obr. 24 Měřicí anténa R&S HF 906

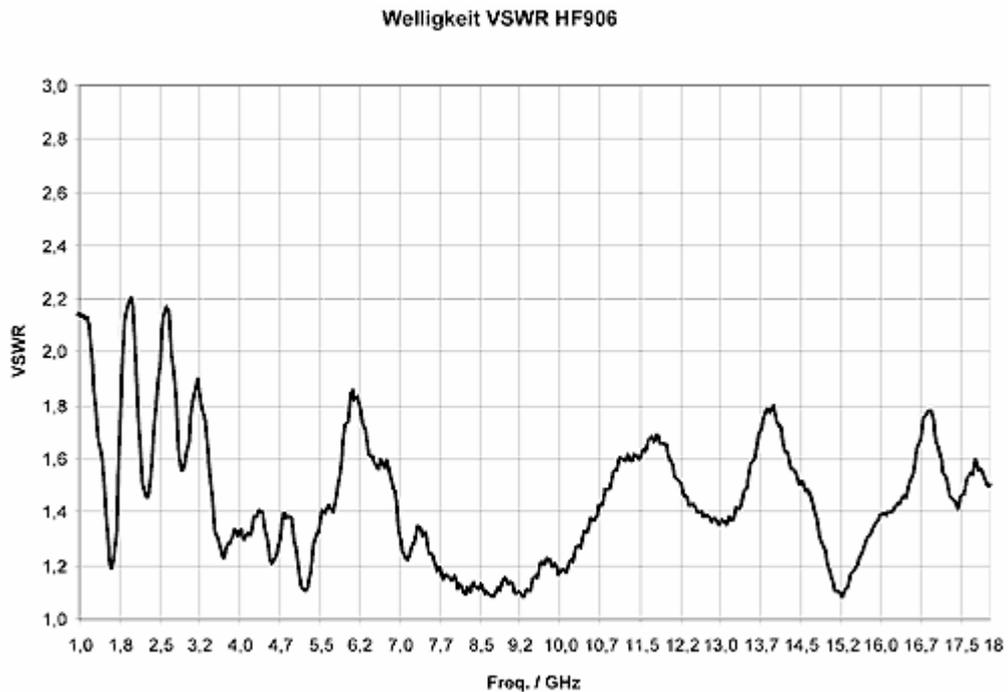
Technické parametry antén:

- Široký kmitočtový rozsah 1 GHz až 18 GHz
- Vysoký zisk 7 dBi až 14 dBi
- Minimum VSWR typ.<1.5
- Příkon až 300W/500 W okamžikově
- Kalibrace jednotek v souladu s ANSI C63.5/DIN45003
- Polarizace - lineární
- Impedance vstupu 50 Ω
- Konektor N
- MTBF > 250 000 h
- Rozsah provozní teploty 0 °C až 50 °C
- Rozměry (LxWxH) 290 mm x 250 mm x 160 mm
- Váha 1.5 kg [11]

Jsou určeny zejména pro laboratorní a přesná měření.



Graf 1 Zisk antény R&S HF 906 v dB [11]



Graf 2 Ukazatel napětí stojatých vln antény R&S HF 906 [11]

6.1.5 Měřicí pracoviště - uspořádání

Pro vlastní měření stínících účinků materiálů, dodaných firmou Evector s.r.o. pro letecký průmysl, bylo nutné sestavit měřicí pracoviště. Jak již je zmíněno (viz. výše) měří se pro vzdálené elektromagnetické pole, a to pro vysokofrekvenční signály. Proto byly pořízeny vysílací a přijímací antény určeny pro tyto velké frekvence (Obr. 24), které ovšem mají samozřejmě větší rozměry (290 mm x 250 mm x 160 mm). Proto zkoumané vzorky musí být rozměrově větší nežli vyústění antén. A právě tyto rozměrově větší vzorky (od 300mm x 300mm) bylo nutné nějakým způsobem upevnit mezi vysílací a přijímací anténu. To bylo dalším dílčím úkolem mé diplomové práce.

6.1.5.1 Zařízení pro uchycení měřených vzorků

Hlavním požadavkem na toto zařízení je, aby nebylo vyrobeno z kovového nebo jinak elektricky případně magneticky vodivého materiálu. To by mohlo vést k tomu, že by se vysílaný vysokofrekvenční signál od tohoto systému odrazil, zesiloval a podobně nepříjemným způsobem ovlivňoval samotné měření. Při výrobě zařízení muselo být bráno v potaz ještě několik dalších jiných faktorů nežli je nevodivost materiálu, ale také



Obr. 25 Zařízení pro uchycení měřených vzorků

Polyamidy a novodury jsou vyráběny z vysokomolekulárního nebo alkalického polyamidu vytlačováním nebo odléváním. Jsou rozpustné v silných kyselinách, v kyselině mravenčí, v octovém fenolu a v chlorovodíkových fenolech. Odolávají

uhlovodíkům, ketonům, esterům, benzínu, minerálním olejům a tukům. Lze je používat při nejrůznějších aplikacích, kde je využívána zejména tvrdost a vysoká oděruvzdornost polyamidu. Dají se dobře obrábět různými způsoby, např. soustružením, řezáním, frézováním apod. [13]

Celé zařízení bylo vyrobeno tak, aby bylo možné měřený vzorek umístit do jakékoliv polohy mezi měřicí antény.

6.1.5.2 Zařízení pro odstínění okolí měřených vzorků

Toto zařízení (= stínící stěna) bylo vyrobeno tak, aby bylo schopno odstínit vysílanou rovinnou vlnu, které se šíří kolem měřeného vzorku, tzn tento vzorek obtéká. Ta vytváří následně chybové měření, neboť hodnota útlumu naměřená za stínící přepážkou (stínící vzorek) je ovlivněna právě signálem obtékající tuto přepážku, tudíž stínící účinek klesá.

realizovatelnost výroby a obrábění jednotlivých částí, z kterých se systém skládá, a v neposlední řadě také vzhled celého zařízení. A proto jako nejdostupnější a nejvhodnějším materiál pro tento účel byl vybrán černý polyamid, v technické praxi též užívaný název černý silon, novodur a dřevo, použité pouze jako podstavec.



Obr. 26 Materiál pro výrobu upevňovacího zařízení – černý polyamid

Stínící stěna byla vyrobena z tvrzeného papíru o rozměrech 580 x 820 mm, tloušťky 3 mm. Uprostřed této desky byl vyroben otvor o rozměrech 240 x 240 mm, do kterého se následně umisťovaly jednotlivé měřené vzorky. Ty byly uchyceny na zadní část desky pomocí úchytek vyrobených též z tvrzeného papíru. Na přední stranu desky (strana, ze které se šíří vysílaná vlna) byla připevněna (nalepena) hliníková fólie tloušťky 0,3 mm. Ta sloužila jako odrazová hmota pro vysílaný signál.



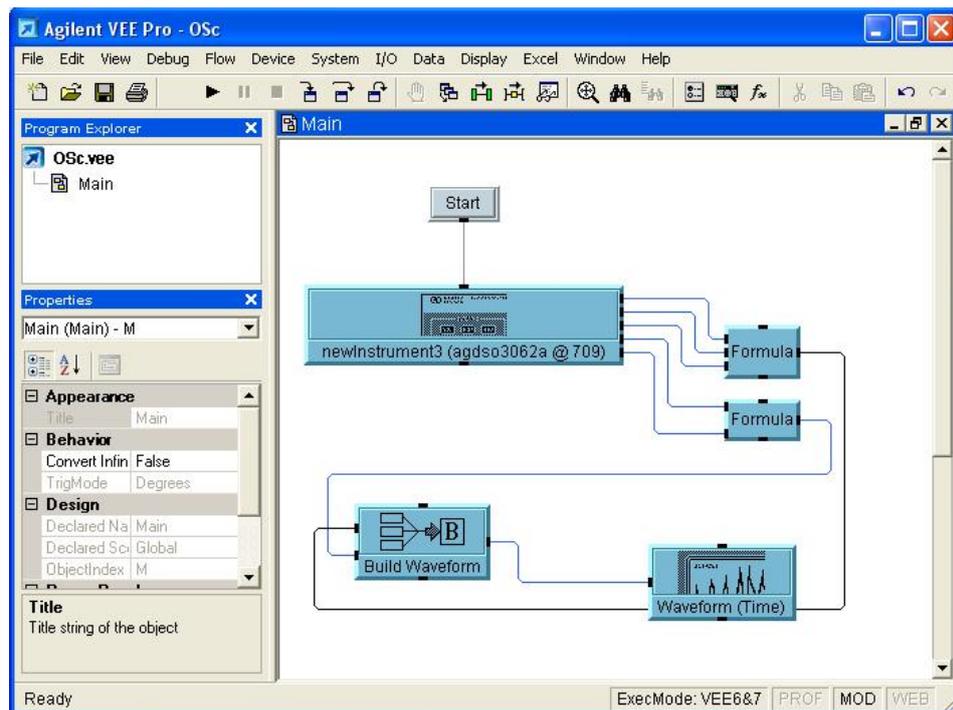
Obr. 27 Zařízení pro odstínění okolí měřených vzorků (přední, zadní strana)

6.1.6 Software používaný při měření

Pro samotné měření, ovládání měřicích přístrojů a získávání dat v samotném měření, bylo zapotřebí počítačového softwaru. I přesto, že všechny používané přístroje jsou zakoupeny od firmy Rohde&Schwarz, byl použit software vyvinutý firmou Agilent. Jedná se o software VEEPro 7.5 případně verze 8.

Jde o graficky orientované vývojové prostředí pro tvorbu programových aplikací pro automatizaci měřicích procesů, zpracování dat a řízení. Tvorba programu zjednodušeně odpovídá vytváření vývojového diagramu automatizovaného měřicího procesu. Maximální důraz je kladen na jednoduchost propojení s měřicími přístroji prostřednictvím sběrnice GPIB, LAN, USB, RS-232 či VXI, k dispozici jsou ovladače pro více než 1000 měřicích přístrojů od 70 různých výrobců. Velká pozornost je věnována funkcím pro grafické zobrazení a matematické zpracování naměřených dat. Z tohoto důvodu je do prostředí VEE Pro integrován MATLAB Script od společnosti MathWorks včetně The MathWorks Signal

Processing Toolbox. Díky tomu má uživatel k dispozici pro zpracování výsledků měření více jak 500 analytických a vizualizačních funkcí z programu MATLAB. Pro snadnou komunikaci s ostatními aplikacemi a zdroji dat obsahuje VEEPro Active X Automation Server a Microsoft .NET Framework, díky kterým je možné snadno získávat data z jiných aplikací, generovat automatická E-mailová hlášení či automaticky obnovovat data na webových stránkách. [11]



Obr. 28 Vývojové prostředí firmy Agilent softwar VEEPro

Hlavní přednosti VEE Pro

- Výrazně zvyšuje produktivitu práce. Uživatelé vykazují až 80ti procentní zkrácení doby při vytváření programu.
- Široké možnosti použití. Jako například test funkčnosti, ověření návrhu, kalibrace, získávání dat a jejich kontrola.
- Nástroje pro vstupně výstupní přenos. Umožňuje přenos a komunikaci po sériové lince, LAN, PC plugin kart. Umožňuje importovat knihovny od široké palety výrobců měřících přístrojů.

- Používá ActiveX prvek pro automatické řízení jiných programů jako například MS Word, Excel a Access které používá k exportu a ukládání získaných dat a jejich následného použití.
- Zvyšuje výkonnost a usnadňuje tvorbu rozsáhlejších programů. VEE obsahuje vlastní kompilační program a pokročilé profesionální vývojové nástroje určené pro tvorbu rozsáhlých programů.
- Podpora textových jazyků Visual Studio .NET. Veškeré textové jazyky, které umožňuje Visual Studio .NET mohou být použity i ve VEE pro. VEE pro taktéž umožňuje i použití jiných textových jazyků jako například C/C++, Visual Basic, Pascal a Fortran. [11]

6.2 Měření vzorky – materiály

Celé experimentální měření je založeno na výzkumu kompozitních materiálů a to z hlediska útlumu rušivých signálů. Tyto mají být použity pro letecký průmysl, užívané pro konstrukci letadel. Tímto vývojem se zabývá, jak již bylo zmíněno v úvodu praktického měření, firma Evektor s.r.o, závod Kunovice. Ta nám, jakožto UTB ve Zlíně, Ústavu elektrotechniky a měření, dodala navrhované vzorky kompozitních materiálů, které by bylo možné použít k těmto účelům. Jednotlivé vzorky jsou vyrobeny ze stejných materiálů (*stesimalit ep121 c20-45, voština ECA, mřížka 3Cu7-125A@18“00 s lepidlem LFX 023*) jako „sendvič“, ovšem liší se v uspořádání a orientaci jednotlivých vrstev, popřípadě stínící mřížkou.

Pozn. Předběžná a informativní měření byla prováděna již dříve, a to v bakalářské práci „Měření stínící účinnosti přístrojových krytů v oblasti EMC“. [12]

Zde byly proměřeny obdobné kompozitní materiály, destičky o rozměrech 100x100 mm.

Podle výsledků, které byly informativně naměřeny v bakalářské práci [12] (viz. pozn.), se firma Evektor s.r.o rozhodla dodat jednotlivé kompozitní materiály ve větší škále, ovšem o větších rozměrech, a to 300x300 mm.

Pro srovnání a ověření správnosti měření byly proměřeny další materiály stejných rozměrů. Jednalo se o materiál polymethylmetakrylát (zkratka PMMA), známý spíše pod názvem

plexisklo, tloušťky 4 mm. U tohoto materiálu je známá konstanta permitivity $\epsilon_r = 2.8$, proto jsme mohli naměřený výsledek porovnat s teoretickým výpočtem, a tak zjistit odchylku měření od výpočtu. Jako další porovnávací vzorek jsme využili hliníkovou desku opět stejných rozměrů, tloušťky 3,6 mm. Tato deska sloužila zase spíše jako materiál, u kterého dochází k téměř úplnému odrazu signálů.

Vzorek č. 1

složení vzorku (sendvič)		
č.v.	Materiál (TYP)	orientace
1	mřížka 3Cu7-125A@18"00 s lepidlem LFX 023	—
2	STESALIT EP121 C20-45	45°
3	STESALIT EP121 C20-45	45°
	VOŠTINA ECA tl. 5 mm	
4	STESALIT EP121 C20-45	45°
5	STESALIT EP121 C20-45	45°
	poznámka	
roz. tkanina VAF; vak. plac WL 7000		



Obr. 29 Vzorek č.1 (přední a zadní strana)

Tab. 7 Skladba vzorku č.1

Vzorek č. 2

složení vzorku (sendvič)		
č.v.	Materiál (TYP)	orientace
1	mřížka 3Cu7-125A@18"00 s lepidlem LFX 023	—
2	STESALIT EP121 C20-45	45°
	VOŠTINA ECA tl. 5 mm	
3	STESALIT EP121 C20-45	45°
	poznámka	
roz. tkanina VAF; vak. plac WL 7000		



Obr. 30 Vzorek č.2 (přední a zadní strana)

Tab. 8 Skladba vzorku č.2

Vzorek č. 3

<i>složení vzorku (sendvič)</i>		
č.v.	Materiál (TYP)	orientace
1	STESALIT EP121 C20-45	0°
2	STESALIT EP121 C20-45	0°
	VOŠTINA ECA tl. 5 mm	
3	STESALIT EP121 C20-45	0°
4	STESALIT EP121 C20-45	45°
	poznámka	
roz. tkanina VAF; vak. plac WL 7000		



Obr. 31 Vzorek č.3 (přední a zadní strana)

Tab. 9 Skladba vzorku č.3

Vzorek č. 4

<i>složení vzorku (sendvič)</i>		
č.v.	Materiál (TYP)	orientace
1	mřížka 3Cu7-125A@18"00 s lepidlem LFX 023	—
2	STESALIT EP121 C20-45	45°
3	STESALIT EP121 C20-45	0°
4	STESALIT EP121 C20-45	0°
	VOŠTINA ECA tl. 5 mm	
5	STESALIT EP121 C20-45	0°
6	STESALIT EP121 C20-45	0°
7	STESALIT EP121 C20-45	45°
	poznámka	
roz. tkanina VAF; vak. plac WL 7000		



Obr. 32 Vzorek č.4 (přední a zadní strana)

Tab. 10 Skladba vzorku č.4

Vzorek č. 5

<i>složení vzorku (sendvič)</i>		
č.v.	Materiál (TYP)	orientace
1	STESALIT EP121 C20-45	0°
	VOŠTINA ECA tl. 5 mm	
2	STESALIT EP121 C20-45	0°
	poznámka	
roz. tkanina VAF; vak. plac WL 7000		



Obr. 33 Vzorek č.5 (přední a zadní strana)

Tab. 11 Skladba vzorku č.5

Vzorek č. 6

složení vzorku (sendvič)		
č.v.	Materiál (TYP)	orientace
1	STESALIT EP121 C20-45	45°
2	STESALIT EP121 C20-45	0°
3	STESALIT EP121 C20-45	0°
	VOŠTINA ECA tl. 5 mm	
4	STESALIT EP121 C20-45	0°
5	STESALIT EP121 C20-45	0°
6	STESALIT EP121 C20-45	45°
	poznámka	
roz. tkanina VAF; vak. plac WL 7000		



Obr. 34 Vzorek č.6 (přední a zadní strana)

Tab. 12 Skladba vzorku č.6

Vzorek č. 7

složení vzorku (sendvič)		
č.v.	Materiál (TYP)	orientace
1	mřížka 3Cu7-125A@18"00 s lepidlem LFX 023	—
2	STESALIT EP121 C20-45	45°
3	STESALIT EP121 C20-45	0°
4	STESALIT EP121 C20-45	0°
5	STESALIT EP121 C20-45	45°
	poznámka	
roz. tkanina VAF; vak. plac WL 7000		

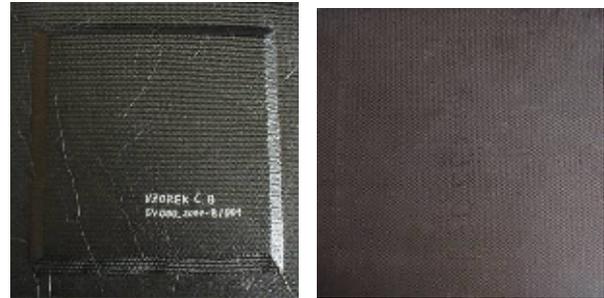


Obr. 35 Vzorek č.7 (přední a zadní strana)

Tab. 13 Skladba vzorku č.7

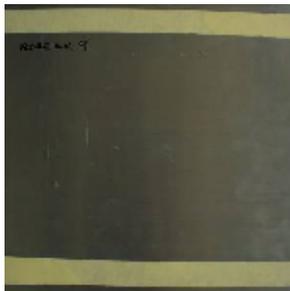
Vzorek č. 8

složení vzorku (sendvič)		
č.v.	Materiál (TYP)	orientace
1	mřížka 3Cu7-125A@18"00 s lepidlem LFX 023	—
2	STESALIT EP121 C20-45	45°
3	STESALIT EP121 C20-45	45°
	VOŠTINA ECA tl. 10 mm	
4	STESALIT EP121 C20-45	45°
5	STESALIT EP121 C20-45	45°
	poznámka	
roz. tkanina VAF; vak. plac WL 7000		



Obr. 36 Vzorek č.8 (přední a zadní strana)

Tab. 14 Skladba vzorku č.8

Vzorek č. 9 - hliník

Jedná se o desku z hliníku o rozměrech 300x300 mm a tloušťky 3,6 mm. Tato deska je složena ze 3 kusů plechu tloušťky 1,2 mm.

Obr. 37 Vzorek č.9 – hliník

Vzorek č. 10 - plexisklo

Jedná se o desku z plexiskla (polymethylmetakrylát, zkratka PMMA) o rozměrech 300x300 mm a tloušťky 4 mm.

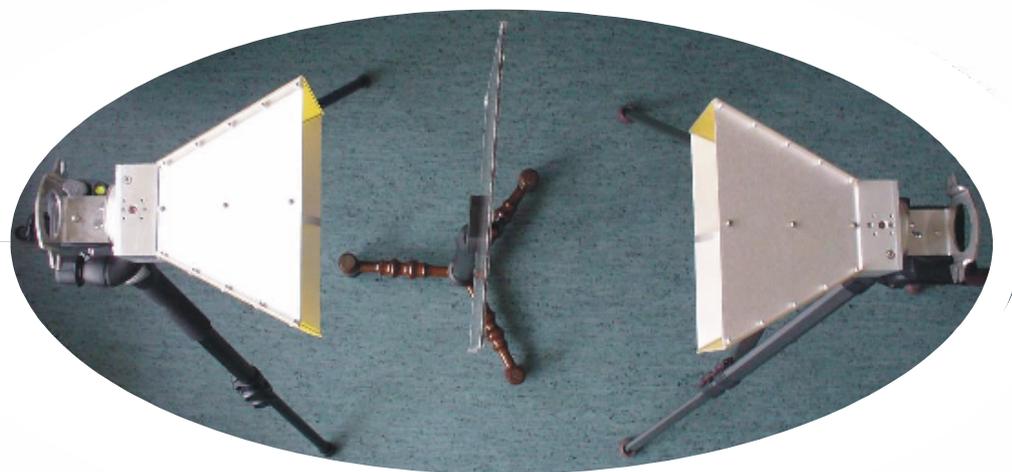
Obr. 38 Vzorek č.10 – plexisklo

7 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Jak již bylo nastíněno v kapitole 6, celé experimentální měření bylo rozfázováno do několika částí. Základ tvořilo navrhnutí a vytvoření měřicího okruhu, umístění jednotlivých antén a vzorků do daných pozic, seznámení se s funkcemi používaných měřících přístrojů a nastudování jejich manuálů. Vytvořit v daném laboratorním softwaru program, který by spolupracoval s měřicími přístroji, a pomocí něj je ovládat. Následně pak už tedy samotné naměření výsledků a jejich vyhodnocení.

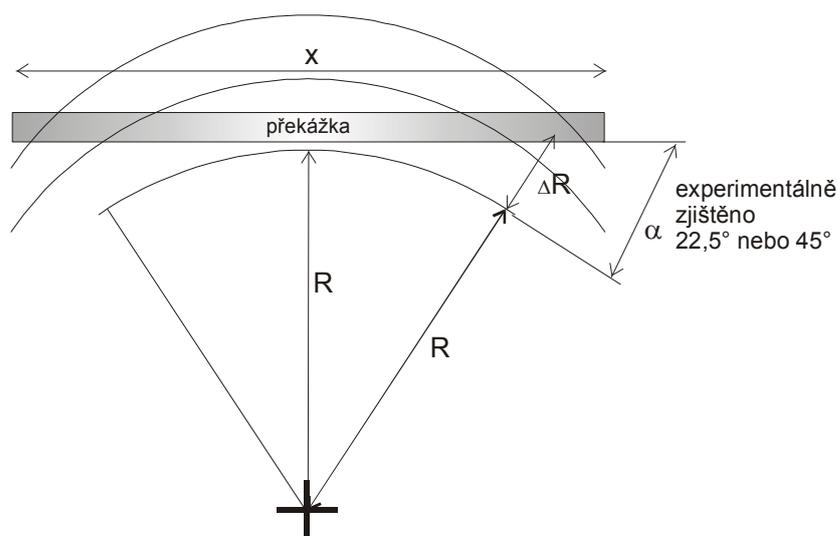
7.1 Návrh měřicího okruhu

Zde bylo nedůležitější zajištění polohy antén (vysílací i přijímací) a polohy měřeného vzorku. To vše muselo být umístěno ve stále stejné poloze a ve stále stejné vzdálenosti (Obr. 39). Proto byly použity dva stativy pro měřicí antény, jeden stojan k uchycování vzorků (viz. kapitola 6.1.5). Dále jsem použil jednoduchý výpočet pro vzdálenosti zdroje signálu od překážky. Vlny šířící se prostorem a následně dopadající na překážku lze pak považovat za dokonale sférického (kulového) charakteru.



Obr. 39 Umístění měřících antén a měřených vzorků

Dále pro samotné měření by bylo ideální umístění celého měřicího okruhu do místa, kde by nedocházelo k žádným odrazům šířící se vlny. Ve výzkumných ústavech se využívají měřicí bezodrazové komory V mém případě sem však pro prvotní a informativní měření využil laboratoř. Zde však dochází k velikým odrazům. Proto pro konečné měření jsem využil venkovní prostory školy, kde by se odrazy šířící se vlny měli alespoň částečně eliminovat.



Obr. 40 Nákres pro výpočet vzdálenosti zdroje šíření vln od překážky

Díky tomu, že vyzařované vlny jsou kulového charakteru, na překážku dopadají nestejněměrně, tzn. že na okraj překážky dopadají vlny fázově posunutější nežli na střed překážky. Experimentálně bylo zjištěno, že vlny se šíří pod úhlem 22,5° nebo 45°. Pro názorný výpočet viz. níže byl použit úhel 45°.

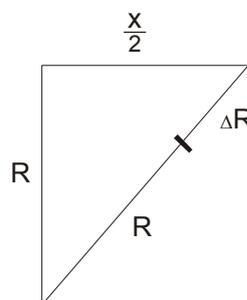
$\lambda \dots\dots 360^\circ$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

V našem případě úhel 45°

$360 / 45 = 8$

$$\Delta R = \frac{\lambda}{8}$$



Měřené vzorky pro měření používám o velikosti $x = 0,3$ m Pro výpočet je využita zákonitost Pythagorovy věty v pravoúhlém trojúhelníku.

$$R^2 + \left(\frac{x}{2}\right)^2 = \left(R + \frac{\lambda}{8}\right)^2$$

$$\frac{x^2}{4} = \frac{R \cdot \lambda}{4} + \frac{\lambda^2}{64}$$

$$R = \frac{4}{\lambda} \left(\frac{x^2}{4} - \frac{\lambda^2}{64} \right)$$

$$\underline{\underline{R = \frac{x^2}{\lambda} - \frac{\lambda}{16}}}$$

Legenda:

x	rozměr měřeného vzorku [m]
λ	vlnová délka [m]
c	rychlost světla [m/s]
f	frekvence [Hz]
R	vzdálenost antény [m]

frekvence [GHz]	lambda [m]	R [m] pro 22,5°	R [m] pro 45°
0.1	3	-0.0338	-0.1575
1	0.3	0.5906	0.2813
2	0.15	1.1953	0.5906
3	0.1	1.7969	0.8938
4	0.075	2.3977	1.1953
5	0.06	2.9981	1.4963
6	0.05	3.5984	1.7969
7	0.0429	4.1987	2.0973
8	0.0375	4.7988	2.3977
9	0.0333	5.3990	2.6979
10	0.0300	5.9991	2.9981
11	0.0273	6.5991	3.2983
12	0.0250	7.1992	3.5984
13	0.0231	7.7993	3.8986
14	0.0214	8.3993	4.1987
15	0.0200	8.9994	4.4988
16	0.0188	9.5994	4.7988
17	0.0176	10.1994	5.0989
18	0.0167	10.7995	5.3990
průměr			
9.5	0.0583	5.6982	2.8464

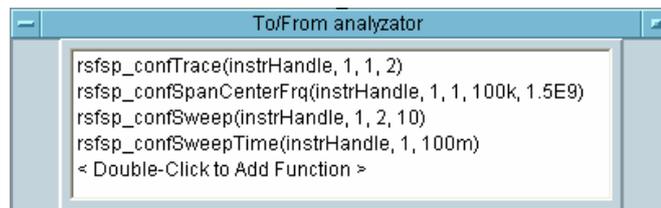
Tab. 15 Tabulka hodnot vypočtených vzdáleností antén od vzorku pro dopadající vlny pod úhlem 22,5° a 45° a jejich následný průměr

Pozn. V tabulce č.15 je „průměr“ hodnot brán pouze z hodnot frekvencí od 1 GHz do 18 GHz. Hodnota u frekvence 0,1 GHz je záporná a z logického hlediska nelze anténu umístit do záporné polohy.

7.2 Návrh programu pro měření

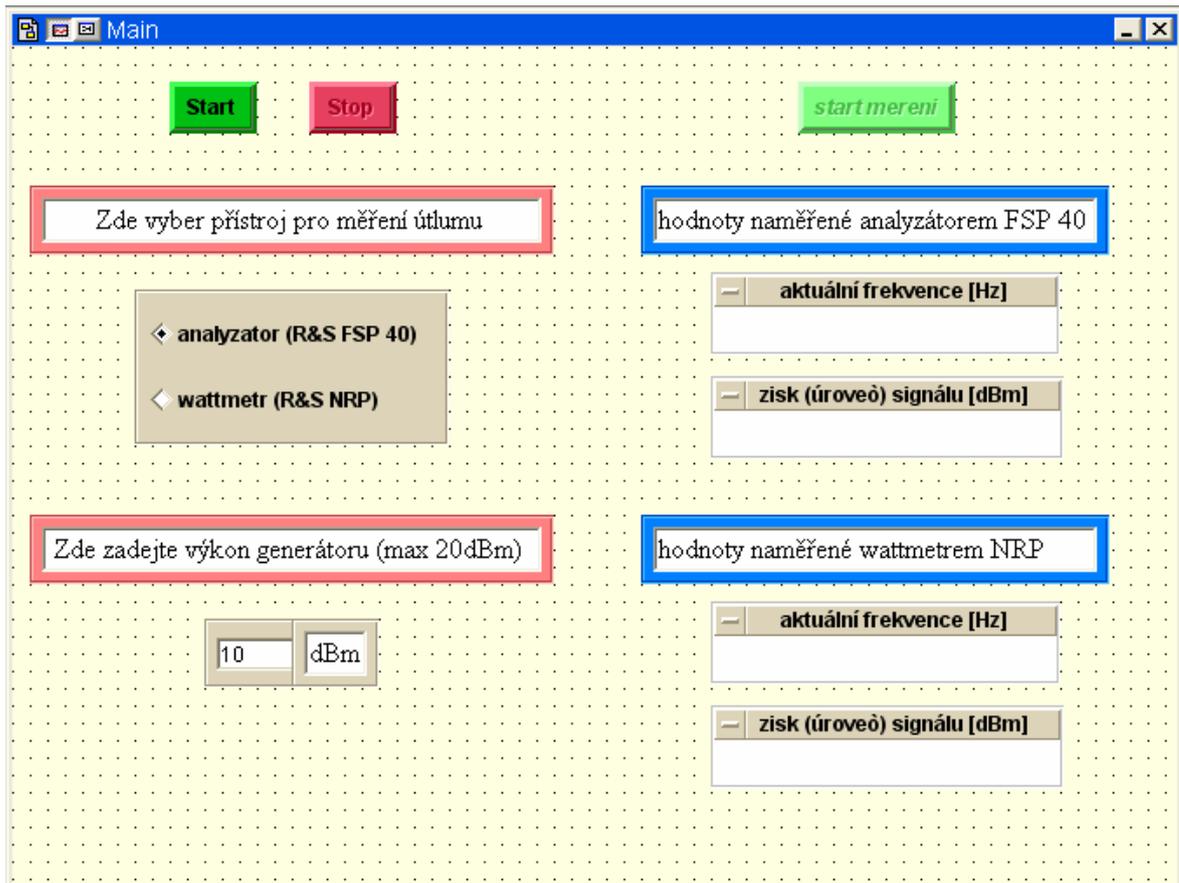
Všechny použité přístroje při tomto experimentu mohou být ovládány ručně, bez přítomnosti počítačové techniky. Ovšem pro zrychlení, zpřesnění a zkvalitnění celého měření byl vytvořen program, pro uživatele jednoduše ovladatelný.

Přístroje byly zapojeny k počítači pomocí GPIB (General Purpose Interface Bus) rozhraní. Do počítače byl nainstalován software firmy Agilent VEEPro (viz. kapitola 6.1.6), který umožňuje ovládat jednotlivé přístroje. Dále byly nainstalovány softwary pro jednotlivé přístroje, které jsou volně stažitelné na internetových stránkách firmy Rohde&Schwarz. Nyní bylo nutné nastudování manuálů a jednotlivých příkazů, kterými se dané přístroje ovládají.



Obr. 41 Ukázka jednoho z bloků, ve kterém se zadávají příkazy pro funkce přístroje

Pomocí VEEPro byl následně vytvořen program, který umožňuje, aby si uživatel mohl vybrat, kterým přístrojem měření bude prováděno (buď spektrální analyzátor nebo wattmetr). Dále panel obsahuje tlačítka pro spuštění a zastavení programu a tlačítka pro spuštění samotného měření. Získané výsledky se ukládají do uživatelem zvoleného souboru a zároveň jsou zobrazovány na displejích na ovládacím panelu. Vzhled uživatelského panelu je vyobrazen na Obr. 42 a samotné schéma propojení jednotlivých bloků je zobrazeno v příloze I.



Obr. 42 Uživatelský panel pro měření

Průběh měření je koncipován tak, že při spuštění programu pomocí tlačítka *start* je uživatel dotázán na počáteční a koncovou frekvenci měření a frekvenční krok při přenastavování v cyklu. Následně uživatel nastaví jakým přístrojem bude měření provádět a jakou hodnotu amplitudy se má nastavit na budícím generátoru. Tím se zaktivuje tlačítko pro spuštění samotného měření (tlačítko *start měření*). Měření probíhá tak, že se nejprve zaktivují dané používané přístroje a nastaví se do výchozí polohy (amplituda u generátoru, span, average, sweepstime u analyzátořu, resp. wattmetru). Po uplynutí několika sekund začne generátor vysílat první frekvenci s danou amplitudou. Ta se ještě uloží do daného souboru, ke které se pak přiřadí naměřený výsledek.

Vyhodnocovací přístroj – spektrální analyzátoř se přepne také na tuto frekvenci a zanalyzuje spektrum (v rozsahu podle přednastaveného spanu, což je přednastaveno na hodnotě 100kHz). Tuto analýzu provede 10x za sebou (sweepstime) a zprůměřňuje získané

hodnoty (average). Následně vybere maximální naměřenou hodnotu z tohoto průměru a tuto vrátí zpět do programu, který ji uloží to daného souboru.

Vyhodnocovací přístroj – wattmetr se také přepne na stejnou frekvenci jako je generátor a změří hodnotu získaného výkonu na této frekvenci. Toto měření provede 16x za sebou a zprůměrovanou hodnotu opět vrátí zpět do programu a ten ji zapíše do daného souboru.

Po uplynutí tohoto procesu se vyčká 2 sekundy a generátor se přepne na další frekvenci v nastaveném kroku a celý cyklus vyhodnocení se opakuje stejným způsobem. Po skončení celého cyklu se program vrátí na začátek a zaktivuje se opět tlačítko pro start měření. Pro ukončení celého programu slouží tlačítko *stop*. Při zmáčknutí tohoto tlačítka se také automaticky vypínají výstupy generátoru, aby se nastavený vysílaný signál stále nešířil do prostoru.

7.3 Naměřené výsledky

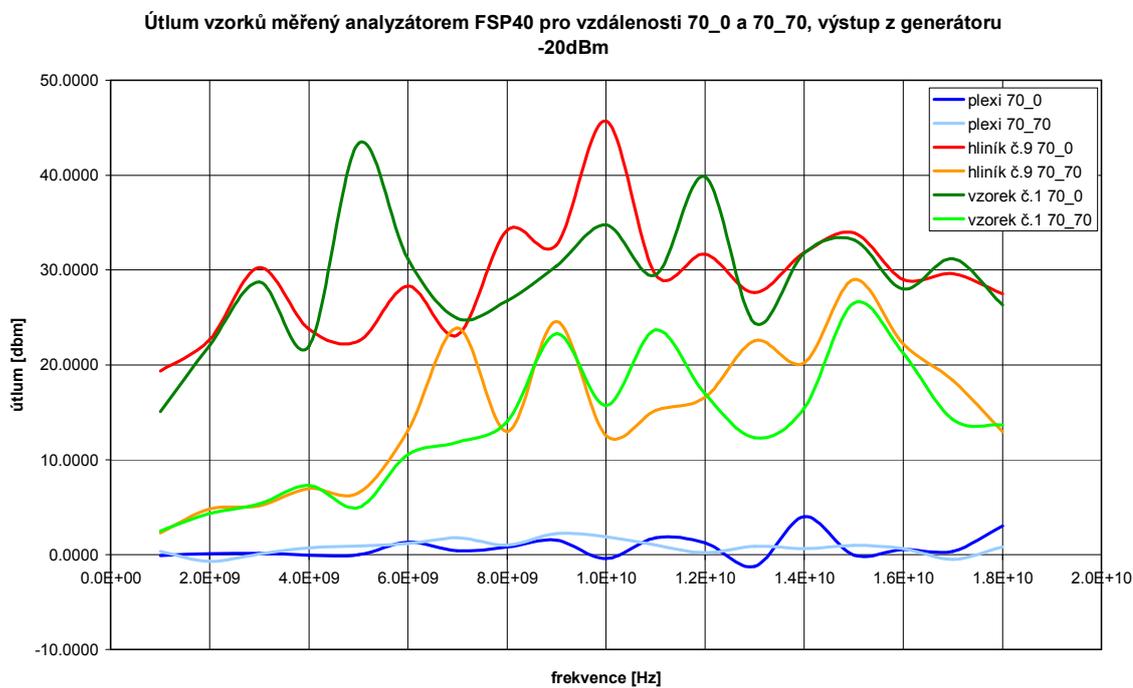
Měření jednotlivých vzorků bylo prováděno na frekvenčním rozsahu od 1GHz do 18 GHz (omezeno měřicími anténami) s krokem 1GHz. Při měření bylo postupováno vždy tím způsobem, že byl změřen zisk signálu bez vzorku (tj, pouze vzduchová mezera), následně s měřeným vzorkem. Tyto hodnoty od sebe odečteny a normalizovány. Vzorek plexisklo byl proměřen pouze v prvotních měřeních, a to z důvodu zjištění správnosti měření. U tohoto vzorku je totiž známa hodnota ϵ_r , a tudíž lze hodnotu stínící účinnosti vypočítat numericky, následně porovnat s měřením. Vzorek hliníková deska byl brán jako vzorek, u kterého se předpokládá maximální odrazivost signálu. Byl měřen také pouze informativně.

Ovšem v prvním kroku měření bylo nejdůležitější zjistit a vyhodnotit, který způsob měření, který z měřících přístrojů a jaké nastavení jednotlivých přístrojů bude pro konečné výsledky nejvhodnější.

7.3.1 První informativní měření

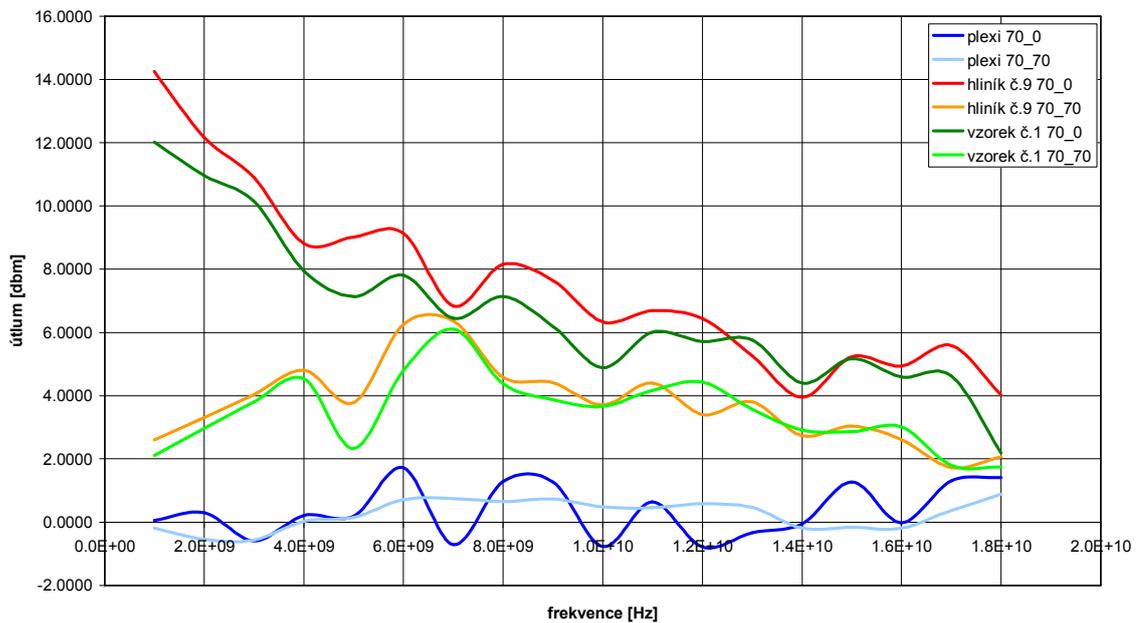
Pro toto vyhodnocení bylo použito pouze 3 vzorků, a to plexisklo, hliníková deska a měřený vzorek č.1. Dále byl použit pro měření jak spektrální analyzátor (R&S FSH40), tak wattmetr (R&S NRP). Uspořádání jednotlivých antén bylo provedeno dvěma způsoby. První uspořádání antén bylo takové, že vysílací anténa byla umístěna 70 cm před měřeným materiálem a přijímací anténa 0 cm za materiálem. Druhé uspořádání antén bylo takové, že

vysílací i přijímací anténa byla umístěna 70 cm od měřeného materiálu (označení v grafu 70_70).



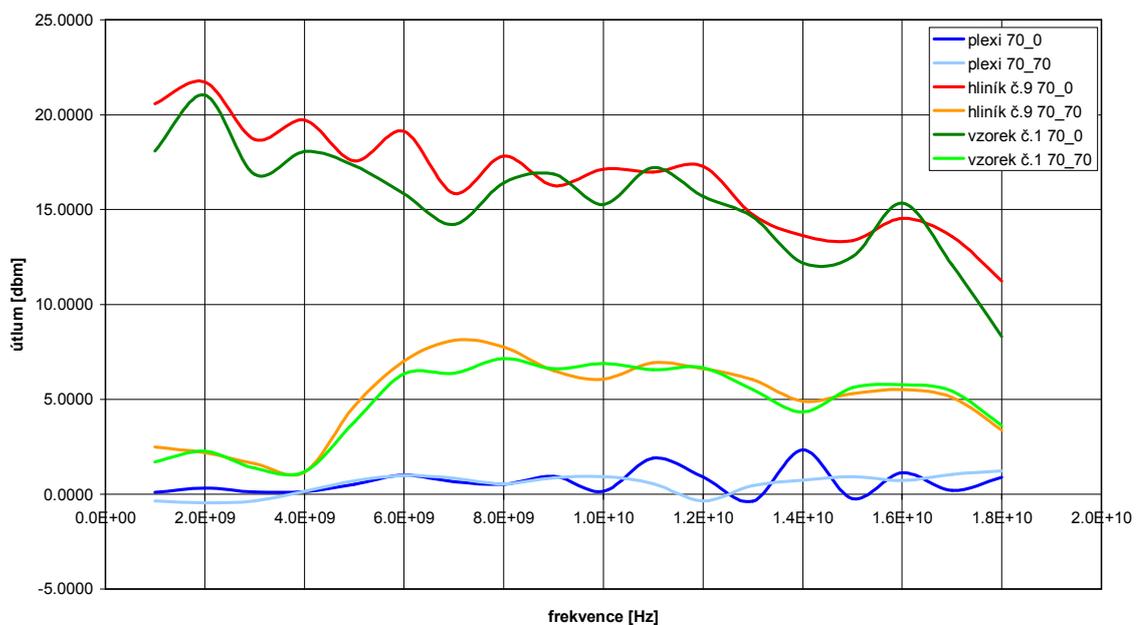
Graf 3 Útlum vzorků měřený analyzátozem pro vzdálenosti 70_0 a 70_70, výstup z generátoru -20dBm – informativní měření

Útlum vzorků měřený wattmetrem NRP pro vzdálenosti 70_0 a 70_70, výstup z generátoru -20dBm



Graf 4 Útlum vzorků měřený wattmetrem pro vzdálenosti 70_0 a 70_70, výstup z generátoru -20dBm – informativní měření

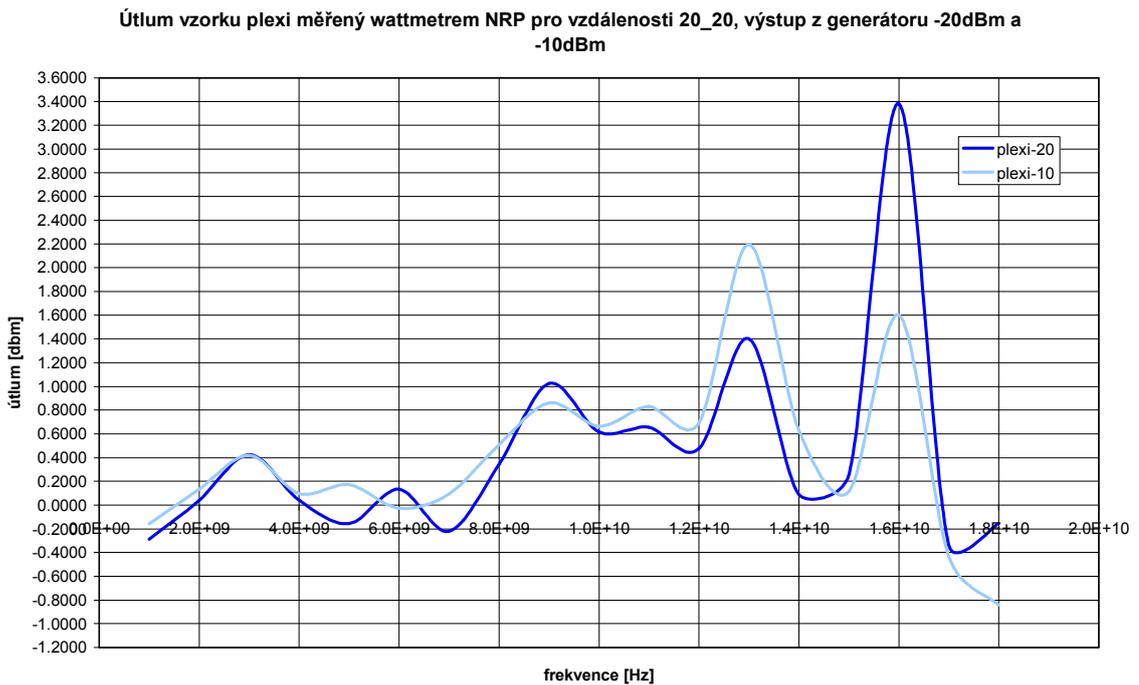
Útlum vzorků měřený wattmetrem NRP pro vzdálenosti 70_0 a 70_70, výstup z generátoru -10dBm



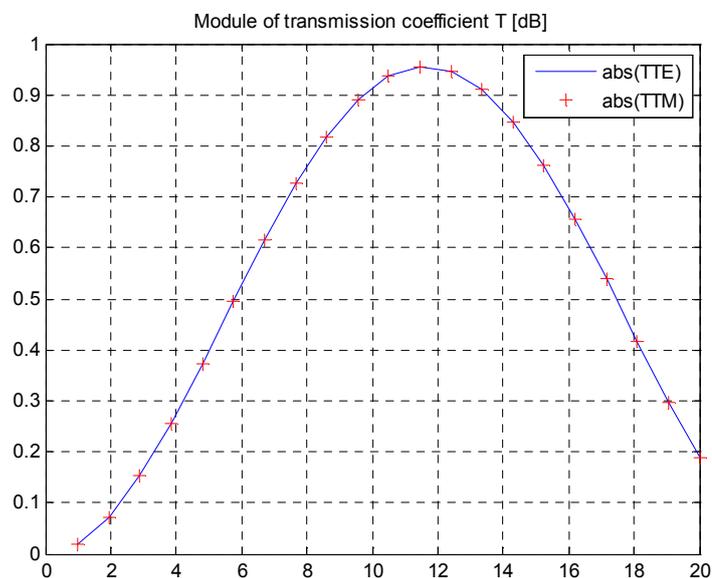
Graf 5 Útlum vzorků měřený wattmetrem pro vzdálenosti 70_0 a 70_70, výstup z generátoru -10dBm – informativní měření

Po následných konzultacích těchto naměřených výsledků bylo rozhodnuto, že další měření a vyhodnocování měřených vzorků bude prováděno pouze wattmetrem R&S NRP. Je to zřejmé i z naměřených průběhů (Graf 1, respektive Graf 2). U wattmetru není útlum na jednotlivých frekvencích tak kmitavý jako u analyzátoru, průběh útlumu u wattmetru má rovnoměrnou klesající tendenci, což je známé i z teoretických předpokladů. (viz.Obr. 12) Vysílaný signál u generátoru bude na úrovni -10dBm, je to z důvodu toho, aby rozdíl mezi vysílaným signálem a okolním rušícím signálem byl zřetelný na všech frekvencích.

Následně byl proměřen pouze vzorek plexisklo tloušťky 4mm pomocí wattmetru pro dvě výstupní hodnoty z generátoru, a to -20dBm a -10dBm (viz. Graf 6). Vzorek plexisklo byl vybrán z důvodu známosti hodnoty ϵ_r (hodnota se pohybuje v rozmezí 2 - 3.5, podle jednotlivých vlastností). Porovnáním naměřených hodnot (Graf 6 Útlum vzorku plexisklo měřený wattmetrem pro vzdálenosti 20_20, výstup z generátoru -20dBm a -10dBm – informativní měření) a hodnot vypočítaných pomocí teoretických vzorců ($\epsilon_r = 2.6$) (Graf 7) bylo zjištěno, že hodnoty relativně spolu korespondují. Tudíž lze tento způsob měření považovat za věrohodný..



Graf 6 Útlum vzorku plexisklo měřený wattmetrem pro vzdálenosti 20_20, výstup z generátoru -20dBm a -10dBm – informativní měření

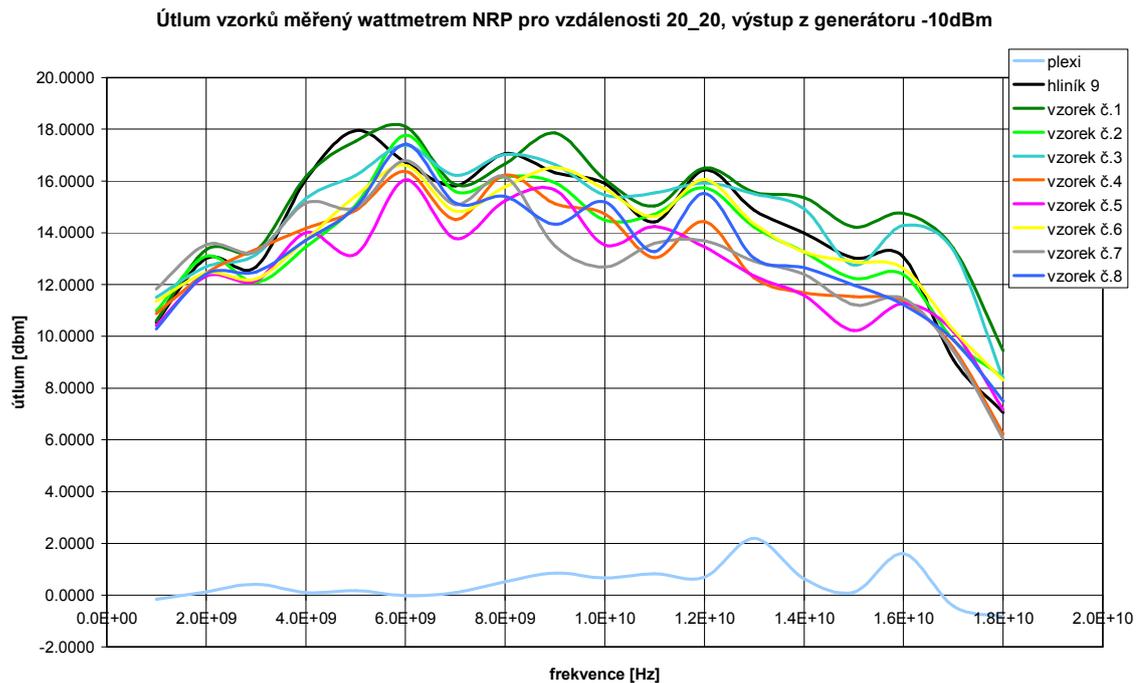


Graf 7 Vypočtený útlum vzorku plexisklo dle teoretických vztahů

Jednotlivé tabulky naměřených hodnoty ke grafům (3, 4, 5, 6) jsou zobrazeny v příloze II.

7.3.2 Měření všech vzorků

V dalším dílčím kroku měření bylo proměřeno všech 8 vzorků, dodané firmou Evektor s.r.o. a plexisklová i hliníková deska. Měřící okruh byl nastaven tak, že byl využit wattmetr, vzdálenost obou měřících antén od měřeného vzorku byla 20 cm, výstupní signál z generátoru byl nastaven na -10dBm.



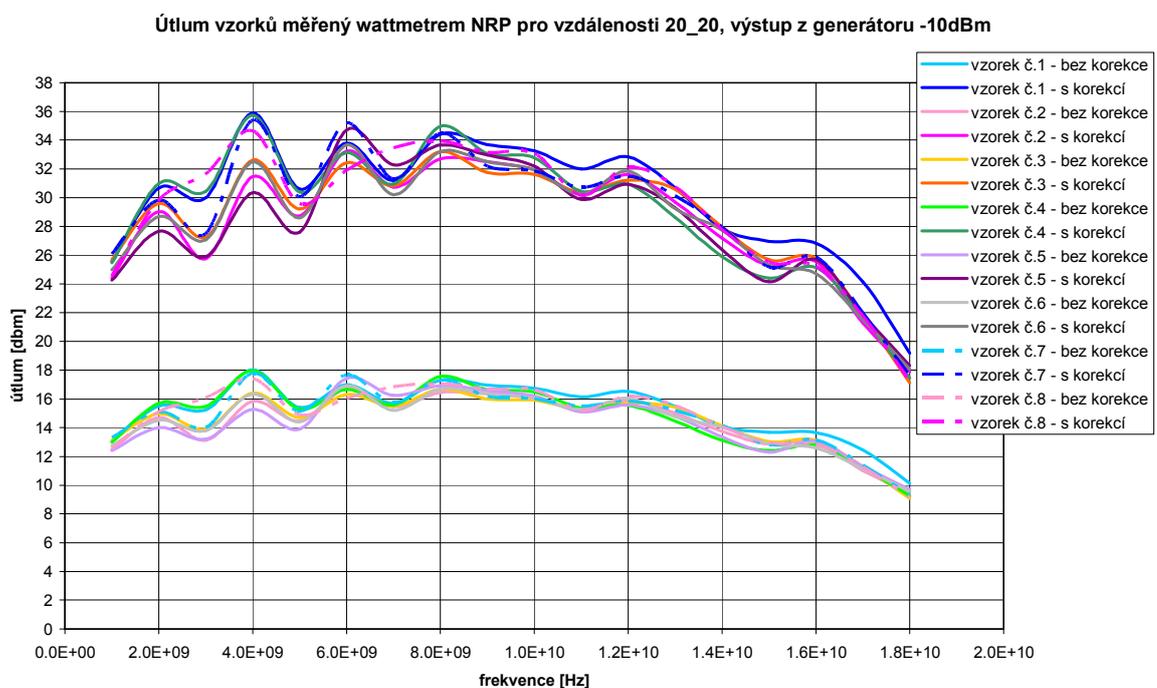
Graf 8 Útlum všech dodaných vzorků měřený wattmetrem pro vzdálenosti 20_20, výstup z generátoru -10dBm.

Z tohoto grafu je zřejmé, že měřené vzorky (1-8) mají obdobné průběhy útlumu na jednotlivých frekvencích jak vzorek hliníková deska, které by podle teoretických předpokladů měla mít absolutní odrazivost. Zde je však nutné k výsledkům přičíst i určitou chybu měření, a to z důvodu obtékání signálu kolem měřených vzorků (druhý dvojbran pro vysílaný signál). Nicméně z grafu je patrné, že vzorek č. 1 má nejlepší průběh - největší útlum na všech frekvencích. Oproti tomu lze považovat vzorek č.5 za nejhorší. Rozdíl hodnot útlumu mezi těmito vzorky je řádově 3 dBm.

Jednotlivé průběhy, a to hlavně v oblasti od 10GHz do 18 GHz mají sestupnou tendenci, což je ekvivalentní s teoretickými předpoklady.(viz.Graf 12, křivka R – odrazivost

signálu). Z naměřených průběhů lze způsob měření považovat za uspokojivý. Proto, aby byla odstraněna určitá chyba měření, byly tyto vzorky proměřeny stejným způsobem. A to 5krát po sobě, aby byla vyloučena statistická chyba měření. Následně vypočten průměr naměřených hodnot a vypočtena směrodatná odchylka.

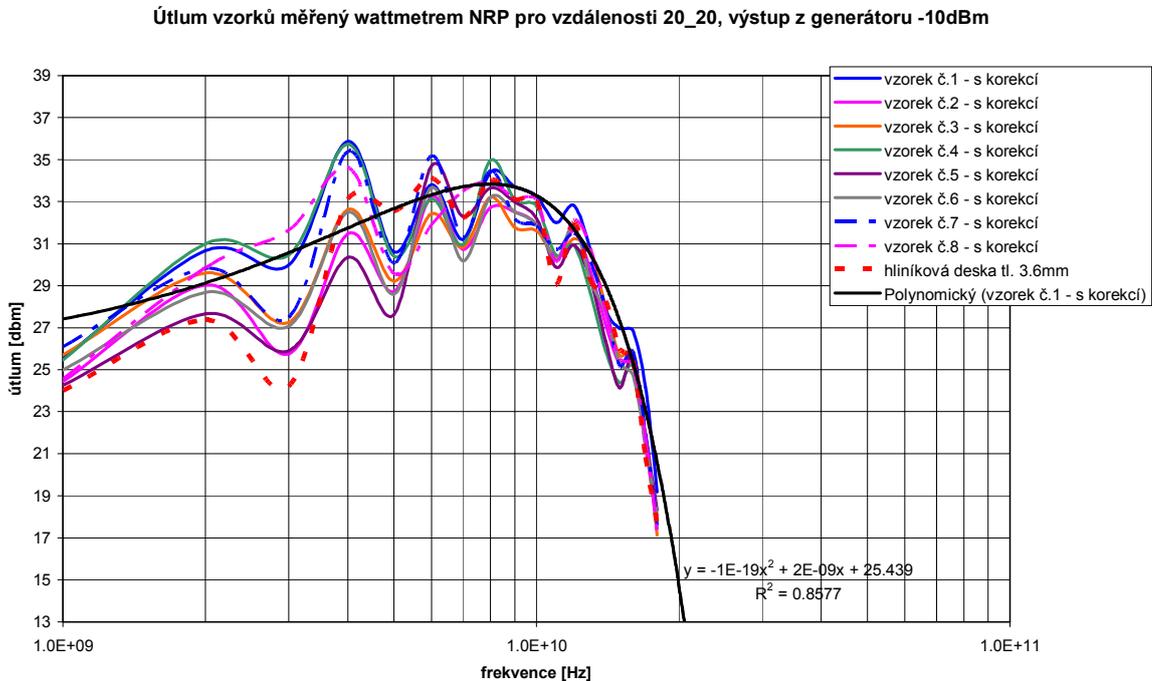
Dále byla provedena korekce a normalizace měření. Korekce byla provedena tak, že se matematicky odpočítá získaný signál, který obchází měřený vzorek a tím se zmenšuje naměřený útlum na vzorku. (přijímací anténa zachytí i signál, který obchází měřený vzorek). Matematicky to lze popsat jako chování dvou paralelně řazených dvojbranů (viz. kapitola 7.3.3). Normalizace byla provedena tím způsobem, že signál naměřený bez vzorku byl považován za 0 hodnotu a signál naměřený u vzorku hliníková deska byl brán jako absolutní odraz, tzn. hodnota 1.



Graf 9 Statistické vyhodnocení měření útlum a korekce měření všech dodaných vzorků měřený wattmetrem, pro vzdálenosti 20_20, výstup z generátoru -10dBm.

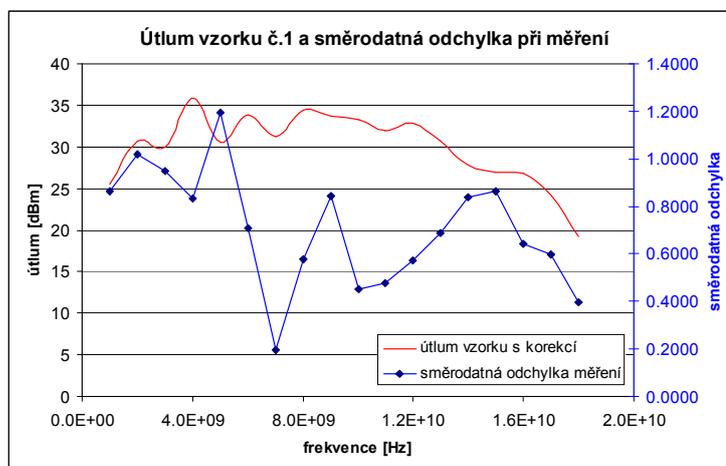
Na následujícím grafu (Graf 10 Jednotlivé průběhy z grafu 8 (pouze s korekcí) jsou zobrazeny pouze jednotlivé průběhy s korekcí z Graf 9. Na ose x je logaritmické měřítko. A zde je patrné, že nejvyšší hodnoty útlumu má vzorek č.1. Proto byl tento průběh proložen

křivkou s polynomičným matematickým popisem. $y = -10^{-19}x^2 + 2^{-9}x + 25,439$. Hodnota spolehlivosti je $R^2 = 0,8577$

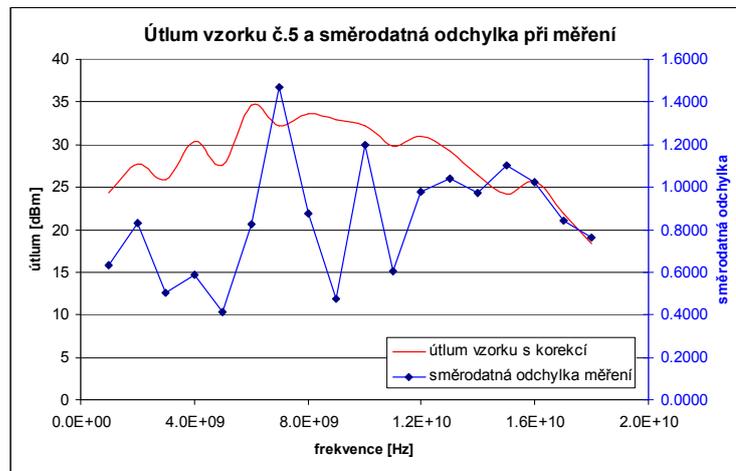


Graf 10 Jednotlivé průběhy z grafu 8 (pouze s korekcí)

V dalších grafech (11, 12) je zobrazena směrodatná odchylka měření nejlepšího a nejhoršího vzorku, co se týče schopnosti útlumu signálu, a to vzorek č.1 a č.5.



Graf 11 Útlum vzorku č.1 a jeho směrodatná odchylka při měření

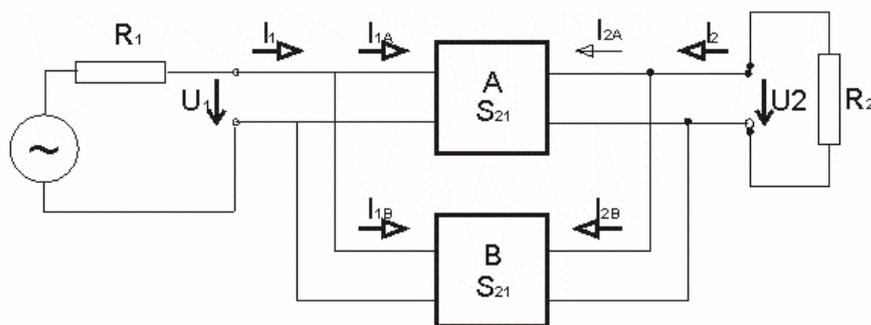


Graf 12 Útlum vzorku č.2 a jeho směrodatná odchylna při měření

Naměřené hodnoty těchto dvou vzorků jsou uvedeny v příloze III. Grafy a naměřené hodnoty ostatních měřených vzorků jsou taktéž uvedeny v příloze III.

7.3.3 Paralelní řazení dvou dvojbranů

V této kapitole je jednoduše nastíněna teorie při paralelním řazení dvou dvojbranů. (konzultace s Ing. Stanislavem Goňou, PhD.)



Obr. 43 Paralelní řazení dvou dvojbranů

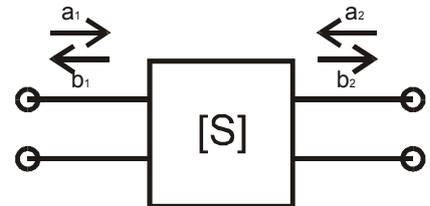
stejná napětí $U_1 = U_{1A} = U_{1B}$
 $U_2 = U_{2A} = U_{2B}$

proudy se sčítají $I_1 = I_{1A} + I_{1B}$
 $I_2 = I_{2A} + I_{2B}$

$$\begin{bmatrix} I_{1A} \\ I_{2A} \end{bmatrix} = [Y_A] \cdot \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} I_{1B} \\ I_{2B} \end{bmatrix} = [Y_B] \cdot \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$$

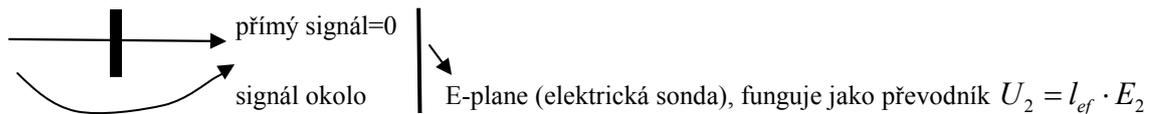
$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{1A} + I_{1B} \\ I_{2A} + I_{2B} \end{bmatrix} = \downarrow \begin{bmatrix} [Y_A] + [Y_B] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$$

paralelní řazení, sčítají se admitanční matice



$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} \quad s_{21} = \frac{b_2}{a_1} \text{ při } s_{22} = 0$$

kalibrace → „normalizace“ vůči ideálně elektricky vodivé ploše



efektivní délka l_{ef} v sobě zahrnuje i dělič tvořený vnitřním odporem (impedancí Z_p) sondy R_p

$b_2 = s_{21} \cdot a_1 + s_{22} \cdot a_2$ v našem případě je problém v tom, že sonda část energie odráží zpět, nicméně pro zjednodušení budeme předpokládat, že $s_{22} = 0$ [14]

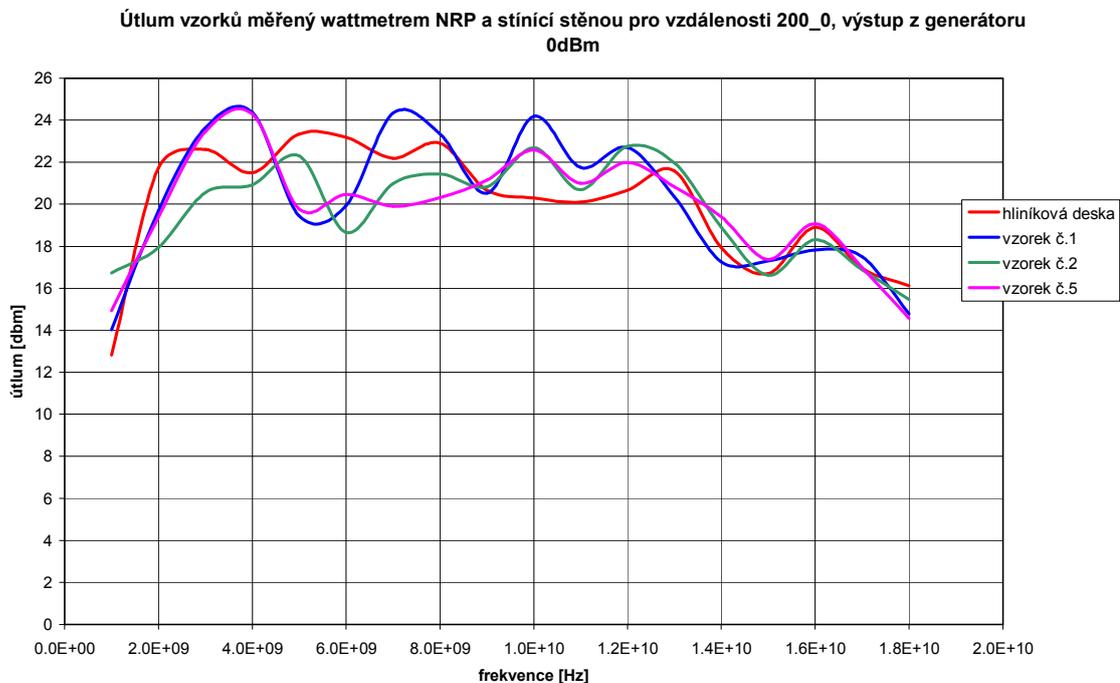
7.3.4 Měření vzorků pomocí stínící stěny a venkovní měření

V tomto kroku měření byly vyzkoušeny další 2 způsoby měření, které vedou k odstranění některých chyb měření.

Jeden ze způsobů odstranění chyb měření bylo odstínění okolí měřeného vzorku pomocí stínící stěny (Obr. 27). Tato stěna by měla sloužit jako absolutní odrazová stěna (na povrchu stěny je hliníková fólie), vysílaný signál by měl procházet pouze otvorem uprostřed stěny, kde se umísťovaly jednotlivé měřené vzorky.

Měřicí okruh byl nastaven tak, že byl využit wattmetr. Vzdálenost měřicí vysílací antény od měřeného vzorku byla 200 cm. Tato vzdálenost byla nastavena proto, aby bylo

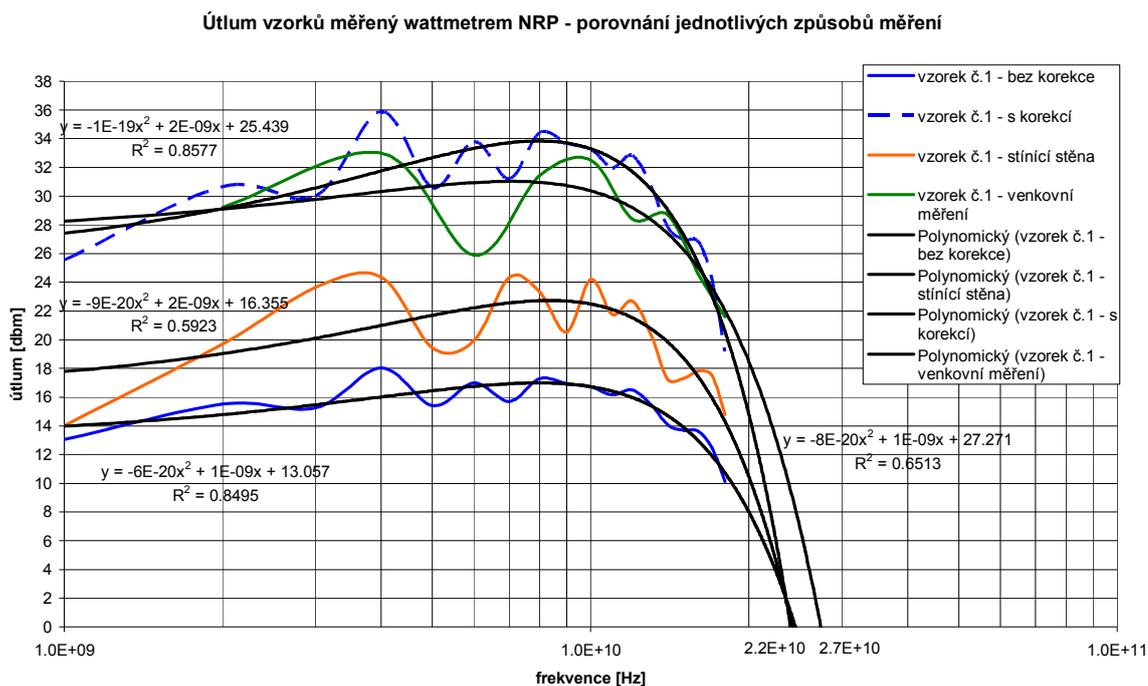
zaručeno, že vysílaný signál se bude chovat jako rovinná vlna (viz. Tab. 15). Vzdálenost měřící a přijímací antény byla 0cm, tzn. byla umístěna těsně za měřený vzorek. Výstupní signál z generátoru byl nastaven na 0dBm, aby vysílaný signál měl vyšší úroveň než možné okolní rušení. Pro měření byly vybrány pouze 4 vzorky (hliníková deska, vzorek č.1, 2, 5).



Graf 13 Měření útlumu vybraných vzorků pomocí stínící stěny, pro vzdálenosti 200_0, výstup z generátoru 0dBm.

Dalším způsobem odstranění chyb měření, je měření ve venkovním prostředí. Zde by měli být částečně vyloučeny takové chyby měření, jako jsou odrazení vysílaných vln od cizích okolních předmětů či od stěn učebny apod. Dále zde jsou vyloučeny rušivé signály vysílané cizími měřicími přístroji.

Měření bylo provedeno u jednoho vzorku (pro srovnání), a to u vzorku č.1. Měřicí okruh byl nastaven tak, že vysílací i přijímací anténa byla umístěna ve vzdálenosti 20 cm před, resp. za vzorkem a ve výšce 1,5 m, aby nedocházelo k rušivým odrazům způsobených odrazem od země. Výstupní signál z generátoru byl nastaven na 15 dBm, aby vysílaný signál měl vyšší úroveň než možné okolní rušení. Venkovní šumový signál byl naměřen o hodnotě $P = -42$ dBm



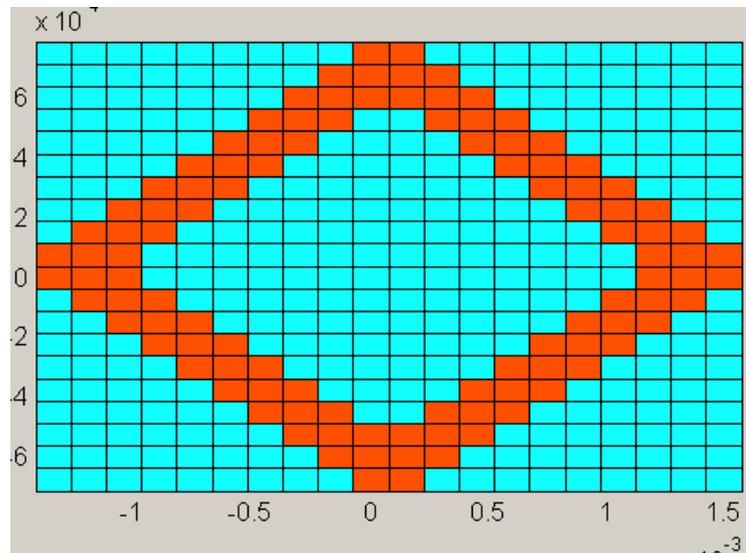
Graf 14 Porovnání jednotlivých způsobů měření u vzorku č.1

V Graf 14 je zobrazeno porovnání jednotlivých způsobů měření u vzorku č.1. A to bez korekce, s matematickou korekcí, se stínící stěnou, venkovní měření. Jednotlivé průběhy jsou proloženy polynomickým matematickým modelem 2 řádu. Hodnoty na ose x, kam směřují proložené křivky, jsou tzv. **první sériové rezonanční kmitočty**, na kterých obvod (dvojbran) rezonuje (22 GHz a 27 GHz).

Naměřené hodnoty pro měření se stínící stěnou a pro venkovního měření jsou uvedeny v příloze IV.

V následující kapitole byly výše uvedené hodnoty (stínící účinnost a první sériový rezonanční kmitočet) matematicky ověřeny panem Ing. Stanislavem Goňou, Ph.D. K výpočtu byla použita momentová metoda (program FSSIR), pro stínící vzorek č.1 ve vertikální i horizontální poloze.

7.3.5 Matematické ověření



Obr. 44 Motif stínící mřížky zakreslený v grafickém editoru v programu FSS1R [14]

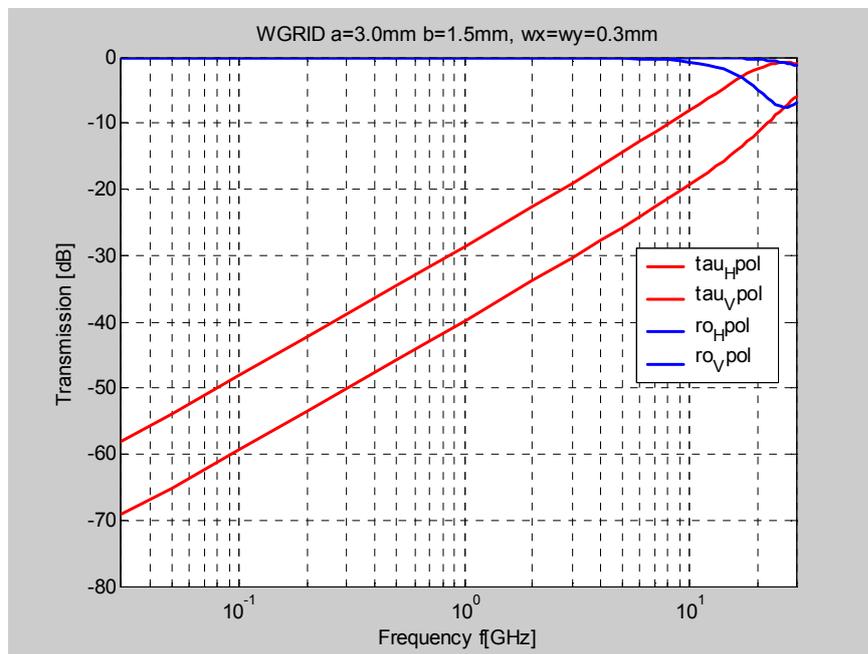
Perioda motivu	$a = 3.0\text{mm}$, $b=1.5\text{mm}$, $w_x=w_y=0.3\text{mm}$
Tloušťka základního materiálu	$d = 0.0010\text{ mm}$
Permitivita byla odhadnuta na	$\epsilon_r = 3.5$
Ztrátový úhel	$\text{tg delta} = 0$ (nebyl znám, proto byl uvažován, že jde o bezztrátový materiál)
Metalizace	$t_1 = 35\text{ }\mu\text{m Cu}$ (56 MS/m)

Tab. 16 Parametry vzorku č.1 pro analytický výpočet [14]

Výsledná stínící účinnost závisí na polarizaci.

Pro horizontální polarizaci vychází SE cca. 70dB naopak pro vertikální polarizaci se vodivé proudy v motivu částečně kompenzují, proto je SE horší, a to přibližně o 12dB, tzn. 58dB. Naše měření bylo prováděno v poloze vertikální. [14]

Analytickým výpočtem byl první sériový rezonanční kmitočet vyhodnocen na hodnotě 23 GHz, v praktickém měření okolo 22 GHz.



Obr. 45 Numerický výpočet odrazných/propustných vlastností periodické struktury z Obr. 44 (Momentová metoda v kmitočtové oblasti, program FSS1R) [14]

7.4 Diskuse měření

Celá experimentální část diplomové práce byla koncipována tak, aby bylo odzkoušeno několik různých metod experimentálního měření vybraných vzorků materiálů a následně vyhodnocena jejich stínící účinnost. Pro vyhodnocení byly použity 2 referenční vzorky, a to plexisklová deska a hliníková deska, dále pak 8 kompozitních vzorků (dále jen vzorků č. 1 – 8) dodané firmou Evektor s.r.o. závod Kunovice. Hliníková deska sloužila jako vzorek s absolutní odrazivostí, vzorek plexisklo sloužil jak porovnávací vzorek s teoretickými výpočty - předpoklady. Všechna měření byla prováděna na vysokofrekvenčním rozsahu 1GHz – 18GHz, kde horní hrance rozsahu byla dána technickými parametry měřících antén (viz. kapitola 6.1.4). Vyhodnocení celého spektra frekvencí bylo prováděno automaticky pomocí softwaru VEEPro.

V prvním kroku praktické části však bylo nutné zjistit orientačním měřením, který z navrhovaných měřicí přístrojů (spektrální analyzátor R&S FSH 40 a wattmetr R&S NRP) bude výhodnější používat pro následná měření. Proto také tímto směrem byl navrhován měřicí obvod - okruh (pomocí softwaru VEEPro), kde si uživatel může zvolit na uživatelském panelu (Obr. 42 Uživatelský panel pro měření) jeden z těchto dvou měřicích přístrojů.

Tahle dílčí část měření je zobrazena na grafech Graf 3, Graf 4, Graf 5.. Zde jsou naměřeny výsledky jak pomocí spektrálního analyzátoru, tak pomocí wattmetru. Bylo zkoumáno několik vzorků (plexisklo, hliník, vzorek č.1) a pro několikero uspořádání jednotlivých měřicích antén před (vysílací anténa), resp. za vzorkem (přijímací anténa). Jednotlivé vzdálenosti byly voleny 70cm před a 70cm za, nebo 70cm před a 0cm za vzorkem. Z těchto grafů bylo závěrem vyhodnoceno, že v následných měřeních bude využíván pouze wattmetr NRP, a to z důvodu plynulejších průběhů a reálnějších naměřených hodnot přibližujících se k teoretickým předpokladům. Při porovnání Graf 6 a Graf 7 (naměřený a teoreticky vypočítaný útlum vzorku plexisklo při tloušťce 4mm) lze považovat výsledky relativně za přibližné. Z toho vyplývá, že postup měření byl relativně správný a lze se tímto směrem měření následně ubírat i v dalších krocích měření.

Po prvním informativním měření (viz. min odstavec) byl další postup měření tento. Uspořádání měřicího obvodu bylo obdobné, změnila se pouze vzdálenost jednotlivých měřicích antén a to 20cm před a 20cm za vzorkem. Výstup z budícího generátoru (R&S SMR 20) byl stále nastaven na -10dBm a byly proměřeny všechny dodané vzorky kompozitů dodané firmou Evector (Graf 8). Měření bylo provedeno 5x u každého vzorku, aby byla statisticky vyloučena chyba měření. Zde bylo zjištěno, že vzorky mají velice malou útlumovou účinnost. Bylo to způsobeno tím, že vysílaný signál z generátoru prochází nejenom měřeným vzorkem, z elektrického hlediska první dvojbran, ale i okolo vzorku, z elektrického hlediska druhý dvojbran (viz. kapitola 7.3.3). Proto přijímací anténa získává i signál, který obtéká vzorek a tím klesá celkový útlum vzorku. Tudíž byla provedena jednoduchá matematická korekce, kde se tyto obtékající signály vyrušily (viz. kapitola 7.3.3). Celková účinnost se zvýšila průměrně o 12 dBm (Graf 9, Graf 10). Z těchto grafů lze vyčíst, že nejlepší útlumovou charakteristiku má vzorek č.1, naopak za nejhorší lze považovat vzorek č.5, ovšem je zde rozdíl pouze řádově 4 – 6 dBm. Díky statistickému měření byly vykresleny jednotlivé útlumové charakteristiky každého vzorku

ještě jednou zvlášť, kde byla zobrazena i směrodatná odchylka měření (Graf 11, Graf 12, příloha III).

Jelikož naměřené výsledky se řádově lišily v desítkách dBm od výsledků korekčně upravených (viz. výše), bylo nutné měřící okruh změnit tak, aby se naměřené hodnoty přiblížily k analytickým hodnotám. Toto bylo provedeno dvojím způsobem.

Za prvé byla vyrobena stínící stěna (Obr. 27). Jako odrazivý materiál byla použita hliníková fólie. Ta měla za úkol odstínit vysílaný signál, který případně obtékal měřený vzorek. Stínící účinnost se zvýšila řádově o 6 - 8 dBm na celém frekvenčním rozsahu. (Graf 13). Měřící okruh byl sestaven tak, že vysílací anténa byla 200cm před vzorkem, přijímací 0cm za vzorkem. Budící signál generátoru byl zvýšen na 0dBm, a to díky větší vzdálenosti vysílací antény.

Druhý způsob pro zlepšení stínící účinnosti byl ten, že celý měřící okruh se přemístil do venkovního prostředí. Zde byly částečně odstraněny možné vnější rušivé signály - vlivy jiných zařízení a také částečné chyby způsobeny možnými odrazy od cizích předmětů, případně stěn učebny. A to je možné vyčíst i z Graf 14, kde naměřená útlumová charakteristika se pomalu přiblížila k teoretickým předpokladům stínící účinnosti (matematická korekce naměřených výsledků). V tomto grafu lze vyčíst i první sériový rezonanční kmitočet, který je 22 GHz, což je srovnatelné s analyticky vypočtenou hodnotou 23 GHz. Měřící okruh (měřící antény) byl zde nastaven tak jako u předchozích měření, a to 20cm před i za vzorkem. Ovšem vysílaný signál generátoru musel být ještě navýšen na hodnotu 15 dBm, aby byl výrazně silnější nežli případné okolní rušivé signály.

Pro všechna měření a ke všem zobrazovaným grafům jsou naměřené hodnoty upraveny v tabulkách, a ty zobrazeny v přílohách PII, PIII a PIV diplomové práce.

ZÁVĚR

Po všeobecném seznámení s vědeckotechnickou disciplínou EMC, její využitelností, teoretickými předpoklady a možnostmi měření EMC, se diplomová práce ubírala spíše experimentálním směrem. Zde bylo hlavním úkolem proměřit několik různých typů vzorků kompozitů pro leteckou techniku, za účelem zjištění jejich účinnosti elektromagnetického stínění ve vysokofrekvenční oblasti spektra.

Byla vybrána jedna z nejrozšířenějších a nejrealizovatelnějších metod měření, a to měření pomocí anténní techniky. Na celém začátku experimentálního měření bylo však nutné seznámit se nejen s anténní technikou, také s funkcemi a ovládáním dalších přístrojů potřebných k měření (spektrální analyzátor, wattmetr, signálový generátor). Dále bylo zapotřebí vyrobit pomocné prvky, které umožnily zrealizovat celé experimentální měření (stožan pro uchycení měřených vzorků, stínící stěna). Nyní byl sestaven celý měřicí okruh a pomocí PC a navrženým, následně vytvořeným ovládacím softwarem v programu VEEPro zautomatizován. Tím je na mysli automatické proměření daného vzorku na zvoleném frekvenčním spektru, získání naměřených dat a následné uložení pro další vyhodnocení.

Měření bylo provedeno na všech dodaných vzorcích (8 kompozitů + 2 porovnávací vzorky). Bylo vyzkoušeno více metodik měření a různých uspořádání měřicího okruhu. Postupně byl měřicí okruh uspořádán tak, že se reálné naměřené výsledky přibližovaly k předpokládaným (analyticky vypočteným) hodnotám (viz. kapitola 7.4 Diskuse měření).

Tato diplomová práce, resp. její experimentální část byla koncipována jako hledání optimální metodiky měření stínící účinnosti kompozitních materiálů. Dle mého názoru by další experimenty v této oblasti měly být zaměřeny na „venkovní měření“, případně měření pomocí stínící komory. V těchto případech jsou totiž vyloučeny rušivé vlivy cizích signálů. Výsledky těchto experimentů je třeba matematicky korigovat a následně z nich vyhodnotit relativní permitivitu jednotlivých vzorků.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

Right after introducing science-technical discipline EMC, its usability, theoretical requirements and possibilities to measure EMC, thesis took rather experimental direction. The main objective was to measure several different samples of composite for air planes technology, in order to gather efficiency of electromagnetic shielding on HF.

Widely used and most realizable measuring method called “aerial technique” was chosen.

At very beginning of the experimental measuring process was necessary to familiarize not only with aerial technique, but also with functionality and controlling of other devices necessary for measuring (spectrum analyzer, wattmeter and signal generator). The next stage was to produce auxiliary elements, which enable us to realize whole experimental measuring process (stand for gripping measuring sample, shady side). After that the whole measuring circle was composed and using a PC and designed control software in VEEPro, the process was automatist. That means that the sample was measured on definite spectrum automatically and also automatic gathering, saving and of measured results for further analysis.

Measurement was made on all delivered samples (8 compound word + 2 comparative exhibits). Several measuring methods and various layout of measuring circuit were tried. The measuring circuit was organized progressively in the way that the real measuring results came close to implied analytical values. (see. chapter 7.4 discussion measuring).

This diploma thesis let us say her experimental part was conceived like finding optimal methods of measuring shielding efficiency of composite materials. In my point of view the further development should be aimed on “outside measuring” eventually using shielding room. In those cases is splatter eliminated. A result of these experiments is necessary to mathematically revise and then conclude relative permittivity of individual samples.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SVAČINA, J. *Základy elektromagnetické kompatibility*. VUT, Brno 2005, ISBN 80-214-2864-3
- [2] DIPAK, L., SENGUPTA, VALDIS, V., LIEPA *Applied electromagnetics and electromagnetic compatibility.*, John Wiley & Sons, New Jersey, Canada 2006, ISBN 13-978-0-471-16549-1
- [3] PAUL, R., CLAYTON *Electromagnetic compatibility*. John Wiley & Sons (second edition), New Jersey, Canada 2006, ISBN 13-978-0-471-75500-5
- [4] VACULÍKOVÁ, P., VACULÍK, E. aj. *Elektromagnetická kompatibility elektrotechnických systémů*. Grada Publishing, Praha 1998
- [5] KOVÁČ, D., KOVÁČOVÁ, I., KAŇUCH, J. *EMC z hlediska teorie a aplikace*. BEN – technická literatura, Praha 2006, ISBN 80-7300-202-7
- [6] NOVÁČEK, Z., ČERNOHORSKÝ, D. *Antény a šíření rádiových vln*. FEKT VUT v Brně, MJ servis s.r.o., 2001.
- [7] MATUSZCZYK, J. *Antény*. BEN – technická literatura, Praha 2005, ISBN 83-206-1436-8
- [8] CHATTERTON, P.A., HOULDEN, M.A. *EMC - Electromagnetic Theory to Practical Design*. John Wiley, New York 1992
- [9] *Elektromagnetická kompatibility: presentace* [online]. [cit. 2008-03-21]. Dostupný z WWW:
<<http://www.urel.feec.vutbr.cz/EncyklopedieEMC/index.php?soubor=prez.htm>>
- [10] *Kompozitní materiál* [online]. [cit. 2008-03-15]. Dostupný z WWW:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Kompozitn%C3%AD_materi%C3%A1l>
- [11] Firemní literatura Schaffner, Agilent, Rohde&Schwarz, Laure apod.
- [12] SLOUKA, F. *Měření stínící účinnosti přístrojových krytů v oblasti EMC*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky. Ústav elektrotechniky a měření. Vedoucí bakalářské práce Doc. RNDr. Vojtěch Křesílek, CSc.

- [13] *Polyamid* [online]. [cit. 2008-04-15]. Dostupný z WWW:
< <http://de.wikipedia.org/wiki/Polyamid>>
- [14] ústní sdělení: Ing. Stanislav Goňa, Ph.D.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A	útlum absorbcí
CEN	(Comité Europeen de Normalisation); Komise evropské unie
CENELEC	(Comité Europeen de Normalisation en Eleectrotechnique); Evropská komise pro normalizaci v elektrotechnice
CISPR	(Comité International Spískal des Perturbations Radioélectriques); Výbor pro radiovou interferenci
ČNI	Český normalizační institut
ČSN	Česká státní norma
EMC	(Elektromagnetic Compatibilty); elektromagnetická kompatibilita (slučitelnost)
EMI	(Elektromagnetic Interference); elektromagnetické rušení
EMS	(Elektromagnetic Susceptibility); elektromagnetická citlivost
EN	(European Norms); evropských norem
FSS1R	Frequency Selective Surfases One Metal Lamer
FSP 40	Spektrální analyzátor firmy Rohde&Schwarz
GPIB	(General Purpose Interface Bus); univerzální měřicí systém
HF 906	Vysokofrekvenční antény firmy Rohde&Schwarz
IEC	(International Electrotechnical Commission); Mezinárodní elektrotechnická organizace
ISO	(International Standard Organization); Mezinárodní organizací pro normalizaci
LAN	(Local Area Network); místní síť
M	útlum mnohonásobnými odrazy
nf	nízkofrekvenční
NRP	Wattmetr firmy Rohde&Schwarz

PMMA	P olymetyl met akrylát
R	útlum od raz em
RS – 232	sériové rozhraní
R&S	Rohde&Schwarz
SE	(S hielding E ffectivness); efektivnost (účinnost) stínění [dB, resp. dBm]
SMR 20	Signálový generátor firmy Rohde&Schwarz
USB	(U niversal S erial B us); univerzální sériová sběrnice
VEEPro	software firmy Agilent Technologies
vf	vysokofrekvenční

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Základní řetězec EMC a příslušné příklady u jednotlivých oblastí [1].....	11
Obr. 2	Meze, rezervy vyzařování a odolnosti [9].....	16
Obr. 3	Základní rozdělení zdrojů elektromagnetického rušení [12]	17
Obr. 4	Možnosti vzájemného elektromagnetického ovlivňování [5].....	19
Obr. 5	Zjednodušená ukázka vazeb u dvou vodičů (a) induktivní, b) kapacitní c) galvanickou, d) elektromagnetické pole) [1]	20
Obr. 6	Zjednodušený princip elektromagnetické vazby [1]	24
Obr. 7	Vliv vložené přepážky mezi vysílač a přijímač rušivého signálu [1]	25
Obr. 8	Použití odrušovací tlumivky v obvodu [9].....	27
Obr. 9	Odrušovací tlumivky s feritovým jádrem (a) otevřené jádro, b) uzavřené jádro, c) pro vysoké frekvence) [1].....	28
Obr. 10	Použití odrušovacího kondenzátoru v obvodu [9]	28
Obr. 11	Typy jednotlivých odrušovacích kondenzátorů (2, 3, 4, 5 pólové) [1]	29
Obr. 12	Závislost jednotlivých složek účinnosti stínění na kmitočtovém průběhu [12]	30
Obr. 13	Stínící kryt elektronického zařízení a) ideální kryt – úplné pohlcení rušivých vlivů, b) kryt s částečným stíněním – některé frekvence rušivých signálů projdou skrz kryt, c) nedostatečné krytí díky technologickým otvorům – funkce jako zesilující anténa [1].....	33
Obr.14	Další možnosti zvýšení EMC elektronického zařízení doplňkovým materiálem	34
Obr. 15	Možnosti vyústění- zakončení odvětrávacích otvorů stínícího krytu (hodnoty uvedené pod jednotlivými obrázky jsou maximální hodnoty kmitočtu, pro které je daný způsob zakončení ještě dostačující) [1].....	36
Obr. 16	a) Možnost vzniku nežádoucích štěrbin ve stínícím krytu a b) možnosti jejich odstranění (pevné spoje dílů krytů) [9].....	37
Obr. 17	Elektromagnetické těsnění pohyblivých částí a) pružný kontakt, b) nožový kontakt [9].....	38
Obr. 18	Základní zásady konstrukce elektromagneticky stíněných krytů a) špatná konstrukce krytu, b) vylepšená konstrukce krytu a to vše z hlediska EMC [12].....	38
Obr. 19	Spektrální analyzátor R&S FSP 40 [11]	47

Obr. 20	Wattmetr R&S NRP [11].....	48
Obr. 21	Signálový generátor R&S SMR 20 [11]	49
Obr. 22	Připojení SMR 20 do měřicího obvodu (+ filtr) [11].....	49
Obr. 23	Typy modulací umožňující signálový generátor SMR 20 [11].....	50
Obr. 24	Měřicí anténa R&S HF 906	50
Obr. 25	Zařízení pro uchycení.....	53
Obr. 27	Zařízení pro odstínění okolí měřených vzorků (přední, zadní strana)	54
Obr. 28	Vývojové prostředí firmy Agilent softwar VEEPro.....	55
Obr. 29	Vzorek č.1 (přední a zadní strana)	57
Obr. 30	Vzorek č.2 (přední a zadní strana)	57
Obr. 31	Vzorek č.3 (přední a zadní strana)	58
Obr. 32	Vzorek č.4 (přední a zadní strana)	58
Obr. 33	Vzorek č.5 (přední a zadní strana)	58
Obr. 34	Vzorek č.6 (přední a zadní strana)	59
Obr. 35	Vzorek č.7 (přední a zadní strana)	59
Obr. 36	Vzorek č.8 (přední a zadní strana)	60
Obr. 37	Vzorek č.9 – hliník.....	60
Obr. 38	Vzorek č.10 – plexisklo	60
Obr. 39	Umístění měřících antén a měřených vzorků.....	61
Obr. 40	Nákres pro výpočet vzdálenosti zdroje šíření vln od překážky.....	62
Obr. 41	Ukázka jednoho z bloků, ve kterém se zadávají příkazy pro funkce přístroje.....	64
Obr. 42	Uživatelský panel pro měření.....	65
Obr. 43	Paralelní řazení dvou dvojbranů	74
Obr. 44	Motif stínící mřížky zakreslený v grafickém editoru v programu FSS1R [14]	78
Obr. 45	Numerický výpočet odrazných/propustných vlastností periodické struktury z Obr. 44 (Momentová metoda v kmitočtové oblasti, program FSS1R) [14]	79

SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Kmitočtové rozsahy rušení některých vybraných zdrojů [1]	19
Tab. 2	Hodnoty vybraných materiálů [12]	30
Tab. 3	Tabulka stínící účinnosti v [dB] a její slovní ohodnocení	35
Tab. 4	Všeobecné normy EMC – elektromagnetické prostředí [5].....	42
Tab. 5	EMC – vysokofrekvenční rušení [5].....	43
Tab. 6	EMC - společné normy pro odolnost a vysokofrekvenční rušení [5]	44
Tab. 7	Skladba vzorku č.1	57
Tab. 8	Skladba vzorku č.2.....	57
Tab. 9	Skladba vzorku č.3	58
Tab. 10	Skladba vzorku č.4.....	58
Tab. 11	Skladba vzorku č.5.....	58
Tab. 12	Skladba vzorku č.6.....	59
Tab. 13	Skladba vzorku č.7.....	59
Tab. 14	Skladba vzorku č.8.....	60
Tab. 15	Tabulka hodnot vypočtených vzdáleností antén od vzorku pro dopadající vlny pod úhlem 22,5° a 45° a jejich následný průměr	63
Tab. 16	Parametry vzorku č.1 pro analytický výpočet [14]	78

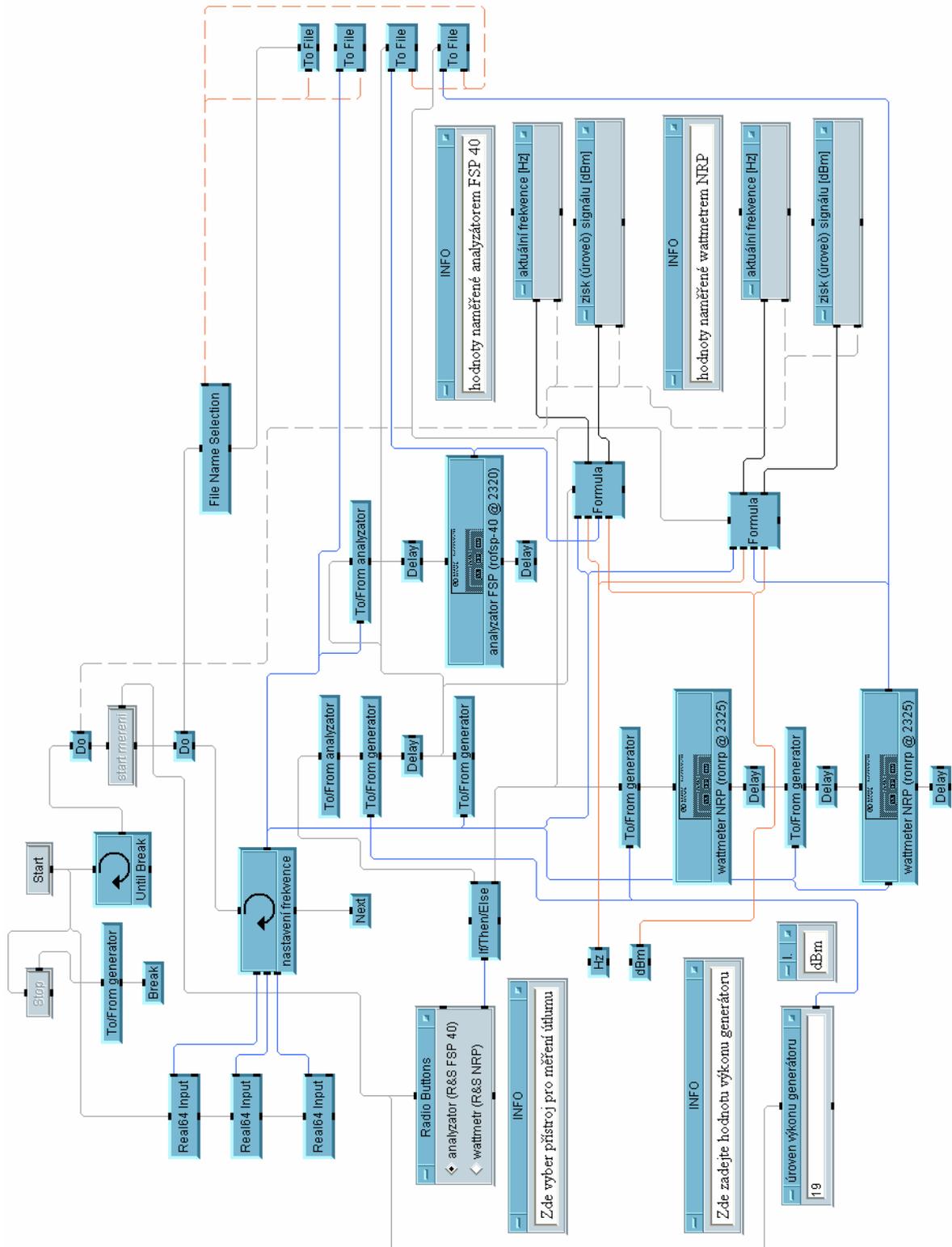
SEZNAM GRAFŮ

Graf 1	Zisk antény R&S HF 906 v dB [11]	51
Graf 2	Ukazatel napětí stojatých vln [11]	52
Graf 3	Útlum vzorků měřený analyzátozem pro vzdálenosti 70_0 a 70_70, výstup z generátoru -20dBm – informativní měření	67
Graf 4	Útlum vzorků měřený wattmetrem pro vzdálenosti 70_0 a 70_70, výstup z generátoru -20dBm – informativní měření	68
Graf 5	Útlum vzorků měřený wattmetrem pro vzdálenosti 70_0 a 70_70, výstup z generátoru -10dBm – informativní měření	68
Graf 6	Útlum vzorku plexisklo měřený wattmetrem pro vzdálenosti 20_20, výstup z generátoru -20dBm a -10dBm – informativní měření.....	70
Graf 7	Vypočtený útlum vzorku plexisklo dle teoretických vztahů.....	70
Graf 8	Útlum všech dodaných vzorků měřený wattmetrem pro vzdálenosti 20_20, výstup z generátoru -10dBm.....	71
Graf 9	Statistické vyhodnocení měření útlum a korekce měření všech dodaných vzorků měřený wattmetrem, pro vzdálenosti 20_20, výstup z generátoru -10dBm.....	72
Graf 10	Jednotlivé průběhy z grafu 8 (pouze s korekcí).....	73
Graf 11	Útlum vzorku č.1 a jeho směrodatná odchylka při měření	73
Graf 12	Útlum vzorku č.2 a jeho směrodatná odchylka při měření	74
Graf 13	Měření útlumu vybraných vzorků pomocí stínící stěny, pro vzdálenosti 200_0, výstup z generátoru 0dBm.	76
Graf 14	Porovnání jednotlivých způsobů měření u vzorku č.1	77

SEZNAM PŘÍLOH

- PŘÍLOHA PI: SCHÉMA PROPOJENÍ JEDNOTLIVÝCH BLOKŮ OVLÁDÁNÍ PŘÍSTROJŮ V PROGRAMU VEEPRO
- PŘÍLOHA PII: NAMĚŘENÉ HODNOTY V PRVOTNÍM INFORMATIVNÍM MĚŘENÍ
- PŘÍLOHA PIII: NAMĚŘENÉ HODNOTY PRO VŠECHNY MĚŘENÉ VZORKY
- PŘÍLOHA PIV: NAMĚŘENÉ HODNOTY PRO MĚŘENÍ SE STÍNÍCÍ STĚNOU A PRO VENKOVNÍ MĚŘENÍ

PŘÍLOHA P I: SCHÉMA PROPOJENÍ JEDNOTLIVÝCH BLOKŮ OVLÁDÁNÍ PŘÍSTROJŮ V PROGRAMU VEEPRO



PŘÍLOHA P II: NAMĚŘENÉ HODNOTY V PRVOTNÍM INFORMATIVNÍM MĚŘENÍ

A) Naměřené hodnoty pro Graf 3 pro vzdálenost 70_0

vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-39.3214
2.0E+09	-43.1179
3.0E+09	-44.7526
4.0E+09	-47.8614
5.0E+09	-49.0094
6.0E+09	-49.4220
7.0E+09	-50.9969
8.0E+09	-52.0475
9.0E+09	-52.6929
1.0E+10	-53.4162
1.1E+10	-54.0902
1.2E+10	-53.3225
1.3E+10	-57.6401
1.4E+10	-59.8679
1.5E+10	-57.7530
1.6E+10	-59.6317
1.7E+10	-61.0368
1.8E+10	-65.7218

plexi	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-39.2385
2.0E+09	-43.2356
3.0E+09	-44.8992
4.0E+09	-47.8043
5.0E+09	-49.0070
6.0E+09	-50.7215
7.0E+09	-51.4001
8.0E+09	-52.8347
9.0E+09	-54.2217
1.0E+10	-52.9806
1.1E+10	-55.8549
1.2E+10	-54.5722
1.3E+10	-56.3969
1.4E+10	-63.8497
1.5E+10	-57.7040
1.6E+10	-60.1763
1.7E+10	-61.3739
1.8E+10	-68.7379

hliník 9	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-58.6353
2.0E+09	-65.7824
3.0E+09	-74.9997
4.0E+09	-71.5955
5.0E+09	-71.5167
6.0E+09	-77.7035
7.0E+09	-74.1305
8.0E+09	-86.2224
9.0E+09	-85.3264
1.0E+10	-99.1352
1.1E+10	-83.5666
1.2E+10	-84.9922
1.3E+10	-85.2580
1.4E+10	-91.7061
1.5E+10	-91.6627
1.6E+10	-88.6081
1.7E+10	-90.6181
1.8E+10	-93.2105

vzorek č.1	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-54.3881
2.0E+09	-65.1502
3.0E+09	-73.5109
4.0E+09	-69.8378
5.0E+09	-92.3419
6.0E+09	-80.6150
7.0E+09	-75.8905
8.0E+09	-78.7907
9.0E+09	-83.1154
1.0E+10	-88.1797
1.1E+10	-83.5634
1.2E+10	-93.1546
1.3E+10	-82.0563
1.4E+10	-91.6692
1.5E+10	-90.9364
1.6E+10	-87.5971
1.7E+10	-92.2198
1.8E+10	-92.0321

plexi - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-0.0829
2.0E+09	0.1177
3.0E+09	0.1466
4.0E+09	-0.0571
5.0E+09	-0.0024
6.0E+09	1.2995
7.0E+09	0.4032
8.0E+09	0.7872
9.0E+09	1.5288
1.0E+10	-0.4356
1.1E+10	1.7646
1.2E+10	1.2497
1.3E+10	-1.2431
1.4E+10	3.9818
1.5E+10	-0.0490
1.6E+10	0.5446
1.7E+10	0.3371
1.8E+10	3.0161

hliník 9 - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	19.3140
2.0E+09	22.6645
3.0E+09	30.2471
4.0E+09	23.7341
5.0E+09	22.5074
6.0E+09	28.2815
7.0E+09	23.1335
8.0E+09	34.1749
9.0E+09	32.6335
1.0E+10	45.7189
1.1E+10	29.4763
1.2E+10	31.6697
1.3E+10	27.6179
1.4E+10	31.8382
1.5E+10	33.9098
1.6E+10	28.9764
1.7E+10	29.5812
1.8E+10	27.4888

vzorek č.1 - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	15.0667
2.0E+09	22.0324
3.0E+09	28.7583
4.0E+09	21.9764
5.0E+09	43.3326
6.0E+09	31.1930
7.0E+09	24.8935
8.0E+09	26.7432
9.0E+09	30.4225
1.0E+10	34.7635
1.1E+10	29.4732
1.2E+10	39.8322
1.3E+10	24.4162
1.4E+10	31.8014
1.5E+10	33.1835
1.6E+10	27.9655
1.7E+10	31.1830
1.8E+10	26.3103

pro vzdálenost 70_70

vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-45.5436
2.0E+09	-47.1117
3.0E+09	-48.7826
4.0E+09	-51.8348
5.0E+09	-52.8711
6.0E+09	-52.1904
7.0E+09	-53.2384
8.0E+09	-56.8240
9.0E+09	-58.1549
1.0E+10	-58.4046
1.1E+10	-58.6052
1.2E+10	-59.4711
1.3E+10	-62.3919
1.4E+10	-63.6990
1.5E+10	-63.3521
1.6E+10	-62.8182
1.7E+10	-64.9236
1.8E+10	-72.3109

plexi	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-45.8894
2.0E+09	-46.4190
3.0E+09	-48.8253
4.0E+09	-52.5337
5.0E+09	-53.7653
6.0E+09	-53.3364
7.0E+09	-55.0091
8.0E+09	-57.8161
9.0E+09	-60.3624
1.0E+10	-60.2942
1.1E+10	-59.5941
1.2E+10	-59.6738
1.3E+10	-63.2702
1.4E+10	-64.3350
1.5E+10	-64.3159
1.6E+10	-63.4594
1.7E+10	-64.4195
1.8E+10	-73.0950

hliník 9	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-47.8396
2.0E+09	-51.9272
3.0E+09	-53.9188
4.0E+09	-58.7906
5.0E+09	-59.3786
6.0E+09	-65.2260
7.0E+09	-77.1027
8.0E+09	-69.7963
9.0E+09	-82.7132
1.0E+10	-70.9525
1.1E+10	-73.7782
1.2E+10	-76.0307
1.3E+10	-84.9198
1.4E+10	-83.9373
1.5E+10	-92.3417
1.6E+10	-85.0264
1.7E+10	-83.2904
1.8E+10	-85.2913

vzorek č.1	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-48.0374
2.0E+09	-51.4262
3.0E+09	-54.1024
4.0E+09	-59.1154
5.0E+09	-57.8453
6.0E+09	-62.7268
7.0E+09	-65.0578
8.0E+09	-70.8455
9.0E+09	-81.4166
1.0E+10	-74.1114
1.1E+10	-82.2909
1.2E+10	-76.4073
1.3E+10	-74.7188
1.4E+10	-79.1260
1.5E+10	-89.8497
1.6E+10	-84.0692
1.7E+10	-79.1234
1.8E+10	-85.9445

plexi - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	0.3459
2.0E+09	-0.6927
3.0E+09	0.0427
4.0E+09	0.6990
5.0E+09	0.8942
6.0E+09	1.1460
7.0E+09	1.7707
8.0E+09	0.9921
9.0E+09	2.2075
1.0E+10	1.8896
1.1E+10	0.9889
1.2E+10	0.2027
1.3E+10	0.8783
1.4E+10	0.6360
1.5E+10	0.9638
1.6E+10	0.6412
1.7E+10	-0.5041
1.8E+10	0.7841

hliník 9 - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	2.2960
2.0E+09	4.8155
3.0E+09	5.1362
4.0E+09	6.9558
5.0E+09	6.5074
6.0E+09	13.0357
7.0E+09	23.8643
8.0E+09	12.9724
9.0E+09	24.5583
1.0E+10	12.5479
1.1E+10	15.1730
1.2E+10	16.5596
1.3E+10	22.5278
1.4E+10	20.2383
1.5E+10	28.9896
1.6E+10	22.2082
1.7E+10	18.3667
1.8E+10	12.9804

vzorek č.1 - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	2.4939
2.0E+09	4.3145
3.0E+09	5.3199
4.0E+09	7.2807
5.0E+09	4.9742
6.0E+09	10.5364
7.0E+09	11.8194
8.0E+09	14.0215
9.0E+09	23.2617
1.0E+10	15.7068
1.1E+10	23.6857
1.2E+10	16.9362
1.3E+10	12.3269
1.4E+10	15.4270
1.5E+10	26.4975
1.6E+10	21.2510
1.7E+10	14.1998
1.8E+10	13.6336

B) Naměřené hodnoty pro Graf 4

pro vzdálenost 70_0

vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-37.7194
2.0E+09	-40.8512
3.0E+09	-42.4535
4.0E+09	-44.0867
5.0E+09	-44.5019
6.0E+09	-44.4499
7.0E+09	-46.2514
8.0E+09	-45.3825
9.0E+09	-46.2228
1.0E+10	-47.3889
1.1E+10	-47.1041
1.2E+10	-46.7482
1.3E+10	-47.9388
1.4E+10	-49.1236
1.5E+10	-47.7628
1.6E+10	-48.9703
1.7E+10	-48.2346
1.8E+10	-49.8315

plexi	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-37.7704
2.0E+09	-41.1511
3.0E+09	-41.8634
4.0E+09	-44.3004
5.0E+09	-44.6964
6.0E+09	-46.1788
7.0E+09	-45.5461
8.0E+09	-46.6691
9.0E+09	-47.4962
1.0E+10	-46.6147
1.1E+10	-47.7489
1.2E+10	-45.9709
1.3E+10	-47.6109
1.4E+10	-49.0714
1.5E+10	-49.0427
1.6E+10	-48.9530
1.7E+10	-49.5484
1.8E+10	-51.2350

hlínik 9	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-51.9670
2.0E+09	-53.0167
3.0E+09	-53.3528
4.0E+09	-52.8936
5.0E+09	-53.5106
6.0E+09	-53.5844
7.0E+09	-53.0894
8.0E+09	-53.5278
9.0E+09	-53.8628
1.0E+10	-53.7234
1.1E+10	-53.7963
1.2E+10	-53.1852
1.3E+10	-53.2093
1.4E+10	-53.0749
1.5E+10	-52.9917
1.6E+10	-53.9109
1.7E+10	-53.8169
1.8E+10	-53.8541

vzorek č.1	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-49.7362
2.0E+09	-51.8094
3.0E+09	-52.6024
4.0E+09	-52.0254
5.0E+09	-51.6364
6.0E+09	-52.2533
7.0E+09	-52.6963
8.0E+09	-52.5191
9.0E+09	-52.4139
1.0E+10	-52.2739
1.1E+10	-53.1117
1.2E+10	-52.4676
1.3E+10	-53.7066
1.4E+10	-53.5250
1.5E+10	-52.9318
1.6E+10	-53.5663
1.7E+10	-52.8597
1.8E+10	-52.0182

plexi - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	0.0510
2.0E+09	0.3000
3.0E+09	-0.5901
4.0E+09	0.2136
5.0E+09	0.1945
6.0E+09	1.7290
7.0E+09	-0.7053
8.0E+09	1.2866
9.0E+09	1.2734
1.0E+10	-0.7742
1.1E+10	0.6448
1.2E+10	-0.7773
1.3E+10	-0.3279
1.4E+10	-0.0522
1.5E+10	1.2798
1.6E+10	-0.0173
1.7E+10	1.3139
1.8E+10	1.4036

hlínik 9 - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	14.2476
2.0E+09	12.1656
3.0E+09	10.8993
4.0E+09	8.8069
5.0E+09	9.0088
6.0E+09	9.1345
7.0E+09	6.8380
8.0E+09	8.1453
9.0E+09	7.6400
1.0E+10	6.3345
1.1E+10	6.6922
1.2E+10	6.4370
1.3E+10	5.2705
1.4E+10	3.9513
1.5E+10	5.2289
1.6E+10	4.9407
1.7E+10	5.5823
1.8E+10	4.0226

vzorek č.1 - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	12.0168
2.0E+09	10.9582
3.0E+09	10.1489
4.0E+09	7.9387
5.0E+09	7.1346
6.0E+09	7.8034
7.0E+09	6.4449
8.0E+09	7.1366
9.0E+09	6.1911
1.0E+10	4.8850
1.1E+10	6.0076
1.2E+10	5.7194
1.3E+10	5.7677
1.4E+10	4.4014
1.5E+10	5.1690
1.6E+10	4.5961
1.7E+10	4.6251
1.8E+10	2.1868

pro vzdálenost 70_70

vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-43.5935
2.0E+09	-45.2616
3.0E+09	-45.7201
4.0E+09	-47.8545
5.0E+09	-48.3210
6.0E+09	-47.6476
7.0E+09	-48.2552
8.0E+09	-49.6593
9.0E+09	-50.4613
1.0E+10	-50.5595
1.1E+10	-49.9342
1.2E+10	-50.6698
1.3E+10	-51.0646
1.4E+10	-51.7668
1.5E+10	-51.7220
1.6E+10	-51.7268
1.7E+10	-52.2987
1.8E+10	-52.7773

plexi	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-43.4118
2.0E+09	-44.7275
3.0E+09	-45.1563
4.0E+09	-47.8814
5.0E+09	-48.4795
6.0E+09	-48.3588
7.0E+09	-49.0098
8.0E+09	-50.3137
9.0E+09	-51.2050
1.0E+10	-51.0417
1.1E+10	-50.3936
1.2E+10	-51.2555
1.3E+10	-51.5351
1.4E+10	-51.5806
1.5E+10	-51.5634
1.6E+10	-51.5379
1.7E+10	-52.6688
1.8E+10	-53.6635

hlínik 9	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-46.1879
2.0E+09	-48.5725
3.0E+09	-49.7540
4.0E+09	-52.6605
5.0E+09	-52.0969
6.0E+09	-53.8981
7.0E+09	-54.6206
8.0E+09	-54.2430
9.0E+09	-54.8733
1.0E+10	-54.2648
1.1E+10	-54.3314
1.2E+10	-54.0706
1.3E+10	-54.8639
1.4E+10	-54.5052
1.5E+10	-54.7567
1.6E+10	-54.3389
1.7E+10	-54.0230
1.8E+10	-54.8394

vzorek č.1	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-45.7032
2.0E+09	-48.2300
3.0E+09	-49.5219
4.0E+09	-52.3959
5.0E+09	-50.6483
6.0E+09	-52.4388
7.0E+09	-54.3547
8.0E+09	-54.0329
9.0E+09	-54.3425
1.0E+10	-54.2195
1.1E+10	-54.0986
1.2E+10	-55.0932
1.3E+10	-54.6437
1.4E+10	-54.6890
1.5E+10	-54.5887
1.6E+10	-54.7358
1.7E+10	-54.0905
1.8E+10	-54.5227

plexi - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-0.1817
2.0E+09	-0.5341
3.0E+09	-0.5638
4.0E+09	0.0269
5.0E+09	0.1585
6.0E+09	0.7112
7.0E+09	0.7546
8.0E+09	0.6544
9.0E+09	0.7437
1.0E+10	0.4822
1.1E+10	0.4594
1.2E+10	0.5857
1.3E+10	0.4704
1.4E+10	-0.1863
1.5E+10	-0.1586
1.6E+10	-0.1889
1.7E+10	0.3702
1.8E+10	0.8861

hlínik 9 - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	2.5944
2.0E+09	3.3110
3.0E+09	4.0339
4.0E+09	4.8060
5.0E+09	3.7759
6.0E+09	6.2505
7.0E+09	6.3655
8.0E+09	4.5837
9.0E+09	4.4120
1.0E+10	3.7053
1.1E+10	4.3972
1.2E+10	3.4009
1.3E+10	3.7993
1.4E+10	2.7384
1.5E+10	3.0347
1.6E+10	2.6121
1.7E+10	1.7244
1.8E+10	2.0621

vzorek č.1 - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	2.1096
2.0E+09	2.9685
3.0E+09	3.8018
4.0E+09	4.5414
5.0E+09	2.3272
6.0E+09	4.7912
7.0E+09	6.0996
8.0E+09	4.3736
9.0E+09	3.8812
1.0E+10	3.6600
1.1E+10	4.1643
1.2E+10	4.4235
1.3E+10	3.5791
1.4E+10	2.9222
1.5E+10	2.8667
1.6E+10	3.0090
1.7E+10	1.7919
1.8E+10	1.7453

C) Naměřené hodnoty pro Graf 5

pro vzdálenost 70_0

vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-29.0202
2.0E+09	-30.6399
3.0E+09	-31.9771
4.0E+09	-34.5442
5.0E+09	-35.1432
6.0E+09	-35.6682
7.0E+09	-37.1233
8.0E+09	-36.8167
9.0E+09	-38.1062
1.0E+10	-38.1571
1.1E+10	-37.9482
1.2E+10	-37.5943
1.3E+10	-39.6946
1.4E+10	-41.2134
1.5E+10	-41.8786
1.6E+10	-41.0882
1.7E+10	-42.3352
1.8E+10	-44.9025

plexi	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-29.1053
2.0E+09	-30.9591
3.0E+09	-32.0939
4.0E+09	-34.6841
5.0E+09	-35.6556
6.0E+09	-36.6822
7.0E+09	-37.7841
8.0E+09	-37.3432
9.0E+09	-39.0524
1.0E+10	-38.3136
1.1E+10	-39.8520
1.2E+10	-38.4941
1.3E+10	-39.3165
1.4E+10	-43.5639
1.5E+10	-41.6372
1.6E+10	-42.2145
1.7E+10	-42.5258
1.8E+10	-45.7851

hlínik 9	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-49.5988
2.0E+09	-52.3626
3.0E+09	-50.6622
4.0E+09	-54.2428
5.0E+09	-52.7056
6.0E+09	-54.7878
7.0E+09	-52.9749
8.0E+09	-54.6283
9.0E+09	-54.3672
1.0E+10	-55.2898
1.1E+10	-54.9192
1.2E+10	-54.8698
1.3E+10	-54.4395
1.4E+10	-54.8319
1.5E+10	-55.2424
1.6E+10	-55.6299
1.7E+10	-55.9152
1.8E+10	-56.1196

vzorek č.1	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-47.1044
2.0E+09	-51.6599
3.0E+09	-48.8288
4.0E+09	-52.6045
5.0E+09	-52.4516
6.0E+09	-51.4996
7.0E+09	-51.3304
8.0E+09	-53.2129
9.0E+09	-54.9720
1.0E+10	-53.4117
1.1E+10	-55.1511
1.2E+10	-53.2818
1.3E+10	-54.3105
1.4E+10	-53.3968
1.5E+10	-54.3742
1.6E+10	-56.4404
1.7E+10	-54.4112
1.8E+10	-53.2145

plexi - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	0.0851
2.0E+09	0.3192
3.0E+09	0.1168
4.0E+09	0.1399
5.0E+09	0.5124
6.0E+09	1.0140
7.0E+09	0.6608
8.0E+09	0.5264
9.0E+09	0.9463
1.0E+10	0.1565
1.1E+10	1.9039
1.2E+10	0.8999
1.3E+10	-0.3781
1.4E+10	2.3505
1.5E+10	-0.2414
1.6E+10	1.1264
1.7E+10	0.1906
1.8E+10	0.8826

hlínik 9 - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	20.5786
2.0E+09	21.7227
3.0E+09	18.6851
4.0E+09	19.6986
5.0E+09	17.5625
6.0E+09	19.1196
7.0E+09	15.8516
8.0E+09	17.8116
9.0E+09	16.2610
1.0E+10	17.1328
1.1E+10	16.9710
1.2E+10	17.2755
1.3E+10	14.7449
1.4E+10	13.6184
1.5E+10	13.3639
1.6E+10	14.5417
1.7E+10	13.5799
1.8E+10	11.2171

vzorek č.1 - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	18.0842
2.0E+09	21.0200
3.0E+09	16.8517
4.0E+09	18.0603
5.0E+09	17.3084
6.0E+09	15.8315
7.0E+09	14.2071
8.0E+09	16.3961
9.0E+09	16.8659
1.0E+10	15.2546
1.1E+10	17.2030
1.2E+10	15.6875
1.3E+10	14.6158
1.4E+10	12.1834
1.5E+10	12.4956
1.6E+10	15.3522
1.7E+10	12.0760
1.8E+10	8.3121

pro vzdálenost 70_70

vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-35.1263
2.0E+09	-34.9544
3.0E+09	-37.6270
4.0E+09	-40.9056
5.0E+09	-39.6241
6.0E+09	-39.3835
7.0E+09	-39.3266
8.0E+09	-40.7980
9.0E+09	-42.2058
1.0E+10	-42.3431
1.1E+10	-42.4744
1.2E+10	-42.3273
1.3E+10	-43.5442
1.4E+10	-44.6654
1.5E+10	-44.8016
1.6E+10	-44.3380
1.7E+10	-45.0171
1.8E+10	-46.4464

plexi	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-34.7710
2.0E+09	-34.4973
3.0E+09	-37.2662
4.0E+09	-41.0516
5.0E+09	-40.3267
6.0E+09	-40.3637
7.0E+09	-40.1594
8.0E+09	-41.3426
9.0E+09	-43.0723
1.0E+10	-43.2673
1.1E+10	-43.0406
1.2E+10	-41.9781
1.3E+10	-44.0038
1.4E+10	-45.4025
1.5E+10	-45.7178
1.6E+10	-45.0620
1.7E+10	-46.0644
1.8E+10	-47.6704

hlínik 9	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-37.6200
2.0E+09	-37.1429
3.0E+09	-39.2383
4.0E+09	-42.0653
5.0E+09	-44.2597
6.0E+09	-46.3835
7.0E+09	-47.4401
8.0E+09	-48.5598
9.0E+09	-48.7136
1.0E+10	-48.3896
1.1E+10	-49.4114
1.2E+10	-48.9232
1.3E+10	-49.5695
1.4E+10	-49.5670
1.5E+10	-50.1060
1.6E+10	-49.8425
1.7E+10	-50.1153
1.8E+10	-49.8222

vzorek č.1	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-36.8250
2.0E+09	-37.2072
3.0E+09	-39.0032
4.0E+09	-42.0895
5.0E+09	-43.4200
6.0E+09	-45.7226
7.0E+09	-45.7041
8.0E+09	-47.9479
9.0E+09	-48.8004
1.0E+10	-49.2248
1.1E+10	-49.0460
1.2E+10	-48.9961
1.3E+10	-49.0483
1.4E+10	-48.9959
1.5E+10	-50.4058
1.6E+10	-50.1095
1.7E+10	-50.4479
1.8E+10	-50.0719

plexi - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-0.3553
2.0E+09	-0.4571
3.0E+09	-0.3607
4.0E+09	0.1461
5.0E+09	0.7026
6.0E+09	0.9802
7.0E+09	0.8328
8.0E+09	0.5445
9.0E+09	0.8665
1.0E+10	0.9242
1.1E+10	0.5662
1.2E+10	-0.3492
1.3E+10	0.4596
1.4E+10	0.7372
1.5E+10	0.9162
1.6E+10	0.7241
1.7E+10	1.0473
1.8E+10	1.2240

hlínik 9 - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	2.4937
2.0E+09	2.1884
3.0E+09	1.6114
4.0E+09	1.1598
5.0E+09	4.6356
6.0E+09	7.0000
7.0E+09	8.1136
8.0E+09	7.7618
9.0E+09	6.5078
1.0E+10	6.0465
1.1E+10	6.9371
1.2E+10	6.5958
1.3E+10	6.0253
1.4E+10	4.9016
1.5E+10	5.3044
1.6E+10	5.5046
1.7E+10	5.0983
1.8E+10	3.3758

vzorek č.1 - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	1.6987
2.0E+09	2.2528
3.0E+09	1.3763
4.0E+09	1.1840
5.0E+09	3.7959
6.0E+09	6.3391
7.0E+09	6.3775
8.0E+09	7.1499
9.0E+09	6.5946
1.0E+10	6.8817
1.1E+10	6.5717
1.2E+10	6.6687
1.3E+10	5.5041
1.4E+10	4.3305
1.5E+10	5.6043
1.6E+10	5.7715
1.7E+10	5.4308
1.8E+10	3.6255

D) Naměřené hodnoty pro Graf 6

vzduch -20dBm	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-34.9467
2.0E+09	-37.1269
3.0E+09	-38.8555
4.0E+09	-41.1327
5.0E+09	-41.8041
6.0E+09	-42.0870
7.0E+09	-43.4403
8.0E+09	-42.8692
9.0E+09	-43.4135
1.0E+10	-43.6643
1.1E+10	-43.9211
1.2E+10	-43.7578
1.3E+10	-44.8065
1.4E+10	-45.3156
1.5E+10	-46.3416
1.6E+10	-43.0350
1.7E+10	-47.0072
1.8E+10	-48.5494

vzduch -10dBm	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-25.11482
2.0E+09	-27.27572
3.0E+09	-29.287
4.0E+09	-31.44538
5.0E+09	-32.42976
6.0E+09	-32.9532
7.0E+09	-34.19904
8.0E+09	-33.68364
9.0E+09	-34.48848
1.0E+10	-34.76448
1.1E+10	-35.18853
1.2E+10	-34.81865
1.3E+10	-36.43507
1.4E+10	-37.16829
1.5E+10	-38.23808
1.6E+10	-38.13063
1.7E+10	-39.78428
1.8E+10	-42.99035

plexi -20dBm	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-34.6574
2.0E+09	-37.1660
3.0E+09	-39.2791
4.0E+09	-41.1743
5.0E+09	-41.6491
6.0E+09	-42.2190
7.0E+09	-43.2189
8.0E+09	-43.2140
9.0E+09	-44.4387
1.0E+10	-44.2800
1.1E+10	-44.5777
1.2E+10	-44.2358
1.3E+10	-46.2061
1.4E+10	-45.4039
1.5E+10	-46.6016
1.6E+10	-46.4159
1.7E+10	-46.6725
1.8E+10	-48.3949

plexi -10dBm	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-24.95742
2.0E+09	-27.40905
3.0E+09	-29.70498
4.0E+09	-31.54368
5.0E+09	-32.60016
6.0E+09	-32.92582
7.0E+09	-34.29148
8.0E+09	-34.19259
9.0E+09	-35.34677
1.0E+10	-35.4293
1.1E+10	-36.01933
1.2E+10	-35.5103
1.3E+10	-38.62927
1.4E+10	-37.79738
1.5E+10	-38.35359
1.6E+10	-39.72942
1.7E+10	-39.35424
1.8E+10	-42.14582

plexi - vzduch -20dBm	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-0.2893
2.0E+09	0.0391
3.0E+09	0.4236
4.0E+09	0.0416
5.0E+09	-0.1551
6.0E+09	0.1320
7.0E+09	-0.2213
8.0E+09	0.3448
9.0E+09	1.0252
1.0E+10	0.6157
1.1E+10	0.6566
1.2E+10	0.4780
1.3E+10	1.3996
1.4E+10	0.0883
1.5E+10	0.2601
1.6E+10	3.3809
1.7E+10	-0.3347
1.8E+10	-0.1545

plexi - vzduch -10dBm	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-0.1574
2.0E+09	0.1333
3.0E+09	0.4180
4.0E+09	0.0983
5.0E+09	0.1704
6.0E+09	-0.0274
7.0E+09	0.0934
8.0E+09	0.5090
9.0E+09	0.8583
1.0E+10	0.6648
1.1E+10	0.8308
1.2E+10	0.6917
1.3E+10	2.1942
1.4E+10	0.6291
1.5E+10	0.1155
1.6E+10	1.5988
1.7E+10	-0.4300
1.8E+10	-0.8445

PŘÍLOHA P III: NAMĚŘENÉ HODNOTY PRO VŠECHNY MĚŘENÉ VZORKY

A) Naměřené hodnoty pro Graf 8

vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-25.11482
2.0E+09	-27.27572
3.0E+09	-29.287
4.0E+09	-31.44538
5.0E+09	-32.42976
6.0E+09	-32.9532
7.0E+09	-34.19804
8.0E+09	-33.68364
9.0E+09	-34.48848
1.0E+10	-34.76448
1.1E+10	-35.18853
1.2E+10	-34.81865
1.3E+10	-36.43507
1.4E+10	-37.16829
1.5E+10	-38.23808
1.6E+10	-38.13063
1.7E+10	-39.78428
1.8E+10	-42.99035

plexi	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-24.95742
2.0E+09	-27.40905
3.0E+09	-29.70498
4.0E+09	-31.54368
5.0E+09	-32.60016
6.0E+09	-32.92582
7.0E+09	-34.29148
8.0E+09	-34.19259
9.0E+09	-35.34677
1.0E+10	-35.4293
1.1E+10	-36.01933
1.2E+10	-35.5103
1.3E+10	-38.62927
1.4E+10	-37.79738
1.5E+10	-38.35359
1.6E+10	-39.72942
1.7E+10	-39.35424
1.8E+10	-42.14582

hliník 9	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-35.65854
2.0E+09	-40.27834
3.0E+09	-41.96471
4.0E+09	-47.51537
5.0E+09	-50.38093
6.0E+09	-49.68033
7.0E+09	-50.02243
8.0E+09	-50.74198
9.0E+09	-50.81277
1.0E+10	-50.66662
1.1E+10	-49.61508
1.2E+10	-51.25286
1.3E+10	-51.31152
1.4E+10	-51.16082
1.5E+10	-51.25607
1.6E+10	-51.20602
1.7E+10	-48.88775
1.8E+10	-50.04229

vzorek č.1	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-35.71983
2.0E+09	-40.62704
3.0E+09	-42.60509
4.0E+09	-47.81696
5.0E+09	-49.97813
6.0E+09	-51.06295
7.0E+09	-50.06965
8.0E+09	-50.35393
9.0E+09	-52.34595
1.0E+10	-50.83109
1.1E+10	-50.22689
1.2E+10	-51.3229
1.3E+10	-52.00395
1.4E+10	-52.52242
1.5E+10	-52.46276
1.6E+10	-52.87887
1.7E+10	-53.17844
1.8E+10	-52.44975

plexi - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-0.1574
2.0E+09	0.1333
3.0E+09	0.4180
4.0E+09	0.0983
5.0E+09	0.1704
6.0E+09	-0.0274
7.0E+09	0.0934
8.0E+09	0.5090
9.0E+09	0.8583
1.0E+10	0.6648
1.1E+10	0.8308
1.2E+10	0.6917
1.3E+10	2.1942
1.4E+10	0.6291
1.5E+10	0.1155
1.6E+10	1.5988
1.7E+10	-0.4300
1.8E+10	-0.8445

hliník 9 - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	10.5437
2.0E+09	13.0026
3.0E+09	12.6777
4.0E+09	16.0700
5.0E+09	17.9512
6.0E+09	16.7271
7.0E+09	15.8244
8.0E+09	17.0583
9.0E+09	16.3243
1.0E+10	15.9021
1.1E+10	14.4266
1.2E+10	16.4342
1.3E+10	14.8765
1.4E+10	13.9925
1.5E+10	13.0180
1.6E+10	13.0754
1.7E+10	9.1035
1.8E+10	7.0519

vzorek č.1 - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	10.6050
2.0E+09	13.3513
3.0E+09	13.3181
4.0E+09	16.1716
5.0E+09	17.5484
6.0E+09	18.1098
7.0E+09	15.8716
8.0E+09	16.6703
9.0E+09	17.8575
1.0E+10	16.0666
1.1E+10	15.0384
1.2E+10	16.5043
1.3E+10	15.6689
1.4E+10	15.3541
1.5E+10	14.2247
1.6E+10	14.7482
1.7E+10	13.3942
1.8E+10	9.4594

vzorek č.2	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-36.10756
2.0E+09	-40.3783
3.0E+09	-41.38097
4.0E+09	-44.90293
5.0E+09	-47.50971
6.0E+09	-50.72664
7.0E+09	-49.79708
8.0E+09	-49.84567
9.0E+09	-50.42826
1.0E+10	-49.2657
1.1E+10	-49.90074
1.2E+10	-50.55741
1.3E+10	-50.66822
1.4E+10	-50.42658
1.5E+10	-50.47868
1.6E+10	-50.51172
1.7E+10	-49.64491
1.8E+10	-51.40716

vzorek č.3	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-36.61885
2.0E+09	-39.97899
3.0E+09	-42.44315
4.0E+09	-46.77154
5.0E+09	-48.65516
6.0E+09	-50.33431
7.0E+09	-50.41632
8.0E+09	-50.71582
9.0E+09	-51.13325
1.0E+10	-50.22347
1.1E+10	-50.7321
1.2E+10	-50.73568
1.3E+10	-51.94839
1.4E+10	-52.099
1.5E+10	-50.99862
1.6E+10	-52.41433
1.7E+10	-53.09984
1.8E+10	-51.3452

vzorek č.4	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-35.99973
2.0E+09	-39.7214
3.0E+09	-42.65812
4.0E+09	-45.60708
5.0E+09	-47.29611
6.0E+09	-49.32351
7.0E+09	-48.70822
8.0E+09	-49.9143
9.0E+09	-49.61593
1.0E+10	-49.50174
1.1E+10	-48.22794
1.2E+10	-49.24875
1.3E+10	-48.69462
1.4E+10	-48.85994
1.5E+10	-49.78128
1.6E+10	-49.48972
1.7E+10	-49.32936
1.8E+10	-49.21783

vzorek č.5	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-35.53073
2.0E+09	-39.59704
3.0E+09	-41.43851
4.0E+09	-45.44348
5.0E+09	-45.59723
6.0E+09	-48.99496
7.0E+09	-47.98324
8.0E+09	-48.9263
9.0E+09	-50.14911
1.0E+10	-48.29273
1.1E+10	-49.43108
1.2E+10	-48.2701
1.3E+10	-48.77261
1.4E+10	-48.74509
1.5E+10	-48.45977
1.6E+10	-49.40206
1.7E+10	-49.96406
1.8E+10	-50.14891

vzorek č.2 - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	10.9927
2.0E+09	13.1026
3.0E+09	12.0940
4.0E+09	13.4576
5.0E+09	15.0800
6.0E+09	17.7734
7.0E+09	15.5990
8.0E+09	16.1620
9.0E+09	15.9398
1.0E+10	14.5012
1.1E+10	14.7122
1.2E+10	15.7388
1.3E+10	14.2332
1.4E+10	13.2583
1.5E+10	12.2406
1.6E+10	12.3811
1.7E+10	9.8606
1.8E+10	8.4168

vzorek č.3 - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	11.5040
2.0E+09	12.7033
3.0E+09	13.1562
4.0E+09	15.3262
5.0E+09	16.2254
6.0E+09	17.3811
7.0E+09	16.2183
8.0E+09	17.0322
9.0E+09	16.6448
1.0E+10	15.4590
1.1E+10	15.5436
1.2E+10	15.9170
1.3E+10	15.5133
1.4E+10	14.9307
1.5E+10	12.7605
1.6E+10	14.2837
1.7E+10	13.3156
1.8E+10	8.3549

vzorek č.4 - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	10.8849
2.0E+09	12.4457
3.0E+09	13.3711
4.0E+09	14.1617
5.0E+09	14.8664
6.0E+09	16.3703
7.0E+09	14.5102
8.0E+09	16.2307
9.0E+09	15.1275
1.0E+10	14.7373
1.1E+10	13.0394
1.2E+10	14.4301
1.3E+10	12.2596
1.4E+10	11.6917
1.5E+10	11.5432
1.6E+10	11.3591
1.7E+10	9.5451
1.8E+10	6.2275

vzorek č.5 - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	10.4159
2.0E+09	12.3213
3.0E+09	12.1515
4.0E+09	13.9981
5.0E+09	13.1675
6.0E+09	16.0418
7.0E+09	13.7852
8.0E+09	15.2427
9.0E+09	15.6606
1.0E+10	13.5283
1.1E+10	14.2426
1.2E+10	13.4515
1.3E+10	12.3375
1.4E+10	11.5768
1.5E+10	10.2217
1.6E+10	11.2714
1.7E+10	10.1798
1.8E+10	7.1586

vzorek č.6		vzorek č.7		vzorek č.8	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]	Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]	Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-36.45289	1.0E+09	-36.94987	1.0E+09	-35.40816
2.0E+09	-39.71265	2.0E+09	-40.82375	2.0E+09	-39.68565
3.0E+09	-41.50562	3.0E+09	-42.56579	3.0E+09	-41.77642
4.0E+09	-45.18938	4.0E+09	-46.59553	4.0E+09	-45.1696
5.0E+09	-47.84339	5.0E+09	-47.39565	5.0E+09	-47.41161
6.0E+09	-49.56325	6.0E+09	-49.73534	6.0E+09	-50.37428
7.0E+09	-49.04031	7.0E+09	-49.2866	7.0E+09	-49.3476
8.0E+09	-49.45523	8.0E+09	-49.84016	8.0E+09	-49.08659
9.0E+09	-51.00047	9.0E+09	-47.98581	9.0E+09	-48.82304
1.0E+10	-50.46721	1.0E+10	-47.45186	1.0E+10	-49.96687
1.1E+10	-49.8113	1.1E+10	-48.77108	1.1E+10	-48.4613
1.2E+10	-50.87247	1.2E+10	-48.51871	1.2E+10	-50.34338
1.3E+10	-50.78689	1.3E+10	-49.33593	1.3E+10	-49.45997
1.4E+10	-50.43398	1.4E+10	-49.57454	1.4E+10	-48.82292
1.5E+10	-51.13466	1.5E+10	-49.46685	1.5E+10	-50.22714
1.6E+10	-50.75708	1.6E+10	-49.59506	1.6E+10	-49.35815
1.7E+10	-50.04574	1.7E+10	-49.20093	1.7E+10	-49.64207
1.8E+10	-51.29299	1.8E+10	-49.04489	1.8E+10	-50.49707

vzorek č.6 - vzduch		vzorek č.7 - vzduch		vzorek č.8 - vzduch	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]	Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]	Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	11.3381	1.0E+09	11.8351	1.0E+09	10.2933
2.0E+09	12.4369	2.0E+09	13.5480	2.0E+09	12.4099
3.0E+09	12.2186	3.0E+09	13.2788	3.0E+09	12.4894
4.0E+09	13.7440	4.0E+09	15.1502	4.0E+09	13.7242
5.0E+09	15.4136	5.0E+09	14.9659	5.0E+09	14.9819
6.0E+09	16.6101	6.0E+09	16.7821	6.0E+09	17.4211
7.0E+09	14.8423	7.0E+09	15.0886	7.0E+09	15.1496
8.0E+09	15.7716	8.0E+09	16.1565	8.0E+09	15.4030
9.0E+09	16.5120	9.0E+09	13.4973	9.0E+09	14.3346
1.0E+10	15.7027	1.0E+10	12.6874	1.0E+10	15.2024
1.1E+10	14.6228	1.1E+10	13.5826	1.1E+10	13.2728
1.2E+10	16.0538	1.2E+10	13.7001	1.2E+10	15.5247
1.3E+10	14.3518	1.3E+10	12.9009	1.3E+10	13.0249
1.4E+10	13.2657	1.4E+10	12.4063	1.4E+10	12.6546
1.5E+10	12.8966	1.5E+10	11.2288	1.5E+10	11.9891
1.6E+10	12.6265	1.6E+10	11.4644	1.6E+10	11.2275
1.7E+10	10.2615	1.7E+10	9.4167	1.7E+10	9.8578
1.8E+10	8.3026	1.8E+10	6.0545	1.8E+10	7.5067

B) Naměřené hodnoty pro Graf 9, Graf 10, resp Graf 11, Graf 12

vzduch						
f [Hz]	úroveň[dBm]					průměr
	1)	2)	3)	4)	5)	
1.0E+09	-25.1148	-24.1637	-24.1485	-24.1384	-24.1151	-24.3361
2.0E+09	-27.2757	-27.0668	-27.0435	-27.0279	-27.2356	-27.1299
3.0E+09	-29.2870	-29.2350	-29.1327	-29.1632	-29.1558	-29.1947
4.0E+09	-31.4454	-31.1878	-31.1320	-31.1302	-31.1480	-31.2087
5.0E+09	-32.4298	-32.2088	-32.1962	-32.1402	-32.5047	-32.2959
6.0E+09	-32.9532	-32.7255	-32.8570	-32.7616	-32.8444	-32.8283
7.0E+09	-34.1980	-34.2077	-34.1742	-34.1733	-34.2486	-34.2004
8.0E+09	-33.6836	-33.3347	-33.3557	-33.3999	-33.5265	-33.4601
9.0E+09	-34.4885	-33.9276	-33.9123	-33.8644	-33.9876	-34.0361
1.0E+10	-34.7645	-34.1015	-34.1259	-34.1136	-34.1589	-34.2529
1.1E+10	-35.1885	-34.7625	-34.7734	-34.7766	-34.8351	-34.8672
1.2E+10	-34.8187	-34.3765	-34.3820	-34.4014	-34.3287	-34.4615
1.3E+10	-36.4351	-35.4318	-35.4707	-35.4178	-35.5316	-35.6574
1.4E+10	-37.1683	-37.2802	-37.2356	-37.2363	-37.0921	-37.2025
1.5E+10	-38.2381	-38.1458	-38.2286	-38.1931	-38.3838	-38.2379
1.6E+10	-38.1306	-38.3021	-38.3533	-38.2218	-38.1809	-38.2377
1.7E+10	-39.7843	-39.9575	-39.9559	-39.8991	-40.1365	-39.9467
1.8E+10	-42.9904	-41.5159	-41.6044	-41.5527	-41.5779	-41.8482

hliníková deska tl. 3.6 mm									
f [Hz]	úroveň[dBm]					průměr	sm.odchyka	bez korekce	s korekci
	1)	2)	3)	4)	5)				
1.0E+09	-35.65854	-36.88348	-36.77438	-36.72962	-36.9593	-36.6011	0.4781	12.2649	23.9983
2.0E+09	-40.27834	-41.08682	-41.4816	-41.01424	-41.1113	-40.9945	0.3931	13.8645	27.3648
3.0E+09	-41.96471	-41.21293	-41.00542	-41.35078	-42.2878	-41.5643	0.4827	12.3696	24.2207
4.0E+09	-47.51537	-48.59155	-48.16403	-47.33771	-47.6830	-47.8583	0.4584	16.6497	33.1094
5.0E+09	-50.38093	-48.43497	-48.34278	-48.06429	-48.0821	-48.6610	0.8720	16.3651	32.5272
6.0E+09	-49.68033	-49.50322	-49.84767	-49.55508	-51.2759	-49.9724	0.6625	17.1441	34.1190
7.0E+09	-50.02243	-50.17371	-50.94341	-50.5388	-50.4536	-50.4264	0.3187	16.2260	32.2424
8.0E+09	-50.74198	-50.11939	-50.78231	-50.82422	-50.3603	-50.5656	0.2779	17.1056	34.0403
9.0E+09	-50.81277	-50.51067	-50.79532	-50.34958	-50.9543	-50.6845	0.2209	16.6484	33.1069
1.0E+10	-50.66662	-50.64098	-51.27816	-50.31192	-51.4677	-50.8731	0.4310	16.6202	33.0492
1.1E+10	-49.61508	-49.88284	-49.62681	-49.21739	-49.4005	-49.5485	0.2253	14.6813	29.0619
1.2E+10	-51.25286	-50.53713	-50.69597	-49.90496	-50.4789	-50.5740	0.4321	16.1125	32.0098
1.3E+10	-51.31152	-50.68759	-50.4927	-49.51264	-50.1424	-50.4294	0.5953	14.7720	29.2496
1.4E+10	-51.16082	-51.19902	-52.01672	-51.55645	-51.5885	-51.5043	0.3110	14.3018	28.2749
1.5E+10	-51.25607	-51.18989	-51.67616	-51.57691	-51.5296	-51.4457	0.1891	13.2079	25.9905
1.6E+10	-51.20602	-51.98161	-50.11022	-51.78992	-50.8025	-51.1781	0.6786	12.9403	25.4277
1.7E+10	-48.88775	-51.97343	-50.81265	-50.89192	-51.1614	-50.7454	1.0157	10.7988	20.8430
1.8E+10	-50.04229	-51.81133	-50.99836	-51.04116	-52.2935	-51.2373	0.7705	9.3891	17.7160

vzorek (kompozit) č.1									
f [Hz]	úroveň[dBm]					průměr	sm.odchylka	bez korekce	s korekci
	1)	2)	3)	4)	5)				
1.0E+09	-35.7198	-38.1906	-37.8572	-37.5660	-37.5471	-37.3762	0.8606	13.0400	25.5485
2.0E+09	-40.6270	-43.2423	-42.9096	-43.2520	-43.1908	-42.6443	1.0164	15.5144	30.6646
3.0E+09	-42.6051	-44.5346	-45.1599	-45.1032	-44.8234	-44.4452	0.9467	15.2505	29.9825
4.0E+09	-47.6170	-49.6539	-49.8289	-49.3172	-49.7840	-49.2402	0.8312	18.0315	35.8731
5.0E+09	-49.9781	-47.7951	-47.0106	-46.9527	-46.7557	-47.6985	1.1937	15.4025	30.6021
6.0E+09	-51.0630	-49.5134	-49.9325	-49.6438	-48.9138	-49.8133	0.7076	16.9849	33.8006
7.0E+09	-50.0697	-50.0375	-50.0536	-49.5761	-49.7594	-49.8993	0.1980	15.6989	31.1882
8.0E+09	-50.3539	-51.1126	-51.6811	-50.0663	-50.5318	-50.7491	0.5780	17.2891	34.4073
9.0E+09	-52.3460	-50.8340	-51.2803	-49.7507	-50.6906	-50.9803	0.8452	16.9442	33.6985
1.0E+10	-50.8311	-51.1863	-51.6915	-50.3157	-50.8803	-50.9810	0.4522	16.7281	33.2650
1.1E+10	-50.2269	-51.1221	-51.6958	-50.8527	-51.1698	-51.0134	0.4788	16.1462	31.9917
1.2E+10	-51.3229	-50.6951	-51.8822	-50.2119	-50.7811	-50.9786	0.5731	16.5172	32.8191
1.3E+10	-52.0040	-50.9343	-51.7302	-50.0303	-51.0348	-51.1467	0.6898	15.4893	30.6842
1.4E+10	-52.5224	-50.7050	-51.5713	-50.0661	-51.5950	-51.2920	0.8404	14.0895	27.8502
1.5E+10	-52.4628	-53.3732	-51.3938	-51.3845	-51.0617	-51.9352	0.8609	13.6973	26.9694
1.6E+10	-52.8789	-51.4794	-52.4056	-51.2286	-51.4228	-51.8831	0.6431	13.6453	26.8377
1.7E+10	-53.1784	-52.3506	-51.5865	-51.9543	-52.9649	-52.4070	0.5980	12.4603	24.1661
1.8E+10	-52.4498	-51.4563	-51.7958	-51.7243	-52.4114	-51.9675	0.3949	10.1193	19.1764

vzorek (kompozit) č.2									
f [Hz]	úroveň[dBm]					průměr	sm.odchylka	bez korekce	s korekci
	1)	2)	3)	4)	5)				
1.0E+09	-36.1076	-36.6082	-37.2753	-37.0628	-37.0296	-36.8167	0.4154	12.4806	24.4296
2.0E+09	-40.3783	-40.6021	-42.1962	-43.0900	-42.8811	-41.8296	1.1350	14.6996	29.0350
3.0E+09	-41.3810	-40.0950	-43.7024	-43.2891	-43.1772	-42.3290	1.3724	13.1342	25.7499
4.0E+09	-44.9029	-46.7480	-47.4806	-48.4390	-47.6303	-47.0402	1.1960	15.8315	31.4731
5.0E+09	-47.5097	-49.0536	-46.2200	-45.6676	-45.3565	-46.7615	1.3622	14.4655	28.7282
6.0E+09	-50.7266	-49.4967	-49.4679	-48.9574	-48.9846	-49.5266	0.6422	16.6983	33.2273
7.0E+09	-49.7971	-50.4886	-49.8747	-49.0065	-49.1976	-49.6729	0.5275	15.4725	30.7354
8.0E+09	-49.8457	-50.7320	-49.6988	-49.8473	-49.3806	-49.9008	0.4490	16.4408	32.7107
9.0E+09	-50.4283	-51.2424	-50.2455	-50.0384	-50.0069	-50.3923	0.4515	16.3562	32.5224
1.0E+10	-49.2657	-50.6614	-51.0897	-49.9965	-50.5630	-50.3153	0.6299	16.0624	31.9335
1.1E+10	-49.9007	-50.2236	-50.5296	-49.9405	-50.2154	-50.1620	0.2276	15.2947	30.2888
1.2E+10	-50.5574	-51.3354	-49.9967	-49.8370	-50.1514	-50.3756	0.5363	15.9141	31.6130
1.3E+10	-50.6682	-50.9801	-50.1501	-50.4245	-51.0259	-50.6498	0.3321	14.9924	29.6903
1.4E+10	-50.4266	-51.6824	-50.8634	-50.9562	-50.8301	-50.9517	0.4080	13.7493	27.1698
1.5E+10	-50.4787	-51.7853	-51.2766	-50.5764	-51.3401	-51.0914	0.4936	12.8536	25.2819
1.6E+10	-50.5117	-52.1222	-51.9983	-50.6386	-50.8861	-51.2314	0.6885	12.9937	25.5344
1.7E+10	-49.6449	-51.4117	-50.7588	-51.7689	-51.2360	-50.9641	0.7354	11.0174	21.2803
1.8E+10	-51.4072	-51.1525	-51.9502	-50.8903	-51.2410	-51.3282	0.3531	9.4800	17.8978

vzorek (kompozit) č.3									
f [Hz]	úroveň[dBm]					průměr	sm.odchylka	bez korekce	s korekci
	1)	2)	3)	4)	5)				
1.0E+09	-36.6189	-37.3947	-37.3639	-37.3633	-38.5281	-37.4538	0.6117	13.1176	25.7037
2.0E+09	-39.9790	-42.6141	-42.3737	-42.7754	-42.8162	-42.1117	1.0776	14.9818	29.5993
3.0E+09	-42.4432	-43.0547	-43.1163	-43.5665	-43.2196	-43.0801	0.3643	13.8853	27.2521
4.0E+09	-46.7715	-47.9177	-48.1759	-48.2295	-46.9808	-47.6151	0.6160	16.4064	32.6229
5.0E+09	-48.6552	-46.5071	-46.7306	-46.6925	-46.4472	-47.0065	0.8313	14.7106	29.2182
6.0E+09	-50.3343	-48.6640	-49.0142	-49.8542	-47.7692	-49.1272	0.9008	16.2989	32.4285
7.0E+09	-50.4163	-49.8878	-48.8990	-50.3436	-49.0412	-49.7176	0.6382	15.5172	30.8248
8.0E+09	-50.7158	-50.3860	-50.2871	-50.3720	-49.0223	-50.1526	0.5842	16.6926	33.2143
9.0E+09	-51.1333	-49.7724	-50.4325	-50.0645	-48.6620	-50.0129	0.8145	15.9769	31.7637
1.0E+10	-50.2235	-50.3141	-50.2132	-50.9637	-49.0865	-50.1602	0.6048	15.9073	31.6234
1.1E+10	-48.7321	-50.0502	-50.6233	-50.4895	-49.1078	-50.2006	0.5935	15.3333	30.3659
1.2E+10	-50.7357	-49.5686	-50.0494	-51.0240	-49.5346	-50.1824	0.6047	15.7210	31.2267
1.3E+10	-51.9484	-50.7412	-51.3840	-52.0632	-49.3088	-51.0891	1.0064	15.4317	30.5690
1.4E+10	-52.0990	-50.4461	-51.4292	-52.8251	-49.9505	-51.3500	1.0506	14.1475	27.9663
1.5E+10	-50.9986	-51.2719	-52.3089	-52.7680	-49.1053	-51.2901	1.2710	13.0523	25.6793
1.6E+10	-52.4143	-51.4139	-51.7441	-51.9442	-49.2796	-51.3592	1.0892	13.1215	25.7900
1.7E+10	-53.0998	-51.3651	-51.2492	-51.5687	-48.9444	-51.2454	1.3306	11.2988	21.8430
1.8E+10	-51.3452	-50.8374	-51.8693	-51.2224	-49.4061	-50.9361	0.8331	9.0878	17.1135

vzorek (kompozit) č.4									
f [Hz]	úroveň[dBm]					průměr	sm.odchylka	bez korekce	s korekci
	1)	2)	3)	4)	5)				
1.0E+09	-35.9997	-37.7656	-37.6239	-37.5668	-37.7123	-37.3337	0.6705	12.9976	25.4636
2.0E+09	-39.7214	-43.3467	-43.6786	-43.8077	-43.4929	-42.8095	1.5520	15.6796	30.9948
3.0E+09	-42.6581	-45.5343	-44.7294	-45.2864	-45.1956	-44.6808	1.0444	15.4860	30.4535
4.0E+09	-45.6071	-50.7959	-49.7427	-49.8076	-49.8997	-49.1706	1.8224	17.9619	35.7300
5.0E+09	-47.2961	-47.9237	-47.6191	-47.6187	-47.5311	-47.5977	0.2013	15.3018	30.4007
6.0E+09	-49.3235	-48.8772	-50.0422	-49.4793	-49.6535	-49.4751	0.3831	16.6468	33.1243
7.0E+09	-48.7082	-48.9010	-50.0298	-50.6587	-50.6068	-49.7809	0.8294	15.5805	30.9515
8.0E+09	-49.9143	-51.0745	-51.4496	-51.8833	-50.8418	-51.0327	0.6613	17.5726	34.9744
9.0E+09	-49.6159	-50.9067	-51.2541	-51.5578	-49.9777	-50.6625	0.7451	16.6264	33.0628
1.0E+10	-49.5017	-50.8252	-50.8536	-51.6029	-50.9098	-50.7386	0.6822	16.4858	32.7803
1.1E+10	-48.2279	-51.0947	-50.8006	-51.0989	-50.0092	-50.2463	1.0848	15.3791	30.4574
1.2E+10	-49.2488	-50.9305	-49.1766	-50.8976	-49.9018	-50.0311	0.7640	15.5696	30.9240
1.3E+10	-48.6946	-50.8148	-49.1591	-50.9392	-51.0084	-50.1232	0.9897	14.4658	28.6372
1.4E+10	-48.8599	-51.9003	-50.1689	-50.4263	-50.2447	-50.3200	0.9663	13.1175	25.9064
1.5E+10	-49.7813	-51.6446	-50.1921	-50.4126	-51.1901	-50.6441	0.6784	12.4063	24.3873
1.6E+10	-49.4897	-50.9935	-51.5514	-51.9263	-51.2206	-51.0363	0.8349	12.7986	25.1442
1.7E+10	-49.3294	-51.9607	-51.6973	-52.0780	-50.7191	-51.1569	1.0313	11.2102	21.6660
1.8E+10	-49.2178	-51.4562	-51.5268	-51.8085	-51.5414	-51.1102	0.9537	9.2619	17.4616

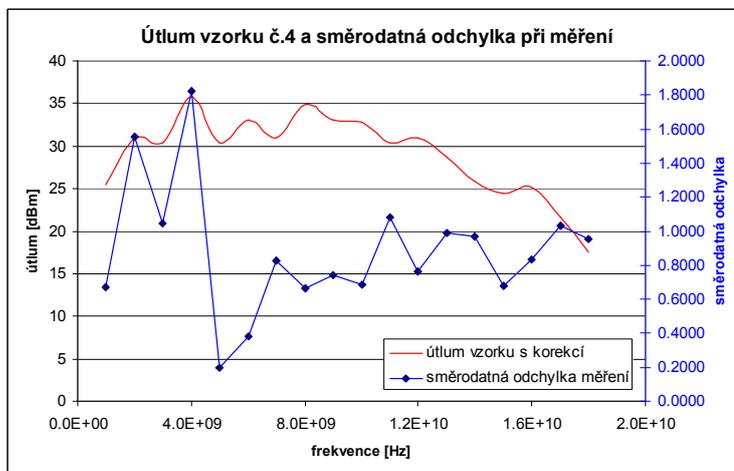
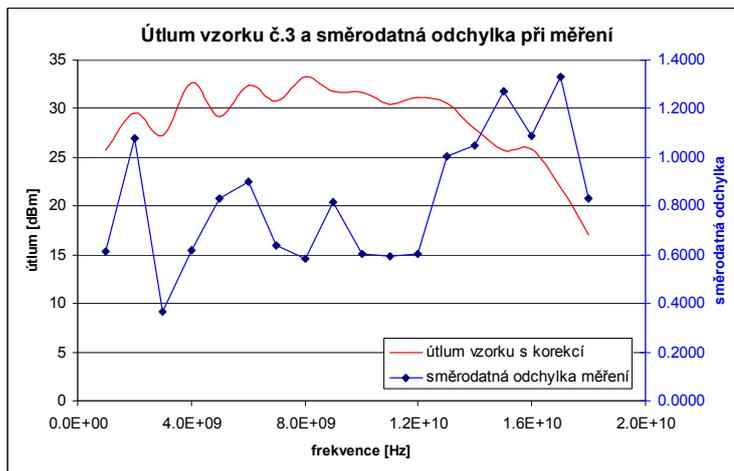
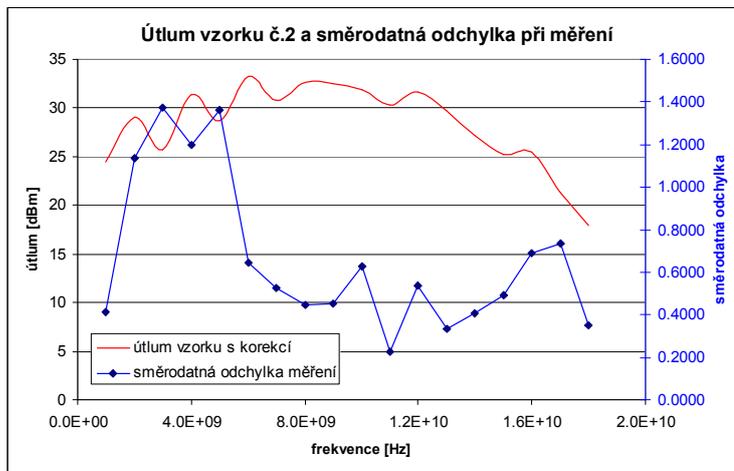
vzorek (kompozit) č.5									
f [Hz]	úroveň[dBm]					průměr	sm.odchylka	bez korekce	s korekci
	1)	2)	3)	4)	5)				
1.0E+09	-35.5307	-37.1105	-36.9709	-36.7194	-37.3214	-36.7306	0.6310	12.3945	24.2574
2.0E+09	-39.5970	-42.0731	-41.2219	-41.5808	-41.2433	-41.1432	0.8322	14.0133	27.6624
3.0E+09	-41.4385	-42.8897	-42.6908	-42.5622	-42.4559	-42.4074	0.5056	13.2127	25.9069
4.0E+09	-45.4435	-47.2071	-46.8420	-46.4586	-46.4342	-46.4771	0.5893	15.2684	30.3469
5.0E+09	-45.5972	-46.6856	-46.5763	-45.8805	-46.2823	-46.2044	0.4122	13.9084	27.6139
6.0E+09	-48.9950	-51.2255	-50.1598	-51.0888	-49.8365	-50.2611	0.8257	17.4328	34.6963
7.0E+09	-47.9832	-50.9746	-50.4395	-52.5621	-50.3063	-50.4531	1.4725	16.2528	32.2959
8.0E+09	-48.9263	-50.6709	-50.2317	-51.6442	-50.3896	-50.3725	0.8738	16.9125	33.6541
9.0E+09	-50.1491	-50.7435	-50.5946	-51.4365	-50.1598	-50.6167	0.4724	16.5806	32.9713
1.0E+10	-48.2927	-51.3342	-50.7397	-51.6981	-50.1796	-50.4489	1.1958	16.1960	32.2007
1.1E+10	-49.4311	-50.8209	-49.4619	-50.5640	-49.5133	-49.9582	0.6056	15.0910	29.8813
1.2E+10	-48.2701	-51.1361	-50.2370	-50.6446	-49.8991	-50.0374	0.9755	15.5759	30.9366
1.3E+10	-48.7726	-51.8755	-50.1226	-50.3516	-51.1136	-50.4472	1.0395	14.7898	29.2852
1.4E+10	-48.7451	-50.7949	-50.8031	-51.6986	-50.7317	-50.5547	0.9730	13.3522	26.3757
1.5E+10	-48.4598	-51.1622	-51.6099	-50.3920	-50.9939	-50.5236	1.1033	12.2857	24.1462
1.6E+10	-49.4021	-51.4293	-52.1604	-52.2287	-51.3272	-51.3095	1.0219	13.0718	25.6906
1.7E+10	-49.9641	-51.3103	-50.8559	-51.6357	-52.5181	-51.2568	0.8449	11.3101	21.8658
1.8E+10	-50.1489	-51.3486	-52.0423	-51.8521	-52.3003	-51.5384	0.7615	9.6902	18.3182

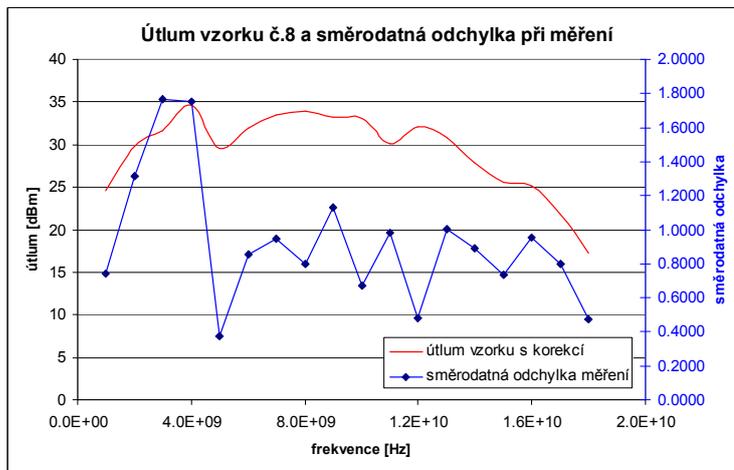
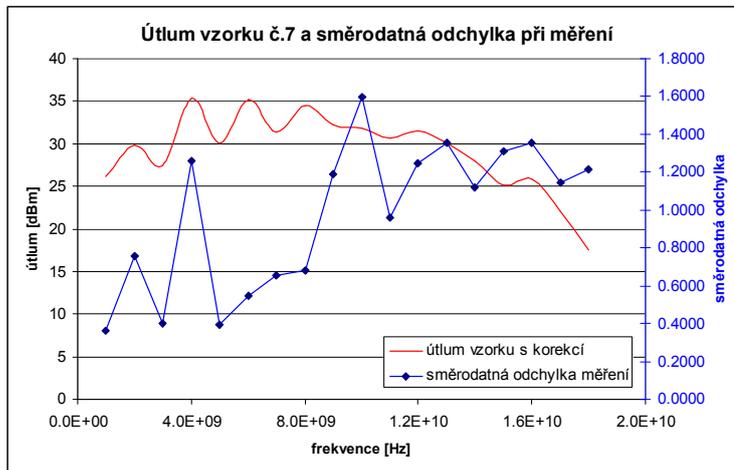
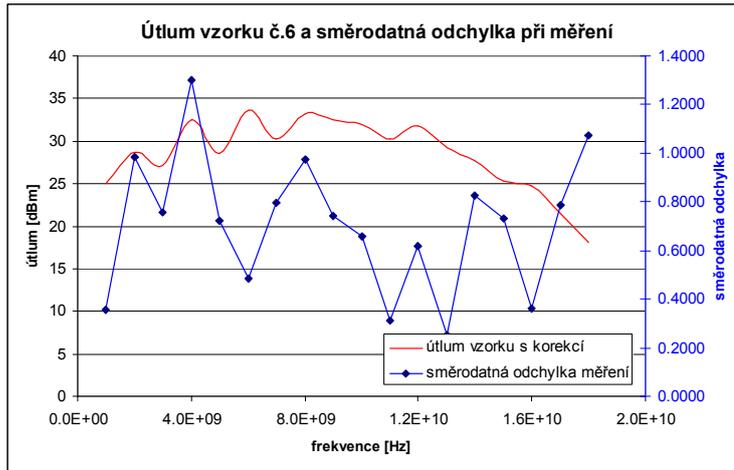
vzorek (kompozit) č.6									
f [Hz]	úroveň[dBm]					průměr	sm.odchylka	bez korekce	s korekci
	1)	2)	3)	4)	5)				
1.0E+09	-36.4529	-37.5145	-37.1135	-37.2894	-37.0833	-37.0907	0.3540	12.7546	24.9776
2.0E+09	-39.7127	-42.1690	-42.1023	-42.3988	-41.8656	-41.6497	0.9833	14.5198	28.6753
3.0E+09	-41.5056	-43.4869	-43.4377	-43.4545	-43.0837	-42.9937	0.7583	13.7989	27.0793
4.0E+09	-45.1894	-47.9309	-49.1298	-48.0554	-47.4381	-47.5487	1.3024	16.3401	32.4902
5.0E+09	-47.8434	-46.0448	-46.1630	-46.1678	-47.2415	-46.6921	0.7213	14.3962	28.5894
6.0E+09	-49.5633	-49.6737	-49.9620	-49.0343	-50.5135	-49.7494	0.4860	16.9210	33.6728
7.0E+09	-49.0403	-48.5556	-49.5470	-49.0020	-50.8656	-49.4021	0.7963	15.2017	30.1939
8.0E+09	-49.4552	-49.9758	-49.2832	-50.0226	-52.0127	-50.1499	0.9747	16.6898	33.2088
9.0E+09	-51.0005	-49.2614	-49.8179	-50.5949	-51.2522	-50.3854	0.7428	16.3493	32.5086
1.0E+10	-50.4672	-49.4240	-50.8107	-49.6654	-51.1496	-50.3034	0.6604	16.0505	31.9098
1.1E+10	-49.8113	-50.1698	-50.2760	-49.7981	-50.6235	-50.1357	0.3092	15.2685	30.2363
1.2E+10	-50.8725	-49.4697	-50.3013	-50.5179	-51.3150	-50.4953	0.6171	16.0338	31.8524
1.3E+10	-50.7869	-50.0766	-50.2746	-50.3551	-50.6191	-50.4225	0.2520	14.7651	29.2358
1.4E+10	-50.4340	-52.4546	-50.4548	-50.8706	-51.9703	-51.2369	0.8260	14.0344	27.7401
1.5E+10	-51.1347	-51.3280	-50.0078	-50.7995	-52.2588	-51.1057	0.7320	12.8679	25.3105
1.6E+10	-50.7571	-50.5404	-50.7774	-50.5135	-51.5093	-50.8195	0.3614	12.5818	24.7106
1.7E+10	-50.0457	-51.6287	-50.4289	-51.0617	-52.2216	-51.0773	0.7872	11.1307	21.5068
1.8E+10	-51.2930	-52.2362	-50.1679	-50.4102	-52.9966	-51.4208	1.0729	9.5725	18.0829

vzorek (kompozit) č.7									
f [Hz]	úroveň[dBm]					průměr	sm.odchylka	bez korekce	s korekci
	1)	2)	3)	4)	5)				
1.0E+09	-36.9499	-37.8983	-37.6499	-37.8398	-37.8934	-37.6463	0.3597	13.3101	26.0887
2.0E+09	-40.8238	-42.5714	-43.1017	-42.2846	-42.3339	-42.2231	0.7573	15.0932	29.8220
3.0E+09	-42.5658	-43.4553	-43.5835	-42.8799	-43.5120	-43.1993	0.4036	14.0046	27.4906
4.0E+09	-46.5955	-49.0564	-50.0570	-49.9787	-49.3131	-49.0002	1.2616	17.7915	35.3931
5.0E+09	-47.3957	-47.1503	-48.0795	-47.5954	-46.9432	-47.4328	0.3913	15.1369	30.0708
6.0E+09	-49.7353	-50.8444	-51.2527	-50.6511	-50.0498	-50.5067	0.5468	17.6783	35.1874
7.0E+09	-49.2866	-51.0593	-49.8912	-49.3252	-50.2357	-49.9596	0.6551	15.7592	31.3088
8.0E+09	-49.8402	-51.1059	-51.8692	-50.4841	-50.5985	-50.7796	0.6777	17.3195	34.4681
9.0E+09	-47.9858	-51.4884	-50.8324	-50.5507	-50.2407	-50.2196	1.1904	16.1835	32.1771
1.0E+10	-47.4519	-51.3912	-52.0955	-49.9290	-50.5174	-50.2770	1.5943	16.0241	31.8570
1.1E+10	-48.7711	-50.8953	-51.6922	-50.3688	-50.1451	-50.3745	0.9624	15.5073	30.7138
1.2E+10	-48.5187	-50.7876	-52.3281	-50.0629	-49.8582	-50.3111	1.2470	15.8496	31.4841
1.3E+10	-49.3359	-51.5715	-52.8982	-49.4043	-51.1498	-50.8719	1.3554	15.2146	30.1347
1.4E+10	-49.5745	-52.6916	-52.3908	-51.0831	-50.9919	-51.3464	1.1167	14.1439	27.9591
1.5E+10	-49.4669	-53.1464	-51.7576	-49.9876	-50.8573	-51.0431	1.3090	12.8053	25.1853
1.6E+10	-49.5951	-53.6529	-51.8249	-51.2897	-50.6083	-51.3942	1.3530	13.1564	25.8599
1.7E+10	-49.2009	-52.5606	-51.9642	-51.2688	-51.5904	-51.3170	1.1420	11.3704	21.9862
1.8E+10	-49.0449	-52.5420	-51.9893	-50.7295	-51.4812	-51.1574	1.2133	9.3091	17.5561

vzorek (kompozit) č.8									
f [Hz]	úroveň[dBm]					průměr	sm.odchylka	bez korekce	s korekci
	1)	2)	3)	4)	5)				
1.0E+09	-35.4082	-37.1943	-37.4597	-37.1567	-37.1724	-36.8782	0.7434	12.5421	24.5527
2.0E+09	-39.6857	-42.3942	-42.9575	-42.7177	-43.4092	-42.2328	1.3159	15.1029	29.8416
3.0E+09	-41.7764	-46.0958	-46.3877	-45.7207	-46.3940	-45.2749	1.7665	16.0802	31.6418
4.0E+09	-45.1696	-49.3817	-50.0716	-49.2775	-49.2282	-48.6257	1.7547	17.4170	34.6441
5.0E+09	-47.4116	-46.8101	-47.1767	-46.7824	-47.7659	-47.1893	0.3719	14.8934	29.5838
6.0E+09	-50.3743	-48.4191	-48.6689	-47.7990	-49.0420	-48.8607	0.8582	16.0323	31.8954
7.0E+09	-49.3476	-51.0592	-52.1412	-50.9688	-51.6990	-51.0431	0.9504	16.8428	33.4759
8.0E+09	-49.0866	-51.3096	-51.2399	-50.5782	-50.3908	-50.5210	0.8021	17.0609	33.9511
9.0E+09	-48.8230	-50.9592	-52.3772	-50.8151	-50.5839	-50.7117	1.1339	16.6756	33.1612
1.0E+10	-49.9669	-50.8299	-50.3738	-51.4293	-51.8142	-50.8828	0.6734	16.6300	33.0687
1.1E+10	-48.4613	-49.7769	-50.0146	-50.9229	-51.2663	-50.0884	0.9832	15.2212	30.1416
1.2E+10	-50.3434	-50.0440	-50.3929	-51.2931	-51.0969	-50.6341	0.4774	16.1726	32.1300
1.3E+10	-49.4600	-50.9857	-51.3476	-52.5389	-51.6163	-51.1897	1.0061	15.5323	30.7702
1.4E+10	-49.8229	-51.5685	-52.1868	-52.0557	-50.6890	-51.2646	0.8920	14.0621	27.7955
1.5E+10	-50.2271	-51.8340	-50.5001	-52.1271	-51.3625	-51.2102	0.7381	12.9723	25.5194
1.6E+10	-49.3582	-51.8430	-51.5092	-51.9383	-50.7384	-51.0774	0.9575	12.8397	25.2264
1.7E+10	-49.6421	-51.7304	-51.4346	-51.7865	-51.4325	-51.2052	0.7952	11.2586	21.7626
1.8E+10	-50.4971	-50.7098	-50.6241	-51.7201	-51.3364	-50.9775	0.4706	9.1292	17.1963

C) Útlum jednotlivých vzorků a jejich směrodatná odchylka při měření





PŘÍLOHA P IV: NAMĚŘENÉ HODNOTY PRO MĚŘENÍ SE STÍNÍCÍ STĚNOU A PRO VENKOVNÍ MĚŘENÍ

A) Naměřené hodnoty pro Graf 13 (stínící stěna)

vzduch 0dBm	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-27.7703
2.0E+09	-29.1995
3.0E+09	-31.0671
4.0E+09	-33.1459
5.0E+09	-32.0421
6.0E+09	-33.3327
7.0E+09	-34.5789
8.0E+09	-34.2685
9.0E+09	-36.4018
1.0E+10	-35.9440
1.1E+10	-36.3898
1.2E+10	-35.1835
1.3E+10	-37.0748
1.4E+10	-40.0111
1.5E+10	-41.4408
1.6E+10	-39.9152
1.7E+10	-41.2575
1.8E+10	-42.7202

hliník 9 0dBm	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-40.5954
2.0E+09	-50.9221
3.0E+09	-53.6764
4.0E+09	-54.6394
5.0E+09	-55.3895
6.0E+09	-56.5152
7.0E+09	-56.7653
8.0E+09	-57.1739
9.0E+09	-57.0612
1.0E+10	-56.2489
1.1E+10	-56.4852
1.2E+10	-55.8561
1.3E+10	-58.6539
1.4E+10	-57.9410
1.5E+10	-58.1261
1.6E+10	-58.8321
1.7E+10	-58.2016
1.8E+10	-58.8383

vzorek č.1 0dBm	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-41.7935
2.0E+09	-48.8993
3.0E+09	-54.6957
4.0E+09	-57.5148
5.0E+09	-51.4833
6.0E+09	-53.2712
7.0E+09	-58.9102
8.0E+09	-57.6055
9.0E+09	-56.9217
1.0E+10	-60.1298
1.1E+10	-58.1465
1.2E+10	-57.8844
1.3E+10	-57.4321
1.4E+10	-57.2676
1.5E+10	-58.7407
1.6E+10	-57.7348
1.7E+10	-58.7502
1.8E+10	-57.5102

SE hliník 9	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	12.8251
2.0E+09	21.7226
3.0E+09	22.6093
4.0E+09	21.4935
5.0E+09	23.3474
6.0E+09	23.1825
7.0E+09	22.1864
8.0E+09	22.9054
9.0E+09	20.6594
1.0E+10	20.3049
1.1E+10	20.0954
1.2E+10	20.6726
1.3E+10	21.5791
1.4E+10	17.9299
1.5E+10	16.6853
1.6E+10	18.9169
1.7E+10	16.9441
1.8E+10	16.1181

SE vzorek č.1	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	14.0232
2.0E+09	19.6998
3.0E+09	23.6286
4.0E+09	24.3689
5.0E+09	19.4412
6.0E+09	19.9385
7.0E+09	24.3313
8.0E+09	23.3370
9.0E+09	20.5199
1.0E+10	24.1858
1.1E+10	21.7567
1.2E+10	22.7009
1.3E+10	20.3573
1.4E+10	17.2565
1.5E+10	17.2999
1.6E+10	17.8196
1.7E+10	17.4927
1.8E+10	14.7900

vzorek č.2 0dBm	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-44.5021
2.0E+09	-47.1380
3.0E+09	-51.6211
4.0E+09	-54.0758
5.0E+09	-54.3491
6.0E+09	-51.9894
7.0E+09	-55.5603
8.0E+09	-55.6978
9.0E+09	-57.2356
1.0E+10	-58.6227
1.1E+10	-57.0752
1.2E+10	-57.9372
1.3E+10	-59.0405
1.4E+10	-58.9236
1.5E+10	-58.0536
1.6E+10	-58.2207
1.7E+10	-58.1277
1.8E+10	-58.1912

vzorek č.5 0dBm	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	-42.6983
2.0E+09	-48.5830
3.0E+09	-54.5251
4.0E+09	-57.4473
5.0E+09	-51.8158
6.0E+09	-53.8080
7.0E+09	-54.4773
8.0E+09	-54.5807
9.0E+09	-57.5529
1.0E+10	-58.5267
1.1E+10	-57.3950
1.2E+10	-57.1721
1.3E+10	-57.9028
1.4E+10	-59.4194
1.5E+10	-58.8032
1.6E+10	-58.9873
1.7E+10	-58.2503
1.8E+10	-57.2921

SE vzorek č.2	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	16.7318
2.0E+09	17.9385
3.0E+09	20.5540
4.0E+09	20.9299
5.0E+09	22.3070
6.0E+09	18.6567
7.0E+09	20.9814
8.0E+09	21.4293
9.0E+09	20.8338
1.0E+10	22.6787
1.1E+10	20.6854
1.2E+10	22.7537
1.3E+10	21.9657
1.4E+10	18.9125
1.5E+10	16.6128
1.6E+10	18.3055
1.7E+10	16.8702
1.8E+10	15.4710

SE vzorek č.5	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
1.0E+09	14.9280
2.0E+09	19.3835
3.0E+09	23.4580
4.0E+09	24.3014
5.0E+09	19.7737
6.0E+09	20.4753
7.0E+09	19.8984
8.0E+09	20.3122
9.0E+09	21.1511
1.0E+10	22.5827
1.1E+10	21.0052
1.2E+10	21.9886
1.3E+10	20.8280
1.4E+10	19.4083
1.5E+10	17.3624
1.6E+10	19.0721
1.7E+10	16.9928
1.8E+10	14.5719

B) Naměřené hodnoty pro Graf 14 (venkovní měření)

vzduch 15dBm	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
2.0E+09	-1.8
4.0E+09	-5.5
6.0E+09	-7.1
8.0E+09	-8.6
1.0E+10	-5.7
1.2E+10	-10.6
1.4E+10	-7.2
1.6E+10	-15.1
1.8E+10	-18.5

vzorek č.1 15dBm	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
2.0E+09	-31.0
4.0E+09	-38.5
6.0E+09	-33.0
8.0E+09	-40.0
1.0E+10	-38.2
1.2E+10	-39.0
1.4E+10	-35.9
1.6E+10	-39.7
1.8E+10	-40.1

SE vzorek č.1	
Frekvence[Hz]	úroveň[dBm]
2.0E+09	29.2
4.0E+09	33.0
6.0E+09	25.9
8.0E+09	31.4
1.0E+10	32.5
1.2E+10	28.4
1.4E+10	28.7
1.6E+10	24.6
1.8E+10	21.6