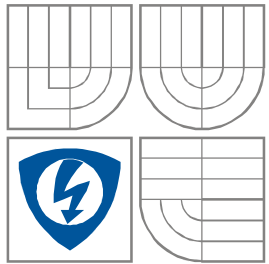




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

# MĚŘENÍ VLASTNOSTÍ STÍNĚNÝCH KOMOR EMC

MEASUREMENT OF ANECHOIC CHAMBERS

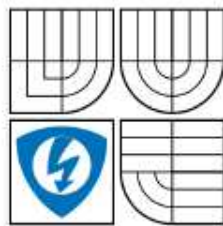
DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. Marek Švec

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. Jiří Dřínovský, Ph.D.



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
Elektronika a sdělovací technika

**Student:** Bc. Marek Švec  
**Ročník:** 2

**ID:** 83027  
**Akademický rok:** 2008/2009

**NÁZEV TÉMATU:**

## Měření vlastností stíněných komor EMC

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Podrobně se seznámte s měřením vložných útlumů stínících krytů a komor na základně dostupných norem a standardů. Na základě tohoto studia navrhnete pracoviště pro měření vlastností stíněných komor využívaných pro měření elektromagnetické kompatibility.

Vámi navržené pracoviště realizujte a proveďte základní měření na měřicí stíněné komoře na Ústavu radioelektroniky.

Zaměřte se na měření referenčních signálů, která jsou nezbytná pro měření účinnosti stíněných komor. Zhodnoťte vlivy, které mají na tyto referenční signály největší vliv. Dosažené výsledky přehledně zpracujte a vyhodnoťte. Zhodnoťte také vhodnost stíněné komory pro jednotlivá měření (např. EMC měření, anténní měření apod.).

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] SVAČINA, J., Elektromagnetická kompatibilita, principy a metody. Brno: Nakladatelství VUTUM, 2001. ISBN 80-214-1873-7.

[2] IEEE Standard: Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures. EMC Society, New York 2006, p. 39.

**Termín zadání:** 9.2.2009

**Termín odevzdání:** 29.5.2009

**Vedoucí práce:** Ing. Jiří Dřinovský, Ph.D.

**prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida**  
*Předseda oborové rady*

## Abstrakt

Semestrálny projekt pojednáva o všeobecných aspektoch a možnom riešení merania efektívnosti tienenia tienených krytov a komôr pre potreby elektromagnetickej kompatibility *EMC* na základe dostupných noriem a štandardov. Elektromagnetické tienenie je jedným z najdôležitejších odrušovacích prostriedkov *EMC*. Jeho hlavnou úlohou je zmenšenie rušivého vyžarovania na strane zdrojov rušivých signálov a tiež zvýšenie elektromagnetickej odolnosti na strane prijímačov rušivých signálov. Tienenie je považované za dôležitý konštrukčný prostriedok k zoslabeniu elektromagnetického poľa, týkajúci sa vymedzenej časti priestoru. Technické prostriedky, ktorými dosahujeme uvedené ciele nazývame tienenými krytmi alebo tienenými komorami. Tienenie je jedným z vysoko efektívnych spôsobov týkajúcich sa elektromagnetickej ochrany napríklad pred výkonovým rušením. Na vyjadrenie kvality tienenia sa využíva takzvaná efektívnosť tienenia *SE*, ktorá predstavuje logaritmickú mieru koeficientu tienenia, ktorý je definovaný pomerom intenzít elektrického alebo magnetického poľa v určitom bode tieniaceho priestoru k intenzite elektrického alebo magnetického poľa dopadajúceho na tienenú prepážku alebo stenu.

## Kľúčové slová

Efektívnosť tienenia, tienený kryt, tienená komora, elektromagnetická kompatibility, rušivé vyžarovanie, elektrické pole, elektromagnetické pole.

## Abstract

This Master's project deals with general aspects and possible solution of effective shielded cover and cell/chamber shielding measurement for needs of electromagnetic compatibility *EMC* on the basis of available norms and standards. Electromagnetic shielding is one of the most anticlutter means of *EMC*. Its main task is reduction of disturbing emission at the side of sources of disturbing signals as well as electromagnetic resistance increase at the side of disturbing signal receivers. Shielding is considered to be an important structural means to reduce electromagnetic field referring to a defined space part. Technical means for achieving the given goals are called shielded covers or shielded cells/chambers. Shielding is one of highly effective methods related to electromagnetic protection, for instance against power/output disturbance. To express the shielding quality so called shielding effectiveness *SE* is used. It represents logarithmic rate of shielding coefficient that is defined by the intensity ratios of electric and magnetic fields in a certain point of the shielded space to electric or magnetic field intensity incident/impinging on the shielded screen or wall.

## Keywords

Shielding Effectiveness, shielded cover, shielded chamber, electromagnetic compatibility, disturbing emission reduction, electric field, electromagnetic field.

**Bibliografická citácia práce:**

ŠVEC, M. *Měření vlastností stíněných komor EMC*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2009. 58 s., 4 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce Ing. Jiří Dřínovský, Ph.D.

## Prehlásenie

Prehlasujem, že svoju diplomovú prácu na tému „Meranie vlastností tienených komôr EMC“, som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej diplomovej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tohoto projektu som neporušil autorské práva tretích osôb, a tiež som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomí následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúceho autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestno-právnych dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia § 152 trestného zákona č.140/1961 Sb.

V Brne dňa 29. mája 2009

.....  
podpis autora

## Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu diplomovej práce Ing. Jiřímu Dřínovskému, Ph.D. za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej diplomovej práce.

V Brne dňa 29. mája 2009

.....  
podpis autora

# OBSAH

Zoznam obrázkov.....	6
Zoznam tabuliek.....	8
Úvod.....	9
1. Teoretická časť.....	9
1.1. Elektromagnetické tienenie.....	9
1.2. Rozbor efektívnosti tienenia <i>SE</i> .....	10
2. Metodika merania.....	13
2.1. Postup merania efektívnosti tienenia <i>SE</i> .....	14
2.2. Prvky meracieho reťazca.....	15
2.2.1. Antény pre meranie <i>SE</i> .....	15
2.2.2. Polarizácie antén.....	16
2.2.2.1. Rámová (slučková) anténa.....	16
2.2.2.2. Bikónická a logaritmicko – periodická anténa.....	17
2.2.2.3. Bikónicko – logaritmicko – periodická anténa.....	17
2.2.3. Meracie prístroje pre meranie <i>SE</i> .....	21
3. Experimentálna časť.....	23
3.1. Agilent <i>VEE</i> .....	23
3.2. Návrh a konštrukcia rámovej antény.....	26
3.3. Návrh a konštrukcia antény Bilog.....	29
3.3.1. Logaritmicko – periodická časť antény.....	30
3.3.2. Bikónická časť antény.....	31
3.4. Meranie účinnosti tienenia <i>SE</i> .....	33
3.4.1. Budenie testovacieho poľa.....	33
3.4.2. Snímanie poľa vo vnútri komory.....	34
3.4.3. Meranie úrovne signálu.....	34
3.4.4. Meranie referenčnej úrovne signálu.....	36
3.4.4.1. Meranie účinnosti tienenia s orientáciou antén voči dverám komory.....	39
3.4.4.2. Meranie účinnosti tienenia s orientáciou antén voči panelu komory.....	39
3.4.4.3. Meranie účinnosti tienenia s orientáciou antén voči bočnej stene komory.....	40
4. Vhodnosť tienenej komory pre <i>EMC</i> a anténne meranie.....	41
4.1. Vlastná rezonancia komory.....	43
4.2. Mnohonásobné odrazy komory.....	45
5. Záver.....	49
Literatúra.....	51
Zoznam symbolov, veličín a skratiek.....	52
Zoznam príloh.....	54

# ZOZNAM OBRÁZKOV

<b>Obr. 1:</b>	Kmitočtový priebeh zložiek účinnosti tienenia vzdialeného elektromagnetického poľa (prevzaté z [3]).....	12
<b>Obr. 2:</b>	Kmitočtový priebeh zložiek účinnosti tienenia blízkeho elektromagnetického poľa (prevzaté z [3]).....	13
<b>Obr. 3:</b>	Meranie <i>SE</i> absolútnou metódou – referenčný (kalibračný) obvod.....	14
<b>Obr. 4:</b>	Meranie <i>SE</i> absolútnou metódou – merací (vlastný) obvod.....	14
<b>Obr. 5:</b>	Vertikálna polarizácia (prevzaté z [11]).....	16
<b>Obr. 6:</b>	Slučková anténa (prevzaté z [1]).....	16
<b>Obr. 7:</b>	Bikónická anténa (prevzaté z [1]).....	17
<b>Obr. 8:</b>	Logaritmicko - periodická anténa (prevzaté z [1]).....	17
<b>Obr. 9:</b>	Bikónicko – logaritmicko - periodická anténa (prevzaté z [1]).....	17
<b>Obr. 10:</b>	Vysielacie a prijímacie antény pre kmitočtové pásmo 10 kHz – 3 GHz.....	18
<b>Obr. 11:</b>	Typický kmitočtový priebeh anténneho faktoru logaritmicko – periodickej antény (prevzaté z [11]).....	18
<b>Obr. 12:</b>	Typický kmitočtový priebeh anténneho faktoru bikónickej antény (prevzaté z [11]).....	19
<b>Obr. 13:</b>	Typický kmitočtový priebeh anténneho faktoru BiLog antény (prevzaté z [11]).....	19
<b>Obr. 14:</b>	Definícia „ <i>AF</i> “ pre elektrické pole.....	20
<b>Obr. 15:</b>	Definícia „ <i>AF</i> “ pre magnetické pole.....	20
<b>Obr. 16:</b>	Signálny generátor Rohde & Schwarz.....	21
<b>Obr. 17:</b>	Spektrálny analyzátor Hewlett Packard.....	22
<b>Obr. 18:</b>	Slučka korekcie kmitočtu.....	25
<b>Obr. 19:</b>	Grafická podoba obslužného programu pre meranie účinnosti tienenia <i>SE</i> .....	26
<b>Obr. 20:</b>	Konektor <i>N514A</i> rámovej (slučkovej) antény.....	27
<b>Obr. 21:</b>	Konektor <i>N514A</i> upravený pre potrebu rámovej (slučkovej) antény.....	27
<b>Obr. 22:</b>	Rozmery a rez medenej tieniacej trubky antény.....	28
<b>Obr. 23:</b>	Navrhnutá rámová (slučková) anténa.....	28
<b>Obr. 24:</b>	Navrhnutá rámová (slučková) anténa.....	29
<b>Obr. 25:</b>	Maximálne žiarenie antény.....	30
<b>Obr. 26:</b>	Všeobecný nákres štruktúry logaritmicko – periodickej antény (prevzaté z [11]).....	30
<b>Obr. 27:</b>	Základné rozmery navrhnutej antény typu BiLog.....	32
<b>Obr. 28:</b>	Navrhnutá anténa typu BiLog.....	32
<b>Obr. 29:</b>	Usporiadanie pracoviska pre meranie v oblasti nižších kmitočtov.....	33
<b>Obr. 30:</b>	Usporiadanie pracoviska pre meranie v oblasti vyšších kmitočtov.....	34
<b>Obr. 31:</b>	Rozvrhnutie meracieho pracoviska pre meranie účinnosti tienenia <i>SE</i> .....	36
<b>Obr. 32:</b>	Meranie referenčnej úrovne signálu v oblasti nižších kmitočtov.....	37

<b>Obr. 33:</b>	Meranie referenčnej úrovne signálu v oblasti vyšších kmitočtov.....	37
<b>Obr. 34:</b>	Orientácie a rozostup antén pri referenčných meraniach.....	38
<b>Obr. 35:</b>	Pôdorysný pohľad na skúšobné meranie stanovisko (prevzaté z [1]).....	41
<b>Obr. 36:</b>	Kvádrový rezonátor.....	43
<b>Obr. 37:</b>	Mnohocestné šírenie (prevzaté z [1]).....	45
<b>Obr. 38:</b>	Konštrukcia absorbérov.....	46
<b>Obr. 39:</b>	Viacnásobné odrazy v absorbéroch (prevzaté z [1]).....	47



# ZOZNAM TABULIEK

<b>Tab. 1:</b>	Prehľad antén pre potreby merania efektívnosti tienenia.....	15
<b>Tab. 2:</b>	Prehľad normou stanovených parametrov pre signálny generátor (prevzaté z [1]).....	21
<b>Tab. 3:</b>	Prehľad normou stanovených parametrov pre merací prijímač..	22
<b>Tab. 4:</b>	Prehľad príkazov Agilent <i>VEE</i> pre signálny generátor <i>Rohde&amp;Schwarz SML03</i> .....	24
<b>Tab. 5:</b>	Prehľad príkazov Agilent <i>VEE</i> pre spektrálny analyzátor <i>HP E7404E</i> .....	24
<b>Tab. 6:</b>	Použitý materiál na výrobu rámových (slučkových) antén.....	29
<b>Tab. 7:</b>	Použitý materiál na výrobu antény typu BiLog.....	31
<b>Tab. 8:</b>	Vhodné referenčné merania pre zaistenie lepších výsledkov merania účinnosti tienenia.....	38
<b>Tab. 9:</b>	Výsledná účinnosť tienenia <i>SE</i> komory <i>EMC</i> .....	41
<b>Tab. 10:</b>	Rezonančné kmitočty komory a ich odpovedajúce vidy.....	44
<b>Tab. 11:</b>	Prehľad splnených požiadaviek na tienenu komoru <i>EMC</i> .....	47

# ÚVOD

Cieľom projektu je zoznámenie sa s meraním efektívnosti, účinnosti tienenia tieniacich krytov a komôr na základe dostupných noriem a štandardov, s čím súvisí následný návrh pracoviska pre meranie vlastností tieniacich komôr, ktoré sa využívajú pre potreby merania elektromagnetickej kompatibility. Následne sa navrhnuté pracovisko zrealizuje a na základe teoretických poznatkov a predošlého návrhu pracoviska sa prevedie meranie na meracej tienenej komore, čím sa zhodnotí vhodnosť tienenej komory pre jednotlivé merania napríklad v oblasti merania elektromagnetickej kompatibility *EMC* alebo anténneho merania.

## V rámci riešenia projektu je potrebné

- oboznámiť sa s meraním efektívnosti tienenia *SE* komôr pre potreby *EMC*;
- vypracovať metodiku merania na základe dostupných noriem a štandardov;
- navrhnuť výsledné meracie pracovisko pre meranie vlastností tienených komôr využívaných pre meranie elektromagnetickej kompatibility;
- realizovať navrhnuté pracovisko a previesť základné meranie efektívnosti tienenia *SE* na meracej tienenej komore;
- zamerať sa na meranie referenčných signálov, ktoré sú nevyhnutné pre meranie účinnosti tienených komôr;
- zhodnotiť vhodnosť tienenej komory pre jednotlivé merania (*EMC* meranie, anténne meranie).

## 1. TEORETICKÁ ČASŤ

### 1.1. Elektromagnetické tienenie

Elektromagnetické tienenie je veľmi dôležitý odrušovací prostriedok elektromagnetickej kompatibility *EMC*. Umožňuje zmenšenie rušivého vyžarovania na strane zdrojov rušivých signálov a zároveň zvyšuje elektromagnetickú odolnosť na strane prijímačov rušivých signálov, jedná sa teda o akýsi konštrukčný prostriedok zoslabujúci intenzitu elektromagnetického poľa vo vymedzenej časti priestoru. Technické prostriedky, ktorými spomínané ciele dosahujeme nazývame tieniacimi komorami (krytmi). Samotné tienenie je veľmi dôležité v praxi. V oblasti elektrotechniky sa používa predovšetkým na

ochranu rôznych súčiastok alebo blokov, ale aj celých elektronických zariadení, ktoré môžu byť súčasne zdrojom a prijímačom elektromagnetického rušenia. Predovšetkým však slúži ako účinná ochrana pred výkonovým rušením kontinuálneho alebo impulzného charakteru.

## 1.2. Rozbor efektívnosti tienenia SE

Pre posudzovanie a správne vyhodnotenie tienenia v praxi sa definuje tzv. efektívnosť alebo účinnosť tienenia *SE* (**S**hielding **E**ffectiveness), ktorá predstavuje logaritmickú mieru koeficientu tienenia  $K_S$ . Tento je definovaný pomerom intenzity elektrického poľa  $E_t$  alebo magnetického poľa  $H_t$  v určitom bode tieneného priestoru k intenzite  $E_i$  ( $H_i$ ) poľa dopadajúceho na tieniacu prepážku alebo stenu. Pre koeficient tienenia  $K_S$  platí vzťah

$$K_S = \frac{E_t}{E_i} \quad \text{alebo} \quad K_S = \frac{H_t}{H_i}. \quad (1.1)$$

A pre celkové vyjadrenie efektívnosti tienenia, ako logaritmickej miery koeficientu tienenia platí vzťah

$$SE = 20 \cdot \log \frac{1}{|K_S|} \Rightarrow SE = 20 \cdot \log \frac{|E_i|}{|E_t|} \quad (1.2)$$

$$\text{alebo} \quad SE = 20 \cdot \log \frac{|H_i|}{|H_t|} \quad [\text{dB}]. \quad (1.3)$$

Ak platí, že dopadajúca vlna je homogénna a prostredie na oboch stranách tieniacej prepážky rovnaké, sú obe definície *SE* rovnaké. Spôsobené je to tým, že elektrické a magnetické pole sú navzájom viazané pomocou tej istej charakteristickej impedancie prostredia. U tienení v blízkej zóne elektromagnetického poľa, prípadne pri rôznych prostrediach na oboch stranách tienenia dávajú vzťahy (1.1) rôzne výsledky. V týchto prípadoch sa obvykle používa prvá definícia (1.2), ktorá je pokladaná za štandard definície účinnosti tienenia. Rozbor efektívnosti elektromagnetického tienenia môžeme posudzovať vzhľadom na vzdialené a blízke elektromagnetické pole. Pre vzdialené elektromagnetické pole sa potom efektívnosť tienenia stanovuje ako súčet jednotlivých útlmov. Útlmu odrazom  $R$ , absorbčného  $A$  a útlmu vplyvom mnohonásobných odrazov  $M$  [3]

$$SE = R + A + M \quad [\text{dB}]. \quad (1.4)$$

Vo vzdialenej oblasti elektromagnetického poľa ( $r \gg \lambda/2$ ) je útlm odrazom  $R$ , spôsobený odrazom energie na impedančnom rozhraní medzi vzduchom a kovovou stenou prepážky a tak isto aj na rozhraní medzi kovovou stenou a vzduchom na druhej strane. Pre útlm odrazom platí vzťah

$$R \approx 20 \cdot \log \left( \frac{1}{4} \cdot \frac{\sigma}{\omega \cdot \mu_r \cdot \epsilon_0} \right) \text{ [dB]}. \quad (1.5)$$

Vo vzťahu je  $\mu_r$  relatívna permeabilita kovu tieniaceho krytu. Útlm odrazom je vyšší na nízkych kmitočtoch aj pre vysoko vodivé kovy. Ďalšia zložka útlmu vo vzťahu (1.4) je absorpčný útlm  $A$ . Vzniká pohltením časti energie elektromagnetickej vlny pri priechode tieniacou kovovou prepážkou s definovanou hrúbkou vplyvom tepelných strát [3].

$$A = 8,69 \cdot \frac{t}{\delta} = 0,0069 \cdot t \cdot \sqrt{\omega \cdot \mu_r \cdot \sigma} \text{ [dB]}. \quad (1.6)$$

Absorbčný útlm rastie s druhou odmocninou kmitočtu na  $dB$  stupnici. Tretia zložka  $M$  vo vzťahu (1.4) vyjadruje tzv. útlm vplyvom mnohonásobných odrazov, ktoré vznikajú opakovane na rozhraniach medzi vzduchom a kovovým tieniacim prostredím, veľkosť tejto zložky útlmu je

$$M = 20 \cdot \log \left| 1 - \left( \frac{Z_0 - Z_M}{Z_0 + Z_M} \right)^2 \cdot e^{-\frac{2t}{\delta}} \cdot e^{-j\frac{2t}{\delta}} \right| \text{ [dB]}, \quad (1.7)$$

kde  $Z_0$  vyjadruje charakteristickú impedanciu voľného prostredia pred a za tieniacou prepážkou a  $Z_M$  charakteristickú impedanciu vodivého prostredia kovovej prepážky

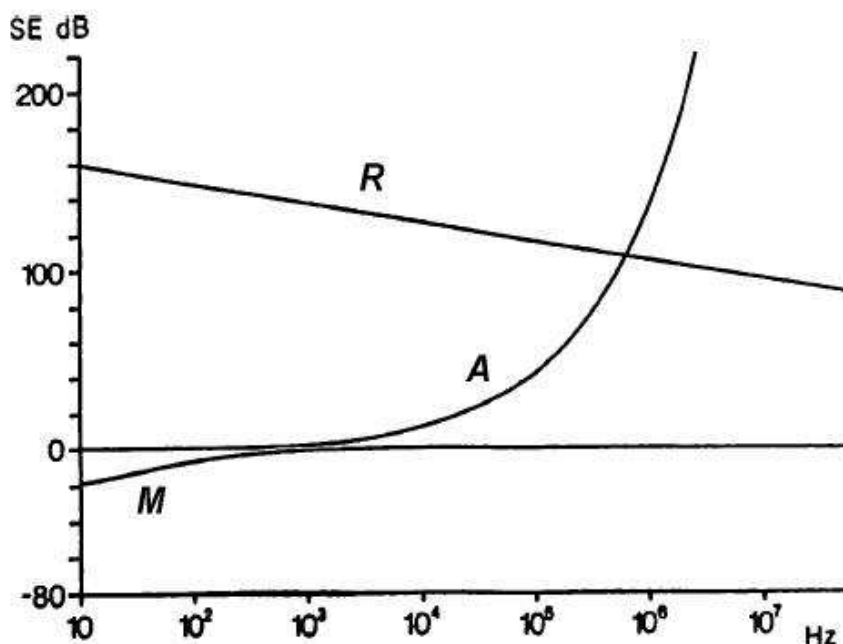
$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi = 377 \ \Omega, \quad (1.8)$$

$$Z_M = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma}}, \quad (1.9)$$

kde  $\delta$  značí hĺbku vniku elektromagnetického poľa do kovového materiálu a dá sa stanoviť nasledujúcim spôsobom

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}}. \quad (1.10)$$

Kmitočtové priebehy jednotlivých zložiek efektívnosti tienenia vzdialeného elektromagnetického poľa interpretuje obr. 1 [3].



Obr. 1. Kmitočtový priebeh zložiek účinnosti tienenia vzdialeného elektromagnetického poľa [3].

Pokiaľ vyšetrujeme efektívnosť tienenia v tzv. blízkom elektromagnetickom poli ( $r \ll \lambda/2$ ), účinok tienenia sa prudko mení. V blízkej zóne existuje stacionárne (priestorovo obmedzené) kvazistatické pole a to buď kvazistatické (blízke) elektrické alebo kvazistatické (blízke) magnetické pole [3].

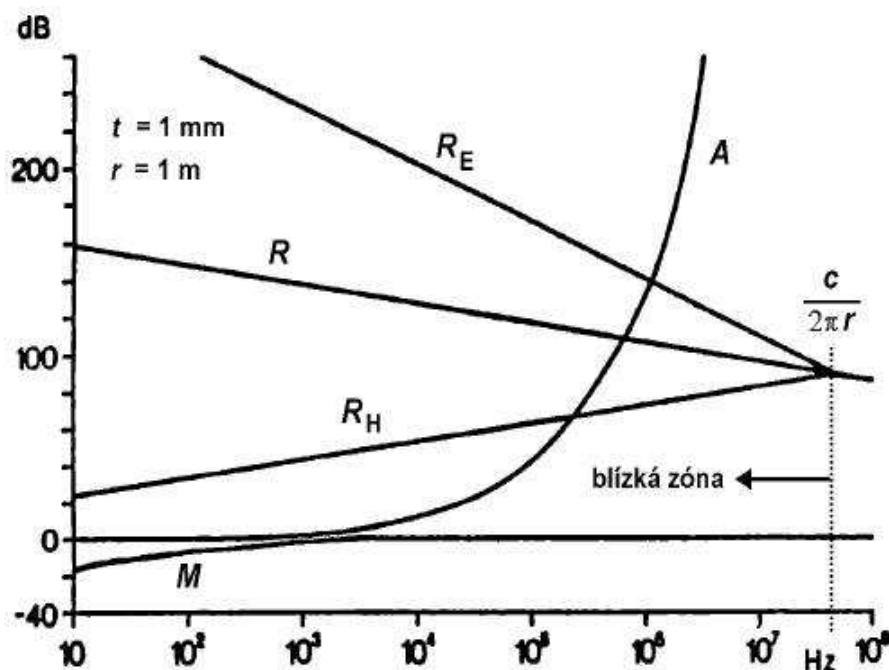
Účinnosť tienenia blízkeho poľa sa opäť určuje podľa vzťahu (1.4), v ktorom však absorbný útlm nezávisí na type zdroja a je daný výrazom (1.6) a útlm mnohonásobnými odrazmi (1.7) sa mení len nepatrne. Podstatne sa však mení veľkosť útlmu odrazom elektrickej vlny, pre ktorý platí vzťah

$$R_E \approx 268 + 10 \cdot \log \frac{\sigma}{\mu_r \omega^3 r^2} \text{ [dB]}. \quad (1.11)$$

Podobne sa podstatne mení aj útlm odrazom blízkeho magnetického poľa podľa vzťahu

$$R_H \approx -71 + 10 \cdot \log \frac{\omega \sigma \cdot r^2}{\mu_r} \text{ [dB]}. \quad (1.12)$$

Kmitočtový priebeh zložiek tienenia blízkeho elektromagnetického poľa je naznačený na obr. 2. Z neho je zrejmé, že na vyšších kmitočtoch prechádzajú hodnoty  $R_E$  a  $R_H$  asymptoticky v útlm odrazom  $R$  rovinatej elektromagnetickej vlny. V blízkom elektrickom poli je pritom hodnota  $R_E$  väčšia ako  $R$  to znamená, že tienenia elektrického poľa je účinnejšie ako tienenie homogénnej rovinatej vlny, zatiaľ čo hodnota  $R_H$  je vždy menšia ako hodnota  $R$  pre homogénnu vlnu [3].



Obr. 2. Kmitočtový priebeh zložiek účinnosti tienenia blízkeho elektromagnetického poľa [3].

V praxi platí, že skutočné dosahované hodnoty efektívnosti tienenia *SE* reálnych tieniacich komôr sú omnoho nižšie ako hodnoty, ktoré by odpovedali teoretickým možnostiam kompaktných neobmedzených kovových tieniacich plôch. Preto dochádza ku kategorizácii tienení podľa dosahovaných hodnôt ich efektívnosti tienenia *SE*. Tieto kategórie sú zhrnuté v nasledujúcich bodoch [3]:

- Nedostatočné tienenie ... (0 – 10 dB);
- Tienenie pre minimálne požiadavky ... (10 – 30 dB);
- Tienenie dostačujúce pre väčšinu bežných požiadavkou ... (30 – 60 dB);
- Veľmi dobré tienenie ... (60 – 90 dB);
- Vysoko kvalitné tienenie ... (90 – 120 dB).

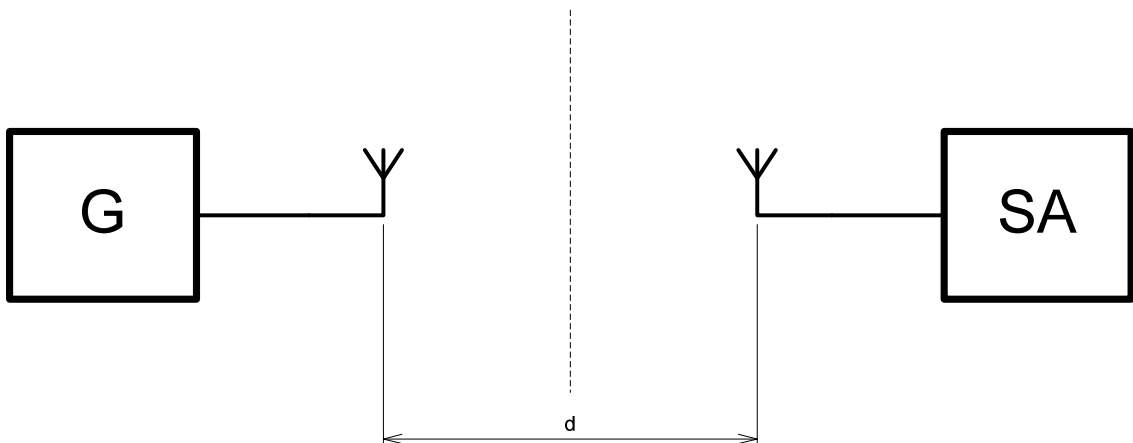
## 2. METODIKA MERANIA

Za metodiku merania efektívnosti tienenia *SE* tieniacich komôr *EMC* sa považuje teoretický rozbor problematiky merania a teoretické zostavenie meracieho pracoviska v ktorom sa bude samotné meranie účinnosti tienenia *SE* realizovať s ohľadom na správny výber meracích prístrojov, prijímacích a vysielačích antén a súčiastok nevyhnutných k samotnému meraniu.

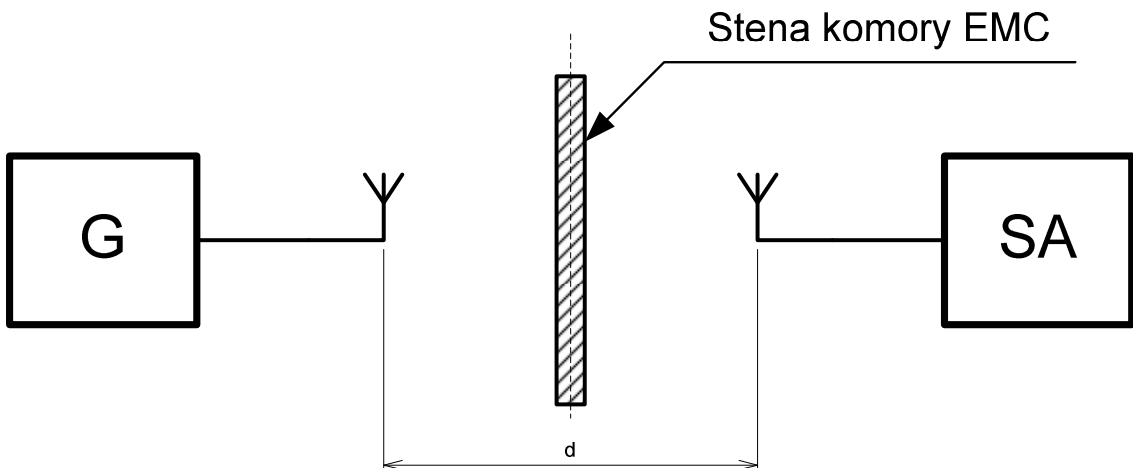
## 2.1. Postup merania efektívnosti tienenia SE

Z hľadiska všeobecného postupu merania efektívnosti tienenia tieniacich komôr EMC, rozlišujeme dve základné metódy merania, ktorými sú **absolútna metóda** a **substitučná metóda**. Ani jedna z metód nie je preferovaná normou a voľba medzi nimi závisí jedine na dostupnosti meracích prístrojov a časovej náročnosti realizovaných meraní.

V súlade s českou technickou normou [7] je základné usporiadanie meracej aparatury pre meranie účinnosti tienenia absolútnou metódou zobrazené na obr. 3 a 4.



Obr. 3. Meranie SE absolútnou metódou – referenčný (kalibračný) obvod.



Obr. 4. Meranie SE absolútnou metódou – merací (vlastný) obvod.

Vlastné meranie v celom kmitočtovom pásme 10 kHz až 3 GHz sa prevádza v dvoch hlavných krokoch. Prvý krok (obr. 3) spočíva v tom, že z meracej trasy sa odstráni meraná tienená komora EMC a pomocou signálového generátoru, spektrálneho analyzátoru a vhodných antén pre daný frekvenčný rozsah sa zmeria príslušná úroveň signálu. Pri nastavenej úrovni výstupného napätia  $U_G$  signálového generátoru  $G$  sa odčíta údaj napätia  $U_{20}$  na

vstupe spektrálneho analyzátoru SA. Druhý krok spočíva v tom, že do nezmenenej meracej trasy sa zaradi tienená komora EMC a pri nezmenenej výstupnej úrovni  $U_G$  sa odčíta nová hodnota napätia  $U_2$  na vstupe spektrálneho analyzátoru SA. Potom obecnú efektívnosť tienenia pre príslušnú tienú komoru definujeme nasledovne

$$SE = 20 \cdot \log \frac{U_{20}}{U_2} \text{ [dB]}, \text{ prípadne } SE = U_{20} - U_2 \text{ [dB; dBmV]}. \quad (2.1)$$

Ak meriame efektívnosť tienenia v pásme kmitočtov, urobí sa najprv celková kalibrácia systému, teda meranie bez meraného objektu (komory) v celom kmitočtovom pásme a až potom sa realizuje vlastné meranie [9].

## 2.2. Prvky meracieho reťazca

Merací reťazec vhodný pre meranie efektívnosti tienenia SE obsahuje tri základné prvky, medzi ktoré patria predovšetkým vhodné druhy prijímacích a vysielačích antény, vhodné meracie prístroje na vyhodnotenie získaných nameraných údajov, ale aj prístroje na zabezpečenie pre meranie vhodného prostredia (signálny generátor) a tiež samotný meraný objekt, (tieniaca komora).

### 2.2.1. Antény pre meranie SE

V procese merania efektívnosti tienenia tienených komôr sú nevyhnutným a veľmi dôležitým prvkom meracie antény. Na ich správnom výbere, polarizácii a parametroch závisia všetky dosiahnuté výsledky merania SE. V procese merania sa z pravidla používajú dvojice antén, kde jedna tvorí anténu vysielačiu a druhá anténu prijímaciu. Pre potreby elektromagnetickej kompatibility je možné použiť viacero druhov antén odpovedajúcich jednotlivým kmitočtovým pásmam. Celkový prehľad antén je možné vidieť v tab. 1.

Tab. 1. Prehľad antén pre potreby merania efektívnosti tienenia [1].

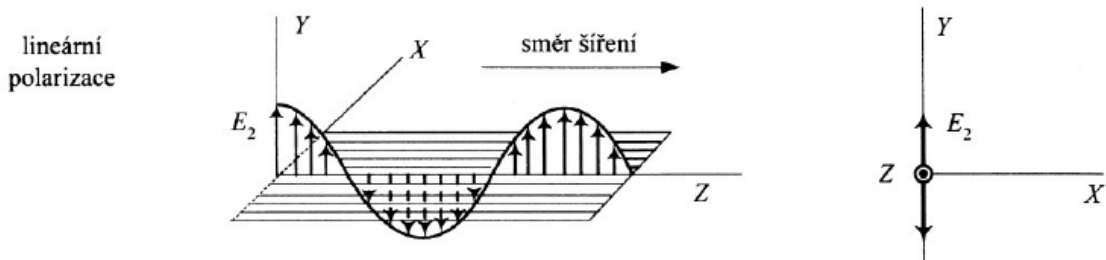
<b>Druh antény</b>	<b>Rozsah kmitočtu</b>	<b>Meria zložku</b>
Rámová (slučková) anténa	9kHz – 30MHz	H
Prúťová anténa (monopól)	9kHz – 30MHz	E
Symetrický (ladený) dipól	30MHz – 1000MHz	E
Bikónická anténa	20MHz – 300MHz	E
Logaritmicko – periodická anténa	200MHz – 3000MHz	E
Kónicko – logaritmická anténa	200MHz – 3000MHz	E
Zložená širokopásmová anténa	30MHz – 2000MHz	E
Trychtýrová anténa	1GHz – 40GHz	H, E



## 2.2.2. Polarizácie antén

Výsledky merania účinnosti tienia  $SE$  do značnej miery závisia na vhodnej polarizácii antén. Elektromagnetické vlnenie je tvorené elektrickou a magnetickou zložkou, ktoré sú na seba navzájom kolmé. Pre zaistenie správneho prenosu energie je nutné, aby bola prijímacia anténa natočená (polarizovaná) tak, že siločiaru elektrického poľa budú rovnobežné s anténou vysielačou. Polarizáciou sa teda rozumie orientácia elektrického vektora poľa v priestore. Existuje veľa druhov polarizácii antén, avšak pre merania  $EMC$  sú vyžadované predovšetkým horizontálna a vertikálna polarizácia (lineárne polarizácie).

- **Horizontálna polarizácia:** elektrická zložka poľa je rovnobežná so zemským povrchom. Jedná sa o druh lineárnej polarizácie. Anténa je natočená pre vysielanie a príjem tak, že žiariče antény sú vodorovné so zemnou plochou.
- **Vertikálna polarizácia:** tiež sa jedná o druh lineárnej polarizácie, kedy elektrická zložka je voči zemskému povrchu kolmá. Anténne žiariče sú kolmo k zemnej ploche. Vertikálna polarizácia je znázornená na obr. 5.



Obr. 5. Vertikálna polarizácia [11].

### 2.2.2.1. Rámová (slučková) anténa

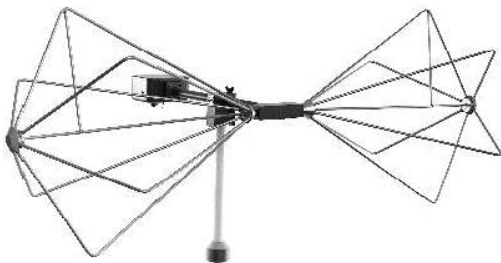
Rámové (slučkové) antény sa používajú v najnižšom kmitočtovom pásme 9 kHz až 150 kHz (150 kHz až 30 MHz). V tomto kmitočtovom pásme je väčšina rušivých javov spôsobovaná magnetickou zložkou poľa. Preto merajú tieto antény magnetickú zložku poľa  $H$ . Maximálne rozmery týchto antén nepresahujú 60 x 60 cm. Cievka antény je umiestnená do kovového tienia pre vylúčenie parazitného vplyvu elektrickej zložky poľa. Antény môžu byť v aktívnom a pasívnom prevedení, kde aktívne sú vybavené meracími zosilňovačmi pre dané kmitočtové pásmo [1].



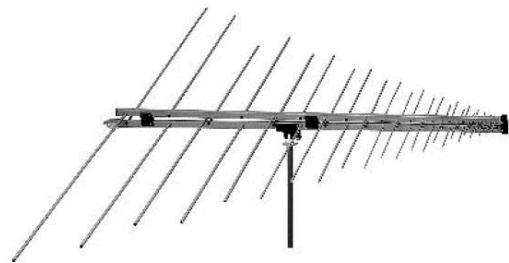
Obr. 6. Slučková anténa [1].

### 2.2.2.2. Bikónická a logaritmicke – periodická anténa

Pre meranie elektromagnetického rušenia na kmitočtoch od desiatok MHz až 2000 MHz sa najčastejšie používajú bikónická a logaritmicke – periodická anténa. Bikónická anténa (obr. 7) je určitým druhom hrubého skráteneho dipólu. Je typickou meracou anténou v kmitočtovom pásme od 20 MHz do 300 MHz. Najrozšírenejšia anténa v pásme 200 MHz až 3000 MHz je anténa logaritmicke – periodická (obr. 8). Je tvorená radou vhodne fázovo napájaných rezonančných unipólov, ktorých dĺžky a vzájomné vzdialenosti sú pre susedné prvky v pevnom pomere danom podielom logaritmov ich rezonančných kmitočtov. Vďaka tomuto prevedeniu sa vyznačuje vo väčšine svojho pracovného pásma prakticky konštantnou hodnotou vstupnej impedancie a konštantným tvarom vyžarovacieho diagramu. Tieto antény reagujú na elektrickú zložku  $E_r$  rušivého elektromagnetického poľa s lineárnou polarizáciou, pričom meranie prebieha vždy v tej polarizačnej rovine, v ktorej je meraná hodnota rušivého poľa najväčšia [1].



Obr. 7. Bikónická anténa [1].



Obr. 8. Logaritmicke - periodická anténa [1].

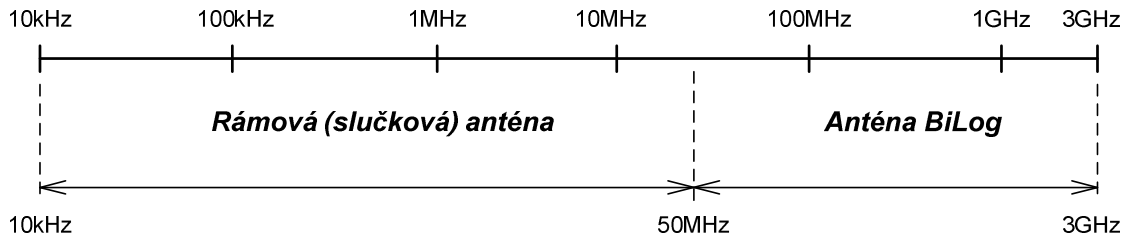
### 2.2.2.3. Bikónicke – logaritmicke – periodická anténa

Patrí medzi tzv. širokopásmové meracie antény. Tvorí kombináciu antény bikónickej pre nižšie kmitočtové pásma od 20 MHz do 300 MHz a antény logaritmicke – periodickej pre vyššie pásma kmitočtov a to od 200 MHz do 3000 MHz (obr. 9). Tým je zabezpečené široké kmitočtové pásma v ktorom je možné túto anténu použiť. Širokopásmové antény sú v praxi veľmi obľúbené, hlavne preto že umožňujú uskutočniť merania v celom pásme s jedinou anténou. Aby meranie so zloženou širokopásmovou anténou bolo dostatočne presné je nutné anténu pravidelne kalibrovať napríklad pomocou ladeného symetrického dipólu, ktorý v tomto prípade môže slúžiť ako referenčná (kalibračná) anténa [1].



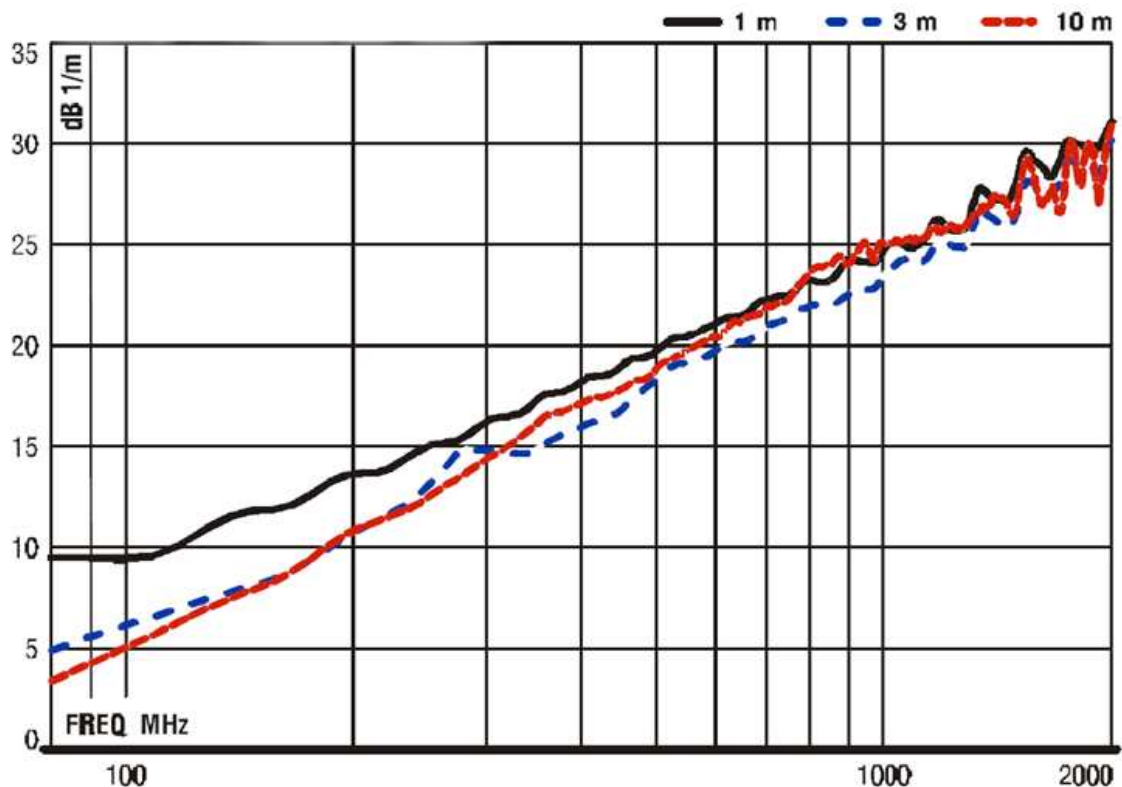
Obr. 9. Bikónicke – logaritmicke – periodická anténa [1].

Cieľom merania efektívnosti tienenia *SE* je použitie čo možno najmenšieho počtu rôznych druhov antén, čo vedie k zvýšeniu efektívnosti merania a dynamiky merania. Pre meranie v kmitočtovom rozsahu od 10 kHz do 3 GHz je vhodné použiť dva druhy vysielacích resp. prijímacích antén ako je zrejmé s obr. 10.

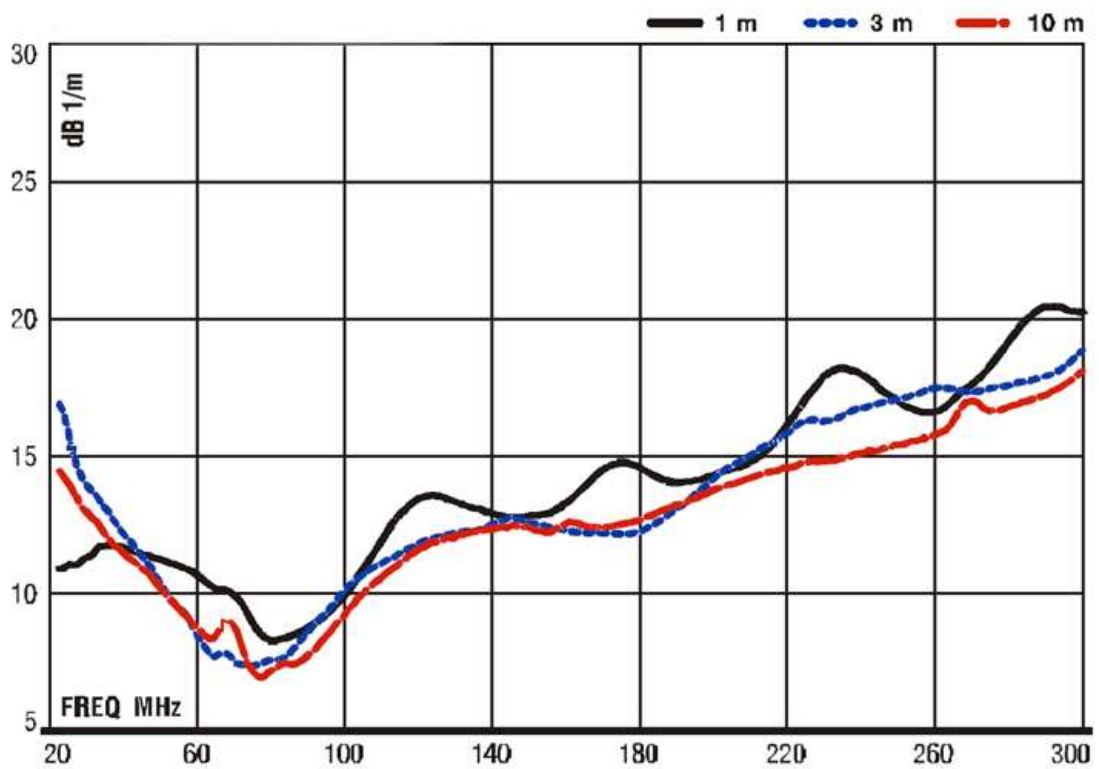


Obr. 10. Vysielacie a prijímacie antény pre kmitočtové pásmo 10 kHz – 3 GHz.

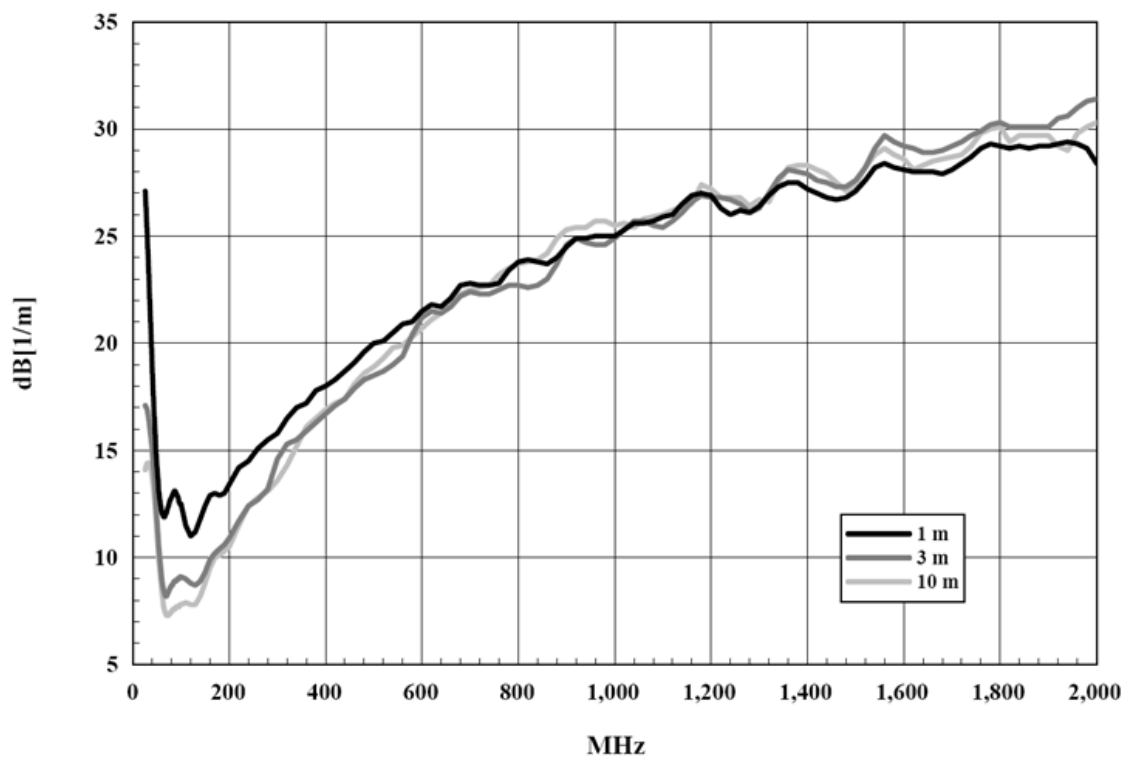
Obr. 10 zobrazuje jednotlivé druhy antén a ich kmitočtové pracovné pásmo pre zaistenie merania efektívnosti tienenia *SE* tieniacej komory. Ako vysielacia a tiež prijímacia anténa bude pre pásmo nižších kmitočtov použitá rámová (slučková) anténa. V pásme vyšších kmitočtov sa ako vysielacia použije špeciálna širokopásmová anténa BiLog, zložená s dvoch druhov antén, bikónickej (20 MHz – 300 MHz) a logaritmicke – periodickej (200 MHz – 2 GHz) a ako prijímacia anténa sa použije taktiež anténa BiLog. Typický kmitočtový priebeh anténneho faktoru logaritmicke – periodickej, bikónickej antény a antény typu BiLog je zobrazený na obr. 11, 12 a 13.



Obr. 11. Typický kmitočtový priebeh anténneho faktoru logaritmicke – periodickej antény [11].



Obr. 12. Typický kmitočtový priebeh anténneho faktoru bikónickej antény [11].



Obr. 13. Typický kmitočtový priebeh anténneho faktoru „BiLog“ antény [11].

Prevod medzi veľkosťou vstupnej intenzity poľa a veľkosťou výstupného napätia antény udáva tzv. anténny faktor, ktorý je definovaný podľa obr. 14, ako

$$AF = \frac{E_r}{U_r} \text{ [1/m; V/m, V]}, \quad (2.2)$$

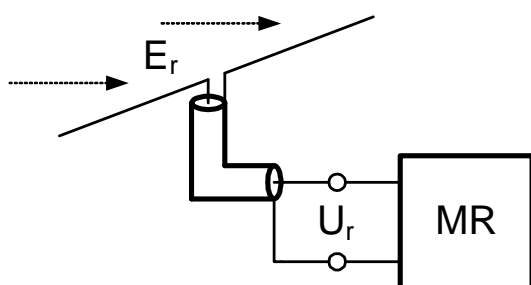
kde  $E_r$  charakterizuje elektrickú zložku poľa a  $U_r$  veľkosť výstupného napätia antény. Anténny faktor sa často vyjadruje v logaritmickej miere.

$$AF = E_r - U_r \text{ [dB/m; dBV/m, dBV]}. \quad (2.3)$$

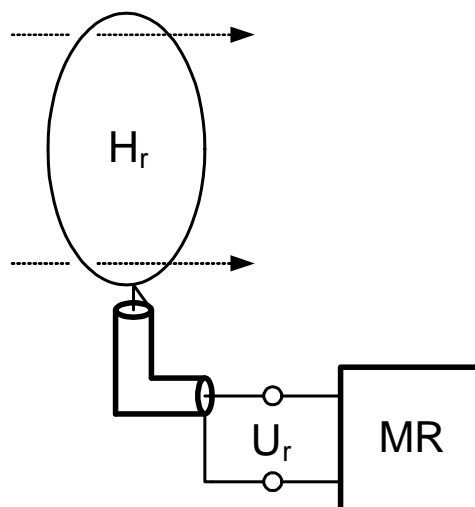
Pre antény slúžiace k meraniu magnetického poľa (rámové - slučkové antény), je anténny faktor definovaný podľa obr. 15, ako

$$AF = \frac{H_r}{U_r}, \text{ prípadne } AF = H_r - U_r \text{ [dBS/m; dBA/m, dBV]}, \quad (2.4)$$

kde  $H_r$  charakterizuje magnetickú zložku poľa a  $U_r$  veľkosť výstupného napätia antény [1].



Obr. 14. Definícia „AF“ pre elektrické pole.



Obr. 15. Definícia „AF“ pre magnetické pole.

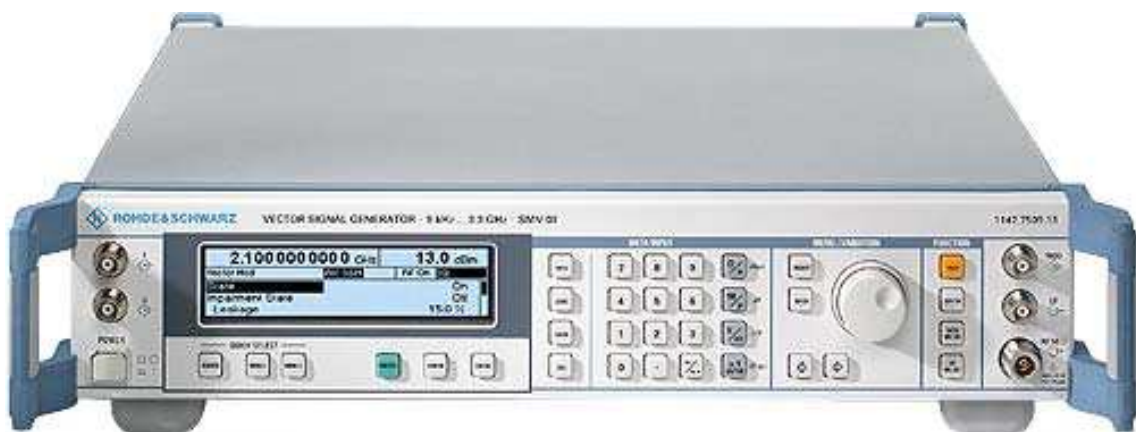
U bikónických antén, prípadne aj u širokopásmových antén typu BiLog sa typicky, vplyvom ich bikónickej časti prejavuje výrazný pokles hodnoty anténneho faktoru  $AF$  v okolí kmitočtu vlastnej rezonancie základného dipólu antény (obvykle okolo 70 MHz). Kolísanie hodnoty  $AF$  meracích antén so zmenou kmitočtu nijak neprekáča v ich použití, je však treba zabezpečiť aby tieto zmeny neboli príliš strmé a aby krivka  $AF=f$  bola „hladká“.

### 2.2.3. Meracie prístroje pre meranie SE

Medzi nevyhnutné zariadenia potrebné k vyhodnoteniu efektívnosti tienenia SE tienených komôr EMC, sú použité meracie prístroje. Medzi základné patria predovšetkým signálny generátor, ktorý predstavuje zdroj harmonického (sínusového) výstupného napätia a merací prijímač. Tieto zariadenia sú rozhodujúce pre získanie správnych výsledkov merania a norma stanovuje ich príslušné parametre viz. tab. 2. Na základe normou kladených parametrov na signálny generátor sa pre meranie efektívnosti tienenia SE použil signálny generátor od firmy Rohde & Schwarz SML03.1090.3000.13.

Tab. 2. Prehľad normou stanovených parametrov pre signálny generátor.

<b>Signálny generátor</b>	
1	Kmitočtový rozsah pokrývajúci čo najširšie meracie kmitočtové pásmo
2	Dostatočne jemné krokové ladenie v celom kmitočtovom rozsahu
3	Vysoká kmitočtová stabilita generovaného signálu pre dosiahnutie vysokej citlivosti merania
4	Dostatočná úroveň výstupného napätia v celom kmitočtovom pásme pre dosiahnutie vysokej citlivosti merania (obvykle jednotky voltov pri $Z=50 \Omega$ )
5	Možnosť ručne alebo automaticky stabilizovať úroveň výstupného napätia v celom kmitočtovom pásme
6	Konštantná výstupná impedancia (obvykle $50 \Omega$ )
7	Konštantný výstupný pomer <i>PSV</i> s hodnotou maximálne 1,5 v celom kmitočtovom pásme
8	Spojité rozmietanie kmitočtu cez celé pracovné pásmo v prípade automatizovaného merania



Obr. 16. Signálny generátor Rohde & Schwarz.

Ako merací prijímač sa používa tzv. spektrálny analyzátor, ktorého základnou výhodou je rýchle vizuálne zobrazenie meraného spektra signálu na displeji a tým získanie celkového prehľadu o elektromagnetickom rušení v celom kmitočtovom pásme. Kvalitné spektrálne analyzátory musia tiež spĺňať všetky hlavné požiadavky kladené normou (tab. 3) na meracie

prijímače. Na základe normy sa pre meranie efektívnosti tienenia SE použil spektrálny analyzátor *Hewlett Packard HP E7404E*.

Tab. 3. Prehľad normou stanovených parametrov pre merací prijímač.

<b>Merací prijímač (Spektrálny analyzátor)</b>	
1	Spojité preladovanie v požadovanom kmitočtovom rozsahu, minimálne 9 kHz až 1 GHz
2	Možnosť selektívneho úzkopásmového merania pre získanie nízkej úrovne šumu na výstupe prijímača
3	Vysoká citlivosť a nízky vlastný šum, pre meranie nízkych úrovní napätia
4	Veľký dynamický rozsah a dostatočná prebuditeľnosť
5	Konštantná vstupná impedancia (obvykle 50 $\Omega$ )
6	Konštantný vstupný pomer <i>PSV</i> s hodnotou maximálne 2,0 v celom kmitočtovom pásme
7	Možnosť synchronizácie časovej základne v prípade automatizovaného merania



Obr. 17. Spektrálny analyzátor Hewlett Packard.

Na základe požiadaviek uvedených v tab. 2 a tab. 3 je zrejmé, že na kvalitný signálny generátor sú kladené v podstate rovnaké nároky ako na merací prijímač (spektrálny analyzátor).

## 3. EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Experimentálna časť riešenia projektu poukazuje na výslednú realizáciu navrhnutého meracieho pracoviska pre meranie vlastností tienených komôr využiteľných pre meranie elektromagnetickej kompatibility, ako aj na samotné meranie účinnosti tienenia *SE* tieniacej komory.

### 3.1. Agilent VEE

Vzhľadom na čo možno najlepšie posúdenie výslednej účinnosti tienenia bol zvolený väčší počet meraní s rôznym rozmiestnením a polarizáciou meracích antén voči tieniacej komore, z čoho pramení rozsiahle meranie s veľkým množstvom nameraných hodnôt, náročné na čas. Z tohto dôvodu bolo použité programové prostredie *VEE* (**V**isual **E**ngineering **E**nviroment).

Jedná sa o prostredie s vizuálnym programovaním od firmy Agilent. Je optimalizované pre použitie so získanými dátami meracích zariadení ako sú napríklad spektrálne analyzátory, signálne generátory, osciloskopy a iné. Jeho hlavnou funkciou je rýchla tvorba automatizovaných meracích pracovísk. Prostredie *VEE* vie komunikovať s meracími prístrojmi pomocou viacerých zberníc, napríklad *RS-232*, *GP-IB*, *LAN* a *USB*. Komunikácia je zabezpečená pomocou knižníc *VISA*, ktoré sú súčasťou Agilent *VEE*.

Vytvorený obslužný program v prostredí Agilent *VEE* pre meranie účinnosti tienenia komory *EMC* má nasledujúci vývojový diagram.

1. Reštartovanie spektrálneho analyzátoru a signálneho generátoru pomocou príkazu *\*RST*;
2. Identifikácia spektrálneho analyzátoru a signálneho generátoru pomocou príkazu (*\*IDN?*);
3. Nastavenie základných parametrov spektrálneho analyzátoru;
4. Nastavenie základných parametrov signálneho generátoru;
5. Aktivovanie výstupu signálneho generátoru *RF ON*;
6. Realizácia vlastného meracieho cyklu (využitie logaritmického kroku pri meraní, nastavenie markera spektrálneho analyzátoru na maximálnu hodnotu a následné odčítanie hodnôt, ktoré sa priebežne zobrazujú vo vhodnom grafe, implementácia slučky pre korekciu kmitočtu...);
7. Po skončení meracieho cyklu odpojenie výstupu signálneho generátoru.



Medzi nevyhnutné príkazy programového prostredia Agilent VEE pre vytvorenie automatizovaného meracieho pracoviska pre meranie účinnosti tienenia, ktorého súčasťou sú spektrálny analyzátor *Hewlett Packard HP E7404E* a signálny generátor *Rohde&Schwarz SML03.1090.3000.13* patria nasledujúce príkazy, uvedené v tab. 4 a tab. 5.

Tab. 4. Prehľad príkazov Agilent VEE pre signálny generátor Rohde&Schwarz SML03.

<b>Rohde&amp;Schwarz SML03</b>	
<b>Príkaz</b>	<b>Význam</b>
*RST	Reštartuje merací prístroj
*IDN?	Vracia inicializačný reťazec meracieho prístroja
*WAI	Požiadavku, kt. je po skončení operácie potvrdená
FREQ:CW 10MHz	Nastavenie výstupného kmitočtu generátora
POW:AMPL -10dBm	Nastavenie úrovne výstupného výkonu generátora
OUTP:STAT ON	Pripojenie výstupu generátora k výstup. svorkám

Tab. 5. Prehľad príkazov Agilent VEE pre spektrálny analyzátor HP E7404E.

<b>Hewlett Packard HP E7404E</b>	
<b>Príkaz</b>	<b>Význam</b>
*RST	Reštartuje merací prístroj
*IDN?	Vracia inicializačný reťazec meracieho prístroja
*WAI	Požiadavku, kt. je po skončení operácie potvrdená
BAND:RES 10Hz	Nastavenie šírky pásma
CAL:AUTO OFF	Vypne auto kalibráciu spektrálneho analyzátoru
CALC:MARK1:CPE ON	Zapne automatické sledovanie maximálnej hodnoty
CALC:MARK1:MAX	Nastaví marker na max. signálu v meracom pásme
CALC:MARK1:X?	X-ová hodnota polohy markeru - frekvencia [Hz]
CALC:MARK1:Y?	Y-ová hodnota polohy markeru - výkon [dBm]
FREQ:CENT 100MHz	Nastavenie stredného kmitočtu
FREQ:SPAN 0.1kHz	Nastavenie šírky zobrazovaného pásma
INPUT:COUP DC	Prepne vstupnú väzbu na DC
POWER:ATT 10dB	Nastavuje vnútorný atenuátor
POWER:GAIN OFF	Vypnutie vstupného predzosilňovača
UNIT:POWER dBm	Nastavenie jednotiek používaných pri meraní
DISP:WIND:TRACE:Y:RLEVEL	Ref. úroveň – hodnota horného okraja displeja

Pri vytváraní automatizovaného meracieho pracoviska v prostredí Agilent VEE bola použitá trojica kmitočtov. Kmitočtet spektrálneho analyzátoru, signálneho generátora a kmitočtet generovaný samotným programovým prostredím Agilent VEE. Za referenčný kmitočtet bol zvolený kmitočtet signálneho generátora. Aby meranie prebiehalo správne bolo nutné zabezpečiť to, aby signál generátora zostal v zobrazovanom frekvenčnom pásme

spektrálneho analyzátoru. Táto skutočnosť bola zabezpečená implementáciou korekcie kmitočtu v meracej slučke pomocou relatívnej chyby merania.

Relatívna chyba merania je definovaná ako pomer absolútnej chyby merania (chyba určená rozdielom nameranej hodnoty a hodnoty konvenčne pravej) a hodnoty indikovanej prístrojom (nameraná hodnota). Pre absolútnu chybu merania platí

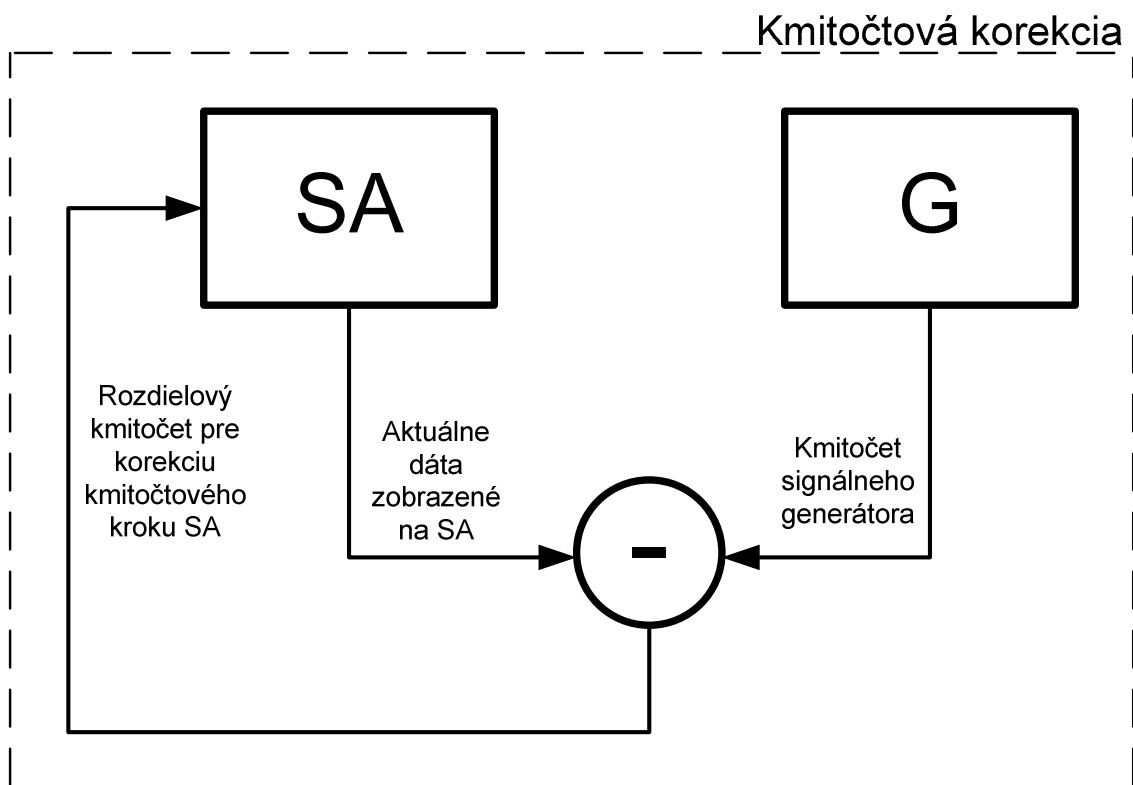
$$\Delta_X = X_M - X_P, \quad (3.1)$$

kde je  $X_M$  ..... hodnota indikovaná prístrojom (nameraná hodnota),  
 $X_P$  ..... hodnota konvenčne pravá.

Pre relatívnu chybu merania potom platí

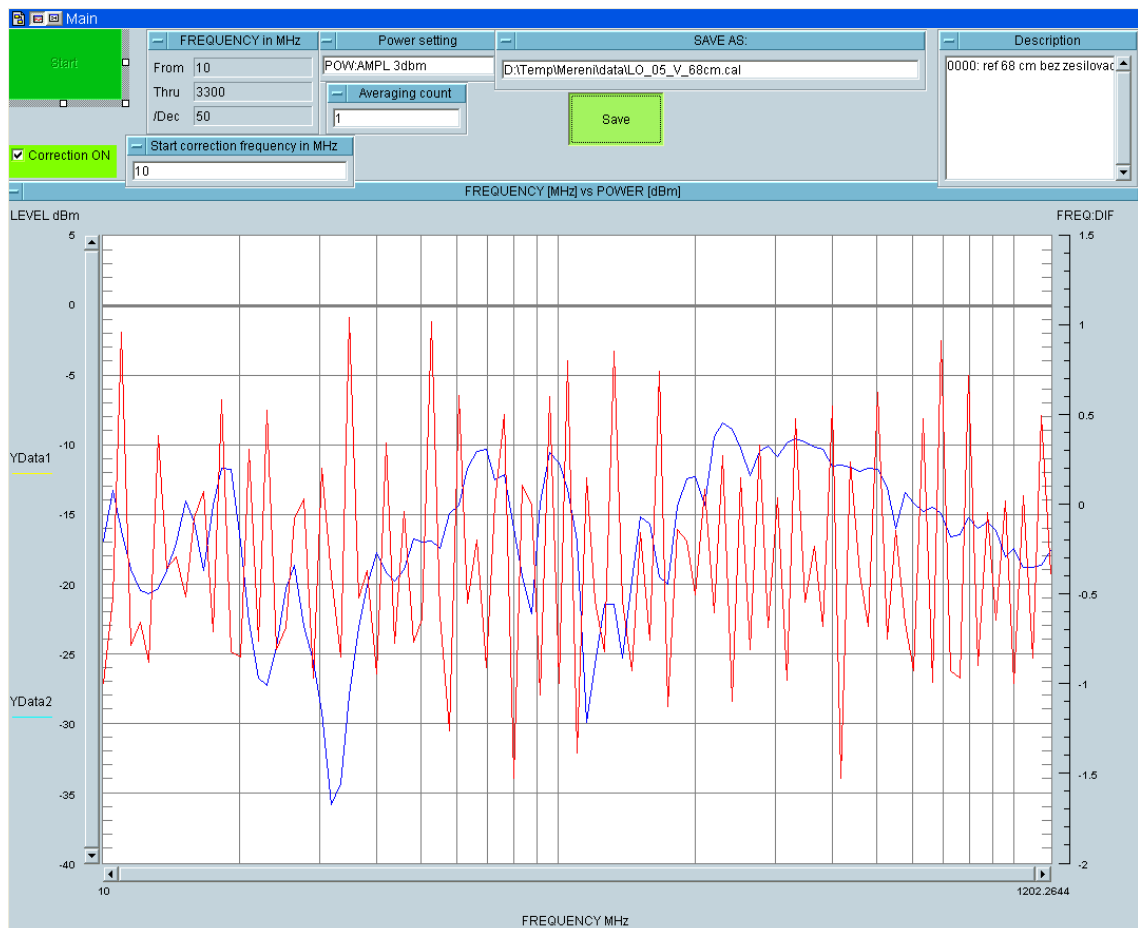
$$\delta_X = \frac{\Delta_X}{X_M}, \text{ alebo } \delta_X = \frac{\Delta_X}{X_P}. \quad (3.2)$$

Kmitočtová korekcia bola realizovaná z aktuálnych dát zobrazovaných na spektrálnom analyzátoe a z frekvencie nastavenej na signálnom generátore, ako ukazuje obr. 18. Rozdiel týchto frekvencií bol použitý pre korekciu frekvenčného kroku spektrálneho analyzátoru. Tým je zabezpečené, že spektrálny analyzátor bude vždy zobrazovať požadovanú frekvenciu.



Obr. 18. Slučka korekcie kmitočtu.

Na obr. 19 je možné vidieť výsledné grafické spracovanie obslužného programu pre meranie účinnosti tienenia SE vytvoreného v programovom prostredí Agilent VEE. V obslužnom programe je možné nastaviť rôzne parametre nevyhnutné k správne meraniu, ako kmitočtový rozsah merania, nastavenie výstupného výkonu a iné. Tiež je možné využiť korekciu merania s priemerovaním hodnôt. Výsledná závislosť úrovne signálu na kmitočte je zobrazovaná v príslušnom grafe. Namerané dáta sa dajú uložiť vo forme súboru \*.cal/ pre ďalšie spracovanie napríklad v tabuľkovom procesore Microsoft Excel.



Obr. 19. Grafická podoba obslužného programu pre meranie účinnosti tienenia SE.

### 3.2. Návrh a konštrukcia rámovej antény

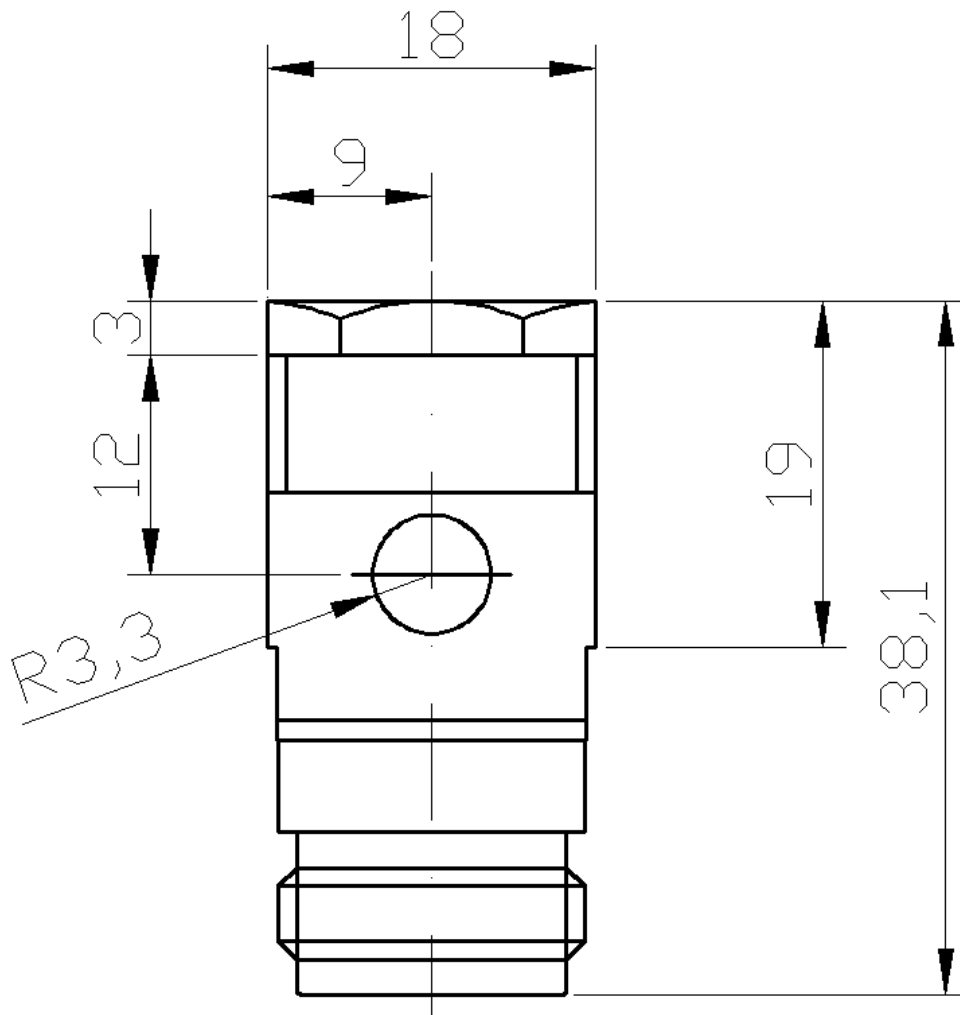
Pre budenie a snímanie testovacieho poľa v oblasti nízkych kmitočtov tj. od 10 kHz do 50 MHz, bolo nutné zkonštruovať dve rámove (slučkové) antény s priemerom 0,3 m. Táto možnosť odpovedá doporučeniu [5].

Konštrukčne je tienená rámová (slučková) anténa tvorená tienením, ktoré tvorí medená trubka s úzkou štrbinou. Pre prepojenie antény so spektrálnym analyzátorom resp. signálnym generátorom je dôležitý výber vhodného konektoru. Jedná sa o štandardný, káblový, priamy, šroubovací konektor typu N, impedanciou 50  $\Omega$  a typovým označením N514A.

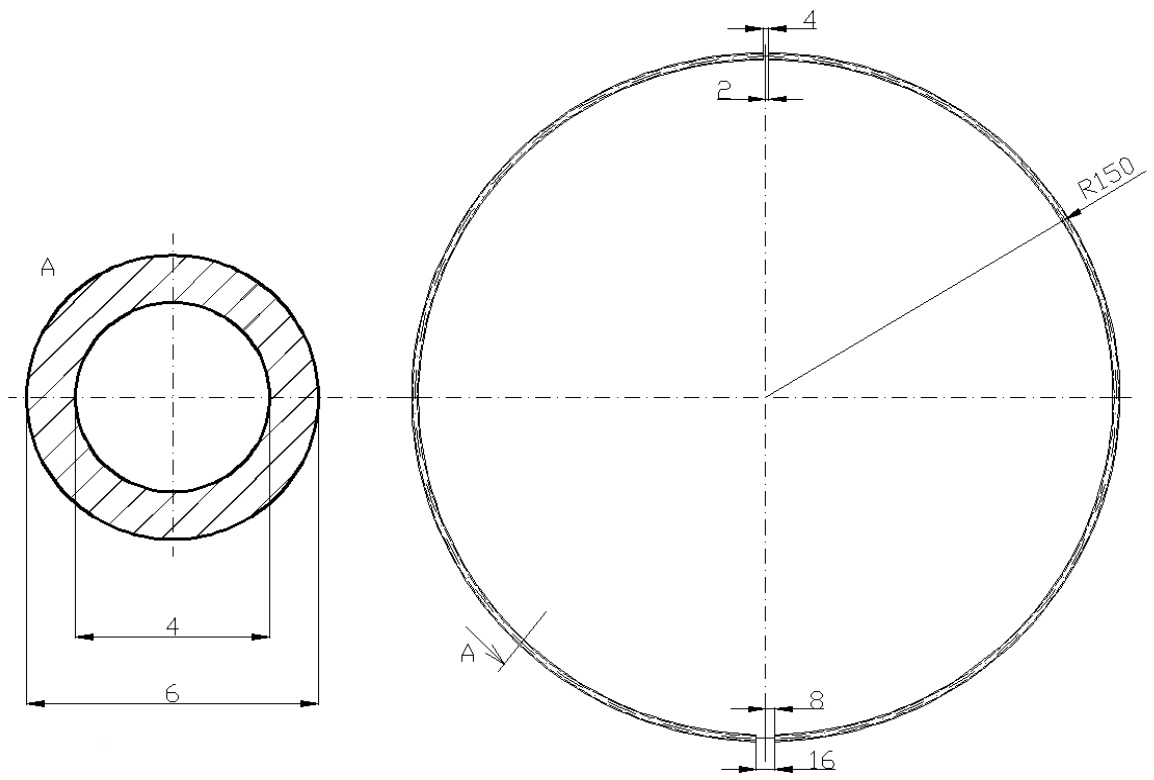


Obr. 20. Konektor N514A rámovej (slučkovej) antény.

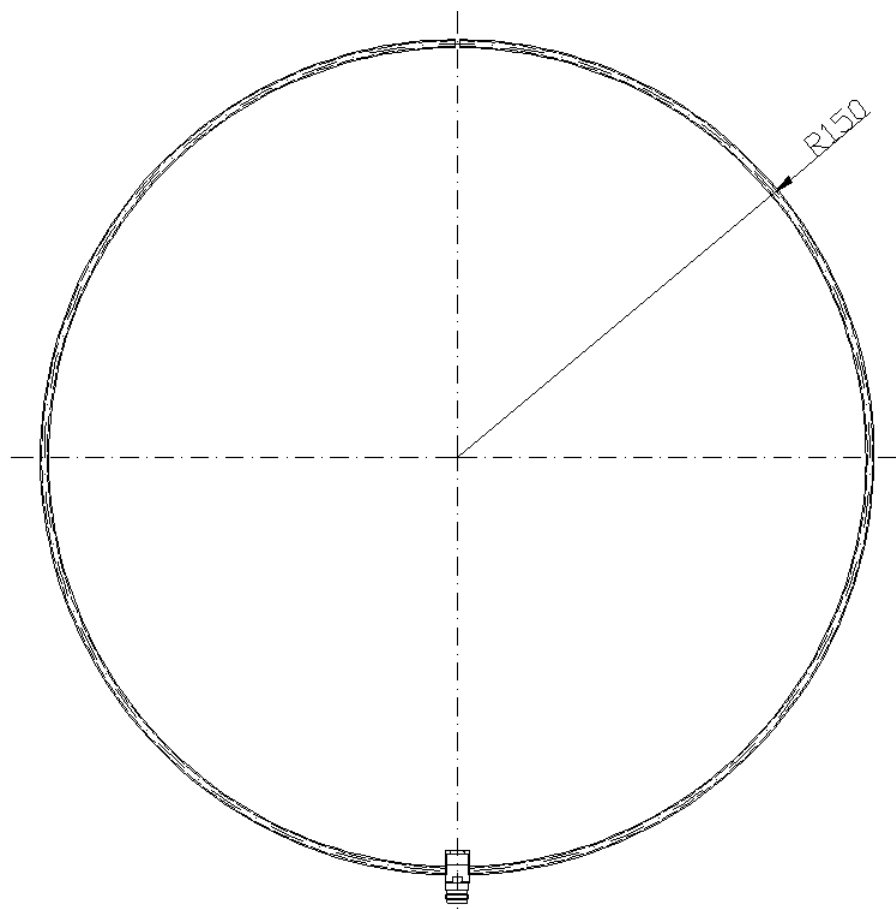
Pripojovací konektor je umiestnený presne oproti štrbine v tieniacej trubke. Vnúťom tieniacej trubky je vedený medený (stredný) vodič, pripojený na jednej strane na stredný kolík konektoru N514A, na druhej strane na medenú tieniacu trubku na protajšej strane štrbiny. Prúd z vnútorného vodiča potom po povrchu tienenia tečie ku konektoru, prúd z vnútorného povrchu polovice slučky s vnútorným vodičom sa po jeho vonkajšom povrchu opäť uzatvára k prípojnému konektoru. Z hľadiska vonkajšieho poľa sa potom slučka chová ako jednozávitová cievka, tienená voči vplyvu elektrického poľa. Detailné rozkreslenie antény a použitý materiál je zrejme z obr. 21, 22, 23 a tab. 6.



Obr. 21. Konektor N514A upravený pre potrebu rámovej (slučkovej) antény



Obr. 22. Rozmery a rez medenej tieniacej trubky antény



Obr. 23. Navrhnutá rámová (slučková) anténa.

Tab. 6. Použitý materiál na výrobu rámových (slučkových) antén.

<b>Použitý materiál</b>	<b>Počet kusov</b>
Konektor N514A	2
Medená trubka (Ø 6 mm x 1 mm, dĺžka 2 m)	2
Medený stredný vodič (Ø 2 mm, dĺžka 2 m)	2



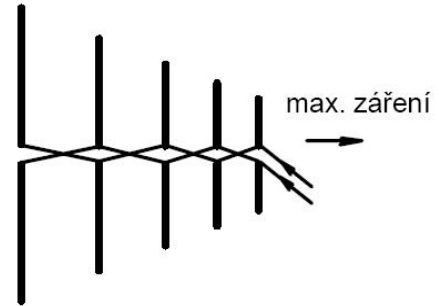
Obr. 24. Navrhnutá rámová (slučková) anténa.

### 3.3. Návrh a konštrukcia antény BiLog

Pre budenie a snímanie testovacieho poľa v oblasti vyšších kmitočtov tj. od 50 MHz do 3 GHz, bolo nutné zkonštruovať anténu typu *BiLog*. Táto anténa sa skladá z dvoch druhov antén, logaritmicko – periodickej a bikónickej.

### 3.3.1. Logaritmicko – periodická časť antény

Táto anténa je tvorená radou horizontálne rôzne dlhých dipólov prepojených opakovane kríženým vedením, s takou geometriou v ktorej sa elektrické parametre opakujú periodicky s logaritmom kmitočtu. Dĺžky dipólov a ich vzdialenosť sú volené tak, že pomer dĺžok susedných dipólov bol všade rovnaký a pomer susedných vzdialeností tiež. Vďaka tejto konštrukcii je možné anténu konštruovať prakticky pre ľubovoľne široké frekvenčné pásmo. Existuje mnoho logaritmických štruktúr, ale postupne sa rozvíjajúca rada vždy vyžaruje účinne len za predpokladu, že jednotlivé dipóly antény, (prvky rady) sú blízko rezonancie. Z toho vyplýva, že pri zmene kmitočtu sa aktívna oblasť na anténe pohybuje pozdĺž anténnej rady ako je vidieť na obr. 25.

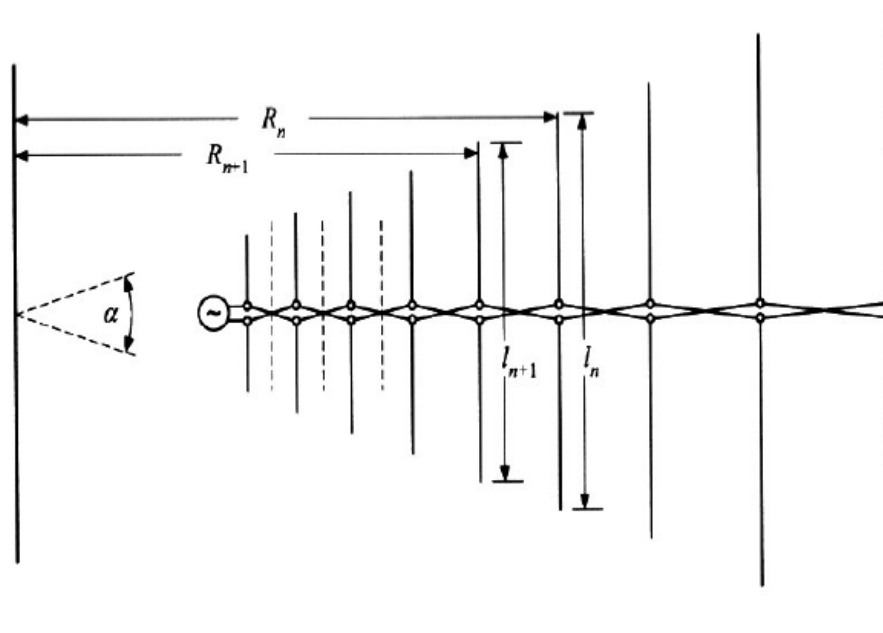


Obr. 25. Maximálne žiarenie antény

Dĺžky jednotlivých dipólov antény sa postupne predlžujú pozdĺž antény a uhol  $\alpha$  má zachovanú konštantnú veľkosť, ako zobrazuje obr. 26. Medzi dĺžkami  $l$  a vzájomnými vzdialenosťami prvkov  $s$  je konštantný vzájomný pomer, ktorý sa značí  $t$ .

$$t = \frac{l_{n+1}}{l_n} = \frac{s_{n+1}}{s_n} \quad (3.1)$$

Pomocou tohto vzťahu sa určuje tzv. kvocient geometrickej rady (z toho vyplýva názov geometrická anténna rada). Činnosti antény sa vždy zúčastňujú len tie prvky, ktoré sú v okolí  $\lambda/2$  kmitočtu. Ostatné prvky sa na činnosti antény nezúčastňujú, pretože nesú malé prúdy. Prvky, ktoré sú dlhšie ako  $\lambda/2$  predstavujú indukčnú záťaž, kratšie naopak záťaž kapacitnú.



Obr. 26. Všeobecný náčrt štruktúry logaritmicko – periodickej antény [11].

Každý element antény je budený s fázovým posuvom 180°, vďaka striedajúcemu sa zapojeniu elementov. Dipóly, ktoré sú blízko vstupu takmer mimo fázu a presne vedľa seba, rušia navzájom svoje vyžarovanie. S rastúcou šírkou medzier medzi prvkami prechádza pomyselný bod pozdĺž štruktúry, kde fázový posuv v prenosovej linke v kombinácii so 180° striedaním dá dohromady 360°. Toto dáva vyžarovanému poľu od dvoch dipólov vo fázi smer šírenia ku špičke antény.

Funkciu logaritmicko – periodickej antény je možné vysvetliť nasledovne. Na určitej frekvencii, je jeden z dipólov práve vo štvrtvlnnej rezonancii a odčerpáva (a vyžiarí) zo spoločného napájacieho vedenia značný výkon. Jeho susedné dipóly (kratší a dlhší) sú už mierne rozladené a odčerpávajú a vyžarujú menší výkon. Ostatné dipóly antény sú rozladené natoľko, že nevyžarujú prakticky vôbec. Z celej sústavy preto žiaria len tri dipóly a vytvárajú istú smerovú charakteristiku. Pokiaľ zmeníme frekvenciu budiaceho napätia napríklad na polovicu, je vlnová dĺžka dvojnásobná a v rezonancii sa bude nachádzať iný dipól (dipól s dvojnásobnou dĺžkou). Tento dipól so svojimi susednými dipólmi vytvorí znova rovnakú trojicu ako bola popísaná vyššie. Vyžarujú teda iné tri dipóly, ale ich relatívne rozmery vzhľadom k vlnovej dĺžke ostávajú rovnaké. Preto bude rovnaká aj smerová charakteristika a impedancie. Týmto spôsobom sa anténa stáva značne širokopásmovou.

### 3.3.2. Bikónická časť antény

Bikónické antény z konštrukčného hľadiska majú klieťkovitú štruktúru, ktorú tvorí hrubý a teda širokopásmový skrátenejší dipól. Všetky bikónické antény majú rovnaký tvar a veľkosť stanovenú normou (cca 1,36 m šírku), ktorá toto definovala ako štandard. Vzhľadom k malej elektrickej veľkosti, majú veľmi vysokú vstupnú impedanciu (veľký pomer stojatých vln  $PSV$ ). Pomer stojatých vln sa určuje ako pomer napätia v kmitni  $U_{MAX}$  a v uzle  $U_{MIN}$ .

$$\sigma = \frac{U_{MAX}}{U_{MIN}} = \frac{1+|\rho|}{1-|\rho|}, \quad (3.3)$$

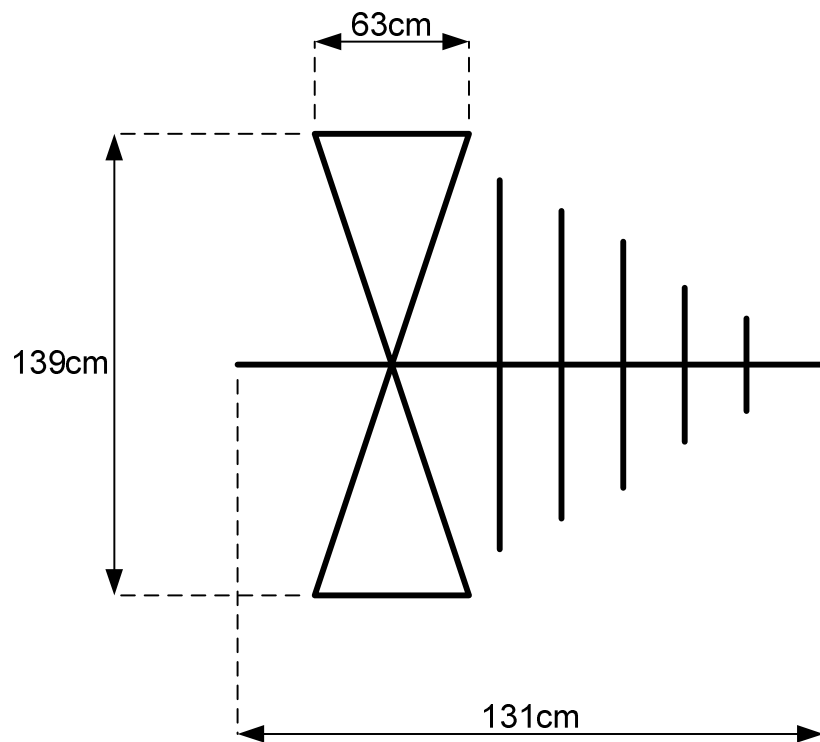
kde  $\rho$  je koeficient odrazu.

Obvykle z konštrukčného hľadiska bikónickú časť antény typu BiLog netvorí celá bikónická anténa, ale len jej časť (hlavné bočné ramená) ako ukazuje obr. 27.

Tab. 7. Použitý materiál na výrobu antény typu (BiLog).

<b>Použitý materiál</b>	<b>Počet kusov</b>
Konektor N514A	1
Hliníková tyč (Ø 6 mm, dĺžka 4 m)	1
Nosná hliníková konštrukcia antény	1





Obr. 27. Základné rozmery navrhutej anténa typu BiLog.



Obr. 28. Navrhnutá anténa typu BiLog.

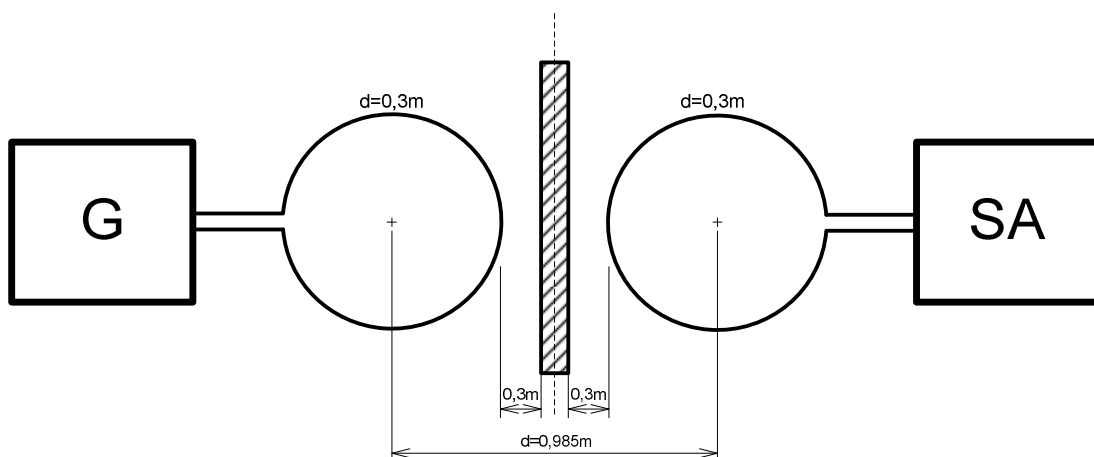
### 3.4. Meranie účinnosti tienenia SE

Meranie účinnosti tienenia tienenej komory a tiež zostavenie meracieho pracoviska prebiehalo podľa doporučení štandardu *IEEE (Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures)*. Pred začiatkom merania je nutné vhodne zvoliť spôsob budenia testovacieho poľa, snímanie úrovne poľa vo vnútri tieniacej komory, vybrať vhodné prístroje pre meranie úrovne signálu a tiež stanoviť rozvrhnutie meracích antén v okolí meranej tieniacej komory, vzhľadom na jej umiestnenie.

Pre vybraný prístroj slúžiaci k meraniu úrovni signálu je nutné meraním zistiť najmenšiu úroveň signálu, ktorú je v stanovenom meranom kmitočtovom pásme možné spoľahlivo merať. Vo zvolenom usporiadaní pracoviska sa potom zmerajú referenčné úrovne v uvažovanom kmitočtovom pásme, ktoré predstavujú úrovne napätí na výstupe snímacej antény merané bez prítomnosti tienenej komory vo voľnom priestore. Potom je možné vypočítať najvyššie merateľné hodnoty účinnosti tienenia SE pre kmitočty v stanovenom kmitočtovom pásme merania. Pri samotnom meraní účinnosti tienenia je budiaca anténa umiestnená mimo tieniacu komoru a meria sa úroveň preniknutého poľa do vnútorného priestoru tieniacej komory. Vhodnou zmenou polohy a zmenou orientácie prijímacej a vysielacej antény je nutné nájsť najmenej priaznivý prípad tienenia komory, kedy je snímacou anténou umiestnenou vo vnútri tieniacej komory nameraná najväčšia hodnota preniknutého poľa.

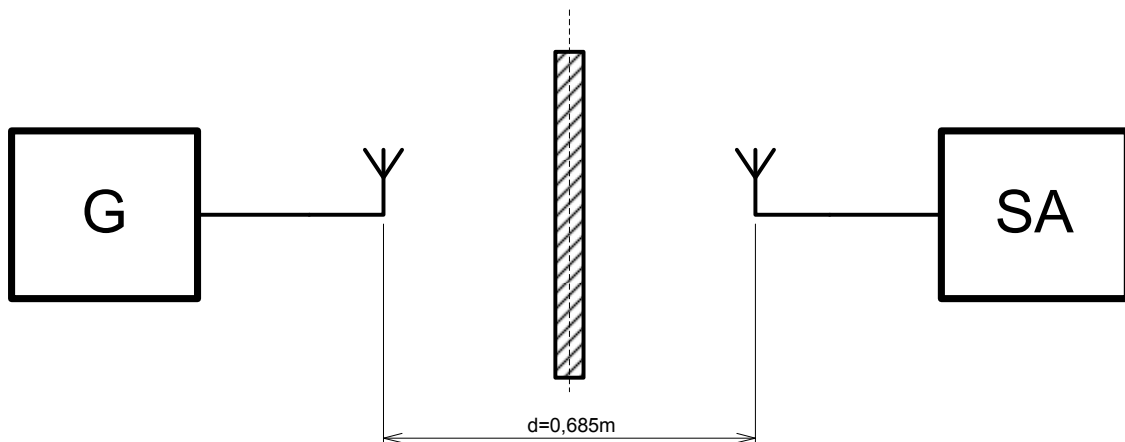
#### 3.4.1. Budenie testovacieho poľa

Pre budenie testovacieho poľa v kmitočtovom pásme odpovedajúcom nižším kmitočtom (10 kHz až 50 MHz), bola použitá rámová (slučková) anténa, čiže tienená kruhová slučka s priemerom 0,3 m, ktorá bola umiestňovaná kolmo na čelnú plochu steny tieniacej komory vo vzdialenosti približne 0,3 m od steny, podľa doporučení štandardu *IEEE*, aby vybudené pole prenikalo do meraného objektu prevažne v blízkosti budiacej slučky. Blokovaná schéma usporiadania pracoviska pre meranie v oblasti nízkych kmitočtov je zrejmä z obr. 29.



Obr. 29. Usporiadanie pracoviska pre meranie v oblasti nižších kmitočtov.

Bloková schéma usporiadania pracoviska pre meranie v oblasti vyšších kmitočtov (50 MHz až 3 GHz) je zrejماً z obr. 30. V tomto prípade boli použité širokopásmové bikónicko – logaritmicko – periodické antény BiLog.



Obr. 30. Usporiadanie pracoviska pre meranie v oblasti vyšších kmitočtov.

### 3.4.2. Snímanie poľa vo vnútri tienenej komory

Základným prvkom pre snímanie poľa v oblasti nižších kmitočtov (10 kHz až 50 MHz) bola opäť použitá tienená rámová (slučková) anténa, s rovnakými parametrami, konštrukciou a s rovnakým umiestnením vzhľadom k ploche steny ako pri budení testovacieho poľa, vo vzdialenosti 30 cm od steny tieniacej komory.

Vzhľadom k veľmi malým úrovňam napätia indukovaného magnetickým poľom v snímacej anténe je kvalita elektrického tienenia snímacej antény veľmi dôležitá a rozhodujúcu úlohu v tomto prípade hrá rovnaký tvar oboch polovic tienenia a presne súmerné umiestnenie štrbiny tienenia oproti prípojnému konektoru *N514A*.

Pre oblasť vyšších kmitočtov (50 MHz až 3 GHz) sa ako snímacia anténa použila bikónicko - logaritmicko – periodická anténa BiLog.

### 3.4.3. Meranie úrovne signálu

Vzhľadom na normou odporučené parametre meracích prístrojov popísaných v kapitole 2.2.3. na budenie testovacieho poľa bol použitý spomínaný signálny generátor od firmy *Rohde&Schwarz SML03.1090.3000.13*. Vyznačuje sa širokým pracovným kmitočtovým pásmom od 9 kHz do 3,3 GHz, jeho súčasťou je sériová linka a rozhranie *GP-IB*. Pre meranie úrovne napätia na výstupe snímacieho prvku bol použitý spomínaný spektrálny analyzátor *Hewlett Packard HP E7404E* s kmitočtovým rozsahom od 9 kHz do 13,2 GHz a sériovým rozhraním [3].

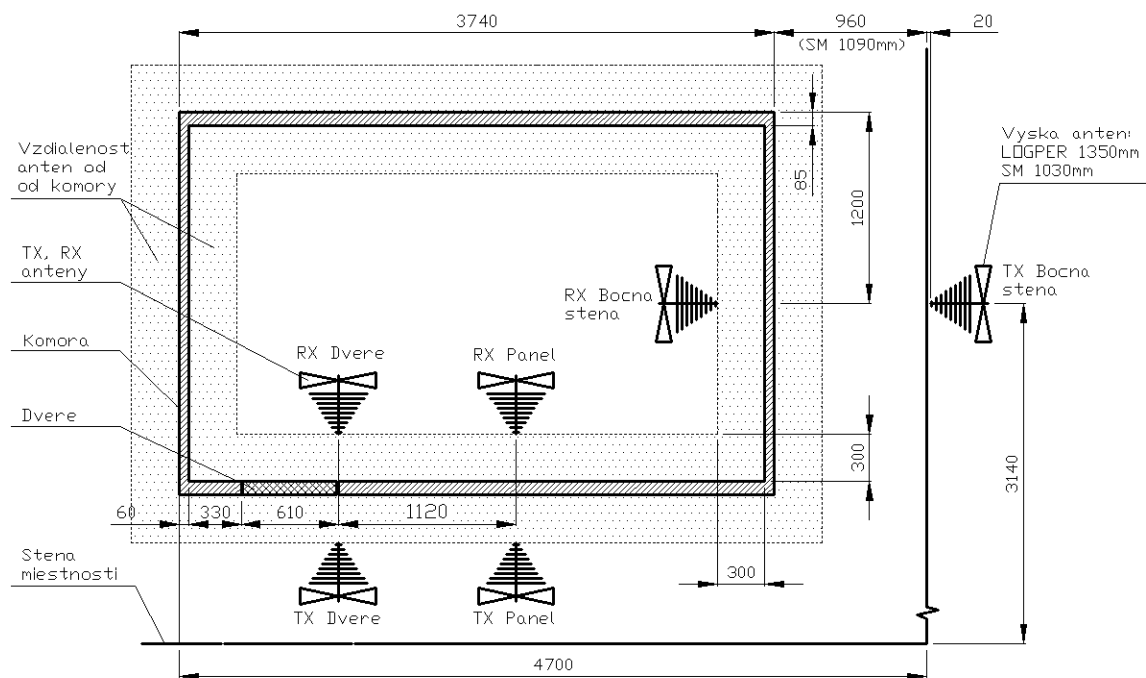
Pri meraní úrovne elektromagnetického poľa vnútri tienenej komory, sú rušivé signály vznikajúce vo vonkajšom prostredí (mimo tieniacu komoru) veľmi dobre potláčané. Pri dobrej účinnosti tienenia komory je však značne potláčaná aj úroveň preniknutého poľa budiacej rámovej (slučkovej) antény. Preto pri meraniach úrovne na nízkych kmitočtoch pomocou rámovej (slučkovej) antény dochádzalo k natoľko nízkej úrovni budiaceho poľa, že meranie bolo nemožné. Preto bolo nutné znížiť úroveň pozadia merača úrovne signálu (spektrálneho analyzátoru *HP E7404E*). Z tohto dôvodu bol medzi spektrálny analyzátor a snímaciu rámovú anténu vložený pridradený nízkošumový zosilňovač so ziskom 30 dB. Týmto spôsobom sa spoľahlivo zvýšila dynamika merania na nízkych kmitočtoch, avšak za cenu zväčšenia šumu vloženým nízkošumovým zosilňovačom.

Veľmi dôležité je zabrániť prenikaniu rušivých signálov do meranej komory cez prívody napájania alebo cez obvody dátovej komunikácie medzi signálovým generátorom *Rohde&Schwarz SML03* a spektrálnym analyzátorom *HP E7404E*. Preto komunikácia a dátový prenos medzi meracími prístrojmi prebiehali pomocou optického káblu, ktorý sa vyznačuje malou náchylnosťou na prenikanie rušivých signálov a tiež tým, že nedochádza k rušeniam pri dátovej komunikácii medzi zariadeniami. Experimentálne bola počas merania overená aj možnosť napájania spektrálneho analyzátoru umiestneného vo vnútri komory pomocou napájacieho zdroja (akumulátoru) s napätím 18 V, pre ešte väčšie potlačenie rušenia prenikajúceho zo siete. Vzhľadom na časovú náročnosť merania však nebolo možné použiť akumulátor pri všetkých meraniach.

Dôležitými súčasťami všetkých skúšobných sústav pre meranie efektívnosti tienenia *SE*, sú spojovacie koaxiálne káble, ktoré by mali dosahovať dostatočne nízky útlm káblu v celom pracovnom pásme až do najvyššieho využitého kmitočtu merania. Pre meranie do kmitočtu okolo 3 GHz boli použité kvalitné mikrovlnné koaxiálne káble s medzným kmitočtom minimálne okolo 7 GHz až 10 GHz. Takéto káble svojím nízkym útlmom zaisťujú zachovanie vysokej citlivosti merania aj na vysokých skúšobných kmitočtoch a tým umožňujú merať vysoké hodnoty efektívnosti tienenia *SE* do hodnôt 100 dB a viac. Samozrejmosťou kábla je elektromagnetické tienenie, teda vonkajší vodič je buď husto pletený, vinutý alebo kompaktný, prípadne sa dá použiť koaxiálny kábel s dvojitým tienením. Táto vlastnosť má zásadný význam pre zamedzenie priameho prenikania skúšobného signálu z generátoru do vstupných obvodov meracieho prijímača parazitnými cestami, najmä v oblasti vysokých kmitočtov. V prípade nutnosti pre ďalšie zlepšenie tienenia je možné kábel vsunúť do kompaktnej celokovovej trubky, pripojenej k zemnaciemu systému meracej sústavy. Rovnaké požiadavky na kvalitu elektromagnetického tienenia a nízky útlm sú kladené aj na koaxiálne konektory.

Zásadný vplyv na výslednú hodnotu efektívnosti tienenia *SE* majú rôzne otvory, štrbiny a iné technologické priechody, ako napríklad, vetracie a prístupové otvory, ktoré sú súčasťou tienenej komory. Okrem týchto úmyselne vytváraných, vznikajú aj otvory neúmyselné ako napríklad štrbiny vzniknuté montážou, priechodzie netesnosti najmä v miestach spojenia jednotlivých tieniacich plôch celkového kovového krytu. Všeobecne jednou z najviac

oslabených miest sú prístupové otvory, dvere. Tieto sú spravidla vybavené kvalitným vodivým kontaktom. Z toho dôvodu bolo meranie efektívnosti tienenia *SE* tieniacej komory zamerané predovšetkým na tieto časti komory. Vysielač a prijímač antény bola situovaná na miesta, ktoré sú teoreticky najviac náchylné na prienik rušivých signálov. Tienená komora *EMC*, ktorej vlastnosti boli merané je vybavená vlnovodmi, ktoré sú určené na prechod káblov (koaxiálnych a dátových) do vnútra komory. Čo zlepšuje efektívnosť tienenia *SE* komory.



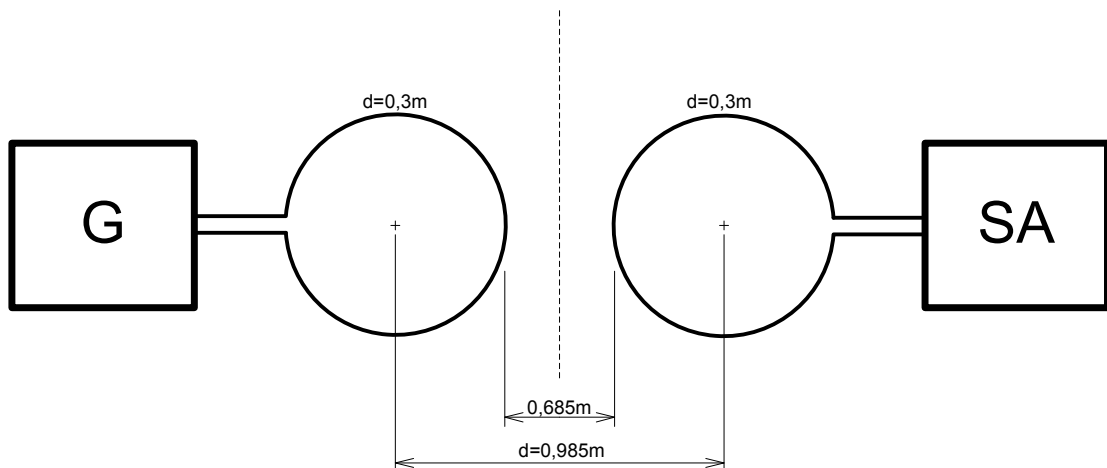
Obr. 31. Rozvrhnutie meracieho pracoviska pre meranie účinnosti tienenia *SE*.

Na obr. 31 je vidieť detailné rozmiestnenie a odpovedajúce rozmery vzdialeností prijímacej a vysielačkej antény pri meraní úrovne signálu. Meranie prebiehalo pre tri rôzne orientácie antén vzhľadom na tienenu komoru *EMC* a to voči dverám, prednému a bočnému panelu komory.

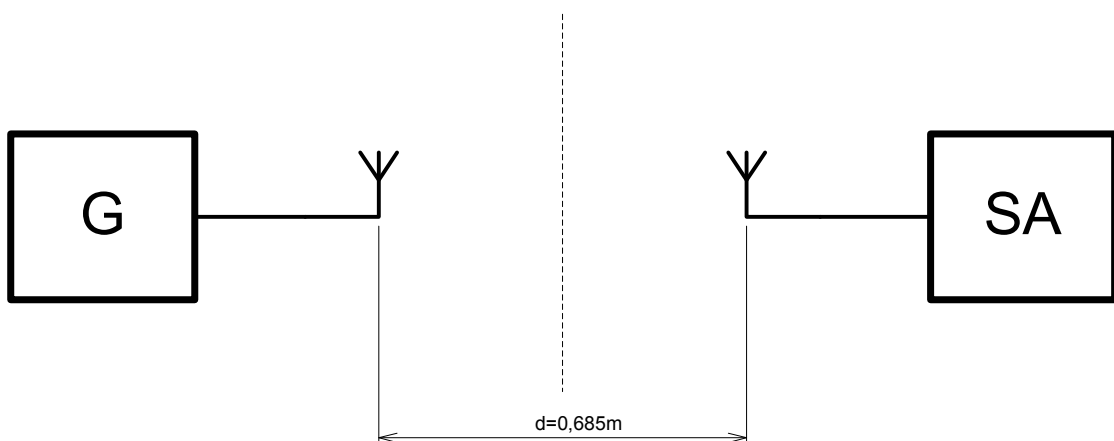
#### 3.4.4. Meranie referenčnej úrovne signálu

Pri meraní účinnosti tienenia *SE* je nevyhnutné zmerať tzv. referenčnú úroveň signálu. Jedná sa o úroveň signálu na výstupe prijímacej antény meranú bez prítomnosti tieniacej komory. Takéto meranie sa najčastejšie prevádza vo voľnom priestore, kde na merací systém pôsobí minimálne množstvo rušivých prvkov.

Meranie účinnosti tienenia bez referenčnej úrovne signálu nie je možné. Pri meraní referenčnej úrovne signálu boli meracie prístroje, budiace a snímacie antény usporiadané podľa nasledujúcich obrázkov. Pre nízke kmitočty (10 kHz až 50 MHz) obr. 32 a vyššie kmitočty (50 MHz až 3 GHz) obr. 33.



Obr. 32. Meranie referenčnej úrovne signálu v oblasti nižších kmitočtov.



Obr. 33. Meranie referenčnej úrovne signálu v oblasti vyšších kmitočtov.

Referenčné merania je nutné prevádzať vo voľnom prostredí, aby boli eliminované ostatné elektromagnetické rušenia. V takomto meracom prostredí, by sa nemali nachádzať budovy, elektrické vedenia, stromy alebo iné elektromagneticky odrazivé plochy ani podzemné káble alebo potrubia, okrem nevyhnutných prívodov slúžiacich pre napájanie a prevádzku meracích prístrojov a antén. V mieste merania by sa tiež nemali vyskytovať silné elektromagnetické polia.

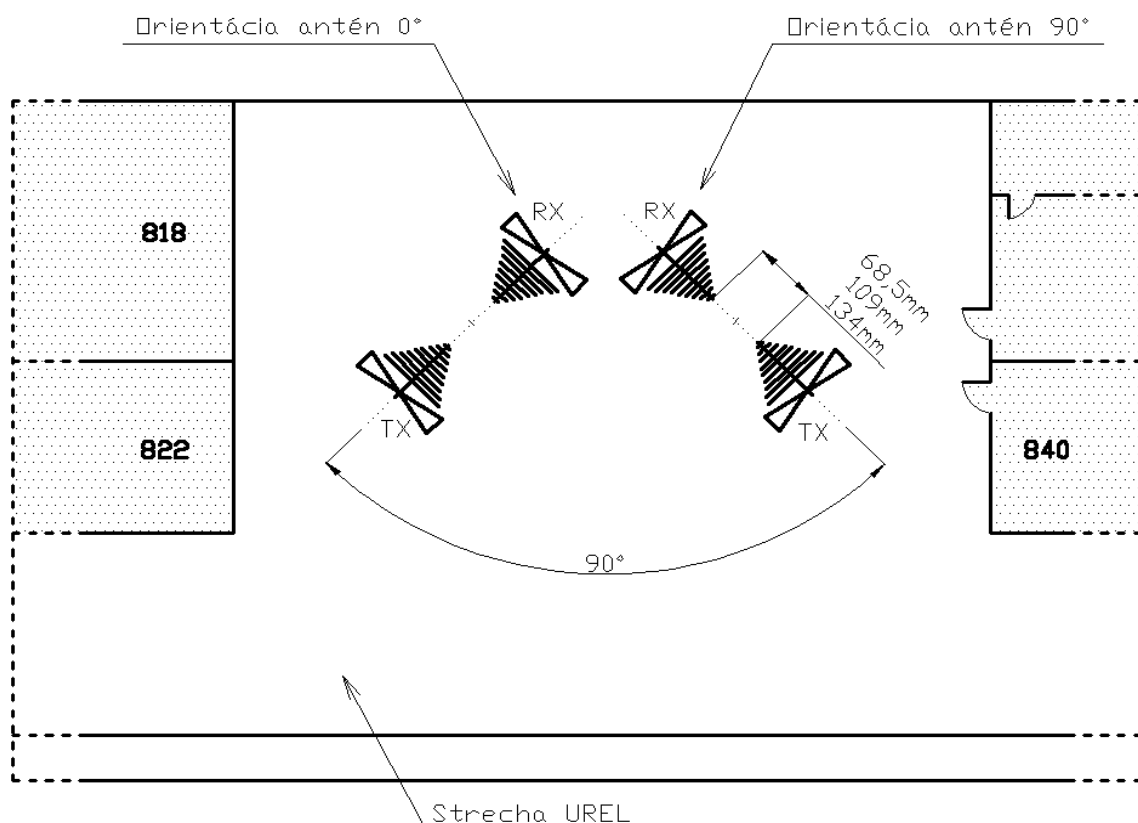
Nájsť vhodný voľný priestor pre zaistenie referenčného merania, ktorý by vyhovoval spomínaným požiadavkám nie je jednoduché, preto sa referenčné merania prevádzali na streche ústavu rádioelektroniky *UREL*.

Pri samotnom meraní bolo nutné dodržať vzdialenosti vysielačej a prijímačej antény, tak ako pri meraní úrovne signálu s tieniou komorou *EMC*. Jednotlivé vzdialenosti boli volené podľa tab. 8. Vzdialenosti odpovedajú meraniu účinnosti tienenia *SE* voči dverám tienenej komory a jej prednému a bočnému panelu.

Tab. 8. Vhodné referenčné merania pre zaistenie lepších výsledkov merania účinnosti tienenia.

<b>Referenčné merania</b>		
<b>Antény</b>	<b>Polarizácia</b>	<b>Vzdialenosť antén</b>
BiLog ↔ BiLog	Vertikálna	68,5 cm
BiLog ↔ BiLog	Horizontálna	68,5 cm
BiLog ↔ BiLog	Vertikálna	134 cm
BiLog ↔ BiLog	Horizontálna	134 cm
SM ↔ SM	Vertikálna	68,5 cm
SM ↔ SM	Horizontálna	68,5 cm
SM ↔ SM	Paralelná orientácia	68,5 cm
SM ↔ SM	Paralelná orientácia	109 cm

Samotné referenčné merania boli prevádzané dvakrát ako zobrazuje obr. 34. Po prvých referenčných meraniach pre jednotlivé vzdialenosti bola vysielač a prijímač anténa pootočená o 90° voči pôvodnej orientácii antén a referenčné merania prebehli znovu. Takto získané dvojice referenčných hodnôt v dBm boli spriemerované, vzhľadom k eliminácii prípadných rušení a odrazov od okolitých stavieb.



Obr. 34. Orientácie a rozostup antén pri referenčných meraniach.

#### **3.4.4.1. Meranie účinnosti tienenia s orientáciou antén voči dverám komory**

Meranie účinnosti tienenia *SE* so situovaním prijímacej a vysielačnej antény voči dverám tienenej komory *EMC* prebiehalo v kmitočtovom pásme od 10 kHz do 3 GHz. Pri meraniach v pásme nízkych kmitočtov tj. od 10 kHz do 50 MHz sa overila aj paralelná orientácia slučkových antén.

Oblasť dverí u tieniacich komôr *EMC* dosahuje často najhoršie hodnoty účinnosti tienenia *SE*, čo sa potvrdilo aj pri meranej komore *EMC* na ústave rádioelektroniky *UREL*. Je náročné zaistiť, aby takéto miesta tienenej komory *EMC* ako sú dvere, vetracie otvory atď. dostatočne tlmili vonkajšie elektromagnetické polia. U dverí tienených komôr *EMC* sa preto používajú pružinové alebo nožové kontakty.

Pre obe polarizácie antén (vertikálnu a horizontálnu) bol počas merania overovaný vplyv použitia akumulátoru na výslednú účinnosť tienenia *SE*, z dôvodu eliminácie sieťového rušenia. Z výsledných grafov účinnosti tienenia *SE* pre obe polarizácie je zrejmé, že pri použití akumulátoru ako napájacieho zdroja meracích prístrojov sa sieťové rušenie prejavovalo menej a výsledná účinnosť tienenia *SE* dosahuje nepatrne vyšších hodnôt. Pre vertikálnu polarizáciu antén sa výsledná účinnosť tienenia *SE* pohybuje v priemere okolo 100 dB, pre horizontálnu polarizáciu približne 90 dB až 100 dB. Najlepšej účinnosti tienenia *SE* pre vertikálnu aj horizontálnu polarizáciu sa dosiahlo v kmitočtovej oblasti od 10 MHz do približne 400 MHz. Tu sa hodnota účinnosti tienenia *SE* pohybuje v priemere okolo 110 dB. V kmitočtovom pásme od 10 MHz do 30 MHz je táto hodnota ešte vyššia, dosahuje 125 dB až 130 dB. V kmitočtovom pásme od 400 MHz do 3 GHz sa účinnosť tienenia *SE* postupne zhoršuje. Jej hodnota je pod 80 dB.

Priebehy *SE* v oblasti vyšších kmitočtov značne kolíšu. Je to spôsobené vlastnými rezonanciami tienenej komory *EMC*, vid'. kap. 4.1. Merania účinnosti tienenia *SE* sú pre vertikálnu a horizontálnu polarizáciu antén vyhodnotené v osobitných grafoch, vid'. príloha A.1 a A.2.

#### **3.4.4.2. Meranie účinnosti tienenia s orientáciou antén voči panelu komory**

Meranie účinnosti tienenia *SE* s orientáciou prijímacej a vysielačnej antény voči prednému panelu tienenej komory *EMC* bolo opäť prevádzané v kmitočtovom pásme približne od 10 kHz do 3 GHz pre vertikálnu a horizontálnu polarizáciu prijímacích a vysielačnych antén.

Meracie prístroje boli počas merania účinnosti tienenia *SE* napájané zo siete. Pri meraní v oblasti nízkych kmitočtov tj. od 10 kHz do 50 MHz, bola dynamika merania značne ovplyvnená tienením komory. Elektromagnetické pole vysielačnej antény nebolo detekovateľné prijímacou anténou umiestnenou



vo vnútri tienenej komory *EMC*. Z tohoto dôvodu bolo nevyhnutné použiť nízkošumový zosilňovač so ziskom 30 dB.

Z grafov je zrejmé, že výsledná účinnosť tienenia *SE* pre vertikálnu a horizontálnu polarizáciu antén je približne rovnaká. V priemere sa pohybuje okolo 100 dB až 110 dB. Najlepšej účinnosti tienenia *SE* pre vertikálnu a horizontálnu polarizáciu sa dosiahlo v kmitočtovej oblasti od 10 MHz do 400 MHz. Tu sa hodnota účinnosti tienenia *SE* pohybuje v priemere od 110 dB do 120 dB. V kmitočtovom pásme od 7 MHz do 30 MHz je táto hodnota ešte vyššia, dosahuje 130 dB až 135 dB. V kmitočtovom pásme nad 400 MHz sa účinnosť tienenia *SE* postupne zhoršuje. Na konečnom kmitočte 3 GHz je účinnosť tienenia *SE* len 70 dB. Grafické vyhodnotenia vid'. príloha A.3.

#### **3.4.4.3. Meranie účinnosti tienenia s orientáciou antén voči bočnej stene komory**

Meranie bolo ako v predchádzajúcich prípadoch prevádzané v pásme približne od 10 kHz do 3 GHz pre vertikálnu a horizontálnu polarizáciu prijímacích a vysielačích antén. Meracie prístroje pri meraní účinnosti tienenia *SE* voči bočnej stene tienenej komory *EMC*, boli napájané zo siete.

Z hľadiska umiestnenia tieniacej komory na ústave rádioelektroniky *UREL*, bolo nutné toto meranie realizovať z chodby. Toto spôsobilo realizovanie merania pri väčšej vzdialenosti medzi vysielačou a prijímačou anténou, ako je definovaná normou. Značný dodatočný útlm bol preto spôsobený aj stenou miestnosti v ktorej sa meraná komora nachádzala, preto použitie nízkošumového zosilňovača pre zaistenie vhodnej dynamiky pri meraní bolo nevyhnutné.

Z grafov je zrejmé, že výsledná účinnosť tienenia *SE* pre vertikálnu polarizáciu antén, je v priemere približne 120 dB až 125 dB, pre horizontálnu polarizáciu antén, približne 110 dB. Najlepšej účinnosti tienenia *SE* pre vertikálnu polarizáciu sa dosiahlo v kmitočtovej oblasti od 10 MHz do 400 MHz. Tu sa hodnota účinnosti tienenia *SE* pohybuje v priemere okolo 130 dB. V kmitočtovom pásme od 10 MHz do 80 MHz je táto hodnota ešte vyššia, dosahuje aj cez 140 dB. U horizontálnej polarizácii je kmitočtové pásmo najlepšej účinnosti tienenia *SE* užšie, približne od 100 MHz do 400 MHz. Hodnota účinnosti tienenia *SE* je tu približne 120 dB až 125 dB. V kmitočtovom pásme nad 400 MHz sa účinnosť tienenia *SE* postupne zhoršuje. Na konečnom kmitočte 3 GHz dosahuje približne 100 dB. Grafické vyhodnotenia vid'. príloha A.4.

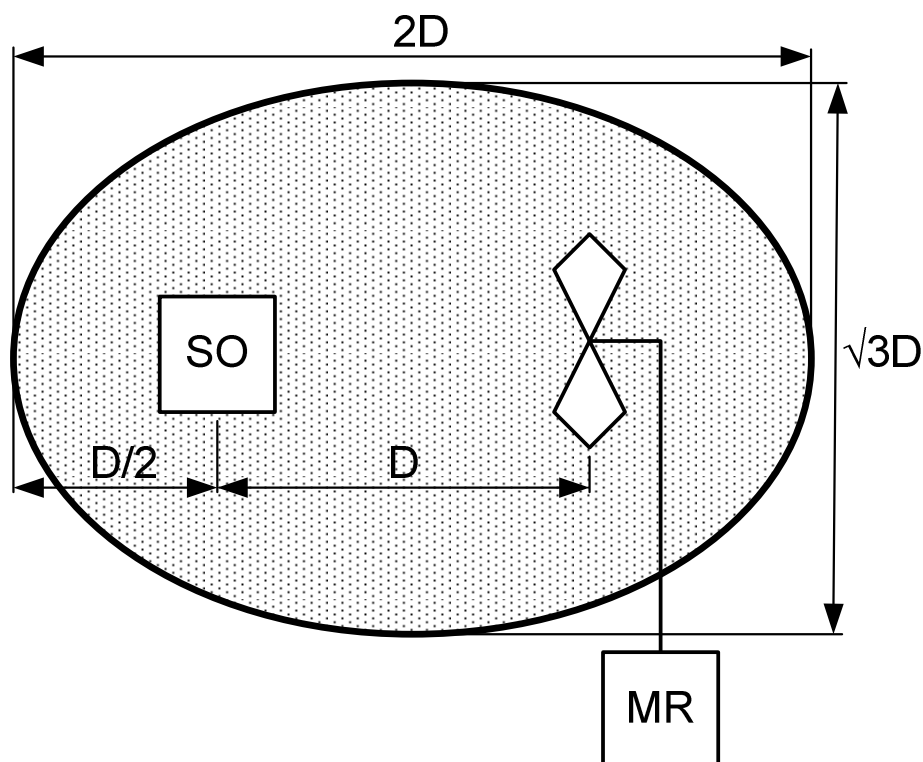
V tab. 9 je možné vidieť zhrnutie hodnôt výslednej účinnosti tienenia meranej tienenej komory *EMC* pre jednotlivé orientácie vysielačej a prijímačej antény vzhľadom na tienenú komoru.

Tab. 9. Výsledná účinnosť tienenia SE komory EMC.

Orientácia antén	Polarizácia antén	SE [dB]
Dvere	Vertikálna	~ 100 dB
	Horizontálna	~ 90 dB – 100 dB
Predný panel	Vertikálna	~ 100 dB – 110 dB
	Horizontálna	~ 100 dB – 110 dB
Bočný panel	Vertikálna	~ 120 dB – 125 dB
	Horizontálna	~ 110 dB

## 4. VHODNOSŤ TIENENEJ KOMORY PRE EMC A ANTÉNE MERANIE

Všetky výsledky anténnych a EMC meraní sú v značnej miere závislé na mieste samotného merania. Bežné anténne merania rušivých elektromagnetických polí sa najčastejšie realizujú na voľných priestranstvách (**OFTS** – *Open Field Test Site*; **OATS** – *Open Area Test Site*). Takéto meracie stanovisko vyžaduje podľa príslušnej normy ČSN CISPR 16-1 pôdorysný tvar elipsy zobrazenej na obr. 35. Jej hlavná os je rovná dvojnásobku vzdialenosti medzi skúšaným objektom SO a meracími anténami, ktoré sa nachádzajú v jej ohniskách. Táto meracia vzdialenosť je predpísaná normou a má hodnoty 3 m, 10 m, 30 m, prípadne 100 m. Pre zaistenie čo možno najlepších výsledkov merania je preferovaná najväčšia vzdialenosť medzi skúšaným objektom a meracou anténou a to 100 m [1].



Obr. 35. Pôdorysný pohľad na skúšobné meranie stanovisko [1].

Zaistenie takéhoto miesta pre meranie je veľmi ťažké, preto sa táto vzdialenosť často znižuje aj na 3 m. Skúšobné stanovisko s tvarom elipsy musí byť vytvorené na plochom a rovnom teréne. Na stanovisku nemôžu byť budovy, elektrické vedenia, stromy alebo iné elektromagneticky odrazivé plochy ani podzemné káble alebo potrubia, okrem nevyhnutných prívodov slúžiacich na napájanie a prevádzku zariadení nevyhnutných pre meranie.

Vzhľadom na vysoké požiadavky na samotné meracie pracovisko sa merania realizujú v tzv. elektromagneticky tienených komorách *EMC*. Sú vytvorené ako uzavreté priestory najčastejšie z dosiek oceľových plechov, ktoré zaisťujú dostatočnú elektromagnetickú tesnosť. Kvalitná tienená komora musí zaisťovať útlm pre vonkajšie signály na úrovni 90 až 120 dB. Túto požiadavku meraná tienená komora na ústave rádioelektroniky *UREL* spĺňa. Vyplýva to tiež z grafov účinnosti tienenia *SE*, z ktorých je zrejmé, že účinnosť tienenia komory je najlepšia v kmitočtovom pásme približne od 10 MHz do 400 MHz. V tomto kmitočtovom pásme účinnosť tienenia *SE* dosahuje v priemere približne 110 dB.

Pre vhodnosť použitia meranej tienenej komory *EMC* pre antény a *EMC* merania sú na komory kladené niektoré ďalšie dôležité požiadavky. Komora by mala mať predovšetkým dostatočne veľké rozmery, ktoré by v nej dovolili realizovať skúšobné stanovisko s pôdorysným eliptickým tvarom podľa obr. 35, čo nie je u meranej komory splnené. Vzdialenosť medzi meracou anténou a meraným objektom by mala byť minimálne 3 m. Tiež jej výška musí umožňovať nastaviteľnosť meracích antén do úrovne 4 m (prípadne 6 m) od zeme. Preto profesionálne tienené komory *EMC* pre antény merania majú obvykle rozmery 20 x 10 x 10 m a viac. Len v takto rozmerných komorách je možné realizovať plnohodnotné, neskreslené a reprodukovateľné antény merania rušivého vyžarovania.

Pri meraní je nutné tiež zaistiť, aby merané rušivé napätie z anténnych svoriek meracej antény bolo do meracieho prijímača, ktorý je umiestnený mimo tienený priestor komory, vedené tieneným káblom situovaným tak, aby nemohol pôsobiť ako prídavná anténa rušivého elektromagnetického poľa. Preto sa v profesionálnych tienených komorách pre spojenie meracej antény vo vnútri komory s vyhodnocovacím zariadením (spektrálnym analyzátorom) umiestneným mimo komoru obvykle používajú optické vlákna, pre toto spojenie zariadení, či už optickými alebo koaxiálnymi káblami je meraná tienená komora správne vybavená priechodzími vlnovodmi, ktoré zaisťujú prechod káblov do komory s elimináciou prípadných rušení z vonkajšieho priestoru do komory. Skúšobné a meracie zariadenie by počas testu malo byť napájané z rôznych fází trojfázovej rozvodnej siete a vnútri komory by nemalo byť použité výbojkové alebo žiarivkové osvetlenie, čo je u meranej tienenej komory *EMC* splnené [1].

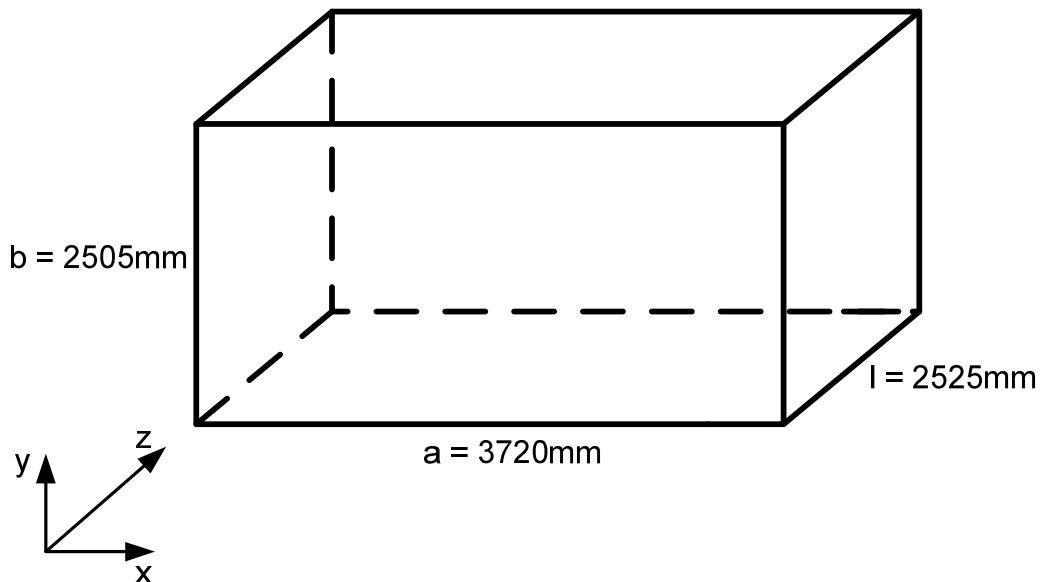
Okrem toho, že tienená komora dokáže prakticky dokonale odstrániť vonkajšie rušivé polia, čo je jej hlavná prednosť, má tienená komora *EMC* dva základné nedostatky, ktorými sú vlastná rezonancia komory a vnútorné odrazy v nej.

## 4.1. Vlastná rezonancia komory

Všeobecným problémom tienených komôr je ich obdĺžnikový tvar, ktorý z komory vytvára dutinový rezonátor. Takáto dutina (komora) zobrazená na obr. 36 sa chová ako rezonančný obvod s vysokou hodnotou vlastného činiteľa akosti a môže rezonovať na mnohých rezonančných kmitočtoch. Rezonančné kmitočty sa dajú vypočítať podľa nasledujúceho vzťahu,

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} \cdot \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{c}\right)^2} \quad [\text{Hz}], \quad (4.1)$$

kde  $f_0$  je rezonančný kmitočet,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  sú rozmery tienenej komory a  $m$ ,  $n$ ,  $p$  sú vidové čísla, ktoré určujú rezonančný vid, tzn. usporiadanie poľa v dutine. Avšak rezonančné frekvencie sa vplyvom neideálnosti priestoru od výpočtov mierne líšia.



Obr. 36. Kvádrový rezonátor.

Pri možnosti výskytu viacerých vidov, pripadá do úvahy niekoľko rezonančných frekvencií, ktoré môžu byť vybudené širokopásmovým vyžarovaním meraného kmitočtu a znehodnocovať tým meranie. Kvádrové dutinové rezonátory pracujú najčastejšie s najjednoduchším priečne elektrickým vidom  $TE_{101}$ . Tento vid má najnižší rezonančný kmitočet, ktorého veľkosť nezávisí na výške  $b$  kvádrovej dutiny. Pre meranú tienenú komoru EMC je najnižší rezonančný kmitočet rovný hodnote 71,7 MHz.

$$f_0^{TE_{101}} = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} \cdot \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{c}\right)^2} =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot \sqrt{8,854 \cdot 10^{-8} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}} \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{3720 \cdot 10^{-3}}\right)^2 + \left(\frac{0}{2505 \cdot 10^{-3}}\right)^2 + \left(\frac{1}{2525 \cdot 10^{-3}}\right)^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow f_0^{TE_{101}} = \underline{\underline{71,7 \text{ MHz}}}$$

$$f_0^{TE_{212}} = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} \cdot \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{c}\right)^2} =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot \sqrt{8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}} \cdot \sqrt{\left(\frac{2}{3720 \cdot 10^{-3}}\right)^2 + \left(\frac{1}{2505 \cdot 10^{-3}}\right)^2 + \left(\frac{2}{2525 \cdot 10^{-3}}\right)^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow f_0^{TE_{212}} = \underline{\underline{155,4 \text{ MHz}}}$$

Z grafických priebehov účinnosti tienia SE komory je zrejmé, že komora rezonuje na mnohých kmitočtoch. Najzreteľnejšia rezonancia komory je približne na kmitočte 158 MHz a odpovedá vidu  $TE_{212}$ . V tab. 10 je možné vidieť niektoré rezonančné kmitočty meranej komory EMC a príslušné vidy, ktoré týmto kmitočtom odpovedajú.

Tab. 10. Rezonančné kmitočty komory a ich odpovedajúce vidy.

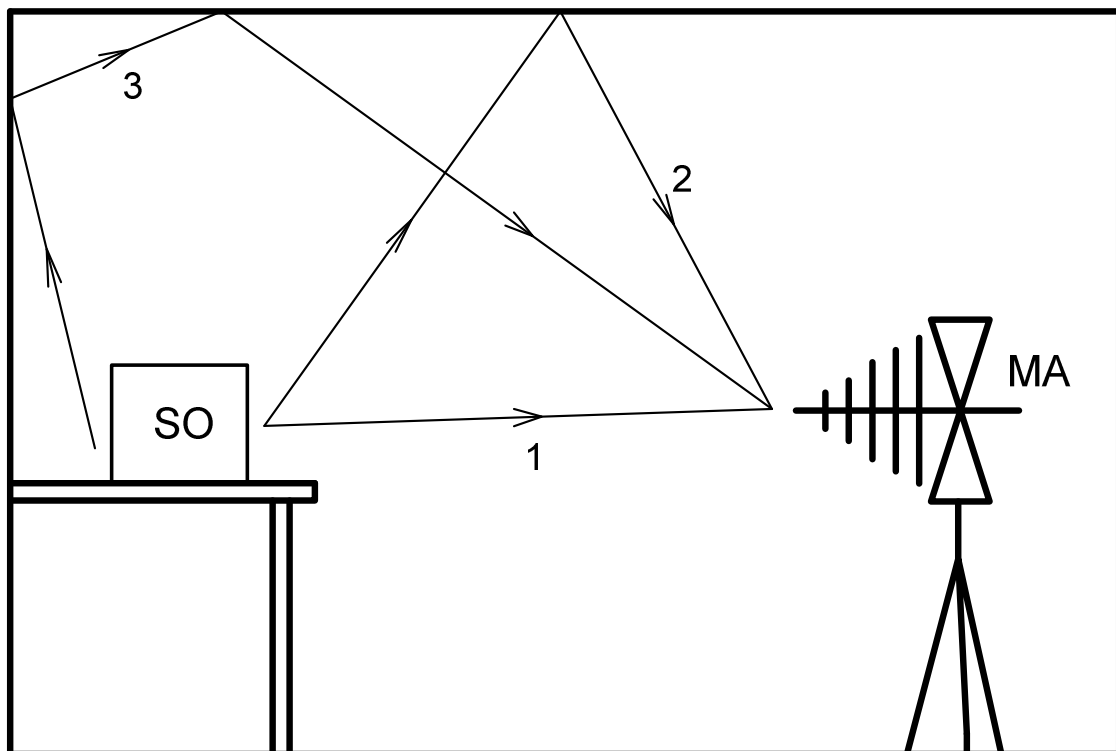
$f_{rez}$ [MHz]	Odpovedajúci vid	Poznámka
<b>71,7</b>	<b><math>TE_{101}</math></b>	Najnižší rezonančný kmitočet
93,4	$TE_{111}$	---
112,7	$TE_{211}$	---
125,3	$TE_{102}$	---
134,3	$TE_{112}$	---
143,9	$TE_{202}$	---
<b>155,4</b>	<b><math>TE_{212}</math></b>	Najzreteľnejší rezonančný kmitočet
195,4	$TE_{203}$	---
215,2	$TE_{303}$	---
246,3	$TE_{323}$	---
↓	↓	↓

Vplyv vlastnej rezonancie je možné odstrániť tak, že sa výrazne zníži činiteľ akosti  $Q$  „dutínového rezonátoru“ tvoreného tienou komorou. Pôvodnú veľmi vysokú hodnotu  $Q$  je možné znížiť tým, že pre jednotlivé rezonančné vidy výrazne zvýšime straty (útlm) jeho poľa v komore. K tomuto účelu je nutné zistiť miesta maxim elektrického poľa jednotlivých rezonančných vidov v komore a do týchto miest umiestniť napríklad dosku alebo kváder z absorbčného stratového materiálu. Miesta maximálnej intenzity elektrického poľa rezonančných vidov neležia na stenách komory, ale vo voľnom vnútornom priestore tienenej

komory. Použitím pohlcujúcich materiálov sa značne zvýšia straty rezonančného obvodu (komory) pre daný vid na danom rezonančnom kmitočte, takže rezonancia v komore prakticky nevznikne. Pre širokopásmové antény meranie je nutné komore dostatočne utlmiť veľké množstvo rezonančných vidov poľa. Táto skutočnosť je eliminovaná tým, že každý rezonančný vid elektromagnetického poľa má aspoň jedno maximum svojho elektrického poľa v jedinom pôdoryse tienenej komory. Vzhľadom na to, že k dostatočnému utlmeniu rezonujúceho vidu stačí potlačiť jeho jedno ľubovoľné maximum, je možné absorpčné dosky umiestňovať do správnych polôh len v rámci jedného kvadrantu celej komory.

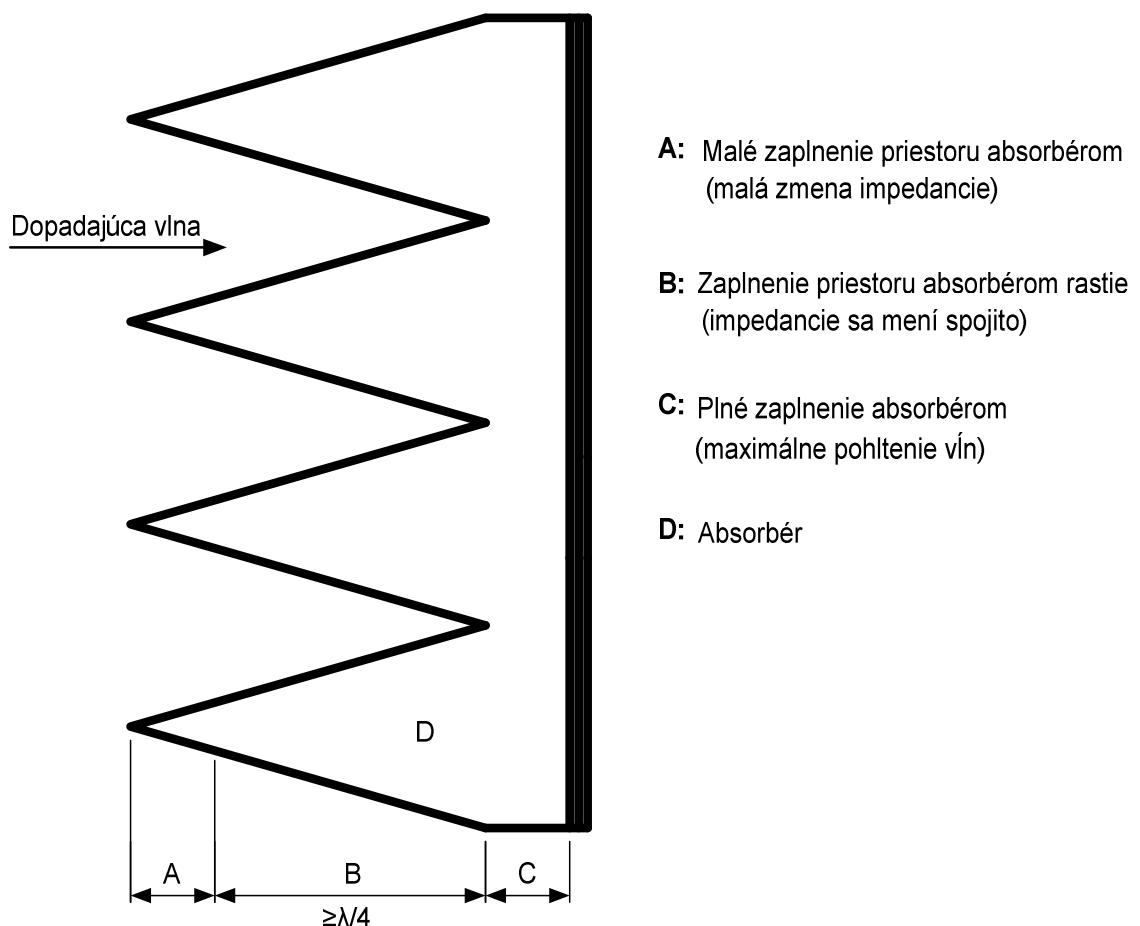
## 4.2. Mnohonásobné odrazy komory

Druhým problémom tienenej komory pri realizácii anténnych a EMC meraní sú mnohonásobné odrazy signálu od jej vnútorných stien, pretože kovové steny komory predstavujú takmer dokonalú odrazovú plochu, na ktorej dochádza k prakticky úplnému odrazu dopadajúcich elektromagnetických vln. Odrazené signály potom prichádzajú na prijímaciu anténu z rôznych smerov a tiež s rôznymi fázovými posuvmi ako zobrazuje obr. 37, kde *SO* je skúšaný (meraný) objekt a *MA* meracia anténa. Ich vektorovým súčtom vzniká v mieste meracej antény výsledné pole, ktorého veľkosť meriame. Pretože jednotlivé dráhy šírenia ani fázové posuvy a tým ani výslednú veľkosť poľa pre jednotlivé kmitočty v mieste meracej antény nie je možné presne určiť, vzniká týmto mnohocestné šírenie vďaka odrazom vo vnútri tieniacej komory nezanedbateľná neurčitost' merania.



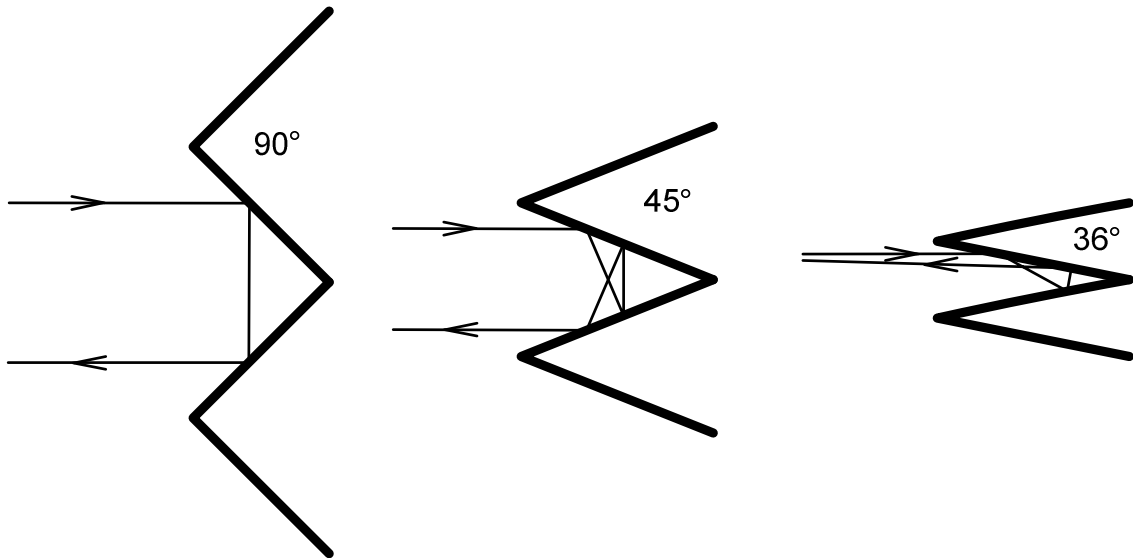
Obr. 37. Mnohocestné šírenie [1].

Ako možné opatrenie proti tomuto javu sú dostatočne veľké priestory komory, ktoré značne presahujú základnú meraciu vzdialenosť medzi meraným zariadením a anténou. Tým sa predĺžia dráhy odrazených vln, ich veľkosť v mieste prijímacej antény sa zmenší a tým klesne aj ich vplyv na veľkosť meraného poľa, aj na neurčitost' celého merania. Rovnaký efekt prináša aj použitie meracích antén s vysokou smerovosťou a s vysokým potlačením bočných a zadných lalokov svojeho vyžarovacieho diagramu. Výsledok merania je aj v tomto prípade veľmi závislý na presnom nasmerovaní meracej antény voči skúšanému objektu, ktoré môže byť na rôznych meracím kmitočtoch rôzne. Posledné opatrenie, ktoré môže výrazne zmenšiť vplyv vnútorných odrazov tienenej komory EMC, spočíva v znížení odrazivosti kovových stien komory. To znamená obložiť odrazové plochy absorbným materiálom, tzv. absorbéromi, zobrazenými na obr. 38 a obr. 39 a tým zmenšiť veľkosť činiteľa odrazu stien komory. Takouto úpravou elektromagneticky tienenej komory je možné vytvoriť kvalitatívne nové meracie pracovisko, tzv. absorbnú bezodrazovú komoru. Táto skutočnosť je vzhľadom na ťažké nájdenie vhodného skúšobného stanoviska na voľnom priestranstve podstatná.



Obr. 38. Konštrukcia absorbérov.

Absorbčné prvky (absorbéry) majú tvar ihlanov prípadne kuželov, zhotovených z polystyrénu alebo polyuretánu s grafitovou impregnáciou. Ich lineárne sa rozširujúci tvar predstavuje impedančný transformátor, ktorý bezodrazovo prevádza impedanciu voľného priestoru na špičkách ihlanov na veľmi nízku impedanciu priestoru úplne zaplneného absorbérom v zadnej časti ihlanov. Pre ešte lepšiu bezodrazovosť, sa u špičiek absorbérov prevedie menšie nasýtenie grafitom, čím má absorbér menšie straty než jeho zadné, širšie časti. Dĺžky transformačných častí absorbérov (výška ihlanu) musí byť minimálne  $\lambda/4$  na najnižšom pracovnom kmitočte.



Obr. 39. Viacnásobné odrazy v absorbéroch [1].

Ďalšou výhodnou vlastnosťou absorbéru je, že vlna dopadajúca na plochu absorbčného obkladu vstupuje medzi jednotlivé absorbčné ihlany a je na ich povrchu čiastočne odrazená. Vplyvom zkosenia ihlanu absorbéru sa odrazené vlny nevracajú priamo späť do priestoru, ale smerujú do susedného ihlanu. Tu sa opäť čiastočne odrážajú a celý dej sa opakuje. Odrazená vlna sa teda vracia späť do priestoru komory až po niekoľkých čiastočných odrazoch od absorbčných ihlanov. Pretože pri každom odraze sa časť energie vlny absorbuje a len časť sa odrazí, je celková energia odrazenej vlny po viacnásobnom odraze výrazne menšia. Počet jednotlivých odrazov závisí predovšetkým na vrcholovom uhle ihlanov, ktorá sa u praktických konštrukcií pohybuje okolo 25°.

Tab. 11. Prehľad splnených požiadaviek na tienenu komoru EMC.

<b>Požiadavka na tienenu komoru EMC</b>	
Útlm pre vonkajšie signály na úrovni 100 až 120 dB	<b>ANO</b>
Dostatočne veľké rozmery tienenej komory EMC	<b>NIE</b>
Priechodzie vlnovody	<b>ANO</b>
Napájanie skúš. zariadenia z rôznych fází trojfázovej rozvodnej siete	<b>ANO</b>
Použitie iného osvetlenia ako výbojkového alebo žiarivkového	<b>ANO</b>
Použitie pohlcujúcich materiálov pre elimináciu vlastnej rezonancie	<b>NIE</b>
Použitie absorbérov pre elimináciu mnohonásobných odrazov	<b>NIE</b>



V tab. 11 je znázornený prehľad najdôležitejších požiadaviek, ktoré musí meraná tienená komora spĺňať, aby bola vhodná pre antény a *EMC* merania a aby výsledky takýchto meraní boli plnohodnotné, neskreslené a reprodukovateľné. Meraná tienená komora na ústave rádioelektroniky *UREL*, spĺňa len niektoré tieto požiadavky a teda nie je predurčená na to, aby výsledky anténnych a *EMC* meraní boli plnohodnotné.

Pre zaistenie kvalitných výsledkov merania je nutné predovšetkým eliminovať mnohonásobné odrazy, ktoré spôsobujú prichádzanie vln na prijímaciu anténu z rôznych smerov a s rôznym fázovým posuvom, obložením stien absorbčnými materiálmi (absorbérmi), ktoré do značnej miery dokážu pohltiť odrazené vlny, tiež je vhodné celkové zväčšenie rozmerov tienenej komory, ktoré umožní realizovať meracie stanovisko s pôdorysným tvarom elipsy a tiež s možnosťou nastavenia správnej výšky antén pri meraní a použiť pohlcujúce materiály pre eliminovanie vlastnej rezonancie komory.

## 5. ZÁVER

Hlavným cieľom diplomovej práce bolo stanovenie účinnosti tienenia *SE* meranej tienenej komory pre potreby elektromagnetickej kompatibility *EMC*. Celú problematiku riešenia projektu je možné rozdeliť na tri základné časti.

V prvej časti sa jednalo predovšetkým o teoretické zoznámenie sa s meraním účinnosti tienenia *SE* na základe doporučovanej normy (*ČSN CISPR 17, Metody měření útlumových charakteristik pasivních vysokofrekvenčních filtrů*) [7] a štandardu (*IEEE Standard, Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures*) [6]. Na základe tohoto štúdia bolo teoreticky navrhnuté meracie pracovisko pre meranie vlastností tienených komôr *EMC* využívaných pre anténne merania a tiež pre potreby elektromagnetickej kompatibility *EMC*. Tiež bola navrhnutá celková metodika merania účinnosti tienenia *SE*. Jednalo sa hlavne o výber meracích prístrojov, výber a realizáciu prijímacích a vysielačích antén, vhodných pre meranie v kmitočtovom pásme 10 kHz až 3 GHz.

Riešenie druhej časti projektu plynule naväzovalo na poznatky z prvej časti. V tejto časti projektu sa jednalo o realizáciu teoreticky navrhnutého meracieho pracoviska a prevedenie základného (orientačného) merania účinnosti tienenia *SE* na meranej tienenej komore *EMC*. Pri realizácii meracieho pracoviska bolo predovšetkým dbané na to, aby v maximálnej možnej miere spĺňalo požiadavky kladené normou. Pri vlastnom meraní účinnosti tienenia *SE*, boli najprv uskutočnené všetky potrebné referenčné merania pre jednotlivé vzdialenosti, orientácie a polarizácie prijímacích a vysielačích antén, kedy komora *EMC* bola z meracieho reťazca vynechaná. Následne sa meranie opakovalo za prítomnosti meranej komory a stanovili sa výsledné hodnoty účinnosti tienenia *SE*. Meranie bolo len orientačné, pretože nebolo zaistené vhodné referenčné meranie. Realizovalo sa pri otvorených dverách tienenej komory a na meranie vplývali rôzne rušivé elementy a odrazy od okolitých stien, čo sa prejavilo značným kolísaním výsledných grafických priebehov účinnosti tienenia *SE*.

Preto záver práce bol zameraný predovšetkým na meranie referenčných úrovní signálov a na záverečné zhodnotenie meranej tienenej komory *EMC*. Referenčné merania sa realizovali na väčšom priestore, (strecha ústavu rádioelektroniky *UREL*) pre rôzne vzájomné orientácie prijímacej a vysielačej antény. Výsledky boli priemerované a použité ako referenčné hodnoty. Lepšie prostredie pre meranie referencii sa pozitívne odzrkadlilo vo výsledných grafoch účinnosti tienenia *SE*. Výsledky účinnosti tienenia *SE* sa značne zlepšili. Potvrdilo sa, že najslabšie miesto meranej tienenej komory *EMC* sú práve dvere. V týchto miestach sa hodnota účinnosti tienenie *SE* pre vertikálnu polarizáciu antén pohybuje približne okolo 100 dB, pre horizontálnu polarizáciu to je 90 dB až 100 dB. Výsledky účinnosti tienenia pre predný panel komory sú približne rovnaké pre obe polarizácie a účinnosť tienenia *SE* dosahuje približne hodnôt 100 dB až 110 dB. Účinnosť tienenia *SE* pri orientácii antén voči bočnej stene komory dosahuje pre vertikálnu polarizáciu 120 dB až 125 dB a pre horizontálnu polarizáciu približne 110 dB.

Z výsledkov vyplýva, že meraná tienená komora *EMC* poskytuje vysoko kvalitné tienenie, ktoré je podmienené dosiahnutou účinnosťou tienenia *SE* v rozsahu od 90 dB do 120 dB, aj keď pre plnohodnotné, neskreslené a reprodukovateľné výsledky meraní, by mala byť vybavená napríklad pohlcujúcimi materiálmi pre elimináciu vlastných rezonancií, absorbérmi pre elimináciu viacnásobných odrazov, prípadne jej rozmery by mali byť väčšie z dôvodu realizácie skúšobného stanoviska s pôdorysným tvarom elipsy pre správne výsledky anténnych a *EMC* meraní.

# LITERATÚRA

- [1] SVAČINA, J., *Elektromagnetická kompatibilita, principy a metody*. Brno: Nakladatelství VUTIUM, 2001. ISBN 80-214-1873-7.
- [2] NOVÁČEK, Z., *Elektromagnetické vlny, antény a vedení*. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Skriptum VUT v Brně, 2004.
- [3] NOVÁČEK, Z., *Generování a snímání elektromagnetického pole při měření útlumu stínění*. Závěrečná výzkumná správa, 2004.
- [4] HANUS, S., SVAČINA, J., *Vysokofrekvenční a mikrovlnná technika*. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Skriptum VUT v Brně, 2002.
- [5] GESCHIEDTOVÁ, E., REZ, J., STEINBAUER, M., *Měření v elektrotechnice*. Brno: Nakladatelství VUTIUM, 2002.
- [6] IEEE Standard, *Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures*. EMC Society, New York 2006, p. 39.
- [7] Česká technická norma ČSN CISPR 17, *Metody měření útlumových charakteristik pasivních vysokofrekvenčních filtrů a odrušovacích součástek*. Český normalizační institut, Praha 2000.
- [8] *VEE Pro Advanced Programming Techniques*. Agilent Technologies Inc, U.S. 2000.
- [9] SVAČINA, J., NAVRÁTIL, V., URBANEC, T., ŠÁDEK, V., *Problematika měření vloženého útlumu odrušovacích filtrů EMC*. [online] Elektrorevue, 2000/41, Brno 2000, [citované dňa 30.4.2008] dostupné na <http://www.elektrorevue.cz/clanky/02032/index.html>.
- [10] DVORSKÝ, M., *Magnetická anténa*. [online] Elektrorevue, 2008/38, Ostrava 2008, [citované dňa 31.3.2008] dostupné na <http://www.elektrorevue.cz/cz/clanky/komunikacni-technologie/0/magneticka-antena/>.
- [11] HAIS, J., *Měřicí antény v EMC*. [online] Digitron, Plzeň 2008, [citované dňa 12.6.2008] dostupné na [http://home.zcu.cz/~digitron/skola/EMC\\_anteny\\_bakalarka/Prezentace\\_-\\_Anteny\\_v\\_EMC.pdf](http://home.zcu.cz/~digitron/skola/EMC_anteny_bakalarka/Prezentace_-_Anteny_v_EMC.pdf).

# ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

<b>EMC</b>	(Electromagnetic Compatibility); <i>elektromagnetická kompatibilita</i>
<b>SE</b>	(Shielding Effectiveness); <i>efektívnosť (účinnosť) tienenia</i>
<b>OATS</b>	(Open Area Test Site); <i>testovacie miesto vo voľnom priestore</i>
<b>OFTS</b>	(Open Field Test Site); <i>skúšobné stanovisko na voľnom priestranstve</i>
<b>AF</b>	(Antenna Factor); <i>anténny faktor</i>
<b>SA</b>	(Spectral Analyzer); <i>spektrálny analyzátor</i>
<b>MR</b>	<b>M</b> erač rušenia
<b>PSV</b>	<b>P</b> omer stojatých vln
<b>VEE</b>	(Visual Engineering Environment); <i>vizuálne vývojové prostredie</i>
<b>GPIB</b>	(General Purpose Interface Bus); <i>štandardné rozhranie pre prepojenie meracích prístrojov</i>
<b>LAN</b>	(Local Area Network); <i>lokálna sieť</i>
<b>USB</b>	(Universal Serial Bus); <i>univerzálna sériová zbernica</i>
<b>VISA</b>	<i>knižnice programového prostredia Agilent VEE</i>
<b>IEEE</b>	(The Institute of Electrical and Electronics Engineers); <i>spoločnosť elektrotechnických a elektronických inžinierov v USA</i>
<b>SM</b>	<b>S</b> lučková anténa
<b>SO</b>	<b>S</b> kúšaný objekt
<b>MA</b>	<b>M</b> eracia anténa
<b>UREL</b>	<b>Ú</b> stav rádioelektroniky
<b>R</b>	(Reflection Loss); <i>útlm odrazom</i>
<b>A</b>	(Absorption Loss); <i>absorbčný útlm</i>
<b>M</b>	(Multiple Reflection); <i>mnohonásobné odrazy</i>
<b>G</b>	(Generator); <i>generátor</i>
<b>K<sub>S</sub></b>	Koeficient tienenia
<b>E<sub>T</sub></b>	Intenzita elektrického poľa v určitom bode tieneného priestoru
<b>H<sub>T</sub></b>	Intenzita magnetického poľa v určitom bode tieneného priestoru
<b>E<sub>i</sub></b>	Intenzita elektrického poľa dopadajúceho na tienenú prepážku
<b>H<sub>i</sub></b>	Intenzita magnetického poľa dopadajúceho na tienenú prepážku
<b>λ</b>	Vlnová dĺžka
<b>μ<sub>r</sub></b>	Relatívna permeabilita
<b>Z<sub>0</sub></b>	Charakteristická impedancia voľného prostredia
<b>Z<sub>M</sub></b>	Charakteristická impedancia vodivého prostredia
<b>δ</b>	Hĺbka vniku
<b>R<sub>E</sub></b>	Útlm odrazu elektrickej vlny
<b>R<sub>H</sub></b>	Útlm odrazu blízkeho magnetického poľa
<b>U<sub>G</sub></b>	Výstupné napätie signálneho generátoru
<b>U<sub>20</sub></b>	Údaj napätia na vstupe spektrálneho analyzátoru
<b>H</b>	Magnetická zložka poľa
<b>E</b>	Elektrická zložka poľa
<b>E<sub>R</sub></b>	Elektrická zložka rušivého elektromagnetického poľa
<b>U<sub>R</sub></b>	Veľkosť výstupného napätia antény
<b>X<sub>M</sub></b>	Hodnota indikovaná prístrojom (nameraná)
<b>X<sub>P</sub></b>	Hodnota konvenčne pravá
<b>δ<sub>X</sub></b>	Relatívna chyba merania
<b>Δ<sub>X</sub></b>	Absolútna chyba merania
<b>β<sub>AR</sub></b>	Šírka pásma aktívnej oblasti logaritmickkej antény

$U_{MAX}$  Pomer napätia v kmitni  
 $U_{MIN}$  Pomer napätia v uzle  
 $\rho$  Činiteľ odrazu

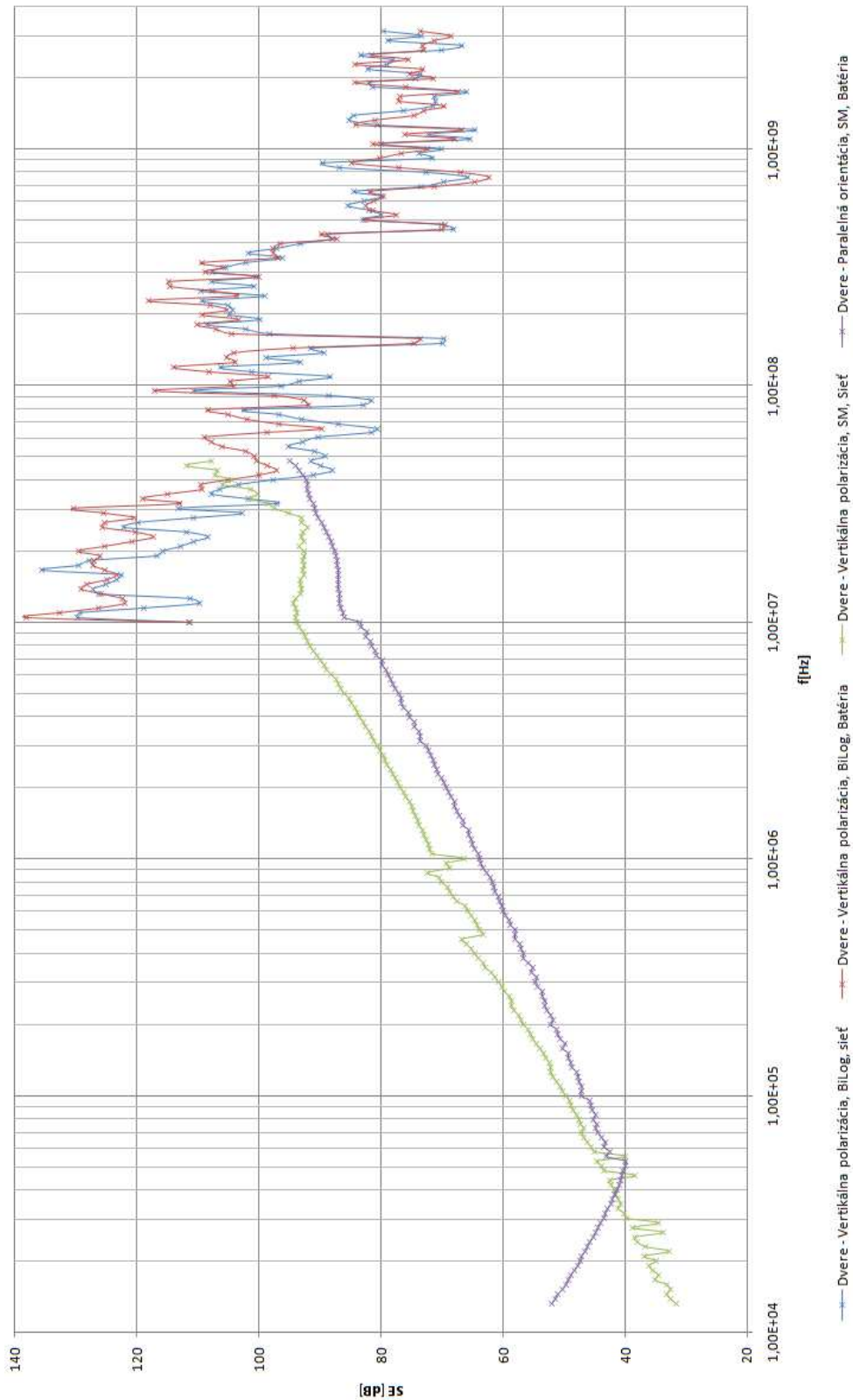
# ZOZNAM PRÍLOH

## A Grafy účinnosti tienenia

A.1	Účinnosť tienenia komory pre vertikálnu polarizáciu antén orientovanej voči dverám komory pri použití rôzneho napájania meracích prístrojov (sieť, batéria).....	55
A.2	Účinnosť tienenia komory pre horizontálnu polarizáciu antén orientovanej voči dverám komory pri použití rôzneho napájania meracích prístrojov (sieť, batéria).....	56
A.3	Účinnosť tienenia komory pre vertikálnu a horizontálnu polarizáciu antén orientovanej voči panelu (stene) komory pri použití napájania meracích prístrojov zo siete.....	57
A.4	Účinnosť tienenia komory pre vertikálnu a horizontálnu polarizáciu antén orientovanej voči bočnej stene komory pri použití napájania meracích prístrojov zo siete.....	58

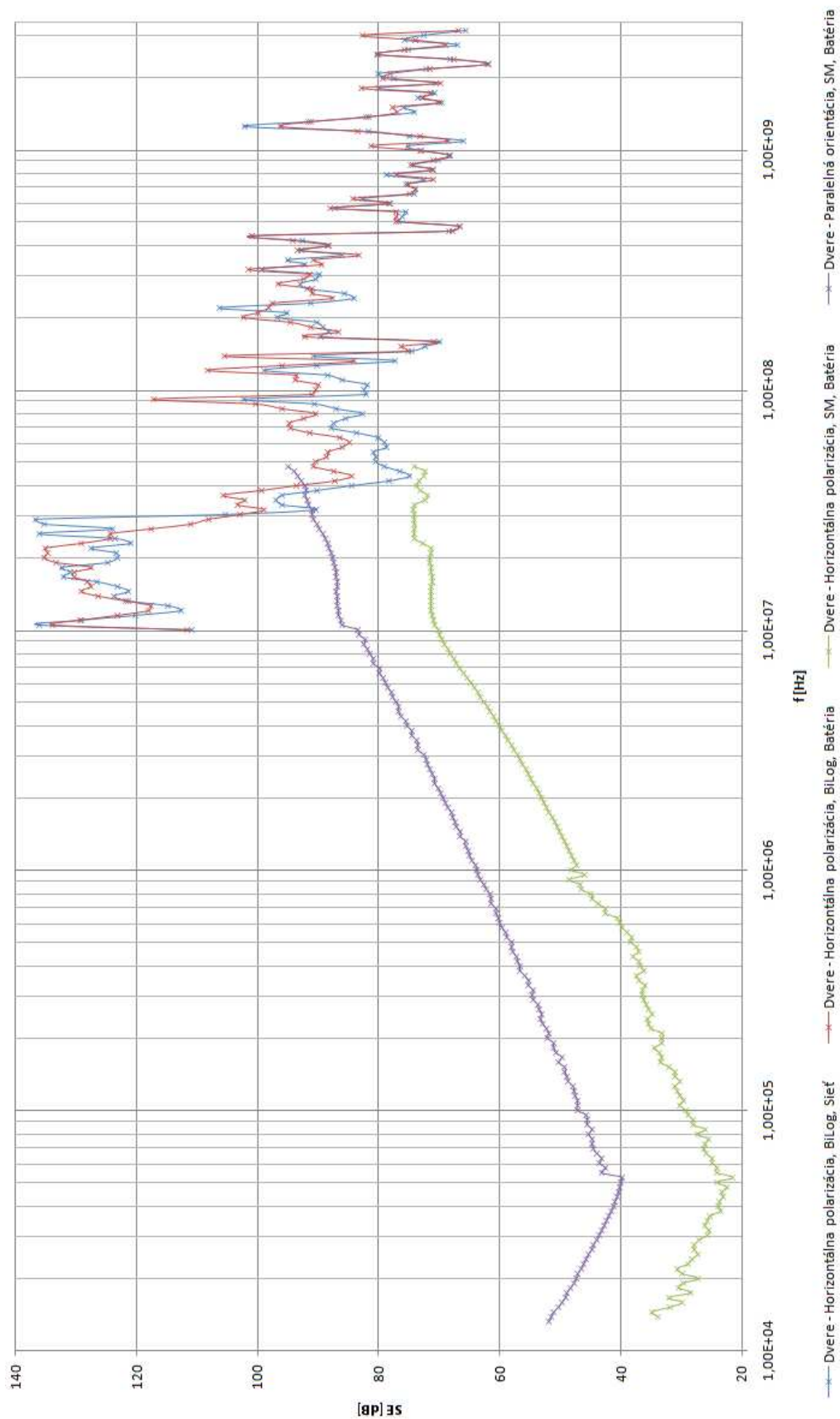
# A GRAFY ÚČINNOSTI TIENENIA

## A.1 Účinnosť tienenia komory pre vertikálnu polarizáciu antén orientovanej voči dverám komory pri použití rôzneho napájania meracích prístrojov (sieť, batéria)

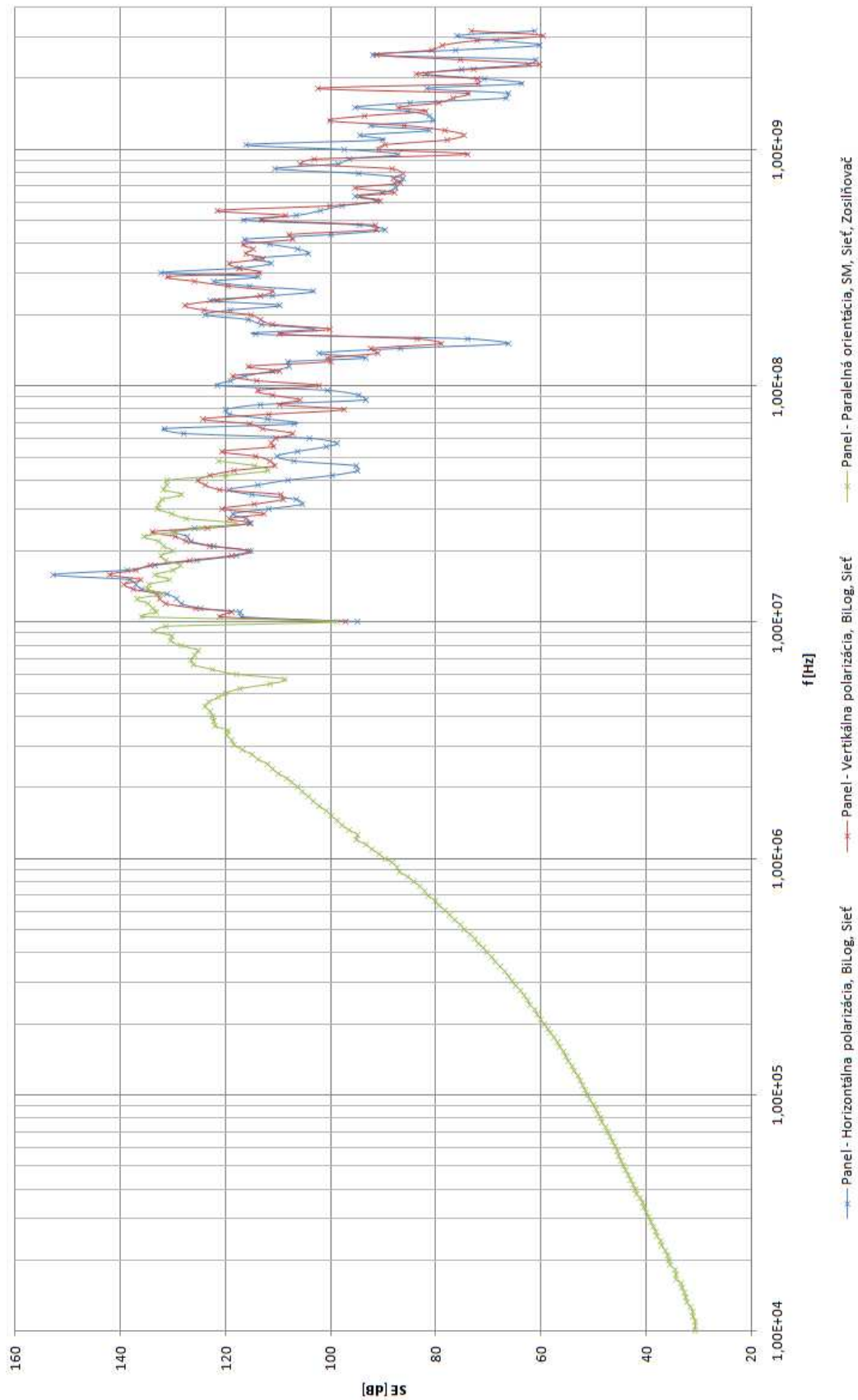




## A.2 Účinnosť tienenia komory pre horizontálnu polarizáciu antén orientovanej voči dverám komory pri použití rôzneho napájania meracích prístrojov (sieť, batéria)



### A.3 Účinnosť tienenia komory pre vertikálnu a horizontálnu polarizáciu antén orientovanej voči panelu (stene) komory pri použití napájania meracích prístrojov zo siete



#### A.4 Účinnosť tienenia komory pre vertikálnu a horizontálnu polarizáciu antén orientovanej voči bočnej stene komory pri použití napájania meracích prístrojov zo siete

