

# **Technológia a technika prevádzania tienených priestorov pre účely EMC**

Bc. Martina Kalková

---

Diplomová práca  
2007



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav elektrotechniky a měření

akademický rok: 2006/2007

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martina KALKOVÁ**  
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Technologie a technika provádění stíněných prostorů pro účely EMC**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou a historickým vývojem požadavků EMC .
2. Popište technické potřeby a požadavky na stíněný elektronický systém, především v oblasti průmyslu komerční bezpečnosti.
3. Zpracujte průzkum dostupných technických prostředků používaný při konstrukci stíněných prostorů.
4. Popište metody měření stínících účinků materiálů a konstrukcí používaných v oblasti EMC.
5. Zhodnoťte z technického i ekonomického hlediska stínící blok pro účely měření velmi slabých signálů v laboratoři FAI UTB.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Clayton, Paul R.: *Introduction to Electromagnetic Compatibility*, John Wiley and Sons, Inc. PUBLICATION, 2006
2. Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.: *Fyzika - část 3 - Elektřina a magnetismus*, Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM, 2000
3. Dipak, L. Sengupta, Valdis, V. Liepa: *Applied Electromagnetics and Electromagnetic Compatibility*, John Wiley and Sons, Inc. PUBLICATION, 2005
4. Svačina, J.: *Elektromagnetická kompatibilita*, Vysoké učení technické v Brně 2001

Vedoucí diplomové práce:

**doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.**  
Ústav elektrotechniky a měření

Datum zadání diplomové práce:

**13. února 2007**

Termín odevzdání diplomové práce:

**30. května 2007**

Ve Zlíně dne 13. února 2007



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*děkan*



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.  
*ředitel ústavu*

## ABSTRAKT

Cieľ tejto diplomovej práce je oboznámenie sa s vedeckou disciplínou EMC. Vniknutie do problematiky na základe zmerania tieniacich účinkov materiálu, ktorým je chránená laboratórna miestnosť na FAI UTB v Zlíne. Zhodnotenie nameraných výsledkov, resp. navrhnutie možného zlepšenia tieniacej účinnosti. Prieskum dostupnosti firiem na trhu zaoberajúcich sa výrobou elektromagnetického tieniaceho materiálu. Aplikovanie teoretických poznatkov do praktického využitia v Priemysle komerčnej bezpečnosti.

Kľúčové slová: EMC, účinnosť tienenia, magnetické pole, elektrické pole.

## ABSTRACT

The aim of this Master thesis is to acquaint with science discipline EMC. Entering into problems of this discipline is based on measurement of shielding effects of material, which is used for protection of laboratory room at FAI, UTB in Zlín. Evaluation of measurement results, respectively propose of possible improvement of the shield effect. Market research of available companies which deals with production of electromagnetic shielding material. Application of theoretical findings to practical utilize in commercial safety industry.

Keywords: EMC, operation shielding, magnetic field, electric field.

Pod'akovanie:

Táto práca je zásluhou milých a obetavých ľudí, ktorí mi pomáhali poskytovaním cenných rád a poznámok. Za pomoc pri teoretickej časti patrí moja Vďaka pánovi doc. RNDr. Vojtěchovi Křesálkovi a za pomoc v praktickej oblasti ďakujem Ing. Michalovi Smolovi.

Ďakujem svojim rodičom, ktorí so mnou mali trpezlivosť a porozumenie.

Na existencii tejto práce má neodmysliteľný podiel Bc. Josef Beníček, ktorý ma podporoval od hlavného nadpisu až po poslednú bodku.

Ďakujem.

Prehlasujem, že som na celej diplomovej práci pracovala samostatne a použitú literatúru som citovala.

V Zlíne

.....

Podpis diplomanta

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>I TEORETICKÁ ČASŤ</b> .....	<b>10</b>
<b>1 HISTORICKÝ VÝVOJ A DELENIE PROBLEMATIKY EMC</b> .....	<b>11</b>
1.1    OBECNÉ ROZDELENIE .....	11
1.2    ZÁKLADNÉ ROZDELENIE EMC.....	13
1.2.1    Elektromagnetická interferencia EMI .....	13
1.2.2    Elektromagnetická susceptibilita.....	13
1.3    ZÁKLADNÉ POJMY V OBORE EMC .....	14
1.3.1    Finančné kritérium .....	15
<b>2 RUŠIVÉ SIGNÁLY A ICH ZDROJE</b> .....	<b>17</b>
2.1    PRIEMYSELNÉ ZDROJE RUŠENIA.....	18
2.2    ZDROJE NAPĀŤOVÉHO PREPĀTIA.....	19
2.3    ZDROJE KONTINUÁLNEHO (SPOJITÉHO RUŠENIA) .....	20
2.4    ZVLĀŠTNE ZDROJE RUŠENIA .....	20
<b>3 SPŔSOBY OBMEDZENIA RUŠENIA</b> .....	<b>21</b>
3.1    ELEKTROMAGNETICKÉ TIENENIE .....	21
3.1.1    Základné charakteristiky .....	22
3.1.2    Účinnosť elektromagnetického tienenia.....	24
3.1.3    Celková účinnosť tienenia elektromagnetického poľa.....	26
<b>4 KONŠTRUKCIA TIENIACICH KRYTOV, VPLYV NETESNOSTÍ NA ÚČINNOSŤ TIENENIA</b> .....	<b>27</b>
4.1.1    Priechody v kovovom tienení na princípe podkritického vlnovodu.....	28
4.1.2    Štrbiny, netesnosti a spoje.....	28
4.1.3    Tienenie koaxiálnych káblov.....	30
<b>5 MERANIE RUŠIVÝCH SIGNÁLOV</b> .....	<b>32</b>
5.1    MERANIE S UMELOU SIEŤOU AMN.....	33
5.2    MERANIE S NAPĀŤOVOU SONDOU.....	33
5.3    MERANIE S PRÚDOVOU SONDOU.....	34
5.4    MERANIE S ABSORPČNÝMI KLIEŠŤAMI.....	34
5.5    MERANIE POMOCOU ANTĚN.....	35
5.5.1    Meranie anténami .....	36
<b>6 ELEKTROMAGNETICKĀ ODOLNOSŤ A JEJ TESTOVANIE</b> .....	<b>40</b>
6.1    DELENIA ELEKTROMAGNETICKEJ ODOLNOSTI.....	40
6.2    TESTOVANIE ODOLNOSTI EMS .....	42
6.2.1    Vstupy rušivých signálov do skúšaného zariadenia .....	42
6.2.2    Skúšobné signály pre skúšky elektromagnetickej odolnosti .....	42
6.2.3    Typy skúšok: .....	43

<b>7</b>	<b>NORMALIZÁCIA V OBLASTI EMC .....</b>	<b>48</b>
<b>8</b>	<b>TIENIACE PRODUKTY NA TRHU .....</b>	<b>50</b>
8.1	PRODUKTY .....	50
8.2	VÝROBNÝ MATERIÁL.....	53
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČASŤ .....</b>	<b>54</b>
<b>9</b>	<b>PRAKTICKÁ ČASŤ .....</b>	<b>55</b>
9.1	SMEROVÁ ANTÉNA HE 200 .....	55
9.1.1	Popis antén .....	56
9.1.2	Vlastnosti smerovej antény .....	56
9.2	SPEKTRÁLNY ANALYZÁTOR.....	57
9.2.1	Základné vlastnosti.....	58
9.2.2	Popis spektrálneho analyzátoru .....	59
<b>10</b>	<b>PRAKTICKÉ MERANIE ODOLNOSTI EMC .....</b>	<b>61</b>
10.1	MERANIE 1 - MERANIE TIENIACEJ ÚČINNOSTI S VYUŽITÍM VONKAJŠÍCH ZDROJOV SIGNÁLU .....	62
10.1.1	Meranie úrovne signálu .....	62
10.1.2	Tieniaca účinnosť .....	63
10.1.3	Diskusia.....	65
10.2	MERANIE 2 - MERANIE ROZLOŽENIA INTENZITY ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA V MIESTNOSTI .....	65
10.2.1	Rozloženie intenzity poľa v miestnosti .....	65
10.2.2	Intenzita poľa .....	66
10.2.3	Diskusia.....	69
10.3	MERANIE 3 – ZÁVISLOSŤ TIENIACEJ ÚČINNOSTI NA FREKVENCII.....	69
10.3.1	Závislosť tieniacej účinnosti na frekvencii .....	69
10.3.2	Diskusia.....	72
10.4	DISKUSIA MERANIA .....	72
	<b>ZÁVER .....</b>	<b>74</b>
	<b>ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY .....</b>	<b>75</b>
	<b>ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....</b>	<b>76</b>
	<b>ZOZNAM OBRÁZKOV .....</b>	<b>77</b>
	<b>ZOZNAM TABULIEK .....</b>	<b>80</b>
	<b>ZOZNAM PRÍLOH.....</b>	<b>81</b>

## ÚVOD

Pojem elektromagnetická kompatibilita (EMC) možno chápať v dvoch rovinách; vedný obor alebo vlastnosť systému. Ako vlastnosť vyjadruje pojem EMC schopnosť súčasnej správnej funkcie, koexistencie zariadení či systémov nachádzajúcich sa v spoločnom magnetickom prostredí bez závažného ovplyvňovania ich normálnych funkcií.

S prudkým rozvojom elektroniky, hlavne mikroprocesorovej a komunikačnej techniky nadobúda problematika EMC veľkého významu v celosvetovom meradle. Odvrátenou stránkou tohto viac-menej neúmyselného ovplyvňovania činnosti elektronických zariadení je problematika aktívneho využitia elektromagnetického žiarenia ako zbraňového prostriedku k úmyselnej eliminácii elektronických zariadení a systémov.

Elektromagnetické nebezpečie zahŕňa prostriedky a systémy využívajúce technológiu generujúcu riadené výkonové elektromagnetické pulzy, ktoré spôsobujú narušenie činnosti alebo deštrukciu elektronických obvodov zariadení. To môže spôsobiť narušenie či úplné vyradenie väčšej prevádzky informačných, komunikačných, riadiacich, kontrolných a ďalších elektronických prostriedkov.

Ďalšou oblasťou využiteľnosti poznatkov z oboru EMC je ochrana utajovaných skutočností (OUS). Medzi pasívne stránky tejto ochrany patrí schopnosť zabezpečiť elektronické prostriedky, priestory a objekty takým spôsobom, aby sa znížila úroveň elektromagnetického vyžarovania z používaných informačných a komunikačných zariadení (PC, monitory, kabeľy, ...) a tým sa znížilo riziko zachytenia informácií, ktoré týmto spôsobom môžu unikať. Aktívnou stránkou využitia problematiky EMC môže byť vývoj a použitie špeciálnych zariadení, schopnosť zamerať zdroj vyžarovania elektromagnetického žiarenia zo zariadenia spracúvajúceho citlivé informácie, túto informáciu vo vyžarovanom spektre zachytiť a odkryť. V rámci OUS ide o vyhľadávanie v objektoch odpočívacie zariadenie na základe jeho elektromagnetického (EM) vyžarovania [5].

Možnosti využitia poznatkov EMC je nutné realizovať v podmienkach vysoko špecializovaných vývojových a testovacích pracovísk EMC. Môžu to byť pracoviská špecializované iba na testovaciu činnosť - meranie elektromagnetickej interferencie (EMI) a elektromagnetickej odolnosti (EMS), ale i pracoviská zamerané priamo na výskum, vývoj, realizáciu techniky spojenej s oblasťou EMC (návrh, realizácia EM tienenia, podpora pri konštrukcii elektronických prostriedkov, vývoj a testovanie EM zbraní).



Pre správne pochopenie problematiky elektromagnetickej kompatibility je nutné poznať základné pojmy, chovanie vln v priestore, ako možno elektromagnetické vyžarovanie merať, atď., a to je úlohou tejto diplomovej práce.

Cieľom tejto práce je vniknutie do problematiky na základe zmerania tieniacich účinkov materiálu, ktorým je chránená laboratórna miestnosť na FAI UTB v Zlíne. Zhodnotenie nameraných výsledkov, resp. navrhnutie možného zlepšenia tieniacej účinnosti. Aplikovanie teoretických poznatkov do praktického využitia v Priemysle komerčnej bezpečnosti.

## **I. TEORETICKÁ ČASŤ**

## 1 HISTORICKÝ VÝVOJ A DELENIE PROBLEMATIKY EMC

„Electromagnetic Compatibility (EMC)“ = elektromagnetická kompatibilita vyjadruje schopnosť správnej koexistencie zariadení či systémov nachádzajúcich sa v spoločnom elektromagnetickom prostredí bez závažného ovplyvňovania ich normálnych funkcií.

Vedecká disciplína zaoberajúca sa problematikou EMC vznikla iba v šesťdesiatych rokoch 20. storočia v USA a 10-15 rokov bola predmetom záujmu iba úzkeho okruhu odborníkov v elektronike, pracujúcich vo vojenskom či kozmickom priemysle.

Jeden zo zakladateľov elektromagnetickej kompatibility ako samostatného oboru v roku 1968 povedal: *„Systém sám o sebe môže byť dokonale spoľahlivý – bude však prakticky bezcenný v prevádzke, pokiaľ súčasne nebude elektromagneticky kompatibilný. Spoľahlivosť a elektromagnetická kompatibilita sú neoddeliteľné požiadavky na systém, ktorý má fungovať v každej dobe a za všetkých okolností“*.

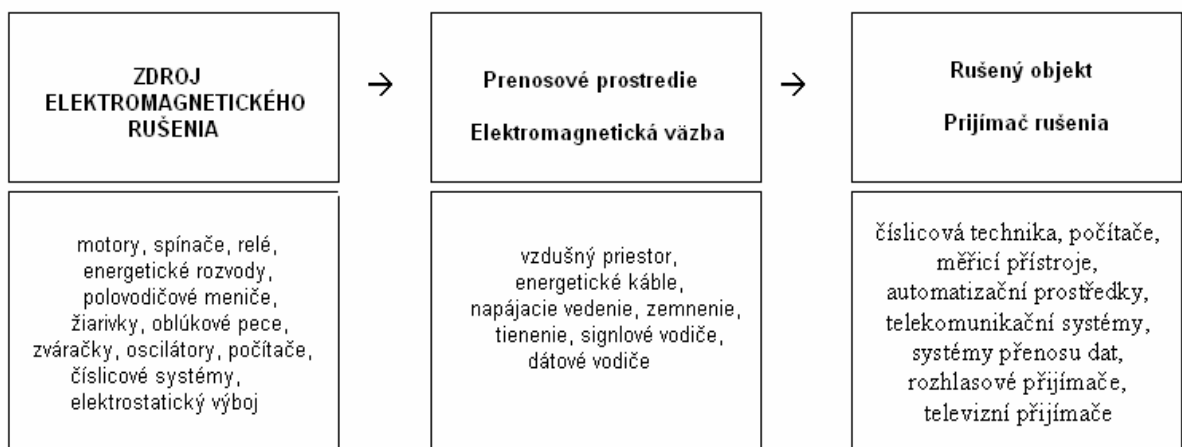
Zvyšujúci sa počet elektrických a elektronických zariadení spolu s rozširovaním všetkých typov telekomunikačných a rádiokomunikačných služieb má za následok vznik a nežiaduce pôsobenie rôznych druhov rušivých elektromagnetických signálov. Tieto signály sťažujú či dokonca znemožňujú nielen funkciu okolitých citlivých prijímačov ale ovplyvňujú i zariadenia ako napr. výpočtová a zdravotnícka technika či technika pre prenos dát. I to je základným dôvodom zvyšujúceho sa záujmu odbornom i laickom verejnosti o problematiku elektromagnetickej kompatibility - EMC. Táto problematika je zlúčenie vedných, technických i aplikačných poznatkov zo všetkých oblastí elektrotechniky a elektroniky: silnoprúdovú elektrotechniku a elektroenergetiku, rádiovú komunikáciu a telekomunikáciu, informačnú techniku vrátane softwarového inžinierstva, meraciu a automatizačnú techniku, analógovú, číslicovú a mikroprocesorovú techniku, techniku antén, šírenia a prijímania elektromag. vln, vysokofrekvenčnú a mikrovlnovú techniku, lekársku elektroniku,... EMC má významné finančné a ekonomické aspekty [1].

### 1.1 Obecné rozdelenie

Elektromagnetická kompatibilita EMC je schopnosť zariadenia, systému či prístroja vykazovať správnu činnosť i v prostredí, v ktorom pôsobia iné zdroje elektromag. signálov (prírodné či umelé). Naopak svojou vlastnou činnosťou neovplyvňujú svoje okolie (nevyžarujú signály, rušivé pre iné zariadenia).

EMC biologických systémov – skúmanie elektromagnetického pozadia nášho životného prostredia a prípustné úrovne rušivých a užitočných elektromagnetických signálov (prírodných i umelých) spolu s ich vplyvmi na živé organizmy. Biologické účinky elektromag. poľa závisia na jeho charaktere, dobe pôsobenia i na vlastnostiach organizmu. Problematika EMC je i problematikou lekárskeho odvetvia, pri skúmaní odolnosti ľudského organizmu voči elektromag. vplyvom - vyhláška ministerstva zdravotníctva ČR č.408/1990 Zb. Presne stanovuje požiadavky pre prácu a pobyt osôb v elektromagnetickom poli.

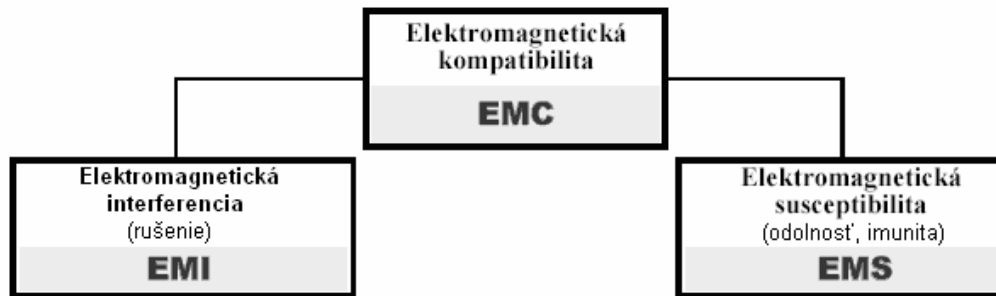
EMC technických systémov a zariadení – ide o vzájomné pôsobenie a koexistenciu technických prostriedkov, hlavne elektrotechnických a elektronických prístrojov, prostriedkov a zariadení. Pri skúmaní EMC daného systému vychádzame vždy z tzv. ZÁKLADNÉHO REŤAZCA EMC:



Obr. 1. Základný reťazec EMC [1]

- Zdroje elektromagnetického rušenia: patria sem obecné otázky skúmania mechanizmov, vznikov rušenia, charakterov a intenzity. Patria sme prírodné zdroje – slnko, kozmický priestor, elektrické procesy v atmosfére,... i umelé zdroje, vytvorené ľudskou činnosťou, ako napr. Zapaľovacie systémy, elektrické motory,...apod.
- Elektromagnetické prenosové prostredie a väzby: spôsoby a formy cesty energie zo zdroja rušenia do rušených objektov.
- Rušené objekty a prenosové väzby: podrobná klasifikácia rušivých účinkov z konštruktívneho a technologického hľadiska a z toho plynúca odolnosť týchto objektov.

## 1.2 Základné rozdelenie EMC



Obr. 2. Základné členenie problematiky EMC

### 1.2.1 Elektromagnetická interferencia EMI

– rušenie = proces, pri ktorom sa signál generovaný zdrojom rušenia prenáša prostredníctvom elektromagnetickej väzby do rušených systémov. EMI sa zaoberá príčinami a odstraňovaním rušenia, identifikáciou zdrojov rušenia, popisom a meraním rušivých signálov a identifikáciou parazitných prenosových ciest.

### 1.2.2 Elektromagnetická susceptibilita

–odolnosť, imunita = elektromagnetická citlivosť na rušenie, resp. jej odolnosť, aby zariadenie či systém mohol pracovať bez porúch v rušivom prostredí. EMS sa zaoberá technickými opatreniami odstraňovania dôsledkov rušenia.

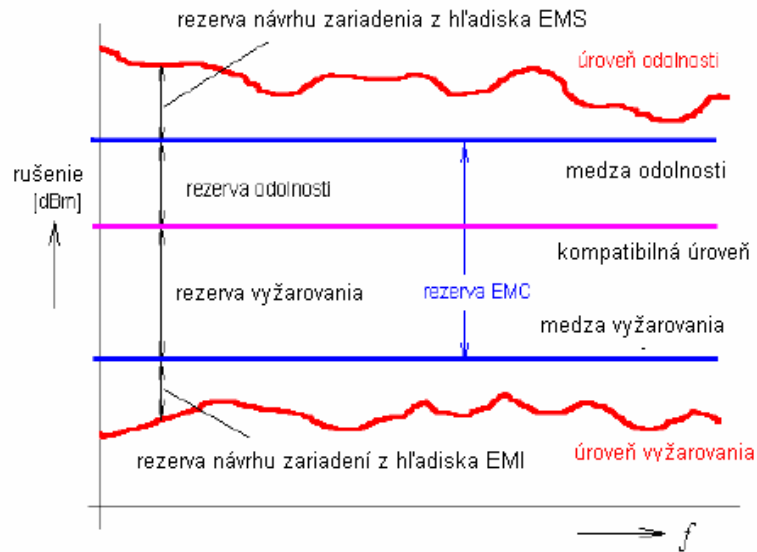
Vo všetkých priemyselných zemiach dosiahla z ekonomických dôvodov EMC svoju normalizáciu od 1.1.1996 platí v zemiach EU direktíva č.89/336/EEC, stanovujúca obecné požiadavky EMC.

Špeciálne aspekty EMC – vo vojenskej oblasti ide o bojaskopnosť zložitých elektronických vojenských zariadení a súčasne o vplyv ich elektromagnetickej činnosti na civilný sektor. Pri termíne rádielektronický boj ide vlastne o narušovanie EMC protivníckovej techniky.

### 1.3 Základné pojmy v obore EMC

Každé elektrotechnické zariadenie je súčasne zdrojom i prijímačom elektromagnetického rušenia, pre každé takéto zariadenie definuje Medzinárodný elektrotechnický slovník ČSN IEC 50 niektoré základné pojmy: [1], [12], [9]

- Elektromagnetické vyžarovanie – jav, pri ktorom vychádza elektromagnetická energia zo zdroja.
- Odolnosť proti rušeniu – schopnosť zariadenia či prístroja pracovať bez zmeny vlastností v prostredí obsahujúcom elektromagnetické rušenie.
- Úroveň – veľkosť veličiny vyhodnotenej predpísaným spôsobom.
- Úroveň rušenia – úroveň daného elektromagnetického rušenia meraného predpísaným spôsobom.
- Úroveň vyžarovania (UV) – rušenie generované konkrétnym zariadením, merané v [dBm] v závislosti na kmitočte.
- Medza vyžarovania (MV) - maximálna prípustná úroveň vyžarovania daného zariadenia. Rozdiel úrovne a medze = rezerva návrhu zariadenia z hľadiska EMI.
- Úroveň odolnosti (UO) – max. úroveň rušenia, pri ktorej ale nenastane zhoršenie prevádzky zariadenia.
- Medza odolnosti (MO)– najnižšou normou požadovaná úroveň odolnosti zariadenia. Rozdiel úrovne a medze = rezerva návrhu zariadenia z hľadiska odolnosti.
- Kompatibilná úroveň = max. predpísané úrovne celkového rušenia.
- Potlačenie rušenia – opatrenie, ktoré znižuje či odstraňuje elektromagnetické rušenie.
- Odrušovanie – opatrenie k zoslabeniu či odstráneniu elektromagnetickej interferencie.
- Anténa – zariadenie s oblasťou prechodu medzi elektromagnetickým vlnením šíriacim sa pozdĺž vedenia napájacieho a elektromagnetickým vlnením vo voľnom priestore či naopak, ide o určitý typ transformátoru.

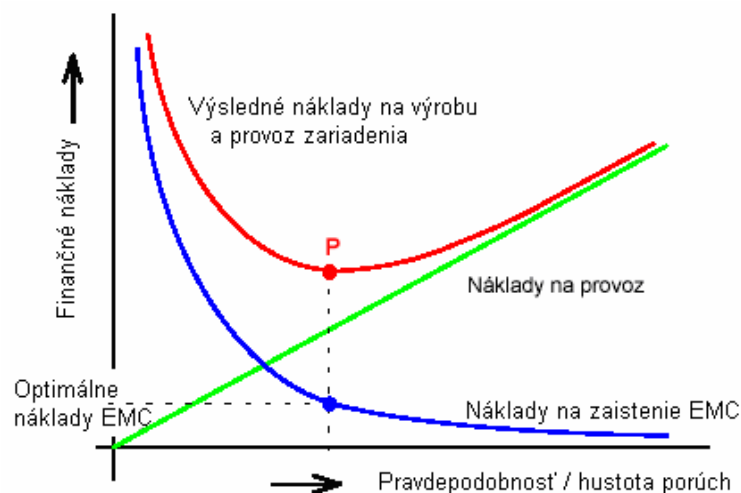


Obr. 3. Úrovne a medze vyžarovania a odolnosti

Na obr.3 sú znázornené základné vzťahy medzi uvedenými jednotlivými úrovňami a medzami rušenia. Požiadavkou je, aby  $UV < MV$ ,  $UO < MO$  a  $MO > MV$ . Rezervy návrhu však nesmú byť ani príliš vysoké ani nízke.

### 1.3.1 Finančné kritérium

Zobrazenie typického priebehu finančných nákladov na výrobu a prevádzku určitého technického zariadenia v závislosti na pravdepodobnosti poruchy či hustote porúch zariadení je zobrazené na obr.4.



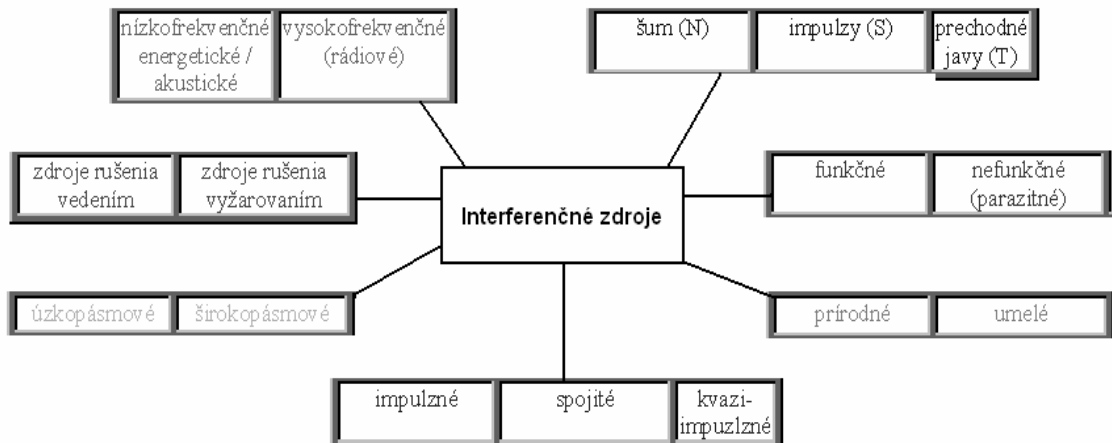
Obr. 4. Optimalizácia finančných nákladov pre zaistenie EMC zariadenia

Náklady na údržbu štandardnej prevádzky zariadenia lineárne rastú so zvyšujúcou sa hustotou jeho porúch. Pravdepodobnosť porúch je nepriamo úmerná veľkosti investícií vložených do zabezpečenia EMC zariadení. Celkové náklady na výrobu sa prevádzku daného zariadenia chápané ako súčet oboch týchto položiek dosahujúcich svojej minimálnej hodnoty v bode P. Investície do zabezpečenia EMC daného zariadenia je teda vhodné voliť tak vysoké, aby celkové náklady na zariadenie dosiahli práve svojej minimálnej hodnoty v tomto bode. Presnú hodnotu bodu P však nemožno exaktne vypočítať. Možno sa však obrátiť na štatistiky a skúsenosti z vývoja, výroby a prevádzku konkrétneho zariadenia.



## 2 RUŠIVÉ SIGNÁLY A ICH ZDROJE

Interferenčné zdroje = skupina systémov, u ktorých proces generovania rušivých signálov vysoko prevláda nad nežiaducim prijímom. Členíme ich na: [1], [12], [9]



Obr. 5. Interferenčné zdroje

- Umelé = zdroje vzniknuté ľudskou technickou činnosťou.
- Prírodné = väčšinou z nich nemožno zabrániť iba predchádzať ich následkom.
- Funkčné = základ funkcie jedného systému a ovplyvňovateľ iného systému.
- Nefunkčné = pri svojej činnosti produkujú nežiaduce pole.
- Impulzné = časová postupnosť jednotlivých impulzov.
- Spojité = postupnosť predchádzajúcich javov pôsobí nepretržite.
- Kvázi - impulzívne = kombinácia spojitého a impulzívneho rušenia.
- Úzkopásmové = signály rozhlasových a televíznych vysielačov.
- Širokopásmové = priemyselné rušivé signály.

Užívanou klasifikáciou umelých rušivých signálov je rozdelenie do troch základných skupín:

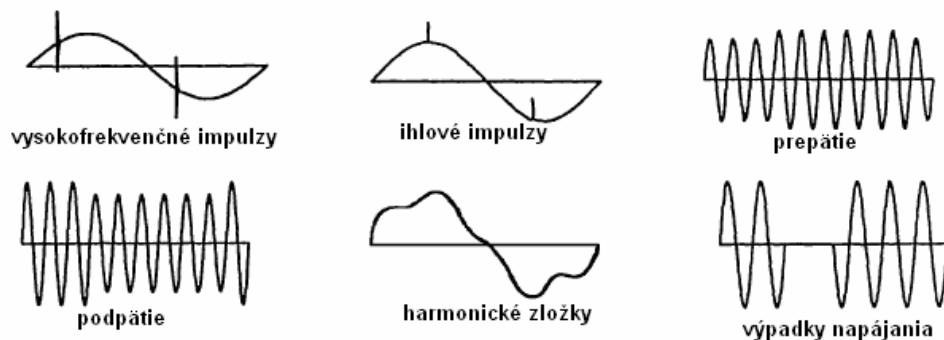
- Šum = rušivý signál ovplyvňujúci tvar užitočného signálu, má periodický charakter.
- Impulz = rušivý signál impulzného charakteru s veľkým pomerom impulzov k dobe ich trvania.

- Prechodné javy = náhodné jednorazové rušivé signály s dobou trvania od niekoľkých milisekúnd do niekoľkých sekúnd.
- Úzkopásmové = "užitočné" signály rozhlasových a televíznych vysielačov.
- Širokopásmové = priemyselné rušivé signály s časovým priebehom spojitým alebo kvázi - impulzným.
- Nízkočfrekvenčné = energetické – pôsobí na napájaciu energetickú sústavu a spôsobuje deformáciu napájacieho napätia
  - = akustické – ovplyvňuje funkciu prenosových informačných sústav.
- Vysokofrekvenčné = rádiové – ležia v pásme 10kHz – 400GHz, patria sem všetky existujúce interferenčné zdroje.
- Zdroje rušenia vedením či vyžarovaním – podľa toho či sa rušivý signál šíri vyžarovaním (priestorom) alebo po napájacích či komunikačných vedeniach.

## 2.1 Priemyselné zdroje rušenia

Z periodických spojitých rušivých signálov sú najdôležitejšie harmonické zložky (pretože sa stále vytvárajú) kmitočtu napájacej siete 50 Hz, produkované generátormi pri výrobe ele. energie (napr. TV prijímače).

Rušivé napätia v napájacjej energetickej sieti sa prejavujú deformáciami napájacieho napätia 50 Hz.



Obr. 6. Prejavy rušivých signálov v sieťovom napájacom napätí

V napájacích sieťach sa vyskytuje tiež rada prechodových javov spojených so spínacími či rozpínacím pochodmi mechanických či elektrických spínačov. Vplyvom kapacity a indukčnosti spínacích vedení dochádza k vysokofrekvenčným osciláciám pri zapínaní, ľahko sa šíria i do sietí nízkeho napätia.

Prepät'ové impulzy možno odstrániť zaistením pomalšieho nárastu napätia medzi kontaktmi spínača, aby jeho veľkosť nepresiahla priraznú pevnosť vzduchu (použitie štandardných prepät'ových ochrán - diód, varistorov, tyristorov či triakov).

Rušenie v usmerňovačoch diódového typu hlavne v systémoch tyristorového riadenia výkonových priemyslových zariadení, napr. tramvajou, trolejbusov, lokomotív, u výťahov,....., pretože dochádza k spínaniu veľkých prúdov. Rušivé napätia majú podobu periodicky sa opakujúcich impulzov, značne deformujúcich priebeh napájacieho napätia.

Silné rušivé účinky vykazujú i vonkajšie energetické vedenia. Korónové výboje, u vedenia veľmi vysokého napätia na nerovnostiach vodičov, na armatúrach a zariadeniach rozvodní. Ide o dútnavý výboj, kde spektrálne zložky nepresahujú 10 MHz. Veľkosť výboja sa zvyšuje za vlhka [1].

Ďalším typom sú kapacitné výboje typické pre vedenie vysokého napätia, vznikajúce na nedokonalom spojení kovových predmetov v tesnej blízkosti častí vedenia pod napätím.

Iné typy elektrických výbojov – žiarivky, osvetľovacie výbojky alebo zapal'ovacie obvody zážihových spaľovacích motorov.

## 2.2 Zdroje napät'ového prepätia

Základnou príčinou rastúcej poruchovosti a klesajúcej odolnosti elektronických zariadení proti prepät'iu je rastúca hustota súčiastok v elektronických obvodoch.

- PRIRODNÉ zdroje prepätia– bleskový výboj, ohrozuje elektrické a elektronické zariadenia do vzdialenosti 4 km. Vybíjanie atmosférickej elektriny bleskom spôsobuje vznik strmého elektromagnetického impulzu LEMP (200kA), ten má voči zariadeniam deštruktívne účinky. Pri zasiahnutí bleskom nepreteká impulz prúdu iba hromozvodom, ale tiež kovovými konštrukciami budovy v blízkosti elektronických zariadení. Okrem magnetického poľa indukuje tiež sekundárne napät'ové rázy. Nepriamym účinkom blesku je zavlčenie napät'ového rázového impulzu z vonkajšieho vedenia do vnútorného silového rozvodu budovy, dôležitá je inštalácia prepät'ovej ochrany – bleskoistky, varistory.

- UMELEÉ zdroje prepätia – patria sem všetky spínacie zariadenia. Rozhoduje veľkosť prúdu a napätia, kvalita spínacích prvkov, rýchlosť spínacieho procesu, impedančný pomer v energetickej sieti.

Lokálny elektrostatický výboj (ESD) – výskyt všade tam, kde je trecí pohyb mechanických častí.

### **2.3 Zdroje kontinuálneho (spojitého rušenia)**

Najznámejšími zdrojmi sú rozhlasové a televízne vysielacie, príp. radarové vysielacie. Problém je buď vo vyžarovaní alebo parazitnom injektovaní do káblových a iných vedení.

CB rádio – neverejná rádiokomunikačná služba, ide o prekročenie vyžarovaného výkonu pomocou zosilňovača v anténe.

Iným rozširujúcim sa zdrojom elektromagnetického spojitého rušenia sú systémy pre spoločný rozvod rozhlasových a TV signálov – spoločné antény, káblové TV rozvody,...Širokopásmové rádiové systémy sú používané i v leteckej službe, družicovej meteorologickej službe i amatérskej rádiokomunikačnej službe. Pri vyžarovaní káblových rozvodov sa podieľa presakovanie signálu plášťom súosia káblov alebo netesnosti prvkov rozvodov, a tak ako sa signál dostáva von a ruší, vniká rušivý signál i dovnútra.

### **2.4 Zvláštne zdroje rušenia**

Nukleárny elektromagnetický impulz NEMP- sprievodný jav jadrového výbuchu. Výkonový impulz je veľmi strmý a deštruktívny pre systémy. Dosah závisí na výške explózie nad zemou a typu jadrovej nálože.

Rušenie mimozemského pôvodu – pôsobenie slnka (vplyv erupcií vo fotosfére) – kozmické žiarenie (rušivé pozadie v oblasti vysokých kmitočtov).

### 3 SPÔSOBY OBMEDZENIA RUŠENIA

Rušenie možno obmedzovať vo všetkých troch oblastiach základného reťazca. Najvhodnejšie je však potlačenie priamo pri zdroji, čím odbúrime rušenie vyšetřovaného prijímača i iných objektov rušených v budúcnosti [1],[12].

Stáva sa, že na vstup zariadenia prichádza spolu s užitočným signálom i rušenie, obe na rovnakom kmitočte, vtedy je zásah na zdroji jediným riešením.

Opačný prípad je ak je rušivý signál užitočný pre iný druh zariadenia (vysielanie vysieláča).

Prostriedky, ktoré nám dopomáhajú pri potlačení či obmedzení elektromagnetického rušenia nazývame odrušovacie prostriedky, patrí sem:

- a. odrušovacie tlmivky a jednoprvkové tlmivé filtre
- a. odrušovacie kondenzátory a kondenzátorové filtre
- a. odrušovacie filtre LC
- a. prepäťové ochranné prvky
- b. elektromagnetické, elektrické a magnetické tienenie.

Ich použitie závisí či sa jedná o rušenie po vedení - **a.** alebo vyžarovaním – **b.** Podmienkou správnej voľby odrušovacích prostriedkov je znalosť ich vlastností a parametrov ako i znalosť chránených obvodov a väzieb.

#### 3.1 Elektromagnetické tienenie

Elektromagnetické tienenie je najdôležitejšie z odrušovacích prostriedkov EMC, znižuje rušivé vyžarovanie na strane zdrojov rušivých signálov, zvyšuje odolnosť prijímačov signálov. Technické prostriedky, ktorými dosahujeme týchto cieľov nazývame tieniace kryty či tienenie. Tieniť môžeme súčiastky, funkčné bloky, ale i celé zariadenia. Ochranu tienením volíme až po vyčerpaní iných metód (optimálneho návrhu, konštrukcie,...). Elektromagnetické tienenie môžeme vyhodnocovať matematickými alebo experimentálnymi metódami. Ak poznáme konštanty ( $\mu_r$ ,  $\sigma$ ) daného materiálu (zväčša sa jedná o kovové materiály), možno získať matematický model účinnosti elektromagnetického tienenia [1].

Tab. 1. Tabuľkové hodnoty niektorých materiálov

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

legenda:

$\sigma$  - konduktivita (prevrátená hodnota vodivosti)

$\mu_r$  - permeabilita

### 3.1.1 Základné charakteristiky

Elektromagnetické tienenie možno charakterizovať tzv. *koeficientom tienenia*  $K_s$ , čo je pomer intenzity ele. a mag. poľa v bode tieniaceho priestoru k intenzite poľa dopadajúceho na tieniacu prepážku.

$$K_s = \frac{E_t}{E_i}; \frac{H_t}{H_i} \quad (1)$$

, kde:

$E_t$  – intenzita ele. poľa,

$H_t$  – intenzita mag. poľa,

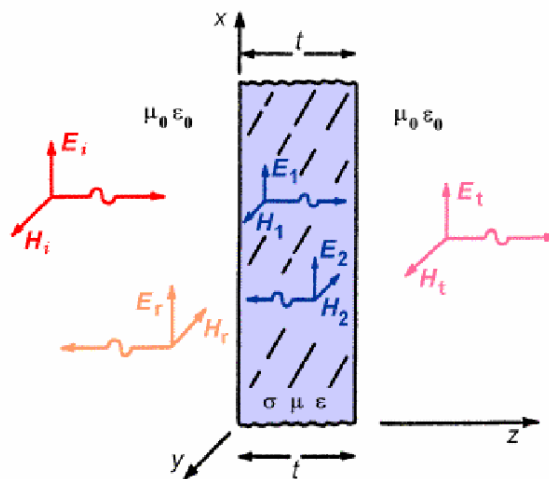
$E_i, H_i$  - intenzita poľa dopadajúca na tieniacu prepážku.

Logaritmická miera koeficientu tienenia- *efektívnosť tienenia* (Shielding Effectiveness)

$$SE = 20 \cdot \log \frac{1}{|K_s|} = 20 \cdot \log \left| \frac{E_i}{E_t} \right| \quad [dB] \quad (2)$$

$$SE = 20 \cdot \log \left| \frac{H_i}{H_t} \right|, \quad SE = 20 \cdot \log \left| \frac{E_i}{E_t} \right| \quad [dB] \quad (3)$$

Pri homogénnej vlne a faktu že je prostredie na oboch stranách tieniacej prepážky rovnaké, elektrické i magnetické polia sú vzájomne viazané rovnakou charakteristickou impedanciou prostredí, t. z. obidve definície  $SE$  (3) rovnaké. V opačnom prípade nemôžu byť výsledky týchto rovníc rovnaké.



Obr. 7. Kolmý dopad rovinatej elektromagnetickej vlny na kovovú tieniacu prepážku

Príkladom stanovenia účinnosti tienenia rovinatej kovovej tieniacej dosky je kolmo dopadajúca rovinná elektromagnetická vlna šíriaca sa v smere osy  $z$ .

Iné uhly dopadu zaručujú, že vlna, ktorá prejde do tieniacej prepážky a potom do tieniaceho priestoru je vždy menšia. Ak je však tieniaca prepážka tvorená dobrým kovom s vysokou špecifickou vodivosťou, prechádza rovinná vlna priamo kolmo k ploche bez ohľadu na uhol jej dopadu.

Ak chceme určiť efektívnosť tienenia podľa obr.7, musíme stanoviť zložky elektromagnetickej vlny prenikajúce do tienenej oblasti ( $z \geq t$ ), ak poznáme veľkosť dopadajúcej vlny  $E_i$ ,  $H_i$ ; parametre tieniacej prepážky ( $\sigma, \epsilon, \mu, t$ ) a parametre obklopujúceho prostredia ( $\epsilon_0, \mu_0$ ), využijeme k riešeniu systém Maxwellových rovníc. Tie sú vhodné pre okolité prostredie i pre kovové prostredie tieniacej prepážky. Zo vzťahu (1) pre koeficient tienenia potom odvodíme tento vzťah:

$$K_s = \frac{1}{\cosh \gamma \cdot \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{Z_0}{Z_M} + \frac{Z_M}{Z_0} \right) \operatorname{tgh} \gamma \right]} \quad (4)$$

,matematickými úpravami možno získať výraz pre účinnosť tienenia  $SE$  podľa definície (3)

$$SE = 20 \cdot \log \left| \frac{(Z_0 + Z_M)^2}{4Z_0 Z_M} \cdot e^{\gamma} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{Z_0 - Z_M}{Z_0 + Z_M} \right)^2 \cdot e^{-2\gamma} \right] \right| \quad (5)$$

$Z_0$  je charakteristická impedancia voľného prostredia pred a za tieniacou prepážkou

$Z_M$  je charakteristická impedancia vodivého prostredia prepážky

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi = 377\Omega \quad \text{a} \quad Z_M = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma}} \quad (6)$$

, veličina  $\gamma$  vo vzťahu (5) je konštanta šírenia rovinatej elektromagnetickej vlny vo vodi-  
vom prostredí tieniacej prepážky

$$\gamma = \sqrt{j\omega\mu\sigma} = (1 + j) \cdot \sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}} = \alpha + j\beta \quad (7)$$

### 3.1.2 Účinnosť elektromagnetického tienenia

Vzťah elektromagnetického tienenia (5)  $SE$  si teraz rozpíšeme do tvaru odpovedajúceho fyzikálnym mechanizmom vzniku tieniaceho efektu a vysvetlíme si ho:

$$SE \text{ [dB]} = R \text{ [dB]} + A \text{ [dB]} + M \text{ [dB]} \quad (8)$$

Útlm odrazom:

$R$  – vzniká vplyvom čiastočného odrazu energie vlny na impedančnom rozhraní medzi vzduchom s impedanciou  $Z_0$  a kovovou stenou prepážky s impedanciou  $Z_M$  a tak isto medzi kovovou stenou  $Z_M$  a vzduchom. Zo vzťahu (5) je jeho veľkosť v [dB] rovná:

$$R = 20 \cdot \log \left| \frac{(Z_0 + Z_M)^2}{4Z_0 Z_M} \right| = R_1 + R_2 \quad \text{[dB]} \quad (9)$$

,  $R_1$ ,  $R_2$  – útlm odrazom vlny na vstupnom (vzduch - kov) či výstupnom (kov - vzduch) rozhraní.

Absorpčný útlm:



A – vzniká pohltením časti energie elektromagnetickej vlny pri jej priechode tieniacou kovovou prepážkou o hrúbke  $t$  vplyvom tepelných strát. Zo vzťahu (5) je absorpčný útlm v [dB] rovný:

$$A = 20 \cdot \log |e^{-\gamma t}| = 20 \cdot \log e^{-\alpha t} = 20 \cdot \log e^{-\frac{t}{\delta}} \quad (10)$$

, veličina  $\delta$  - hĺbka vniku elektromagnetického poľa do kovového materiálu

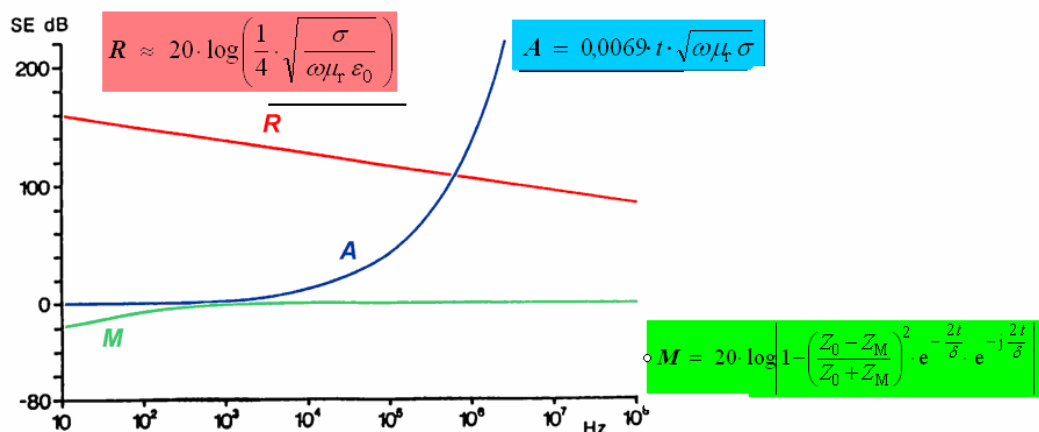
$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}} \quad (11)$$

Útlm vplyvom mnohonásobných odrazov:

M – vzniká opakovanými odrazmi na vstupe a výstupe tieniacej kovovej prepážky. Mnohonásobne odrazené vlny môžu mať veľký vplyv na celkovú účinnosť útlmu prepážky. Zo vzťahu (5) je útlm mnohonásobnými odrazmi v [dB] rovný:

$$M = 20 \cdot \log \left| 1 - \left( \frac{Z_0 - Z_M}{Z_0 + Z_M} \right)^2 \cdot e^{-\frac{2t}{\delta}} \cdot e^{-j \frac{2t}{\delta}} \right| \quad [dB] \quad (12)$$

Ak je tienenie z dobre vodivého kovu ( $Z_0 \gg Z_M$ ) a jeho hrúbka  $t$  je podstatne väčšia ako hĺbka vniku ( $t \gg d$ ), je  $M \gg 0$  dB a vplyv mnohonásobných odrazov na celkové tienenie možno zanedbať.



Obr. 8. Závislosť jednotlivých zložiek účinnosti tienenia na kmitočtovom priebehu

### 3.1.3 Celková účinnost' tienenia elektromagnetického poľa

Rozlišujeme účinok tieniacej prepážky vo vzdialenej zóne elektromagnetického poľa, kedy vlna v priestore vykazuje konštantnú charakteristickú impedanciu  $Z_0$ . Ak sa však nachádza tieniaca plocha v blízkej zóne, účinok tienenia sa silno mení. vzdialenosť zdroja vlnenia od tieniacej plochy  $r$  je menšia ako vlnová dĺžka  $\lambda$ , teda  $r \ll \lambda / 2\pi$ . V tejto zóne existuje stacionárne (priestorovo obmedzené) kvazistatické (blízke) elektrické alebo magnetické pole.

Blízke elektrické pole:

– blízke pole elektrického dipólu s char-kou impedanciou (= vysokoimpedančný zdroj).

$$Z_{0E} = \frac{1}{\omega \epsilon_0 r} = Z_0 \cdot \frac{\lambda}{2\pi r} > Z_0 \quad (12)$$

Útlm absorpcií a mnohonásobnými odrazmi nezávisí na type zdroja. Celková účinnost' tienenia sa teda zmení iba vďaka útlmu odrazom. Úpravou vzťahu (9) a dosadením impedancie  $Z_{0E}$  zo vzťahu (12) za  $Z_0$  dostaneme útlm odrazom elektrickej vlny:

$$R_E \approx 268 + 10 \cdot \log \frac{\sigma}{\mu_r \omega^3 r^2} \quad [dB] \quad (13)$$

Blízke magnetické pole:

- blízke pole magnetického dipólu s char-kou impedanciou (= nízkoimpedančný zdroj).

$$Z_{0H} = \omega \mu_0 r = Z_0 \cdot \frac{2\pi r}{\lambda} \ll Z_0 \quad (14)$$

, kde  $r$  je vzdialenosť zdroja od tieniacej prepážky. V blízkej zóne ( $r \ll \lambda / 2\pi$ ) je hodnota  $Z_{0H} < Z_0$ , odvodením zo vzťahu (6) dostaneme vzťah:

$$R_H \approx 20 \cdot \log \left( \frac{r}{4} \sqrt{\omega \sigma \mu_0} \right) \quad [dB] \quad (15)$$

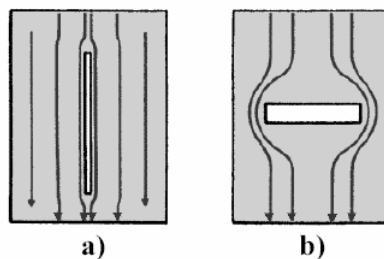
## 4 KONŠTRUKCIA TIENIACICH KRYTOV, VPLYV NETESNOSTÍ NA ÚČINNOSŤ TIENENIA

Tieniacci kryt musí okrem svojej úlohy plniť i ďalšie technické požiadavky, potrebné pre správny chod celého zariadenia, napr. správny tepelný režim – chladenie a vetranie; opraviteľnosť zariadenia – ľahká nerozobrateľnosť krytu; prístup k vstupom a výstupom;..., preto musí byť kompaktnosť, celistvosť a homogénnosť narušená [1], [11].

Vyplyva však problém – tieniaci kryt bude takto obsahovať radu nehomogenít, netesností a prerušení, to všetko môže úlohu tienenia narušiť. V praktickom prevedení sú to tieto oblasti:

- otvory, štrbiny a ďalšie otvorenie tieniacej plochy, sú to dvere, okná, vetracie otvory, štrbiny, netesnosti medzi jednotlivými kovovými plochami tienenia, vstupné otvory pre pripojené vedenie,...
- zle vodivé (vysokoimpedančné) časti tienenia, vodivo nedokonalé spojenia jednotlivých častí tienenia, nedokonalovo vodivé priehľadné plochy pre požiadavku vizuálnej kontroly zariadenia,...
- vonkajšie prírodné káble a prípojné vedenia, napájacie, signálové a dátové káble, ktorými sa môžu dostávať elektromagnetické rušivé signály do vnútorného priestoru tieniaceho krytu.

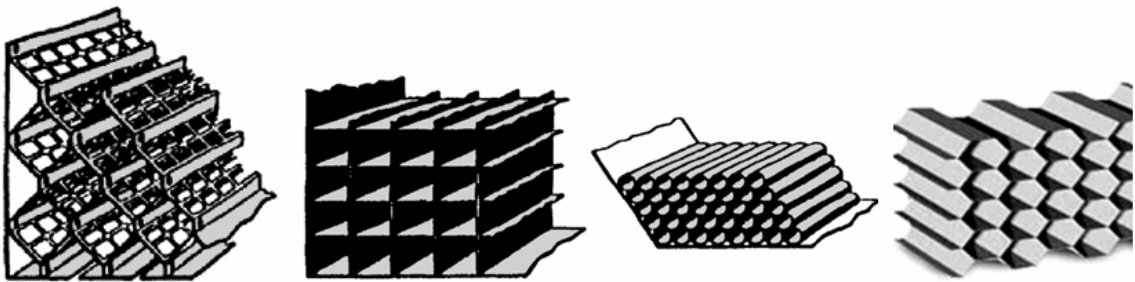
Dlhé štrbiny v kovovom tienení sa môžu chovať ako účinné štrbinové antény, ktoré môžu intenzívne vyžarovať a tým i znižovať účinnosť tienenia vid' obr.9.



Obr. 9. Orientácia nevyžarujúcej(a) a vyžarujúcej(b)štrbiny v kovovej tieniacej prepážke

#### 4.1.1 Priechody v kovovom tienení na princípe podkritického vlnovodu

Vlnovod prevádzaný pod svojím najnižším medzným kmitočtom – ide o zavedenie chránených priechodov pre implementáciu káblov či mechanických ovládacích prvkov dovnútra, atď. Na báze vlnovodových priechodov sa v technike EMC vyrábajú celé vetracie (priechodové) sekcie, vytvárajúce komínkovú štruktúru, ich prierezy môžu mať tvar kruhový, pravouhlý, hexagonálny priečny,... niektoré typy sú uvedené na obr. 10.



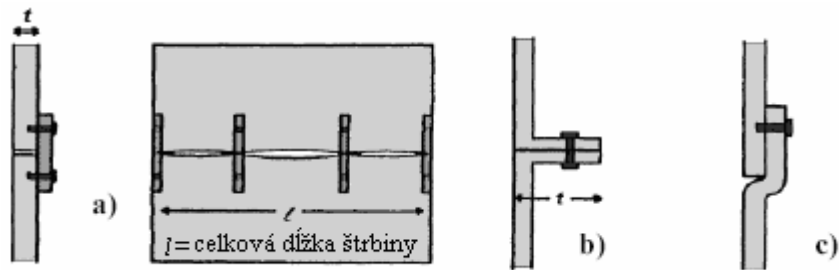
Obr. 10. Vetracie a priechodové sekcie tieniacich krytov

#### 4.1.2 Štrbiny, netesnosti a spoje

Okrem týchto úmyselne vytváraných prístupových, montážnych a iných otvorov vznikajú však vo všetkých tieniacich krytoch i neúmyselné a nechcené štrbiny a netesnosti, hlavne v miestach spojených plôch celkového kovového krytu (napr. neúplným opracovaním kovových dosiek tzv. spôsobom „na tupo“ vid' obr. 11 a).

Odstrániť účinok týchto netesností možno vylepšením spojov dosiek pomocou vzájomného dlhého prekrytia (vid' obr. 11 b,c). vznikne tzv. „podkritický vlnovod“ s dostatočnou dĺžkou  $t$ , tým nenastane narušenie celkovej účinnosti tienenia [1].

Iná možnosť zamedzenia netesností je použitím elastických, súčasne vysoko vodivých materiálov (pást, silikónu,...), ktoré sa nanášajú do miest spojení a mechanickým tlakom spojovaných častí vyplnia štrbiny medzi nimi. Využitie hlavne u krytov, ktoré je nutné často rozoberať, resp. u dverí je nutné zabezpečiť elektromagnetickú tesnosť, to sa dosiahne použitím pružinových kontaktov na pohyblivých častiach alebo perových nožových kontaktov.



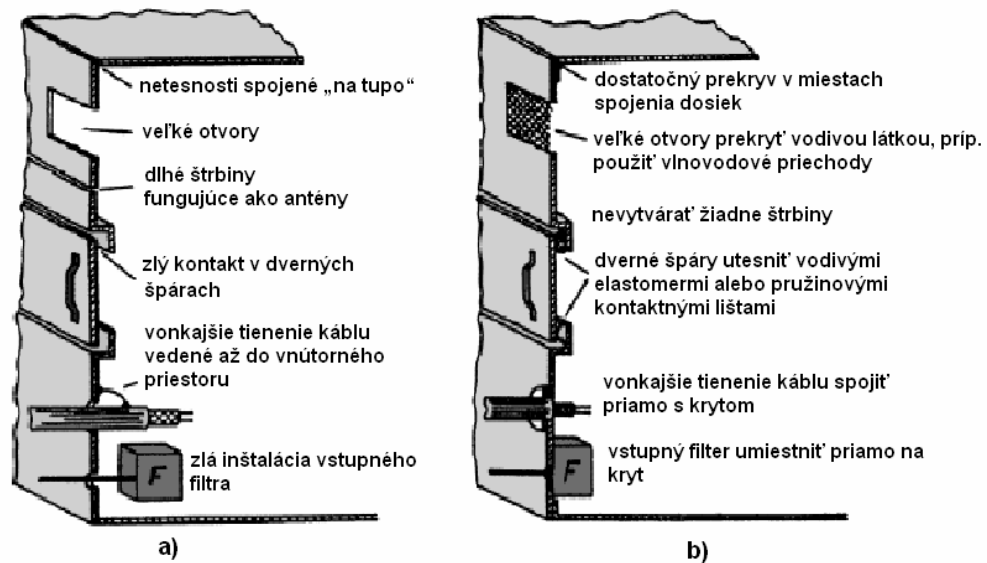
Obr. 11. Spôsoby zlepšenia elektromagnetickej účinnosti tesnenia pri spojení častí tieniaceho krytu „na tupo“ a) prekrytím spojovacích častí (b,c)

Dosahované účinnosti tienenia *SE* reálnych tieniacich krytov sú omnoho nižšie, čo odporuje teoretickým možnostiam o kovových tieniacich plochách. Na základe skúseností existuje kategorizácia tienenia podľa dosahovaných hodnôt ich účinnosti *SE*, ako ukazuje tabuľka.

Tab. 2. Hodnotenie elektromagnetického tienenia podľa hodnôt *SE*

Účinnosť tienenia [dB]	Katégorie
0 ÷ 10	Nedostatočné tienenie
10 ÷ 30	Tienenie pre minimálne požiadavky
30 ÷ 60	Tienenia dostačujúce pre väčšinu bežných požiadavkov
60 ÷ 90	Veľmi dobré tienenie
90 ÷ 120	Vysoko kvalitné tienenie

Ako by mala vyzerat' oprava chybne navrhnutej skrine, splňajúca ochranné elektromagnetické tienenie je ukázané na obr. 12:



Obr. 12. Zásady konštrukcie elektromagneticky tienených krytov:

a) chybná konštrukcia b) zlepšenie konštrukcie k dosiahnutiu vyššej účinnosti elektromagnetického tienenia

#### 4.1.3 Tienenie koaxiálnych káblov

Sú 2 typy technológie tieniaceho plášťa:

- kompaktný tieniaci plášť
- pletený tieniaci plášť

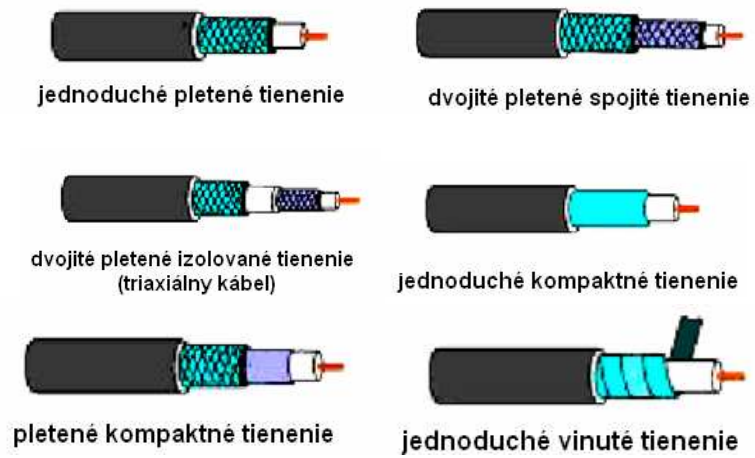
Prenosová väzbová admitancia = prienik úbytkového (parazitného) elektrického poľa pletením tieniaceho plášťa koaxiálneho kábla do vnútorného priestoru [1], [11].

Lepšieho tieniaceho efektu možno dosiahnuť pomocou koaxiálnych káblov s dvojitým tienením, resp. triaxiálne káble obsahujú tieniace plášte. Ľahká realizácia zasunutím tieniaceho kábla do kompaktnej kovovej trúbky. Oba tieniace plášte môžu byť galvanicky spojené.

Je nutné prihliadať i na konektorové priechody a prípojky, ich montáž musí byť elektromagneticky tesná k tieniacemu krytu zariadenia. Musia spĺňať:

- ich konštrukcia musí zaisťovať, aby pri spojovaní sa spojili i rozpojili najskôr „živé vodiče“ a až potom tieniace plášte konektorov.
- vnútorné časti konektora musia byť veľmi kvalitne izolované od vonkajšieho plášťa.

- celková konštrukcia musí odolávať všetkým pracovným podmienkam i rôznym zmenám.



*Obr. 13. Vyrábané koaxiálne káble*

## 5 MERANIE RUŠIVÝCH SIGNÁLOV

Najdôležitejšie pre praktické overenie dosiahnutého stupňa EMC navrhnutého (testovaného) zariadenia z hľadiska rušivého vyžarovania.

Prírodné zákonitosti nedovoľujú dosiahnuť absolútne dokonalú kompatibilitu akéhokoľvek zariadenia, človek však môže stanoviť maximálnu neškodnú hodnotu rušivých signálov pre rôzne typy zariadení.

Všetky prevádzané merania a testy musia byť reprodukovateľné a výsledky vzájomne porovnané. Všetky metódy, postupy či k tomu použité zariadenia musia byť špecifikované príslušnými medzinárodnými normami. Hlavným problémom je, že i samotné meracie zariadenie môže byť zdrojom či prijímačom rušivých signálov a pri meraní treba brať tento aspekt na vedomie. Riešenie je vo vhodnom usporiadaní a priestorového vybavenia meracieho pracoviska i jeho okolia [1].

Princíp či metóda merania rušivých signálov závisí v najväčšej miere od spôsobu ich šírenia:

1. prenos vedením
2. prenos elektrickou či magnetickou väzbou
3. prenos vyžarovaním elektromagnetických vln

Veličiny môžeme vzájomne prepočítavať, ich prevod je určený spôsobom a zariadením, ktorým danú veličinu môžeme zmerať.

Prehľad základným možností merania rušivých signálov na vedení:

- základným meracím prístrojom je MERAČ RUŠENIA MR – meria a vyhodnocuje všetky druhy elektromagnetických rušivých signálov, tie sú snímané vhodným snímačom – senzorom, ktorým sú prevedené na napätie. Ide o selektívny  $\mu\text{V}$  – meter (spektrálny analyzátor či špeciálny merací prijímač) pre požadovaný rozsah meracích kmitočtov (9kHz – 1GHz).

Meraná rušivá veličina je snímaná vhodným senzorom, ktoré sú v tejto oblasti zastúpené v podobe umelej siete = umelá záťaž. Druhy senzorov:

- umelá sieť (LISN), napäťová sonda, prúdová sonda (PS), absorpčné kliešte (AK) a pre meranie vyžarovaných rušivých signálov sa používajú rôzne typy antén.



Každé meracie zariadenie musí reagovať len na rušivé signály vychádzajúce z vyšetřovaného objektu – zdroja rušenia (ZO) a ignorovať ostatné signály.

## 5.1 Meranie s umelou sieťou AMN

Meranie s umelou sieťou AMN, označovanou tiež ako umelá záťaž vedenia (LISN) – sa používa k meraniu rušivých signálov, vznikajúcich v sieťovom elektrickom spotrebiči, ktoré z tohto spotrebiča vystupuje týmto napájacím vedením.

LISN obsahuje tri druhy svoriek; vstupné sieťové svorky pre pripojenie vonkajšej napájacej siete; výstupné sieťové svorky pre pripojenie skúšaného prístroja; výstupné prístrojové svorky pre pripojenie meracieho zariadenia (MR).

Funkcie LISN: prepojuje meracie zariadenie k premeriavanému prístroju (pre celý rozsah meraných kmitočtov) – funkcia sa nazýva horná priepusť a je zväčša tvorená oddeľovacím kondenzátorom; zaisťuje, že sa na vstup meracieho zariadenia dostanú len merané rušivé signály zo skúšaného objektu – funkcia sa nazýva dolná priepusť; zaisťuje prispôsobenie merača rušenia k výstupným prístrojovým svorkám a tiež definovanú hodnotu impedancie na výstupných svorkách – impedancia umelej siete, simuluje impedanciu príslušnej napájacej siete v danom pásme kmitočtov [1].

## 5.2 Meranie s napät'ovou sondou

Meranie s napät'ovou sondou sa využíva na meranie rušivých napätí na iných miestach než na napájacích svorkách skúšaného objektu, príp. tam, kde nemožno k meraniu použiť umelú sieť LISN. Vhodné pri skúškach a diagnostických meraniach EMC pri vývoji zariadení.



Obr. 14. Napät'ová sonda

### 5.3 Meranie s prúdovou sondou

Meranie s prúdovou sondou = prúdový transformátor alebo prúdové kliešte, slúži k meraniu rušivého elektrického prúdu pretekajúceho vodičom bez jeho prerušenia.



Obr. 15. Prúdová sonda

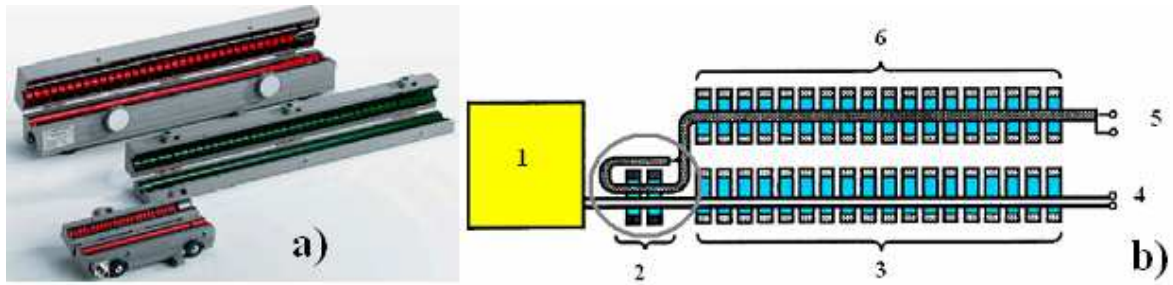
Charakteristické parametre prúdovej sondy sú:

- maximálny jednosmerný a nízkofrekvenčný primárny prúd,
- minimálna merateľná a maximálna prípustná veľkosť primárneho rušivého prúdu v prac. kmitočte,
- prenosová admitancia,
- impedancia sekundárneho obvodu sondy,
- kmitočtový rozsah použitia sondy obvykle 30 Hz – 100 Hz

Sonda povrchových prúdov – meriame ňou vysokofrekvenčné rušivé prúdy pretekajúce po kovovom povrchu, napr. tieniacich krytov či karosériách. Princíp spočíva vo vysokofrekvenčnom transformátore; primárne vinutie tvorí testovaný kovový povrch, ktorým preteká meraný prúd; sekundárne vinutie má tvar plochej cievky, ktorá sa prikladá izolovanou stranou k vodivému povrchu, tak aby MR indikoval maximálnu veľkosť rušivého prúdu. Sonda je posúvaná a celkový súčet je hľadaná hodnota. Používané kmitočtové pásmo je 100 kHz – 100 MHz [1].

### 5.4 Meranie s absorpčnými kliešťami

Meranie s absorpčnými kliešťami – kombinácia širokopásmovej vysokofrekvenčnej prúdovej sondy a feritového absorbéru. Pracujú s kmitočtom  $30 \div 1000$  MHz pre meranie výkonu rušivého signálu, šíriaceho sa zo skúšaného objektu pripojenými káblami a vedením. Kliešte sú tvorené asi 60 feritovými krúžkami okolo káblu skúšaného i meracieho, čo pôsobí ako širokopásmový absorbér rušivého signálu i ako stabilizátor impedancie káblu [1].



Obr. 16. a) Absorpčné kliešte, b) konštrukcia absorpčných klieští:

1- skúšaný objekt, 2- prúdový transformátor, 3- feritové absorbéry pre hlavné vedenie, 4- svorky pre napájanie, 5- svorky pre meranie rušenia, 6- feritové absorbéry pre meracie káble.

## 5.5 Meranie pomocou antén

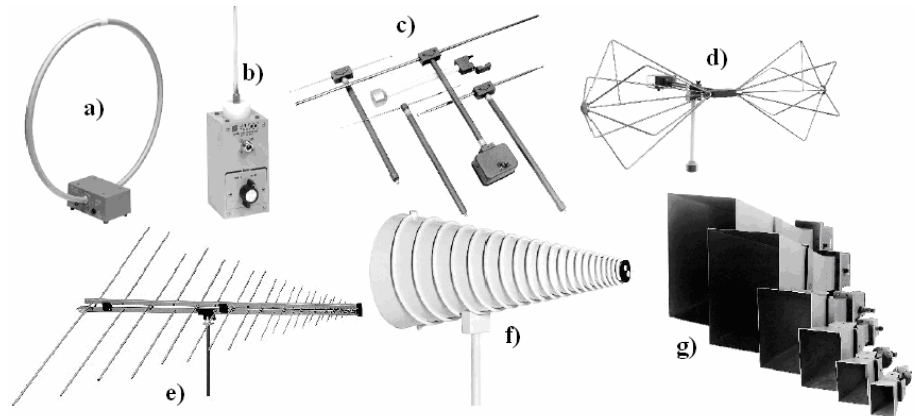
Meranie pomocou antén, využíva sa pre rušivé signály vyžarované zariadením do okolitého priestoru na kmitočtoch 10 – 1000 kHz sú merané pomocou meracích antén. Meranie rušivých napätí či prúdov na vysokých kmitočtoch je veľmi problematické i nemožné [1], [7].

Typy antén:

Tab. 3. Typy antén

Typ antény	Rozsah antény	Meraná zložka
Feritová - rámová anténa	9 kHz - 30 MHz	H
Nesymetrická - prúdová anténa	9 kHz - 30 MHz	H, E
Symetrická dipólová anténa	30 MHz - 1 GHz	E
Bikónická anténa	20 MHz - 300 MHz	E
Logaritmicko - periodická anténa	200 MHz - 3 GHz	E
Kónicko - logaritmická anténa	200 MHz - 3 GHz	E
Zložená širokopásmová anténa	30 MHz - 2 GHz	E
Pyramidálne kovové vlnovody - lievčkové antény	1 GHz - 40 GHz	H, E

Zložené širokopásmové antény – novým druhom meracích antén, združujúcich vlastnosti bikónických antén (na nízkych kmitočtoch) a logaritmicko – periodických antén (na vysokých kmitočtoch) a tým pokrývajú celé meracie pásmo vyžarovaného rušenia (30 – 1000,2000MHz). Ich úlohou je zväčšiť širokopásmovosť a niektoré elektrické vlastnosti (tvar vyžarovaného diagramu, impedančné prispôsobenie), hlavne v oblasti nízkych meracích kmitočtov [7].



Obr. 17. Meracie antény pre systémy EMI:

a) rámová anténa; b) prútová anténa ;c) sada ladených symetrických dipólov; d) bikónická anténa; e) logaritmicko-periodická anténa; f) kónicko-logaritmická anténa; g) sada lievnikových antén. [1]

Špeciálne meracie antény blízkeho elektrického či magnetického poľa – tzv. „očuchávajúce“, používané pri vývoji a diagnostike elektronických zariadení, pri sledovaní vyžarovania súčiastok priamo vnútri vyvíjaného zariadenia a pre čo najpresnejšie dislokovanie zdroja rušivého signálu. Merania nie sú regulované žiadnymi normami, pretože závisia na rade neurčitých faktorov ako napr. miera priblíženia sondy, natočenie voči zdroji rušenia.

### 5.5.1 Meranie anténami

Ako prebieha meranie....? Anténa prijíma elektrickú alebo magnetickú zložku  $E_r$ ,  $H_r$  rušivého poľa, ktorú lineárne prevádza na výstupné napätie  $U_r$  na svojich výstupných svorkách. Napätie je merané a vyhodnocované meračom rušenia MR.

Anténny faktor AF [1/m] uvádza vzťah medzi vstupnou intenzitou a veľkosťou výstupného napätia antény, je definovaný vzťahom:

$$AF = \frac{E_r}{U_r} \quad \text{alebo} \quad AF_H = \frac{H_r}{U_r} \quad [1/m, V/m, V] \quad (16)$$

v logaritmickom vyjadrení:

$$AF[\text{dB/m}] = E_1[\text{dBV/m}] - U_1[\text{dBV}] \quad (17)$$

Skutočná hodnota anténového činiteľa  $AF$  závisí na podmienkach merania a usporiadania pracoviska, je ovplyvnená prítomnosťou samého testovaného zariadenia a taktiež závisí na impedančnom prispôbení antény.

Neurčitosť anténového merania je maximálna chyba meracieho systému, čiže antény, napájacieho kábla a merača rušenia (ich hodnota je menšia ako 1dB). Norma uvádza max.  $\pm 3$  dB.

Polárny vyžarovací diagram – hodnota anténového činiteľa je udávaná pre taký smer antény, kedy jej hlavný lalok smeruje k meranému zdroju. Iné nasmerovanie meracej antény znemožní špecifikáciu činiteľa.

Lineárna polarizácia – nutnosť u všetkých antén EMI. Horizontálna i vertikálna rovina polarizácie meracej antény je posudzovaná voči rovine zeme. Úroveň signálu prijatej anténou v smere kolmom na rovinu polarizácie vlny musí byť aspoň o 20 dB nižšia ako úroveň prijatej antény v smere rovnobežnom s rovinou polarizácie.

Ako u väčšiny prípadov i tu platí, že zväčšovaním vzdialenosti medzi meracou anténou a skúšaným objektom klesá vzájomné ovplyvňovanie antén, nehomogenita meraného poľa, kolísanie polarizácie i vplyv smerovosti antény.

Meranie môže prebiehať:

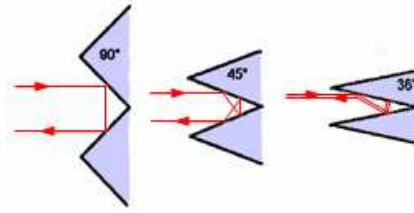
- a) Meranie na voľnom priestranstve – najčastejšie, najjednoduchšie. Voľné priestranstvo: **Open Field Test Site – OFTS; Open Area Test Site – OATS** – podľa normy má pôdorysný tvar elipsy (vhodné pre skúšanie menších technických objektov do objemu  $1 \text{ m}^3$ ). Meraná vzdialenosť  $D$  má normou stanovené hodnoty 3 m, 10 m, 30 m, 100 m. Požiadavky na skúšobné stanovisko: rovný terén bez budov, elektrických vedení, porastov a iných rušivých elektromagnetických polí. Meracia anténa prijíma rušivé pole od skúšaného objektu  $ZO$  v podobe priamej vlny i vlny odrazenej od zeme skúšobného stanoviska (čoho dosiahneme položením vodivej kovovej plochy o doporučených rozmeroch na zem) [2], [3], [4].
- b) Meranie v elektromagnetických tieniacich priestoroch - odstraňuje problém s vonkajšími rušivými signálmi. Tienená komora (uzatvorený priestor), vytvorená

z dosiek oceľových plechov s dostatočnou elektromagnetickou tesnosťou na dverách, oknách či vetracích priechodoch. Možné problémy v praxi sú v podobe.

- vlastnej rezonancie komory (zhoda kmitočtov vlastných kmitov s kmitočtom zdroja) – dutinový rezonátor. Rezonancie možno potlačiť, ak do miest s maximom elektrického poľa v komore umiestnime dosku z absorpčného stratového materiálu.
  - mnohonásobných odrazov v komore – riešenie je v obložení stien elektromagnetickej absorpčným materiálom.
- c) Bezodrazové absorpčné haly – v technike merania EMC predstavujú ideálny testovací priestor. Kombinujú pyramidálne a ploché absorbéry, na niekoľkoveštvový plochý absorbér sa umiestňujú absorpčné ihlany. Obložené sú steny, strop i podlaha, ide o simuláciu voľne neobmedzeného priestoru.

Absorpčné materiály pre obloženie stien bezodrazových komôr menia energiu dopadajúcej vlny na teplo s využitím dielektrických alebo magnetických (sú ťažšie a drahšie) strát. Používajú sa rôzne tvrdené penové materiály z polystyrénu, polypropylénu či polyuretánu, ktoré sa sýtia elektrovodivými či grafitovými plnidlami. Stupňom tohto sýtenia možno regulovať stratové parametre výsledného materiálu. Výhodou týchto materiálov je i nízka hmotnosť, ľahká mechanická opracovateľnosť a nenáročne spojovanie lepením. Materiály možno použiť do vysokých teplôt, väčšinou nie sú vznetlivé.

- ⇒ Absorbér s plochou vrstvou štruktúrou – jednotlivé vrstvy (3-5) stratového materiálu sú plošne kladené na seba (štvorcové panely s rozmermi 610 x 610 mm), lepené neoprénovým lepidlom, i na kovovú stenu komory. Dielektrické parametre jednotlivých vrstiev sú prispôbené obloženiu.
- ⇒ Absorbér využívajúci magnetických strát má vrstvy zhotovené z feritu, veľkou nevýhodou je však hmotnosť a vysoká cena.
- ⇒ Pyramidálne absorbéry (najrozšírenejší spôsob) – majú tvar ihlanov či kužeľov zhotovených z polystyrénu či polyuretánu s grafitovou impregnáciou. Bezodrazosť vstupu absorpčného obkladu sa zlepšuje i tým, že špičky ihlanu majú menšie nasýtenie grafitom (menšie straty) ako ich zadné široké časti. Útlm odrazom  $RL$  charakterizuje kvantitatívne bezodrazosť absorbéru, označuje sa i ako reflektivita.



Obr. 18. Příklady odrazov  
v pyramidálnom absorbéry

Vlna odrazená od povrchu absorbérov sa vracia späť do vnútorného priestoru komory až po niekoľkých ďalších čiastočných odrazoch. Každým odrazom sa časť energie vlny absorbuje a časť odrazí (energia klesá). Dôležitá je veľkosť uhlu ihlanu.

d) Čiastočne bezodrazové haly – absorpčným materiálom sú obložené steny a strop. Hala simuluje voľné priestranstvo, vrátane odrazov od zeme.

Nevýhodami týchto hál je:

- veľmi vysoká cena (1 m<sup>2</sup> širokopásmového pyramidálneho obkladového absorpčného materiálu = 30 ÷ 350 dolárov).
- veľký potrebný objem (dané potrebnou výškou absorpčného ihlanu pre požadované kmitočtové pásmo merania v komore) [1], [11], [12].



Obr. 19. Příklady bezodrazových absorpčných hál

## 6 ELEKTROMAGNETICKÁ ODOLNOSTĚ A JEJ TESTOVANIE

### 6.1 Delenia elektromagnetickej odolnosti

Z hľadiska celkovej EMS rozlišujeme – internú EM odolnosť (odolnosť voči rušivým zdrojom vo vnútri systému) [2], [3], [4].

- externú EM odolnosť (odolnosť voči vonkajším zdrojom elektromagnetického rušenia).

Pri externej elmag. odolnosti skúmame:

- veľké množstvo potenciálne možných zdrojov rušenia,
- do úvahy sa berú len najpravdepodobnejšie a potenciálne najnebezpečnejšie zdroje rušenia,
- medza externej odolnosti sa stanovuje pre každý vybraný typ rušenia samostatne.

Pri internej elektromagnetickej odolnosti prístroja skúmame:

- obvodové riešenie a rozloženie elektronických prvkov,
- návrh dosky plošných spojov, usporiadanie spojov a kabeláž,
- typy napájania, rozloženia napájacích a signálových blokov prístroja,
- návrh a prevedenie vnútorného tienenia a uzemnenia,
- voľbu a konštrukciu stykových prvkov k vonkajším systémom.

3 základné systémové pravidlá pri posudzovaní elektromagnetickej odolnosti:

1. interná elektromagnetická odolnosť systému je závislá na internej odolnosti jeho subsystémov,
2. výsledná interná elektromag. odolnosť systému je určená elektromagnetickou odolnosťou jeho najslabšieho článku,
3. výsledná externá elektromag. odolnosť systému môže závisieť na jeho internej elektromagnetickej odolnosti, pretože tu môže dochádzať k negatívnemu skladaniu rôznych rušivých vplyvov, a tým k znižovaniu celkovej odolnosti systému.



Kritériá elektromagnetickej odolnosti sú kvantitatívne a kvalitatívne medze narušenia funkcií technického zariadenia:

- ⇒ kvantitatívna medza odolnosti = dosiahnutie určitej hodnoty vybranej meranej veličiny.
- ⇒ kvalitatívne kritérium EM odolnosti = posúdenie zmeny stavu funkčnosti zariadenia.

3 základné funkčné kritériá:

- ⇒ funkčné kritérium A – nie je povolené žiadne zhoršenie činnosti zariadenia či strata jeho funkcie počas skúšky ani po jej ukončení,
- ⇒ funkčné kritérium B – je dovolené zhoršenie činnosti zariadenia počas skúšky, nie však zmena stavu funkčnosti zariadenia ani zmena dát v pamäti. Po skončení skúšky nie je dovolené žiadne zhoršenie činnosti zariadenia či strata jeho funkcie,
- ⇒ funkčné kritérium C – je dovolená dočasná strata funkcie zariadenia, ak sa po skončení skúšky odolnosti obnoví sama či môže byť obnovená riadiacim systémom či zásahom operátora podľa návodu použitia zariadenia.

Metodika skúšok elektromagnetickej odolnosti

- ⇒ Stanovenie rušivých elektromagnetických vplyvov, ktoré môžu vyšetované zariadenie v daných pracovných podmienkach ovplyvňovať.
- ⇒ Určenie možných brán vstupu rušivých signálov do zariadení.
- ⇒ Stanovenie kategórie požadovanej odolnosti skúšaného zariadenia.
- ⇒ Definícia prípustných rušivých účinkov pre skúšané zariadenie.

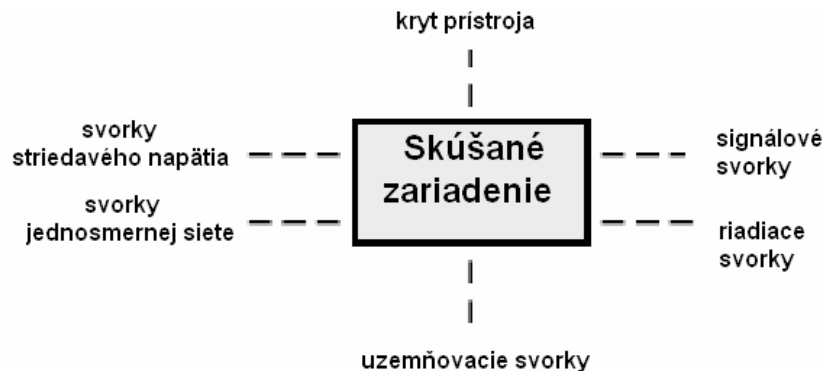
Základné druhy rušivých elemag. vplyvov – sú odvodené zo skutočných elmag. javov v prostredí, v ktorom je dané zariadenie využívané.

- ⇒ nízkofrekvenčné rušenie v napájacej rozvodnej sieti nízkeho napätia,
- ⇒ prechodné javy a vysokofrekvenčné rušenie,
- ⇒ elektrostatické výboje,
- ⇒ magnetické rušenia,
- ⇒ rušenia vyžarovaným elektromagnetickým poľom.

## 6.2 Testovanie odolnosti EMS

### 6.2.1 Vstupy rušivých signálov do skúšaného zariadenia

Skúšky sú predpísané pre každý zistený vstup zariadenia a prevádzajú sa na tých vstupoch, ktoré sú prístupné počas normálne činnosti zariadenia. Prevádzajú sa na jednotlivých vstupoch v ľubovoľnom poradí a samostatne.



Obr. 20. Základné typy vstupov rušivých signálov do skúšaného zariadenia

Kategórie požadovanej odolnosti: (stanovuje norma IEC 1000 – 4, ČSN EN 61000 - pre typické elektrotechnické prostredie):

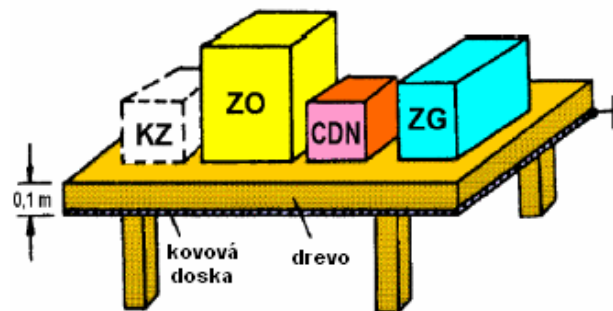
- úroveň odolnosti 1: bežné prostredie s nízkou úrovňou rušenia,
- úroveň odolnosti 2: prostredie s miernou úrovňou rušenia,
- úroveň odolnosti 3: náročné prostredie s vysokou úrovňou rušenia,
- úroveň odolnosti 4: špeciálne prostredie s veľmi vysokou úrovňou rušenia.

### 6.2.2 Skúšobné signály pre skúšky elektromagnetickej odolnosti

Generovať skúšobné signály pre skúšky elmag. odolnosti je úlohou generátora skúšobného rušivého signálu = simulátoru rušenia. Skúšobné signály musia svojím priebehom čo najpresnejšie napodobniť skutočné rušivé signály.

Skúšobné rušivé signály delíme z hľadiska ich časového priebehu a rozloženia ich kmitočtového spektra na:

1. úzkopásmový periodický skúšobný signál – popísaný funkciou sínus, zdrojom sú nízkofrekvenčné alebo vysokofrekvenčné harmonické oscilátory.
2. širokopásmový periodický skúšobný signál – popísaný Fourierovou radou so spektrálnou obálkou typu  $\sin x / x$ , zdrojom sú klopné obvody číslicovej techniky.
3. úzkopásmový neperiodický skúšobný signál – vzniká vybudením rezonančného obvodu LC jednorazovým impulzom a následným exponenciálnym doznievaním vzniknutých harmonických oscilácií.
4. širokopásmový neperiodický skúšobný signál



Obr. 21. príklad usporiadania skúšobného pracoviska EMS

(ZG – skúšobný generátor, CDN – väzbový oddeľovací obvod, ZO – skúšaný objekt, KZ – kontrolné zariadenie)

Princíp: skúšobný generátor je s väzbovým oddeľovacím obvodom spojený iba káblom kratším 1 m, sieťový prívod od skúšaného objektu k CDN nesmie byť dlhší než 1 m. Pri väčších dĺžkach musí byť prívodové káble meandrovito zložené a dĺžka meandru nesmie presiahnuť 0,4 m. Kontrolné zariadenie sleduje zvolené funkčné parametre skúšaného objektu v priebehu i po ukončení skúšky. Pre väzbu rušivého skúšobného signálu do skúšaného zariadenia bez galvanického spojenia so svorkami jeho vstupov sa používajú kapacitné väzbové kliešte.

### 6.2.3 Typy skúšok:

- Skúšky odolnosti voči rušivým vplyvom v energetickej napájacej sieti:
- skúška harmonickými zložkami základného kmitočtu 50 Hz (ČSN EN 61000-4-7)

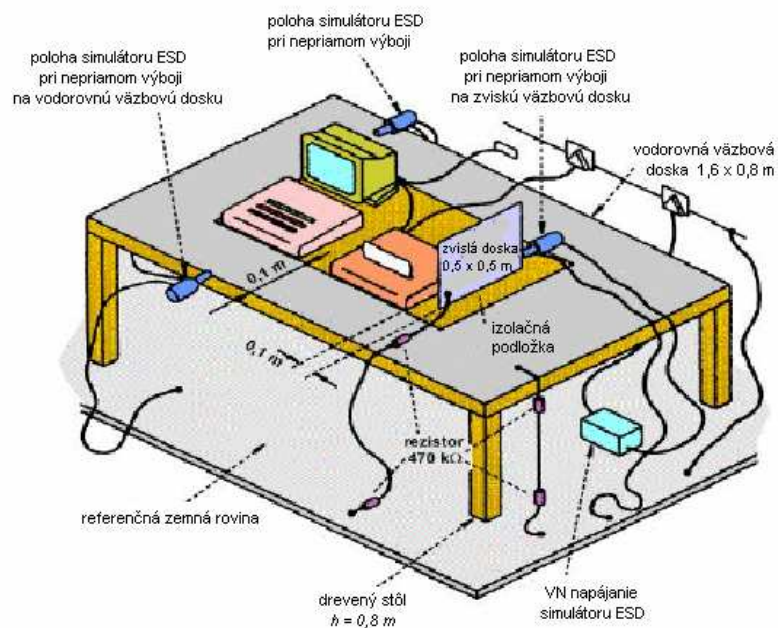
- skúška medziharmonickými zložkami (ČSN EN 61000-4-7)
- skúška krátkodobými poklesmi napájacieho napätia (ČSN EN 61000-4-11)
- skúška krátkym prerušením napájacieho napätia (ČSN EN 61000-4-11)
- skúška na pomalé zmeny napätia (ČSN EN 61000-4-7)
- skúška rázovým impulzom napätia/prúdu 100/1300  $\mu$ s (IEC 1000-4)
- Skúšky odolnosti voči vysokoenergetickým širokopásmovým impulzom (ČSN EN 61000-4-5) - pri výskyte atmosférických porúch, pri spínacích pochodoch či poruchách v energetickej vysokonapäťovej sieti sa do rozvodu nízkeho napätia dostávajú rázové impulzy s vysokou energiou, môžu sa prejavovať i tepelnými účinkami a môžu spôsobiť škody na elektronických zariadeniach. Tieto rázové impulzy sa prejavujú rôzne:
  - i. Ak je vstupná impedancia na napájacích svorkách skúšaného zariadenia veľká v porovnaní s výstupnou impedanciou zdroja, vytvára rázový impulz na svorkách zariadenia – impulz napätia
  - ii. Ak je príslušná impedancia relatívne malá, vytvára rázový impulz na svorkách skúšaného zariadenia – impulz prúdu.
- Skúšky odolnosti voči nízkoenergetickým širokopásmovým impulzom (ČSN EN 61000-4-4) – jeden typ skúšobného rušivého signálu sa preukázal ako najnebezpečnejší – rýchle elektrické prechodné javy (transienty) zoskupené do presne definovaných skupín impulzov.
- Skúšky odolnosti voči tlmeným oscilačným vlnám (ČSN EN 61000-4-12) – účelom skúšky je overenie odolnosti zariadenia voči rôznym prechodným osciláciám indukovaným v nízkonapäťových energetických sieťach. Zdrojom týchto porúch sú obvykle spínacie a komutačné pochody.
- Skúšky odolnosti voči elektrostatickým výbojom (ČSN EN 61000-4-2) – simulácia elektrostatických výbojov sa prevádza pomocou skúšobného zariadenia – simulátoru ESD, ktorého koncová časť má obvykle vonkajšiu podobu „pištole“ s vymieňacím vybíjacím hrotom.



Obr. 22. Vonkajší vzhľad simulátorov ESD

- skúška priamym vybitím vzduchovým výbojom
- skúška priamym vybitím kontaktným výbojom
- skúška nepriamym výbojom na zvislú väzbovú dosku

Skúšobné výboje statickej elektriny sa prevádzajú do tých miest a povrchov skúšobného zariadenia, ktoré sú prístupné obsluhu pri užívaní zariadení, napr. na ovládacích paneloch, klávesnici, príp. iných miest styku s človeka so zariadením, ďalej sú to kovové časti skrine zariadenia elektricky izolované od zeme,... Na každom mieste sa prevedie najmenej 10 jednotlivých výbojov po sekunde.



Obr. 23. Skúška odolnosti voči elektrostatickým výbojom ESD

- Skúšky odolnosti voči magnetickým poľom

(ČSN EN 61000 4-8) – pre magnetické pole,

-9) – pre pulzné magnetické pole,

-10) – pre tlmené vysokofrekvenčné pole.

Princíp spočíva v privádzaní výstupného prúdu budiaceho generátoru do špeciálnej indukčnej cievky tvaru rámovej antény (vytvára skúšobné magnetické pole). Základnou požiadavkou je dostatočná priestorová homogénnosť generovaného magnetického poľa v čo najväčšom priestore. Pre laboratórne skúšky sa doporučujú tieto typy cievok; jednoduchá jednozávitová indukčná cievka; dvojité indukčné cievky; veľká jednocelová indukčná cievka.

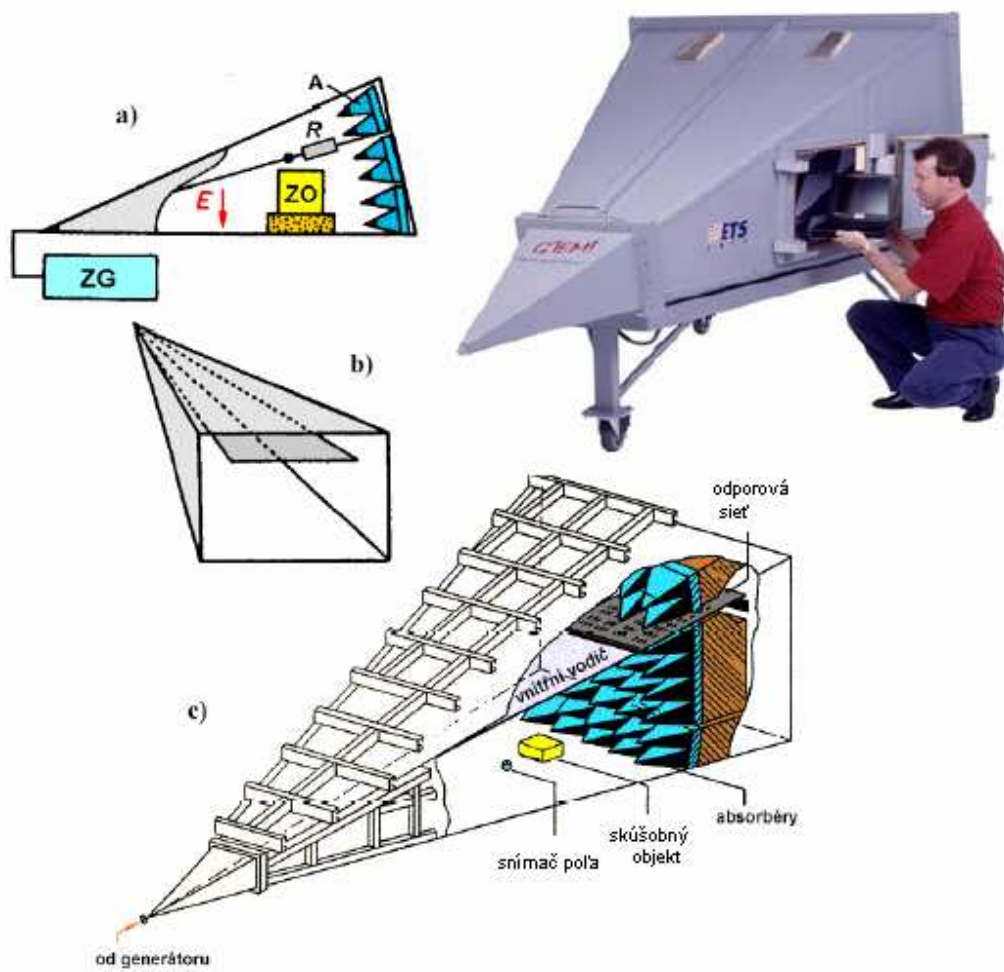
- Skúšky odolnosti voči vysokofrekvenčným elektromagnetickým poliám (ČSN EN 61000-4-3)

Základné technické a prístrojové vybavenie pre skúšky odolnosti voči vysokofrekvenčným poliám:

- ; Vf. signálny generátor pre požadované pásmo kmitočtov s možnosťou amplitúdovej modulácie sínusovou vlnou 1kHz do hĺbky 80 %.
- ; Širokopásmový výkonový zosilňovač k dosiahnutiu patričného výkonu skúšobného signálu modulovaného i nedomulovaného.
- ; Vysielač smerová anténa pre daný rozsah kmitočtov a schopnosť vyžiarit' potrebný vysoký výkon. Obvyklými typmi sú bikónická anténa a logaritmicko-periodická anténa.
- ; Elektrické filtre zapojené vo všetkých vstupoch a výstupoch káblov a vedení do skúšobnej komory.

Kalibrácia skúšobného poľa (ČSNEN 61000-4-3)- prevádza sa namodulovaným harmonickým signálom meraným veľkosťou generovaného poľa v ploche homogénneho poľa. Ak kolíska meraná veľkosť o menej ako  $\pm 3$  dB na 75 % plochy, považuje sa pole za homogénne [1], [2], [12].

Príklad simulácie skúšobných elektromagnetických polí v skúšobnej komore TEM:



Obr. 24. Meracia komora GTEM

a) bočný rez a princíp, b) priečny prierez, c) konštrukcia

## 7 NORMALIZÁCIA V OBLASTI EMC

Normy EMC:

- normy rušivého vyžarovania (normy pre EMI)
  - medzné hodnoty rušivého vyžarovania
  - meracie metódy a prístroje pre meranie EMI
- normy elmag. odolnosti (normy pre EMS)
  - medzné hodnoty odolnosti
  - skúšobné metódy a prístroje pre testovanie EMS
- normy pre odrušovacie prostriedky
  - vlastnosti odrušovacích prostriedkov
  - skúšky a prístroje pre meranie

Iné rozdelenie:

- a. všeobecné normy EMC
  - ⇒ ČSN EN 50081 – elektromagnetická kompatibilita – všeobecná norma týkajúca sa vyžarovania,
  - ⇒ ČSN EN 50082 – elektromagnetická kompatibilita – všeobecná norma týkajúca sa odolnosti.
- b. normy pre nízkofrekvenčné elmag. rušenie
  - ⇒ ČSN IEC 1000-2-1 – popis prostredia – elmag prostredie pre nf. rušenie šírené vedením a signály vo verejných rozvodných sieťach.
  - ⇒ ČSN IEC 1000-2-2 – kompatibilné úrovne pre nf. rušenie šírené vedením a signály vo verejných rozvodných sieťach nízkeho napätia.
  - ⇒ ČSN IEC 1000-2-3 – popis prostredia vyžarovaných javov a javov šírených vedením a nevzťahujúcich sa k sieťovému kmitočtu.
  - ⇒ ČSN IEC 1000-2-4 – kompatibilné úrovne pre nf. rušenie šírené vedením v priemyslových závodoch.
- c. normy pre vysokofrekvenčné elmag. rušenie
  - ⇒ ČSN EN 55011 – medze a metódy merania charakteristík elmag. rušení od priemyslových, vedeckých lekárskejších vysokofrekvenčných zariadení.
  - ⇒ ČSN EN 55013 – medze a metódy merania charakteristík rádiového rušenia spôsobeného rozhlasovými a TV prijímačmi a pridruženými zariadeniami.



- ⇒ ČSN EN 55014 – medze a metódy merania charakteristík rádiového rušenia spôsobeného zariadením s elektrickým pohonom, tepelným zariadením pre domácnosť a podobné účely, elektrickým náradím a podobnými elektrickými prístrojmi.
  - ⇒ ČSN EN 55015 – medze a metódy merania charakteristík rádiového rušenia spôsobeného elektrickými svietidlami a pod.
  - ⇒ ČSN EN 55022 – medze a metódy merania charakteristík rádiového rušenia zariadením informačnej techniky.
  - ⇒ ČSN CISPR 12 – medze a metódy merania charakteristík vf. rušenia motorovými vozidlami,...
  - ⇒ ČSN CISPR 18 – charakteristiky rušenia od vonkajších vedení a zariadení vysokého napätia.
  - ⇒ ČSN CISPR 16 – špecifikácia CISPR pre prístroje a meracie metódy na meranie rádiového rušenia a odolnosti proti rádiovému rušeniu.
- d. normy pre elektromagnetickú odolnosť. ČSN EN 61000-4-1 až 12 – skúšky odolnosti.

Podľa druhu normy:

1. Civilné normy EMC - záväzné a doporučené
2. Vojenské normy EMC MIL-STD – prevzaté armádami NATO:

České normy EMC – zákon č 22/1997 Zb. o technických požiadavkách na výrobky,

- zákon č. 71/2000 Zb. – novelizácia a doplnenie,

- rada nariadení vlády o technických požiadavkách na elektr. zariadenie nízkeho napätia, o vybraných výrobkoch k posudzovaniu zhody, o grafickej podobe českej značky zhody CCZ, o technických požiadavkách na výrobky z hľadiska ich EMC [1], [2], [3], [4].

Podľa úrovne odolnosti prostredia :

1. trieda odolnosti 1 – dobre chránené prostredia.
2. trieda odolnosti 2 – mierne chránené prostredia.
3. trieda odolnosti 3 – priemyselné prostredia.
4. trieda odolnosti 4 – nechránené silne rušené priemyselné prostredia.

## 8 TIENIACE PRODUKTY NA TRHU

Firma Laird Technologies je vedúca na trhu v konštrukcii a výrobe antén, ponúka širokú paletu výrobkov a produktov odolávajúcich elektromagnetickému rušeniu (EMI), rieši vedenia teplotnej správy, dátovú komunikáciu, ochranu počítačovej techniky pred účinkami EMI, ochranu hlavnej elektroniky ako i sieťových prvkov. Zasahuje do tiež armádneho priemyslu. Rieši chovanie materiálov v kozmickom priestore, ale i lekárske priemyselné vybavenie [11].

Laird Technologies firma sídli v USA v štáte Delaware a bola vytvorená zlúčením svetových vodcovských firiem v EMI tienení, teplotnej správe a bezdrôtovom anténnom systéme. Úspech firmy spočíva v členitosti záujmu firiem a ich rozčlenenia po celom svete.

### 8.1 Produkty

Produkty EMI tienenia firmy Laird Technologies (LT) majú širokú škálu použitia v rôznych prostrediach i priemysloch (automobilová technika, pc, dátová komunikácia, hlavná elektronika, lekárske vybavenie, armáda, sieťové prvky, telekomunikácie,...).

Príklady produktov firmy Laird Technologies [11]:

1. Board Level Shields - doskové tienenie = štandardná ochrana, vyrába sa v jednodielnom alebo dvojdielnom prevedení.
  - Jednodielne prevedenie – štandard – jednodielne štíty ponúkajú 6 strán ochrany. Ponúka ľahký prístup tam, kde je nevyhnutý prístup k zakrytým častiam. K rozobratiu krytu nie sú nutné špeciálne nástroje.
  - Dvojdielne prevedenie – odoláva otrasom a pádom. Jednoduchá možnosť opravy bez rizika zničenia tieniacej dosky.

EZ Peel TM – ide o vrúbkované tieniace dosky, využívané tam, kde je nutný jednoduchý prístup. Odstráneniu krytu nevyžaduje špeciálneho nástroja, iba zatlačenie.

Možnosť výmeny krytu za kryty s priechodovými otvormi.

Kryty sú testované proti otrasom a sú odolné proti chveniu, ohýbaniu a krúteniu materiálu,

2. ElectroSeal™ Electrically Conductive Elastomers - elektricky vodivé elastomery = používajú sa pri tienení elektronických uzáverov proti EMI. Poskytujú dobré tesniace účinky, vynikajúce mechanické a elektromagnetické tieniace vlastnosti.

V ponuke sú rozmanité druhy vodivých výplní vytlačených do materiálov, kde povrch materiálov je následnej upravovaný. Obvykle sa tieniaci systém skladá z vodivého tesnenia navrstveného medzi kovovým plášťom a viečkom. Primárnou funkciou tesnení je poskytnutie dostatočnej elektrickej vodivosti cez uzáver / tesniaci krúžok / viečko prechod k uzemneniu a splneniu EMI požiadaviek. Na druhej strane je však nutné prihliadať na to, aby bolo zabezpečené správne vetranie a iné požiadavky zákazníka. V ponuke firmy Laird Technologies je vodivý elastomer ElectroSeala – rozptýlenie častíc výplne v elastomery a ElectroMet – vedenie drôtu v elastomery, impregnované drôtené pletivo a plechová mrežovina. Tieniaca účinnosť je až do 120 dB v 10 GHz,

3. Electro-Con Oriented Wire - elektrolyticky pokované drôty = orientované tesniace drôty sú tieniace a tesniace prvky. Hliníkové drôty sú vložené v elastomery kolmo k protiľahlému povrchu poskytujúcemu EMI tesnenie. Pevné alebo pórovité silikóny poskytujú tesniacu ochranu i proti poveternostným podmienkam. Odolávajú teplotu v rozsahu  $-40^{\circ} - 70^{\circ} \text{ C}$ . Orientované drôty sú dostupné v rôznych hrúbkach. Techniky spájania – spletaním (drôty sú jednotlivo dodávané a podľa zákazníka ich možno spájať do rôznych formátov). Technika tesnenia - metódou Die-cut - tesniace krúžky sú dodávané v rôznych konfiguráciách, veľkostiach.  
Rysy a výhody: ideálne pre armádu i komerčné využitie, široký výber profilov, s možnosťou rozšíreného použitia. Zákazník si podľa vlastného výberu môže zasiahnuť do návrhu a vybrať zo tieniacej účinnosti: od 120dB v 10 GHz,
4. Fabric-Over-Foam EMI Shielding Gaskets - molitanové tesniace krúžky = firma Laird Technologies je integrovaný výrobca profilov EMI tieniacich krúžkov.  
Ako následok vyvíjajúcich sa technológií a RoHS a WEEE výhodám vzniká metóda Rysy a výhody: tieniaca účinnosť od 100dB cez široké spektrum frekvencií. Extrémne malá tlaková sila ľahkého materiálu. Nízka hladina odporu poskytuje lepšiu vodivosť. Krúžky poskytujú dlhodobý spoľahlivý tesniaci výkon pri teplotách  $-40^{\circ} - 70^{\circ} \text{ C}$ . Materiálové prevedenie v nikle/med a cíne/medi zaisťuje kompatibilitu pri širokej rôznorodosti materiálov,
5. Fingerstock - podložky = firma Laird Technologies sa špecializuje v projektovaní miniatúrnych častí tenkého odnímateľného kovu, ktorých ročne vyprodukuje rádovo v miliónoch. LT sa špecializuje tiež na: montáž, tepelné obrábanie, tepelné spraco-

vane, viacúrovňové vybavenie, razba, progresivita, odporové zváranie,... internetové stránky firmy Laird Technologies slúžia tiež ako katalóg, kde si zákazník môže vybrať z veľkého množstva výrobkov, profilov,...

6. UltraSoft™ Knit - ultrasoft sieťovina = táto séria bola navrhnutá pre komunikačné spoje, počítače a elektronický systém, pretože vyhovuje ľahkej kategórii, do ktorej sa tieto zaraďujú. Táto séria ponúka väčšiu pružnosť a prispôbenie tenšia konštrukcia materiálov znižuje náklady a zvyšuje výkon systému. Ďalej je série zaručujú: nižšiu komprimáciu síl v priemysle, zvýšenie životného cyklu, kvalitná tieniaca účinnosť, široký výber veľkostí a konfigurácií, nízka tlaková sila,
7. Microwave Absorbers - mikrovlnové absorbéry = typické využitie: WLAN, hrot anténneho systému, automobilový radar, optické zdieľovacie zariadenie, servery, bezdrôtový systém počítačov, bezdrôtový systém antén, komorové telefóny, digitálne kamery, notebooky, zosilňovače, oscilátory,... medzi výhody mikrovlnových absorbérov je ohybnosť a odolnosť elastomeru, je tenký pre kompaktné použitie, dostupnosť v širokej rôznorodosti rozmerov, má úzky frekvenčný rozsah s dobrými odrazovými stratami výkonu, bezpečný pre životné prostredie,
8. ElectroVent™ Vent Panels - elektrolyticky pokované prieduchové panely = vetracie panely sú dostupné v širokej sade materiálov, pripevnenia i konfigurácie.  
MAX AIR – nový patentovaný prieduchový panel poskytuje inovované zefektívnenie nákladov pri zvýšení vzduchového toku a EMI ochrany pre telekomunikačnú techniku (hardware). Materiálom je spojenie niklu a medi pokrytím polykarbonátu v podobe včelej štruktúry - vylučuje drahé rámové konštrukcie. Veľkosť bunky včelej štruktúry je voliteľná – podľa potreby prieduchu,
9. Elastomer Core Mesh - elastomerová sieť,
10. Electro-Air Filters - elektrolyticky pokované filtre,
11. ElectroNit™ All Mesh - elektrolyticky pokovaná sieť,
12. Form-In-Place – formy,
13. I/O Backplane Shields - montáž tienenia,
14. Conductive Tape - vodivé pásy,
15. UltraFlex™ Copper Beryllium (CuBe) Mesh ultraflex - sieť z berýliovej medi,
16. Decorative metals - okrasná sieťovina.

Cenník výrobkov firmy Laird Technologies je ukázaný v Prílohe IV a výrobky firmy sú ukázané v Prílohe V tejto práce.

## 8.2 Výrobný materiál

- Výhodou produktov z mede je výrazná pevnosť, pevnosť v ťahu, kompletná ohňovzdornosť, odolnosť, vysoká tepelná a elektrická vodivosť, výborná odolnosť voči korózii, znamenitá pružnosť, nízke náklady zrovnateľné s tradičným kovom, to je výhoda v základnej i tieniacej účinnosti materiálu. Tieniaca účinnosť je podobná s ďalšími zliatinami medi – hodnoty nad 100 dB. Med' zapadá do smernice EU 2002/95/EC týkajúcej sa zlepšenia životného prostredia, bezpečnosti a vylúčenia znepokojenia spojeného s tradičným použitím a recyklácie z berýlia- spojeného so zliatin medi.

- Berýliová med' má pozoruhodnú pevnosť, veľkú pevnosť v ťahu, pôsobivú tepelnú a elektrickú vodivosť a vysokú tieniacu účinnosť. To je prečo firma LT ponúka nad 250 rôznych druhov tienenia z berýlievej medi. Okrem berýlievej medi je to antikorózna oceľ, mosadz, bronzový fosfor, nikel, platina a ďalšie zliatiny [11].

## **II. PRAKTICKÁ ČASŤ**

## 9 PRAKTICKÁ ČASŤ

Cieľom praktickej časti tejto diplomovej práce bolo oboznámenie sa so základnými metódami merania tienenia. Toto meranie sa uskutočnilo v laboratórnych miestnostiach školy Tomáša Bati v Zlíne na Fakulte aplikovanej informatiky. Tienenie miestnosti bolo merané smerovou anténou od firmy *ROHDE&SCHWARZ* typu *HE 200*. Meracím prístrojom bol spektrálny analyzátor FSH3 taktiež od firmy *R&S*. Ich funkčný popis je uvedený nižšie. Úlohou bolo zistiť efektívnosť použitého tienenia a spracovať možnosť jeho vylepšenia v prípade nedokonalnej účinnosti.

### 9.1 Smerová anténa HE 200

Príručná a mimoriadne širokopásmová aktívna smerová anténa HE 200 spolu s prenosným prijímačom je ideálna pre lokalizáciu vysielacích a rušivých zdrojov. Celkový kmitočtový rozsah od 0,01 až 3000 MHz je pokrytý 3 výmennými širokopásmovými anténnymi modulmi, každý z nich má výrazný smerový diagram. Pre zvýšenie citlivosti môže byť pridaný nízkošumový širokopásmový zosilňovač. Zosilňovač je v pasívnom režime premostený a anténa môže byť teda použitá i v blízkosti silných vysieláčov [7].



Obr. 25. Smerová anténa HE 200 s rozsahmi: a) 20 – 200 MHz; b) 200 – 500MHz; c) 500 – 3000 MHz.

### 9.1.1 Popis antén

Širokopásmový kardioidný smerový diagram sa získava v kmitočtovom rozsahu 20 až 200 MHz a 200 až 500 MHz s použitím cievkovej rámovej antény v dvoch rôznych veľkostiach.

Logaritmicko - periodická dipólová anténa pokrýva rozsah 500 až 3000 MHz so zreteľným smerovým diagramom. Tri vysokofrekvenčné moduly môžu byť vymieňané s použitím rýchlospojky, ktorá je súčasťou napájacej a zobrazovacej jednotky.

Napájacia a zobrazovacia jednotka zahŕňa nasledujúce moduly:

Anténa elektronika, ktorú tvorí nízkošumový zosilňovač a prepínací obvod aktívneho /pasívneho režimu (prepína sa s využitím relé). Nízkošumový zosilňovač je v pasívnom režime premostený a nemá napájacie napätie. Anténa by mala byť prepnutá do aktívneho režimu iba v prípade, že v blízkosti nie sú žiadne silné vysielače a že citlivosť prijímacieho systému nie je v pasívnom režime dostatočná pre detekciu signálu. Ak je aktivovaný zosilňovač, indikuje žltá svietivá dióda LED, umiestená na zadnej časti napájacej a zobrazovacej jednotky [7].

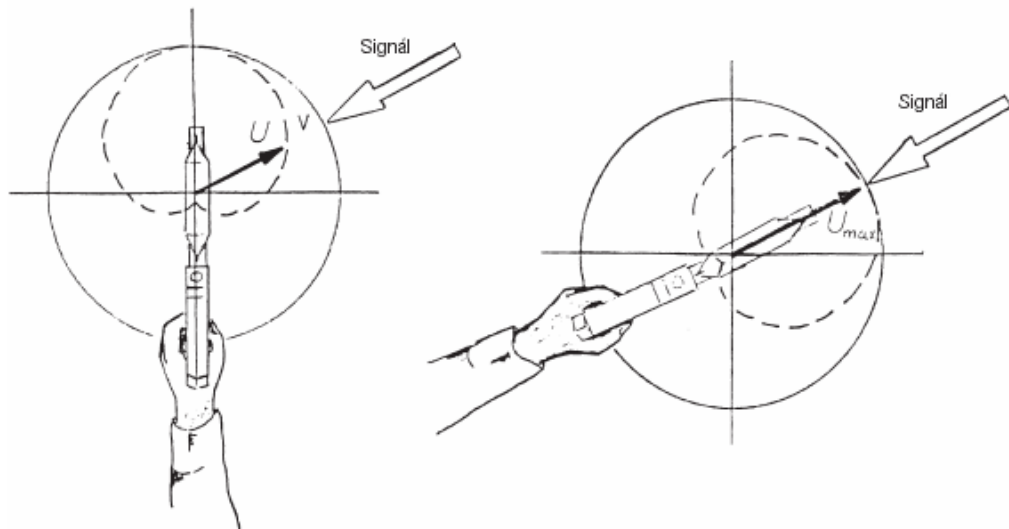
### 9.1.2 Vlastnosti smerovej antény

- ⇒ Jednoznačné vyhľadávanie smeru, tzn. výrazný smerový diagram maximom prijímu smerujúcim dopredu v kmitočtovom rozsahu 20 MHz až 3 GHz.
- ⇒ Maximálna hodnota výstupného signálu antény slúži ako kritérium pre určenie smeru.
- ⇒ Príručná veľkosť aj napriek širokopásmovým charakteristikám.
- ⇒ Hmotnosť je minimalizovaná vhodným použitím materiálu.
- ⇒ Anténu možno použiť pre vertikálne i horizontálne polarizované signály v kmitočtovom rozsahu 20 MHz až 3 GHz.

Pre získanie optimálnych výsledkov by mala byť anténa používaná pri určovaní maxima s vytiahnutými ramenami. Osa otáčania by mala byť v anténe. Pohybovanie anténou sem a tam je nevýhodné, pretože vyhľadávanie maximálneho prijímu je zhoršené rozdielmi úrovni závislými na danom mieste, ktoré vznikajú narušením elektromagnetického poľa. Ak napríklad nemožno v uzatvorených priestoroch získať jednoznačne maximum, je interferencia v dôsledku odrazu príliš vysoká a je nutné zmeniť polohu. Odrazy a interferencie



sa prejavia v prípade, že elektromagnetické vlny prídu do kontaktu s veľkými objektmi, ktoré majú vysokú dielektrickú konštantu resp. sú vodivé [7].



Obr. 26. Ručné zameriavanie vyhľadáváním maximálnej intenzity signálu

## 9.2 Spektrálny analyzátor

Ručný kompaktný analyzátor FSH3 od firmy Rohde & Schwarz (typ: 1145.5850.13) je navrhnutý pre prácu v laboratórnych i externých podmienkach, ale i pre servisné techniky vysokofrekvenčných zariadení. Pre prácu bez prístupu k elektrickej sieti j opatrený dobíjacou batériou a vnútornou pamäťou CMOS pre prípadné uchovanie až 100 nameraných výsledkov. Dáta sa do počítača kopírujú pomocou optického rozhrania RS-232, ktoré obmedzuje elektromagnetické rušenie merania, ktoré môže byť spôsobené pripojeným zariadením. Analyzátor je navyše vybavený i trekingovým generátorom, ktorý umožňuje vysieľať frekvencie v danom rozsahu a navyše tento generátor pracuje v synchronizácii so samotným analyzátorom [6].



Obr. 27. Spektrálny analyzátor Rohde & Schwarz FSH3

### 9.2.1 Základné vlastnosti

Medzi základné schopnosti spektrálneho analyzátoru je meranie úrovne a frekvencie sínusových signálov. Generátor je schopný vysielat' a analyzátor zase naopak zobrazovať frekvenčné spektrum od 100 kHz do 3 GHz, čo je maximálny frekvenčný rozsah prístroja. Ak je potreba previesť podrobnejšiu analýzu meraného signálu, je možné zmenšiť frekvenčný rozsah, dokonca zobrazovať jednu danú frekvenciu, avšak ako funkciu času. U analyzátoru je možné nastaviť čas analýzy v rozsahu 1ms do 10s daného zvoleného frekvenčného pásma, čo je vyhovujúce pre viac rušené kmitajúce signály. Signál môžeme sledovať na obrazovke ako jeho efektívnu hodnotu RMS, maximum MAX, minimum MIN či náhodné vzorky SAMPLE. Analyzátor umožňuje zisťovať úroveň signálu, jeho frekvenciu, maximálne a minimálne hodnoty, ich rozdiel, atď. tiež prostredníctvom kurzorov umiestnených na zobrazovacom priebehu. Hodnoty sa zobrazujú na displej. Meranie daného signálu môžeme tiež prevádzkať viacerými spôsobmi, z ktorých medzi základné patrí funkcia CLEAR/WRITE, čo znamená, že sa analyzátor po prebehnutí spektra neustále vracia na začiatok a staré údaje maže a analyzuje nové či funkcie TRACE (prevedie pre zvolený počet analýz daného spektra ich priemer a zobrazí na displej).

Funkcie merania spektrálneho analyzátoru FSH3:

-meranie úrovne, -frekvencie, -harmonických zložiek, -prenosu dvojbranových zariadení, -strát odrazom, -vzdialenosti porúch.

Frekvenčný rozsah analyzátoru na ose x je 100 kHz – 3 GHz a na ose y je rozlišovacia schopnosť zosílenia od 1dB – 10 dB. Amplitúda má rozsah od 20 dB – 80 dB[6].

### 9.2.2 Popis spektrálneho analyzátoru

Hlavná ponuka funkčných tlačidiel spektrálneho analyzátoru:

FREQ – nastavenie frekvencie

SPAN – nastavenie rozsahu

AMPT – nastavenie úrovne

BW – nastavenie šírky pásma

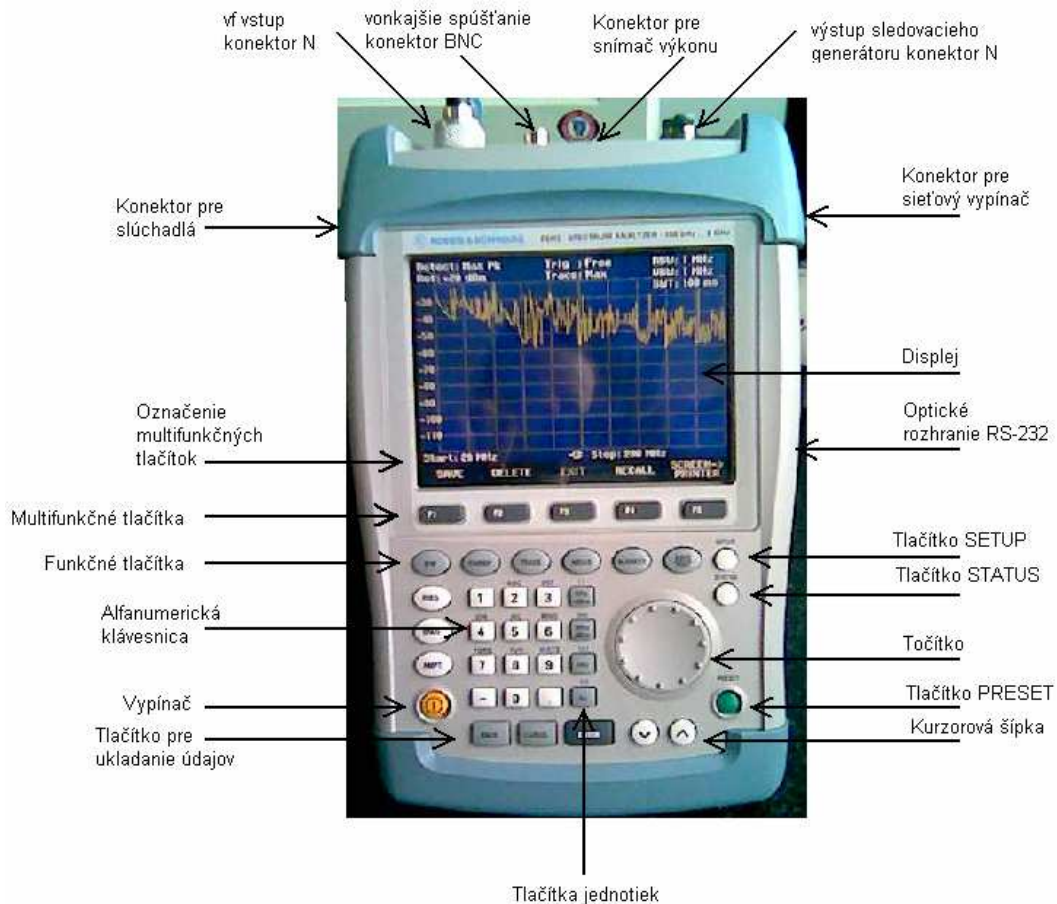
SWEEP – ponuka rozmetania

TRACE – ponuka priebehu

Nastavenie prístroja a namerané výsledky je možné ukladať do vnútornej pamäte CMOS. Výsledky a nastavenia sú vždy ukladané spoločne tak, že pri opätovnom vyvolaní výsledkov sa analyzátor FSH3 nastaví ako pri pôvodnom meraní. Je možné uložiť maximálne 100 meraní. Uložené dáta možno kedykoľvek z pamäte vyvolať a porovnať na displeji s aktuálnym priebehom, tieto priebehy sú od seba farebne odlíšené.

Analyzátor umožňuje tlač zobrazených výsledkov. K analyzátoru Rohde & Schwarz FSH3 je štandardne dodávaný software FSH3-View, slúžiaci ku komunikácii s počítačom i pre ďalšie spracovanie.

Funkcia FSH3-View umožňuje prenášať namerané dáta, sledovať meranie v reálnom čase, porovnávať výsledky a veľa ďalších operácií s nameranými údajmi. Pre prenos dát zo spektrálneho analyzátoru do PC je nutné prepojenie cez optické rozhranie RS-232. Po dobu prenosu dát je analyzátor zablokovaný. V programe FSH3-Viw (verzia 10.0) sa prepojenie prevádza prostredníctvom tlačítka „connect“. Vyvolaním okna „Dataset Control“, ktoré umožňuje kopírovanie dát z prístroja do nami zvoleného adresára. Dáta sú uložené vo formáte „rds“, program však umožňuje tieto dáta uložiť do iného formátu bmp, png, pcx, wmf, rss, rds, txt [6].



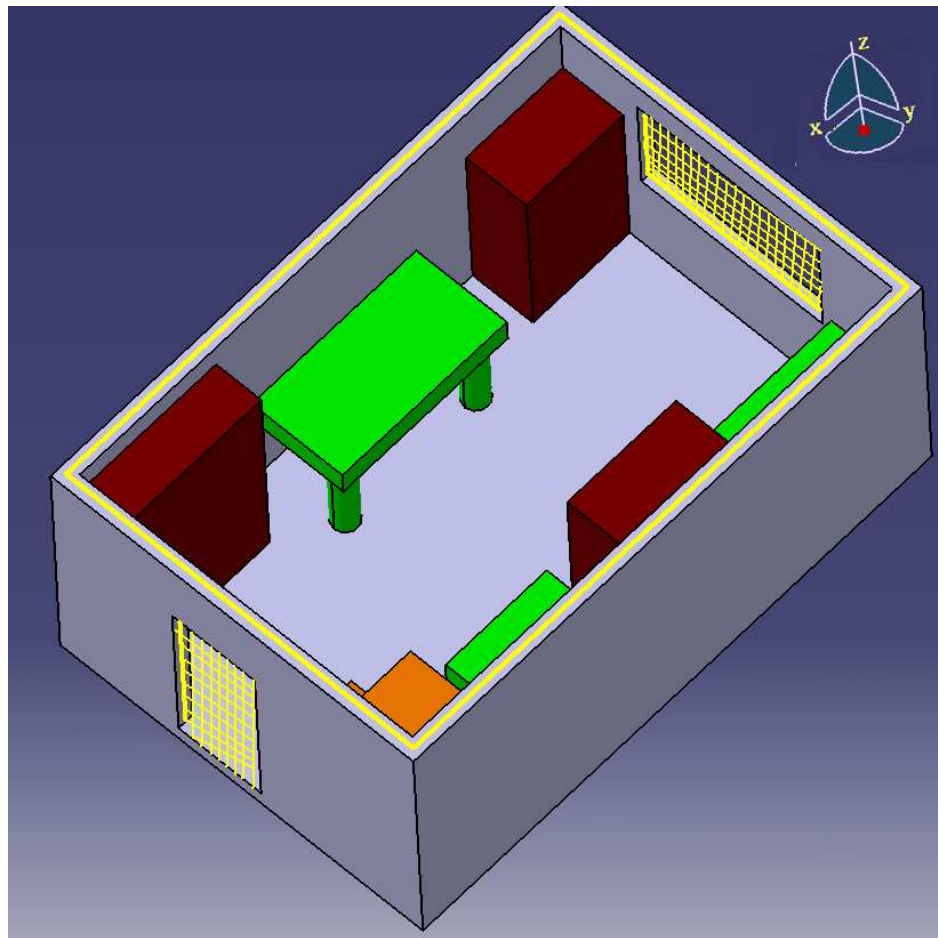
Obr. 28. Popis predného panelu FSH3

Ako pracuje spektrálny analyzátor: analyzovaný vysokofrekvenčný signál môže byť sledovaný v časovej alebo frekvenčnej oblasti. V časovej oblasti možno sledovať, ako sa mení úroveň signálu v závislosti na čase. Vo frekvenčnej oblasti sa po zobrazení frekvenčných zložiek signálu používa spektrálny analyzátor. Pohľadom môžeme zistiť o aký tvar signálu ide napr. sínusový, atď. nevieme však či sa jedná o harmonický signál alebo či obsahuje ďalšie frekvenčné zložky nízkej úrovne. Práve to umožňuje iba spektrálny analyzátor. V časovej oblasti zobrazuje osciloskop časť signálu, ktorý je približne obdĺžnikový. Rovnaký signál, zobrazený spektrálnym analyzátorom, má čiarové spektrum, to znamená základnú frekvenciu a ďalšie jeho harmonické zložky [6].

## 10 PRAKTICKÉ MERANIE ODOLNOSTI EMC

Meranie prebiehalo v priestoroch školy UTB v Zlíne, Fakulty aplikovanej informatiky. Nachádza sa tu laboratórna miestnosť, obložená vodivým kovovým materiálom. Miestnosť je znázornená na obr. 29. Žltá farba v stenách zobrazuje vložený kovový materiál. Ten sa nachádza tiež na vstupe v podobe druhých dverí a druhého okna. Pre efektívnosť sa s týmto materiálom dá manipulovať, čiže sa dá ľubovoľne otvárať i zatvárať. Má podobu pletiva (mreže).

Úlohou tohto kovového materiálu je, aby sa fyzikálne vlastnosti miestnosti chovali ako rezonátor, (aby sa nedostávali vonkajšie rušivé signály dovnútra). To znamená aby vodivý materiál ovplyvňoval vniknuté elektromagnetické vlny prichádzajúcich signálov, ktoré by mohli narušiť prístroje v tejto miestnosti.



Obr. 29. Laboratórna miestnosť

Osa X vyznačuje délku laboratornej miestnosti, osa Y vyznačuje šírku laboratornej miestnosti a osa Z je výška laboratornej miestnosti.

Experimentálna časť spočívala v skúmaní tieniacej účinnosti miestnosti. Frekvenčný rozsah sa pohyboval v rozsahu od 20 MHz do 3 GHz. Meranie prebiehalo v miestnosti za rôznych podmienok (otvorené, zatvorené dvere či okná, resp. použitie tieniacej mreže alebo nie) a pri zmene polohy prijímacej antény.

## **10.1 Meranie 1 - meranie tieniacej účinnosti s využitím vonkajších zdrojov signálu**

### **10.1.1 Meranie úrovne signálu**

Prvé meranie bolo založené na porovnávaní úrovne signálu pred stenou miestnosti, keď smerová anténa HE 200 bola cca 1m od okna a vyklonením antény von z okna.

Meralo sa frekvenčné spektrum od 20 MHz do 3 GHz.

Je dôležité vedieť, že používané vysielacie antény väčšinou vysielajú vertikálne alebo horizontálne polarizovaný signál, ktorý je zaznamenateľný prijímacou anténou otočenou iba horizontálne alebo iba vertikálne. A to bolo dôležité pre meranie.

Najskôr sa zmeral prijímaný signál smerovou anténou HE 200 s frekvenčným rozsahom 20 – 200 MHz, príloha I - obr.43, 44) vyklonením antény von z okna. Signál sa zmeral zmenou polohy antény vertikálne i horizontálne. Ďalej sa umiestnila anténa dovnútra miestnosti cca 1m od okna, zatvorilo sa okno a zmeralo sa anténou vertikálne i horizontálne príloha I - obr. 43, 44 ). Tretím bodom bolo, že k oknu sa pridalo kovové tienenie a previedlo sa meranie (horizontálne i vertikálne).

Tie isté merania sa zopakovali pri frekvenčných rozsahoch 200 – 500 MHz a 500 – 3000 MHz, príloha I - obr. 45, 46, 47, 48).

Priebehy merania celého frekvenčného pásma (t.z. od 20 MHz do 3 GHz), sú znázornené na obr. 30 pre horizontálne meranie a obr. 31 pre vertikálne polohy antén. Pre lepšiu prehľadnosť sú jednotlivé grafy priložené v Prílohe I.

### 10.1.2 Tieniaca účinnosť

Tieniacu účinnosť miestnosti sme potom jednoducho určili z maximálnych hodnôt.

Vybrali sa tri maximálne hodnoty pre rovnakú frekvenciu pre otvorené okno a pre zatvorené okno.

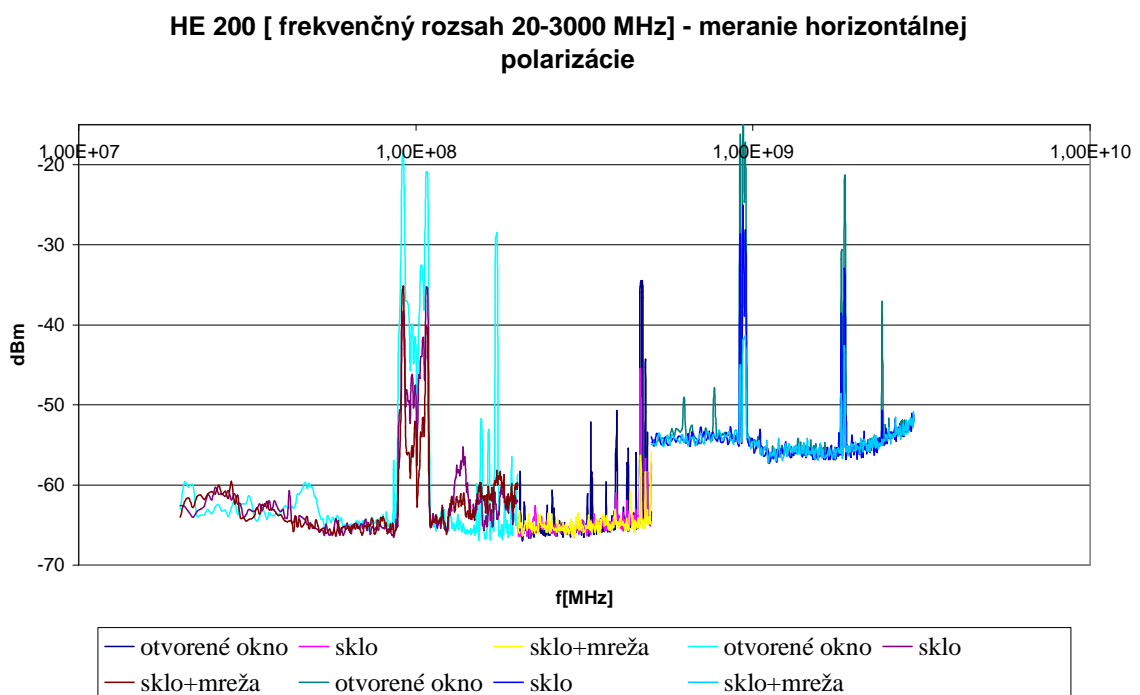
Tieniaca účinnosť zatvoreného okna sa vypočíta:

Maximálna hodnota pri otvorenom okne – Maximálna hodnota pri zatvorenom okne.

Tieniaca účinnosť pri sklenenej tabuli + mreža sa vypočíta:

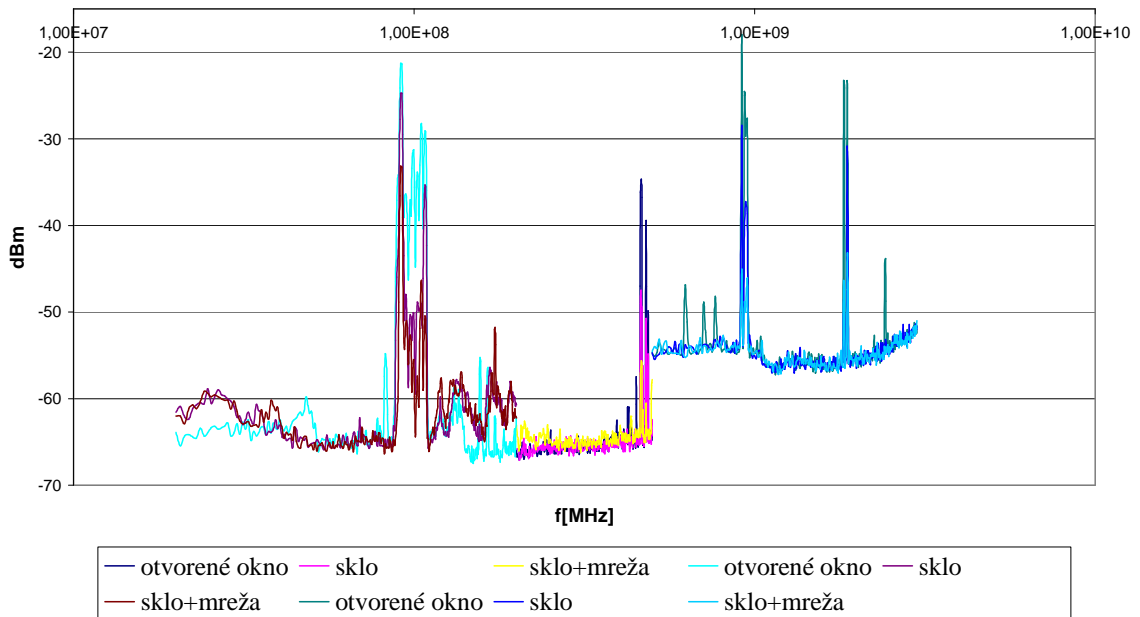
Max. hodnota pri otvorenom okne – Max. hodnota pri zatvorenom okne a mreže

Tieniaca účinnosť je znázornená pre horizontálne meranie na obr. 32 a pre vertikálne meranie na obr.33.



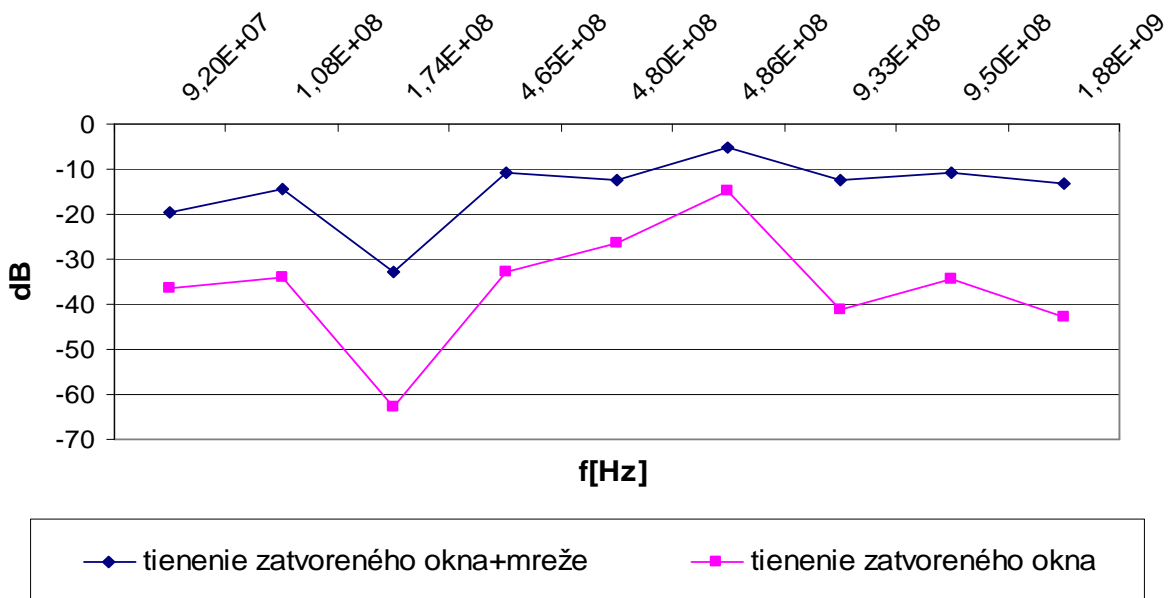
Obr. 30. Meranie výkonu elektromagnetického poľa pre horizontálnu polarizáciu ( frekvenčný rozsah 20 MHz - 3 GHz)

HE 200 [ frekvenčný rozsah 20-3000 MHz ] - meranie vertikálnej polarizácie



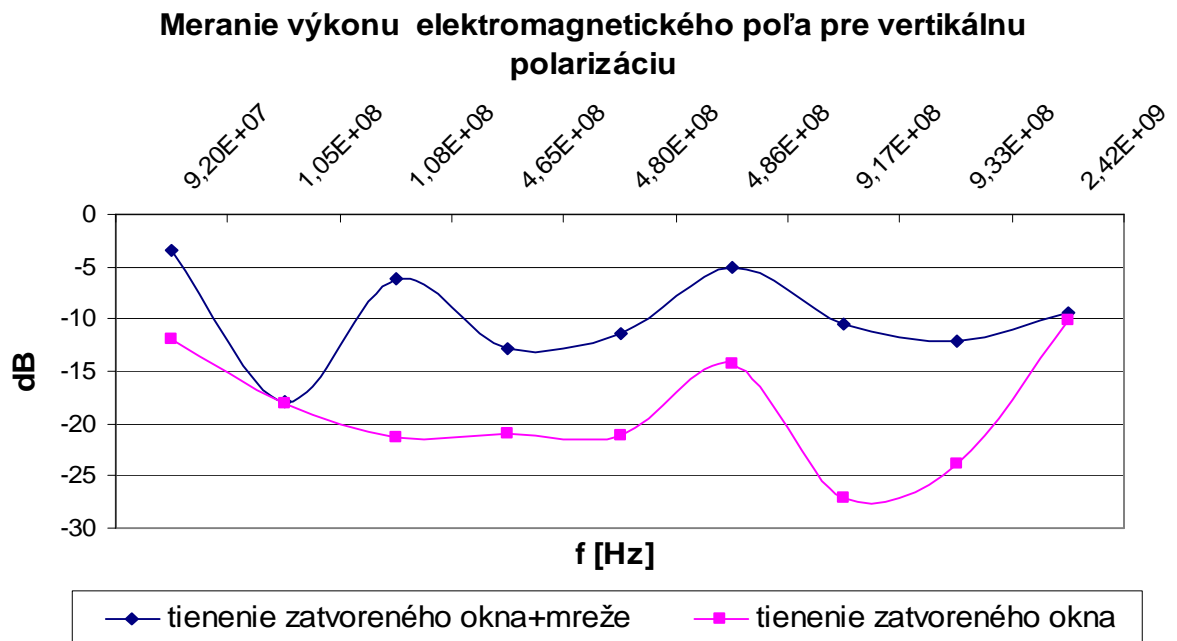
Obr. 31. Meranie výkonu elektromagnetického poľa pre vertikálnu polarizáciu ( frekvenčný rozsah 20 MHz - 3 GHz)

Meranie výkonu elektromagnetického poľa pre horizontálnu polarizáciu



Obr. 32. Tieniaca účinnosť zatvoreného okna a zatvoreného okna s mrežou – horizontálna polarizácia





Obr. 33. Tieniaca účinnosť zatvoreného okna a zatvoreného okna s mrežou - vertikálna polarizácia

### 10.1.3 Diskusia

Z obr.32 a 33 je značné že účinnosť tieniacej mreže je vyššia ako pri jednoduchej sklenenej tabuli. Tieniaca účinnosť je dá sa povedať podobná pri vertikálnej i horizontálnej polarizácii.

Kolísanie oboch priebehov je zrejme spôsobené väčším množstvom predmetov v miestnosti, resp. signálom.

## 10.2 Meranie 2 - meranie rozloženia intenzity elektromagnetického poľa v miestnosti

### 10.2.1 Rozloženie intenzity poľa v miestnosti

Toto meranie bolo zamerané na zistenie rozloženia intenzity poľa v miestnosti. Zisťovalo sa, v ktorom mieste v miestnosti bola intenzita signálu minimálna resp. maximálna.

Ako vysielač poslúžila improvizovaná anténa obr. 34.



*Obr. 34. Vysielacia anténa*

Najskôr sa nasimulovalo meranie vo voľnom priestranstve, zmeral sa vyžarovaný signál a porovnal sa so signálmi nameranými za rôznych podmienok, a to:

- keď boli otvorené dvere + otvorené okno v miestnosti
- keď boli otvorené dvere + zatvorené okno s mrežou v miestnosti
- keď boli zatvorené drevené dvere + zatvorené okno s mrežou
- keď boli zatvorené drevené dvere spolu s mrežou + zatvorené okno spolu s mrežou

Keď bola prijímacia smerová anténa HE 200 s rozsahom 20 – 200 MHz vo vnútri miestnosti, vo vzdialenosti cca 1,7 m od vysielacej antény. Priebeh merania je znázornený v prílohe II na obr. 49.

### **10.2.2 Intenzita poľa**

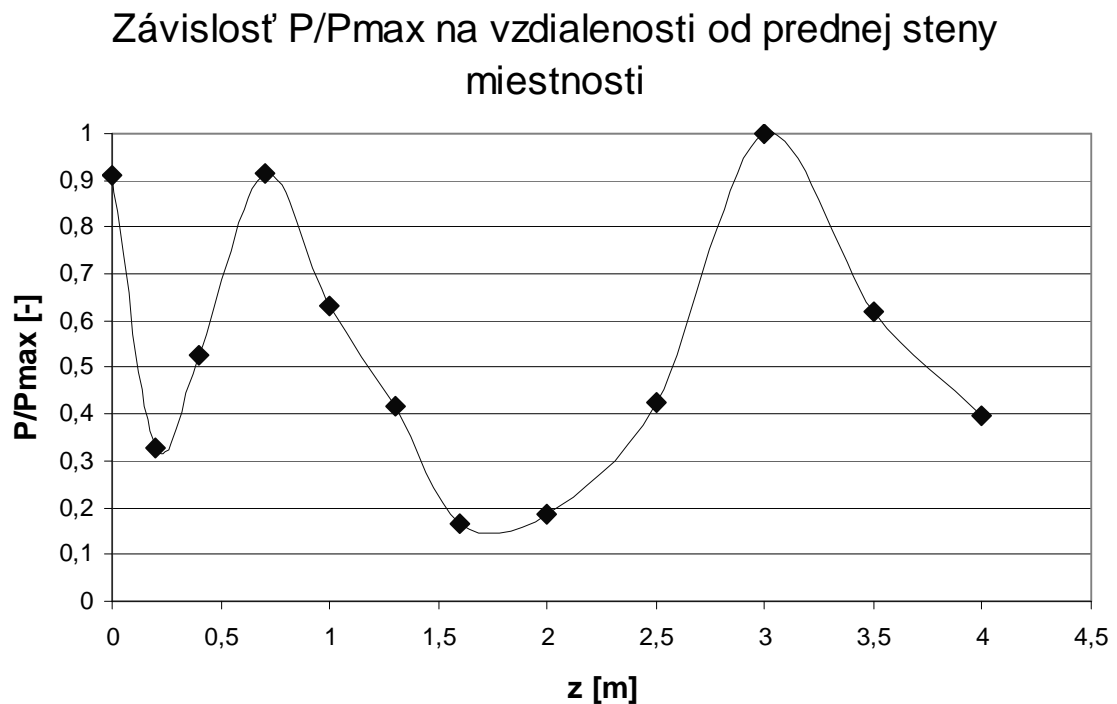
Ďalšou fázou merania v miestnosti bolo nájsť minimálne a maximálne hodnoty. Pre lepšiu predstavu je uvedený súradnicový systém pri nákrese miestnosti na obr. 29.. Dvere spolu so železným pletivom boli po celý čas merania zatvorené. Nastavila sa frekvencia 44,8 MHz, ktorú vysielala vysielacia anténa a prijímacia anténa ju prijímala vo vzdialenosti 1,7 m v laboratórnej miestnosti.

1. Smerová anténa HE 200 s rozsahom 20 – 200 MHz sa vzd'alovala od vysielacej antény v ose X a zaznamenávali sa hodnoty vo vzdialenostiach: 0 m, 0,4 m, 1 m, 1,6 m, 2 m, 2,5 m, 3 m, 3,5 m, 4 m. Priebeg merania je vykreslený v prílohe II na obr. 50.
2. Vo vzdialenosti cca 1,7 m od vysielacej antény sa pohybovalo anténou v smere Y vid'. priebeg merania obr. 51, zmenila sa však vysielaná frekvencia na 768 MHz. Pohybovalo sa po šírke miestnosti vo vzdialenostiach 0 m, 0,15 m, 0,3 m, 0,45 m, 0,6 m (0 m – stred miestnosti).
3. V tej istej vzdialenosti od vysielacej antény sa pohybovala smerová anténa i v ose Z. Pohybovalo sa ňou 0,82 m, 1,2 m, 1,37 m, 1,58 m, 1,63 m, 1,84 m, 2 m nad zemou. Priebeg je vykreslený v prílohe II na obr. 52.

Z každého merania bolo nutné vybrať maximálnu hodnotu pre každý prípad merania a previesť z dBmV na mV. A každý  $P$  sa podelí maximálnou hodnotou  $P$  pri každom meraní.

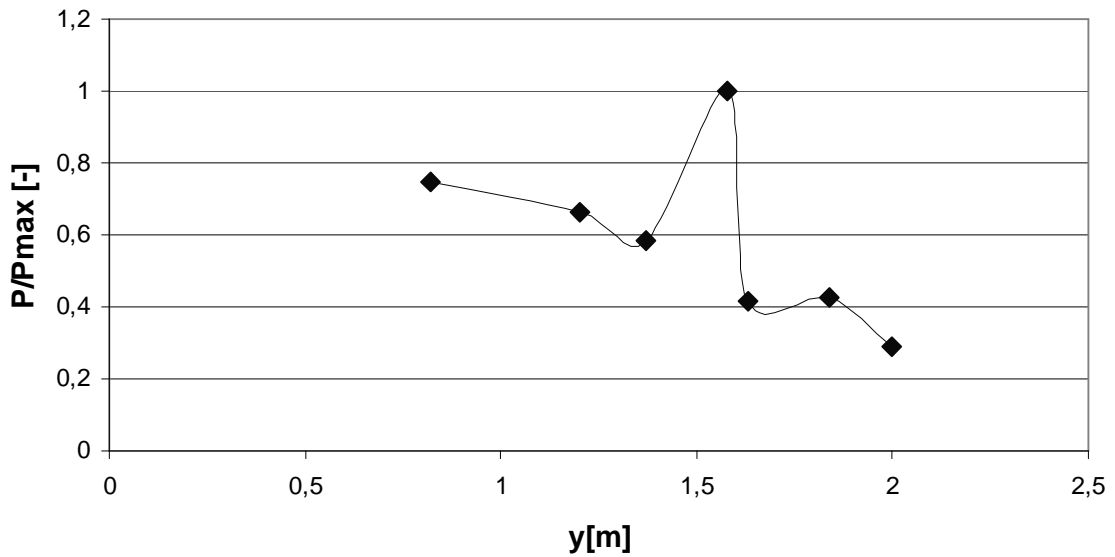
$$P[\text{dBmV}] = 10 \log.P [\text{mV}] \quad (18)$$

Závislosť  $P/P_{\text{max}}$  na zmene polohy prijímacej antény je naznačená na obr.35, 36, 37.



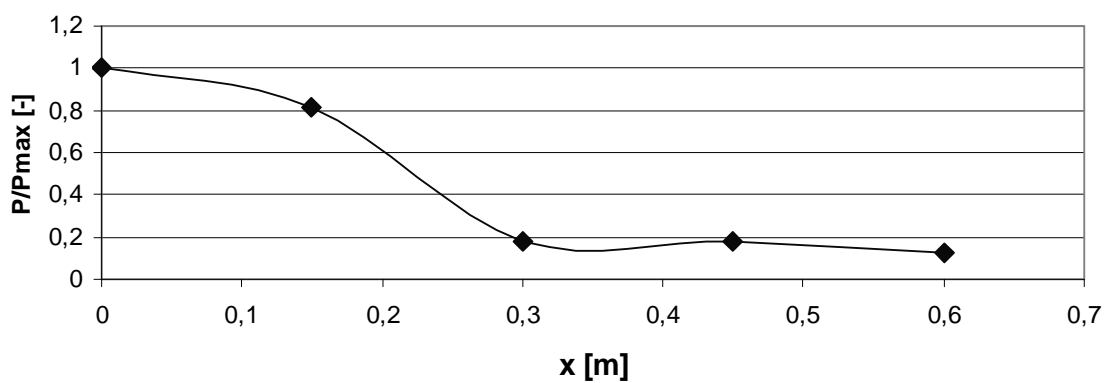
Obr. 35. Rozloženie stojatých vln v miestnosti – meranie v ose X

### Závislost' $P/P_{max}$ na zmene výšky meracej antény



Obr. 36. Rozloženie stojatých vln v miestnosti – meranie v ose Z

### Závislost' $P/P_{max}$ pohybovaniu sa po šírke steny miestnosti



Obr. 37. Rozloženie stojatých vln v miestnosti – meranie v ose Y

### 10.2.3 Diskusia

V rezonátore by mali byť min a max od seba rovnomerne vzdialené, čo sa v tomto prípade nestalo, príčinou môže byť väčším množstvom predmetov (skrine, stoly), ktoré spôsobujú útlm vln v miestnosti.

Zistilo sa že miestnosť sa chová ako rezonátor pri vyšších kmitočtoch. Obr. 35 potvrdzuje, že sa miestnosť chová pre danú funkciu ako rezonátor. Striedanie miním a maxím nie je však úplne pravidelné, dôvodom môže byť nadbytočné umiestnenie veľkých predmetov v laboratórnej miestnosti (skrine, stoly, a iné...), čo môže naše meranie značne ovplyvňovať.

## 10.3 Meranie 3 – závislosť tieniacej účinnosti na frekvencii

### 10.3.1 Závislosť tieniacej účinnosti na frekvencii

Zistilo sa, pre ktoré frekvencie je vysielacia anténa impedančne prispôbena (každý z troch antén má inú). Vyplýva to z pomeru stojatých vln. Pomer stojatých vln by mal byť pre kvalitné prispôbenie 1,5. Tieto frekvencie sa nastavili na signálovom generátore SM 300 a na FSH3.

Prijímacia anténa bola postavená dovnútra miestnosti v mieste maximálnej intenzity.

Pri každej frekvencii sa zmerala hodnota pre otvorené a pre zatvorené dvere a bola vynesená do grafu. To sa opakovalo pre každý typ antény, tj. pre frekvenčné pásma 20 – 200 MHz; 200 – 500 MHz a 500 – 3000 MHz, priebehy meraní sú znázornené v prílohe III.

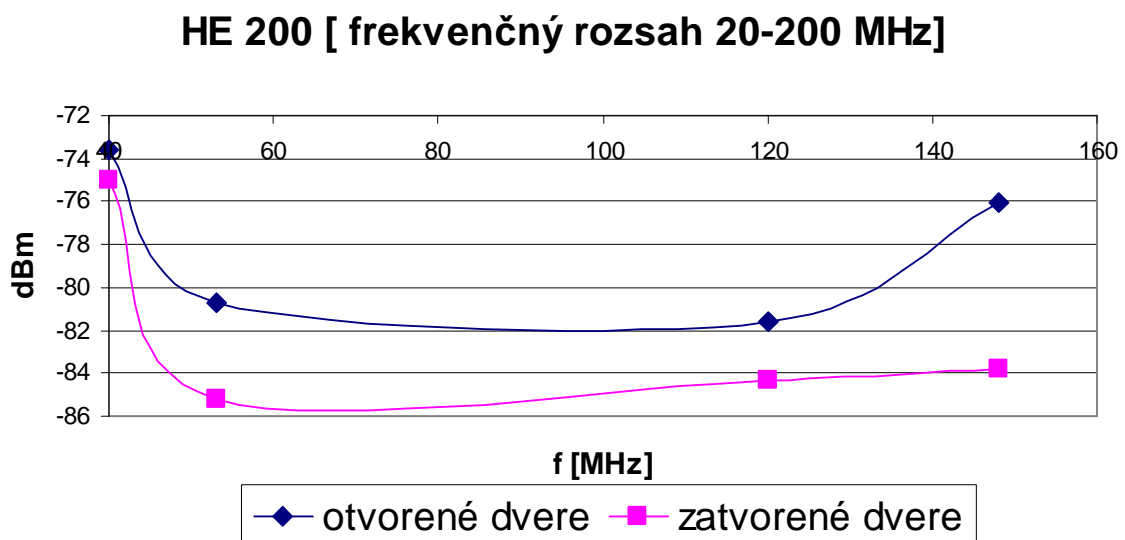
Od frekvencie 1,992 GHz bol zapnutý predzosilňovač, ovplyvňujúci anténny faktor, ale tým, že sa do grafu pričítali hodnotu anténneho faktoru pre aktívny režim, intenzitu sme neovplyvnili. Meranie:

- Pri prijímacej anténe s frekvenčným rozsahom 20 – 200 MHz sa meralo pri frekvenciách 40, 53, 120, 148 MHz, príklad je uvedený v prílohe III, obr. 53, pre frekvenciu 53 MHz.
- Pri prijímacej anténe s frekvenčným rozsahom 200 – 500 MHz sa meralo pri frekvenciách 221, 240, 290, 320, 385, 425, 450, 475 MHz, príklad je uvedený v prílohe III, obr. 54, pre frekvenciu 221 MHz.

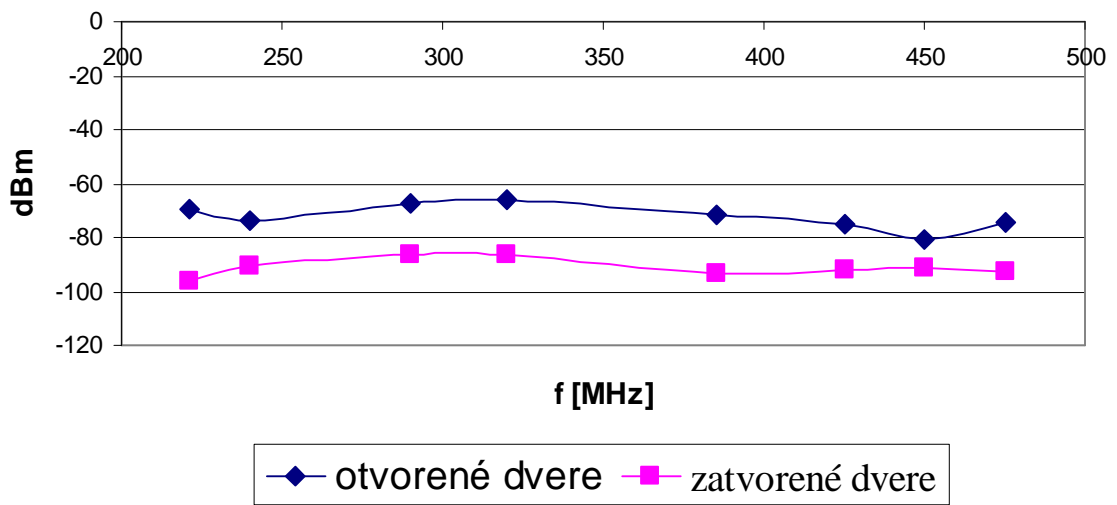
- Pri prijímacej anténe s frekvenčným rozsahom 500 – 3000 MHz sa meralo pri frekvenciách 660, 800, 958, 1208, 1476, 1692, 1992, 2358, 2783 MHz, príklad je uvedený v prílohe III, obr. 55, pre frekvenciu 660 MHz. Od frekvencie 1992 MHz bol potrebné zapnúť predzosilňovač, ovplyvňujúci anténny faktor, pričítaním hodnoty anténneho faktora pre aktívny režim sa ale intenzita neovplyvnila.

Maximálne hodnoty útlmu sa vyniesli do grafu v závislosti na nastavovaných frekvenciách, pre ktoré sú antény impedančne prispôsobené, čiže, v ktorých dosiahli maximálne hodnoty, znázornenie všetkých antén je na obr. 38, 39, 40.

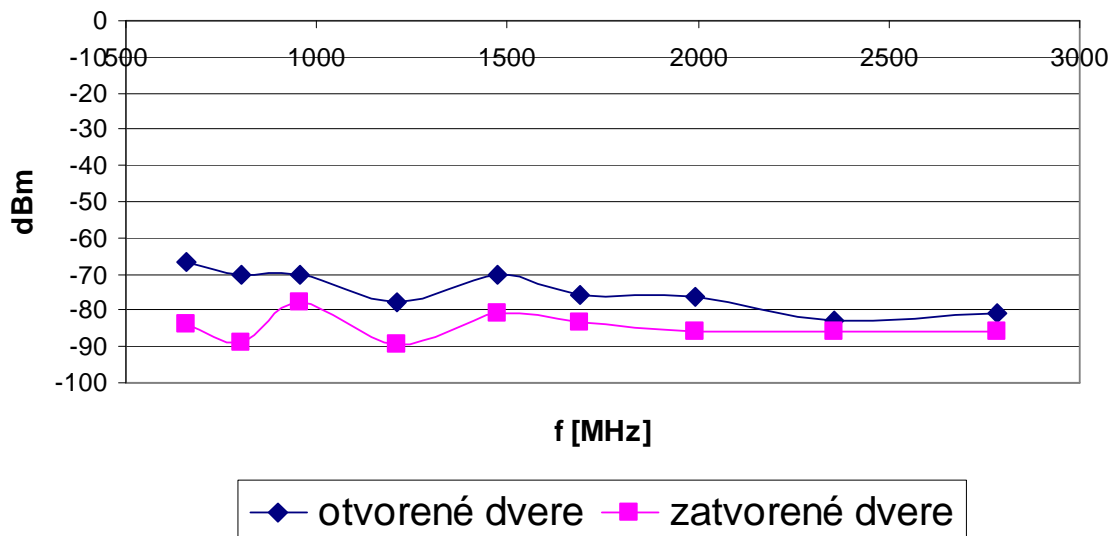
Účinnosť tienenia mreže bola zistená odčítaním maximálnych hodnôt útlmu pri otvorených dverách od maximálnych hodnôt pri zatvorených dverách, vid' obr. 41, u všetkých antén.



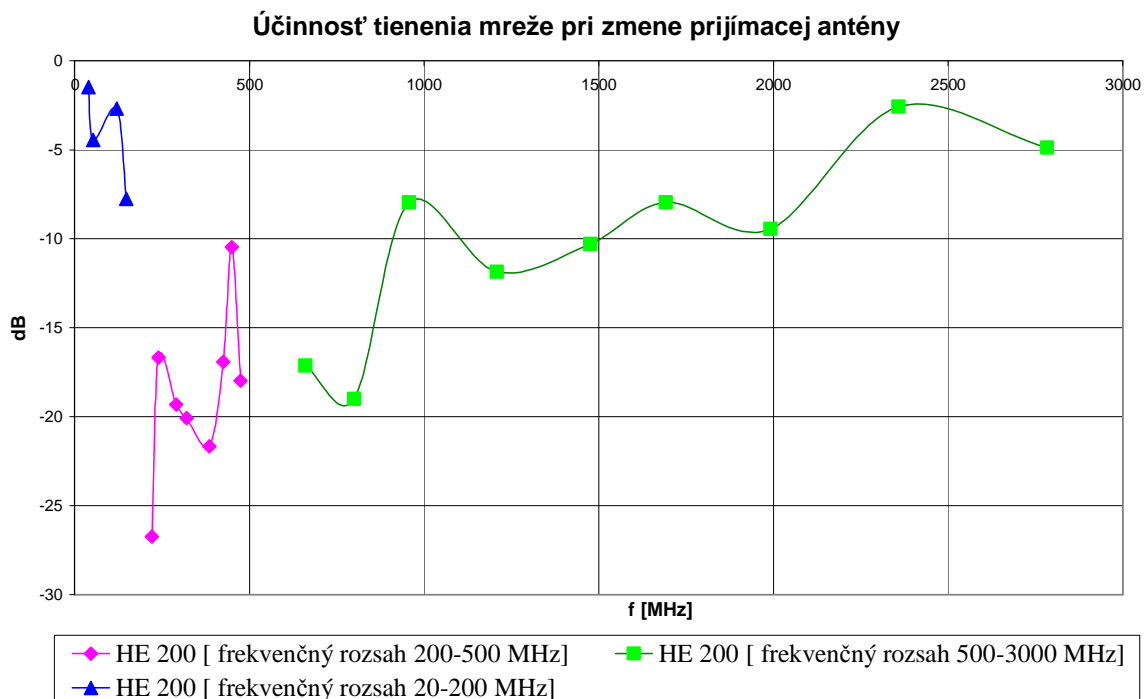
Obr. 38 .Maximálne namerané hodnoty výkonu pri rôznych frekvenciách

**HE 200 [ frekvenčný rozsah 200-500 MHz]**

Obr. 39. Maximálne namerané hodnoty výkonu pri rôznych frekvenciách

**HE 200 [ frekvenčný rozsah 500-3000 MHz]**

Obr. 40. Maximálne namerané hodnoty výkonu pri rôznych frekvenciách



Obr. 41. Tieniaca účinnosť mreže v rozsahu 20 – 3000 MHz

### 10.3.2 Diskusia

Potvrdil sa predpoklad, že tieniaca účinnosť bude s frekvenciou klesať. Je to spôsobené jednak otvormi v pletive tienenia a tiež (väčšia pravdepodobnosť) netesnosťami pri dverách a oknách. Pre orientáciu pomôžu informácie z tabuľky tieniacej účinnosti, vid' tab.2. Do cca 1,5 GHz je namerané tienenie v pásme 10 – 30 dB a nad 1 GHz klesá pod 10 dB.

Priebeh každého merania bol uložený do vnútornej pamäte spektrálneho analyzátoru FSH3. Dáta boli pomocou optického rozhrania RS-232 a softwarového vybavenia FSH3 - View prenesené do počítača, kde boli výsledky pomocou programu Excel spracované, vyhodnotené a vykreslené jednotlivé namerané priebehy.

### 10.4 Diskusia merania

Výslednú diskusiu k tomuto meraniu je možno zhrnúť takto: tieniaca účinnosť kovového materiálu, nachádzajúceho sa v laboratórnej miestnosti nemožno presne určiť. Zhruba však



možno napísať že tieniaca účinnosť mreže sa pohybuje cca okolo  $20 \text{ dB} \pm 2\text{dB}$ . Odchýlka kolísa vzhľadom k výkonu signálu a frekvencii, potom je i citlivosť rôzna. Zasadujúcim faktorom môže byť i funkcia PRIEMER na spektrálnom analyzátore, ktorá dané hodnoty spriemeruje, aby signál nekolísal. Treba brať do úvahy i tolerančnú odchýlku u meracích prístrojov u FSH 3 bola tolerancia  $\leq 300 \text{ kHz} \pm 5 \%$ , menovitá; kmitočet  $> 1 \text{ MHz}$ , pri referenčnej úrovni do  $-50 \text{ dB} < 1,5 \text{ dB}$ . U generátora SM 300 bola tolerancia  $f \leq -120 \text{ dBm} < 0,5 \text{ dB}$ ;  $f > 2 \text{ GHz} < 0,9 \text{ dB}$ . Podľa manuálu firmy R&S pre anténu HE 200 sa chyba merania nevyjadruje.

Pri meraní v laboratórnej miestnosti boli zistené nedostatky v podobe objektov v miestnosti, ktoré predstavovali iné zdroje signálu: počítače, monitory, iné antény, ... Ďalším faktorom pre nesprávne fungovanie šírenia vln v miestnosti je nadmerné množstvo nábytku v miestnosti, ktoré mení fyzikálne vlastnosti. Vyžarovaný signál sa tak mohol od nábytku odrážať rôznymi smermi.

Najväčší ovplyvňujúci činiteľ, ktorý narušuje správne fungovanie elektromagnetického tienenia je samostatné obloženie materiálu a teda i materiál.

Obloženie má tvar pletiva a oká v ňom dosahujú veľkosti až  $1,5 \text{ cm} \times 1,5 \text{ cm}$  čo je nepripustné. Firma Laird Technologies ponúka širokú škálu panelov, napr. elektrolyticky pokované prieduchové panely = vetracie panely sú dostupné v širokej sade materiálov, pripavenia i konfigurácie. Tvar doskového tienenia pripomína hustú sieť a oká majú tvar včelej štruktúry. To je možné riešenie pre tento problém. Celkovo treba poukázať na nevhodný materiál, ktorý bol použitý. Sama konštrukcia (hrubý rám) spôsobuje odraz signálu, pôsobí tak sám ako vysielač antény.

Materiál na dverách a oknách neposkytuje nijaké tesnenie, riešenie ktorého opäť poskytuje firma Laird Technologies v podobe elektricky vodivých elastomerov = poskytujú dobré tesniace účinky, vynikajúce mechanické a elektromagnetické tieniace vlastnosti.

Možným riešením by bolo i spojenie pletiva s dverami, aby tieniaci materiál bol sám vlastne dverami a nie ako jeho oddelená časť.

## ZÁVER

Táto práca oboznamuje čitateľa s vedecko – technickou disciplínou EMC. Pojednáva o tom, ako vzniká toto rušenie prístroja prístrojom, ako prebieha, ako ho možno ovplyvniť, resp. zmenšiť či odstrániť, ale i ako ho zmerať.

Tieniaca účinnosť kovového materiálu, nachádzajúceho sa v laboratórnej miestnosti na FAI UTB v Zlíne sa pohybuje cca  $20 \text{ dB} \pm 2\text{dB}$ . Odchýlka kolísava vzhľadom k výkonu signálu a frekvencii, potom je i citlivosť rôzna.

Tieto teoretické poznatky boli uvedené do praxe v podobe zmerania tieniacej účinnosti laboratórnej miestnosti na FAI UTB v Zlíne. Boli prevedené tri merania, kedy raz sa merali vonkajšie prichádzajúce signály, druhý krát sa porovnával signál zmenou polohy antény a tretie meranie o závislosti veľkosti výkonu signálu na zmene frekvencie.

Na výsledky merania vplývalo niekoľko negatívnych faktorov, a to:

- v miestnosti sa nachádzali objekty, ktoré predstavovali zdroje signálu (PC, monitory,...),
- hrubý nábytok, od ktorého kovových častí sa vlny odrážali a menili svoj smer,
- samotný tieniaci materiál: oká materiálu v tvare pletiva majú veľkosť až  $1,5 \text{ cm} \times 1,5 \text{ cm}$ , cez ne signál preniká bez veľkého obmedzenia. Riešenie je v podobe elektrolyticky pokovaných prieduchových panelov (hustá sieťovina s okami tvaru včelej štruktúry). Materiál na dverách a oknách neposkytuje nijaké tesnenie, riešenie poskytuje firma Laird Technologies v podobe elektricky vodivých elastomerov = poskytujú dobré tesniace účinky, vynikajúce mechanické a elektromagnetické tieniace vlastnosti. Možným riešením by bolo i konštrukčné spojenie pletiva s dverami, aby tieniaci materiál bol sám vlastne dverami a nie ako jeho oddelená časť.

Laboratórna miestnosť, v ktorej meranie prebiehalo, sama predstavuje aplikáciu do Priemyslu komerčnej bezpečnosti, pri skvalitnení tieniacej účinnosti môže pôsobiť ako Faradayová klietka.

Princíp Faradayovej klietky je založený na tom, že elektrický náboj je sústredený iba na povrchu vodiča, nie v jeho objeme. Vo vnútri vodiča nepôsobí žiadne elektromagnetické pole. Ich použitie je tam, kde je treba chrániť zariadenia, osoby či informácie pred škodlivým elektromagnetickým poľom, rádiovými vlnami a pod. Tieto miestnosti sú chránené i proti odpočúvaniu.

**ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY**

- [1] SVAČINA J.: Elektromagnetická kompatibilita, Vysoké učení technické v v Brně, 2002.
- [2] ČSN EN 61000-4-1.
- [3] ČSN EN 61000-4-3.
- [4] ČSN EN 55016-1-1.
- [5] VALOUCH J.: Elektromagnetická kompatibilita – Vojenský význam a legislativa. VA v Brně, 2003.
- [6] ROHDE & SCHWARZ: Ruční spektrální analyzátor R&S FSH – návod k obsluze.
- [7] ROHDE & SCHWARZ: Směrová anténa R&S 200 - návod k obsluze .
- [8] CLAYTON P. R.: Introduction to Electromagnetic Compatibility, John Wiley and Sons, Inc.PUBLICATION, 2006.
- [9] HALLIDAY D.; RESCNICK R.; WALKER J.: Fyzika – část 3 – Elektrina a magnetismus, Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM, 2000.
- [10] SENGUPTA D., L.; LIEPA V., L.: Applied Electromagnetics and Electromagnetic Compatibility, John Wiley and Sons, Inc. PUBLICATION, 2005.
- [11] Tieniáci materiál: atlas firiem [online]. [cit. 2007 – 24 - 4]. Dostupný z WWW: <<http://www.lairdtech.com/>>.
- [12] Elektromagnetická kompatibilita: google elektrotechnika [online]. [cit. 2007 – 25 - 4]. Dostupný z WWW: <<http://www.elektrorevue.cz/>>.

**ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK**

- OUS Ochrana utajovaných skutočností
- EMC Electromagnetic Compatibility; (elektromagnetická kompatibilita)
- EMI Electromagnetic Interference; (elektromagnetické rušenie)
- EMS Electromagnetic susceptibility; (elektromagnetická citlivosť)
- PKB Priemysel komerčnej bezpečnosti
- FSH Spektrálny analyzátor firmy Rohde & Schwarz
- HE 200 Prijímacia anténa firmy Rohde & Schwarz
- SM 300 Generátor firmy Rohde & Schwarz
- SE Shielding Effectivness; (účinnosť tienenia)

**ZOZNAM OBRÁZKOV**

<i>Obr. 1. Základný reťazec EMC [1].....</i>	12
<i>Obr. 2. Základné členenie problematiky EMC .....</i>	13
<i>Obr. 3. Úrovnne a medze vyžarovania a odolnosti.....</i>	15
<i>Obr. 4. Optimalizácia finančných nákladov pre zaistenie EMC zariadenia .....</i>	15
<i>Obr. 5. Interferenčné zdroje.....</i>	17
<i>Obr. 6. Prejavy rušivých signálov v sieťovom napájacom napätí .....</i>	18
<i>Obr. 7. Kolmý dopad rovinnnej elektromagnetickej vlny na kovovú tieniacu prepážku .....</i>	23
<i>Obr. 8. Závislosť jednotlivých zložiek účinnosti tienenia na kmitočtovom priebehu.....</i>	25
<i>Obr. 9. Orientácia nevyžarujúcej(a) a vyžarujúcej(b)štrbiny v kovovej tieniacej prepážke.....</i>	27
<i>Obr. 10. Vetracie a priechodové sekcie tieniacich krytov .....</i>	28
<i>Obr. 11. Spôsobu zlepšenia elektromagnetickej účinnosti tesnenia pri spojení častí tieniaceho krytu „na tupo“ a) prekrytím spojovaných častí (b,c).....</i>	29
<i>Obr. 12. Zásady konštrukcie elektromagneticky tienených krytov: .....</i>	30
<i>Obr. 13. Vyrábané koaxiálne káble .....</i>	31
<i>Obr. 14. Napät'ová sonda.....</i>	33
<i>Obr. 15. Prúdová sonda.....</i>	34
<i>Obr. 16. a) Absorpčné kliešte, b) konštrukcia absorpčných klieští: .....</i>	35
<i>Obr. 17. Meracie antény pre systémy EMI: .....</i>	36
<i>Obr. 18. Príklady odrazov v pyramidálnom absorbéry .....</i>	39
<i>Obr. 19. Príklady bezodrazových absorpčných hál .....</i>	39
<i>Obr. 20. Základné typy vstupov rušivých signálov do skúšaného zariadenia .....</i>	42
<i>Obr. 21. príklad usporiadania skúšobného pracoviska EMS .....</i>	43
<i>Obr. 22. Vonkajší vzhľad simulátorov ESD .....</i>	45
<i>Obr. 23. Skúška odolnosti voči elektrostatickým výbojom ESD .....</i>	45
<i>Obr. 24. Meracia komora GTEM .....</i>	47
<i>Obr. 25. Smerová anténa HE 200 s rozsahmi: a) 20 – 200 MHz; b) 200 – 500MHz ; c) 500 – 3000 MHz. ....</i>	55
<i>Obr. 26. Ručné zameriavanie vyhľadávaním maximálnej intenzity signálu.....</i>	57
<i>Obr. 27. Spektrálny analyzátor Rohde &amp; Schwarz FSH3.....</i>	58
<i>Obr. 28. Popis predného panelu FSH3.....</i>	60

<i>Obr. 29. Laboratórna miestnosť</i> .....	61
<i>Obr. 30. Meranie výkonu elektromagnetického poľa pre horizontálnu polarizáciu (frekvenčný rozsah 20 MHz - 3 GHz)</i> .....	63
<i>Obr. 31. Meranie výkonu elektromagnetického poľa pre vertikálnu polarizáciu (frekvenčný rozsah 20 MHz - 3 GHz)</i> .....	64
<i>Obr. 32. Tieniaca účinnosť zatvoreného okna a zatvoreného okna s mrežou – horizontálna polarizácia</i> .....	64
<i>Obr. 33. Tieniaca účinnosť zatvoreného okna a zatvoreného okna s mrežou - vertikálna polarizácia</i> .....	65
<i>Obr. 34. Vysielač anténa</i> .....	66
<i>Obr. 35. Rozloženie stojatých vln v miestnosti – meranie v ose X</i> .....	67
<i>Obr. 36. Rozloženie stojatých vln v miestnosti – meranie v ose Z</i> .....	68
<i>Obr. 37. Rozloženie stojatých vln v miestnosti – meranie v ose Y</i> .....	68
<i>Obr. 38. Maximálne namerané hodnoty výkonu pri rôznych frekvenciách</i> .....	70
<i>Obr. 39. Maximálne namerané hodnoty výkonu pri rôznych frekvenciách</i> .....	71
<i>Obr. 40. Maximálne namerané hodnoty výkonu pri rôznych frekvenciách</i> .....	71
<i>Obr. 41. Tieniaca účinnosť mreže v rozsahu 20 – 3000 MHz</i> .....	72
<i>Obr. 42. Zmeranie úrovne signálu anténou HE 200 [ frekvenčný rozsah 20-200 MHz] – vertikálne</i> .....	82
<i>Obr. 43. Zmeranie úrovne signálu anténou HE 200 [ frekvenčný rozsah 20-200 MHz] - horizontálne</i> .....	82
<i>Obr. 44. Zmeranie úrovne signálu anténou HE 200 [ frekvenčný rozsah 200-500 MHz] – vertikálne meranie</i> .....	83
<i>Obr. 45. Zmeranie úrovne signálu anténou HE 200 [ frekvenčný rozsah 200-500 MHz] – horizontálne meranie</i> .....	83
<i>Obr. 46. Zmeranie úrovne signálu anténou HE 200 [ frekvenčný rozsah 500-3000 MHz] – vertikálne meranie</i> .....	84
<i>Obr. 47. Zmeranie úrovne signálu anténou HE 200 [ frekvenčný rozsah 500-3000 MHz] – horizontálne meranie</i> .....	84
<i>Obr. 48. Meranie úrovne signálu anténou HE 200 s frekvenčným rozsahom 20 -200 MHz za rôznych podmienok</i> .....	85
<i>Obr. 49. Meranie úrovne signálu frekvencie 44,8 MHz v uzatvorenej tienenej miestnosti pohybovaním sa v smere osy X laboratórnej miestnosti</i> .....	85

---

<i>Obr. 50. Meranie úrovne signálu frekvencie 768 MHz v uzatvorenej tienenej miestnosti pohybovaním sa v smere osy Y laboratórnej miestnosti .....</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 51. Meranie úrovne signálu frekvencie 44,8 MHz v uzatvorenej tienenej miestnosti pohybovaním sa v smere osy Z laboratórnej miestnosti .....</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 52. Meranie úrovne signálu úrovne signálu pri otváraní a zatváraní dverí v laboratórnej miestnosti pri frekvencii 53 MHz.....</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 53. Meranie úrovne signálu pri otváraní a zatváraní dverí v laboratórnej miestnosti pri frekvencii 221 MHz.....</i>	<i>88</i>
<i>Obr. 54. Meranie úrovne signálu pri otváraní a zatváraní dverí v laboratórnej miestnosti pri frekvencii 660 MHz.....</i>	<i>88</i>

**ZOZNAM TABULIEK**

<i>Tab. 1. Tabuľkové hodnoty niektorých materiálov .....</i>	<i>22</i>
<i>Tab. 2. Hodnotenie elektromagnetického tienenia podľa hodnôt SE .....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 3. Typy antén.....</i>	<i>35</i>

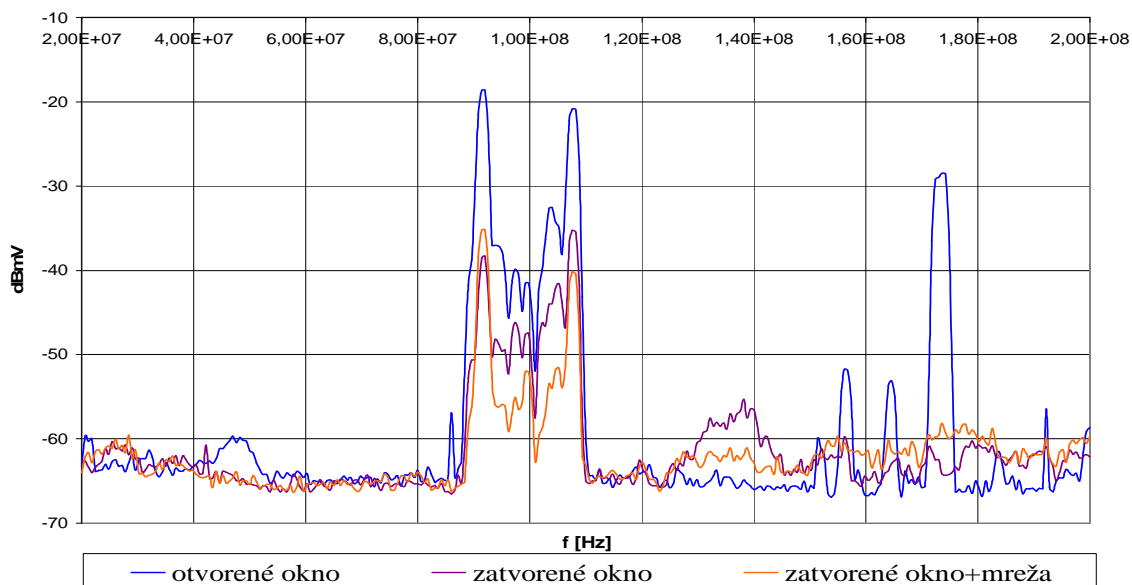


## **ZOZNAM PRÍLOH**

- P I Grafy pre meranie 1
- P II Grafy pre meranie 2
- P III Grafy pre meranie 3
- P IV Cenník tieniacich produktov firmy Laird Technologies
- P V Výrobky firmy Laird Technologies

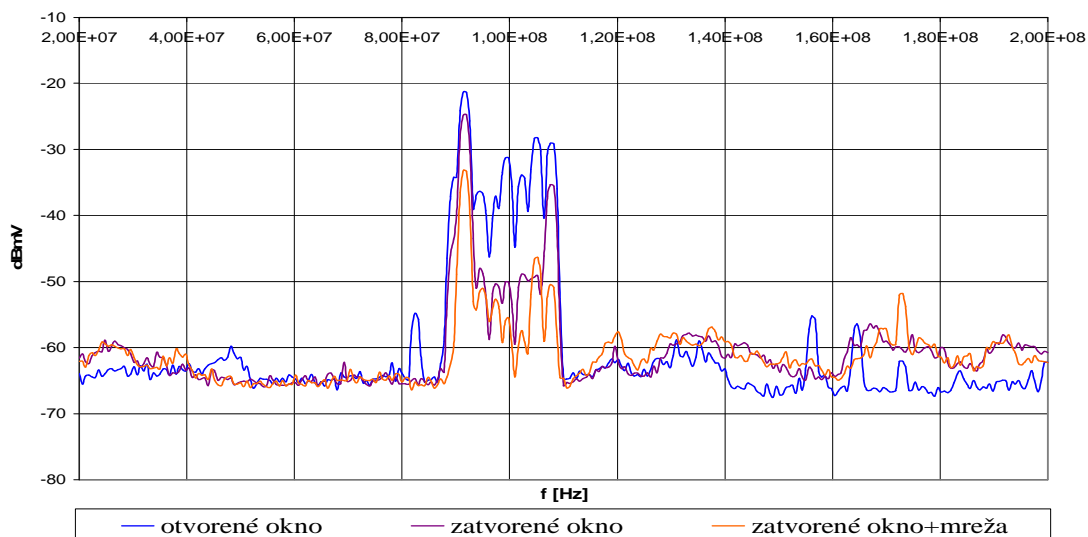
# PRÍLOHA P I: GRAFY PRE MERANIE 1 : MERANIE TIENIACEJ ÚČINNOSTI S VYUŽITÍM VONKAJŠÍCH ZDROJOV SIGNÁLU

HE 200 [ frekvenčný rozsah 20-200 MHz] - vertikálne



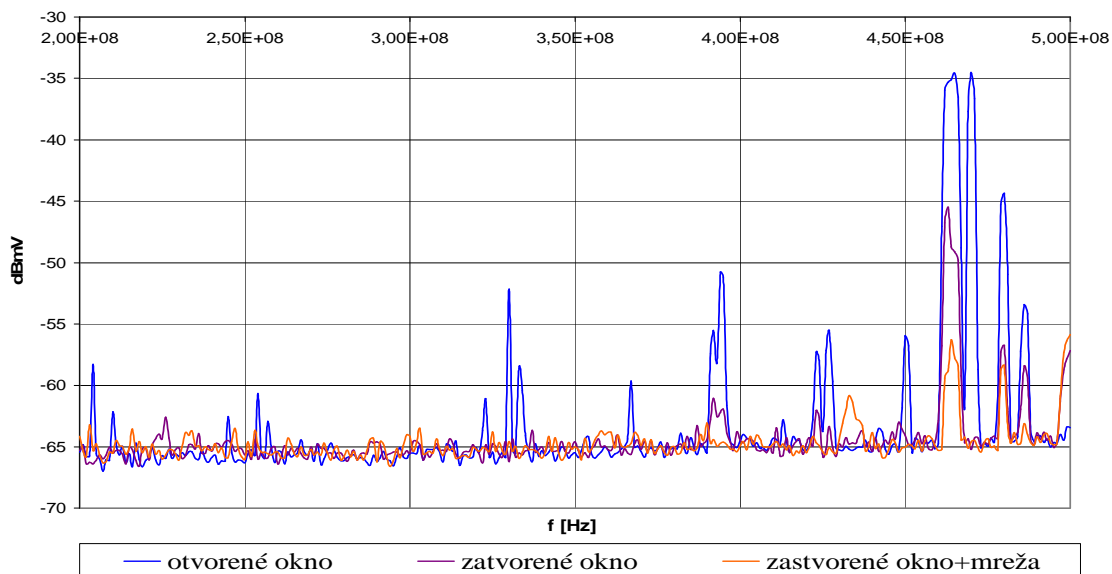
Obr. 42. Zmeranie úrovne signálu anténou HE 200 [ frekvenčný rozsah 20-200 MHz] – vertikálne

HE 200 [ frekvenčný rozsah 20-200 MHz] - horizontálne



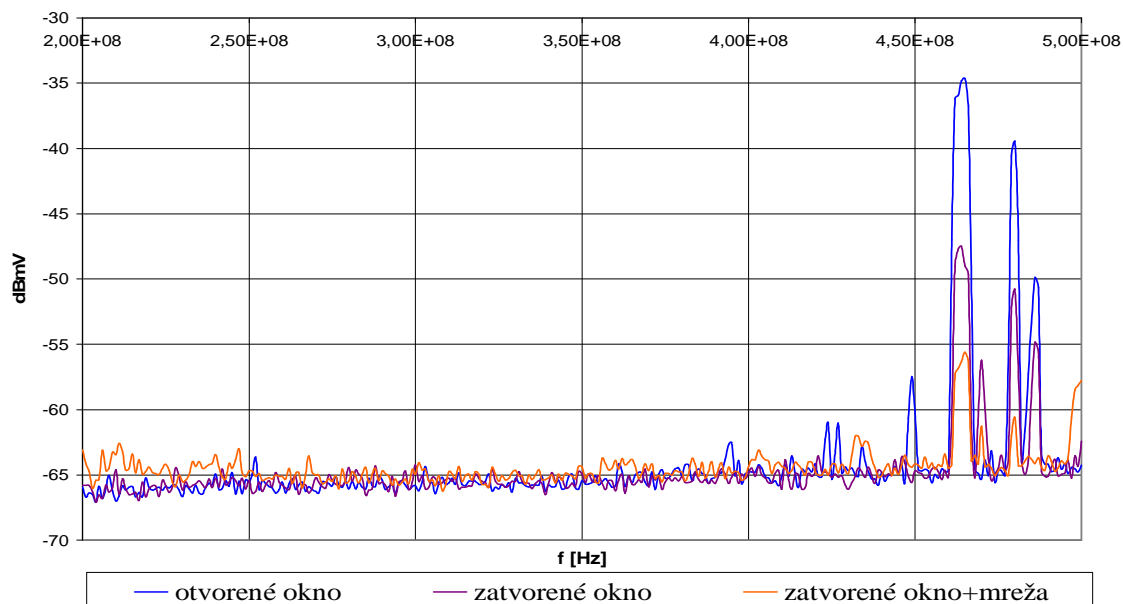
Obr. 43. Zmeranie úrovne signálu anténou HE 200 [ frekvenčný rozsah 20-200 MHz] - horizontálne

### HE 200 [ frekvenčný rozsah 200-500 MHz] - vertikálne



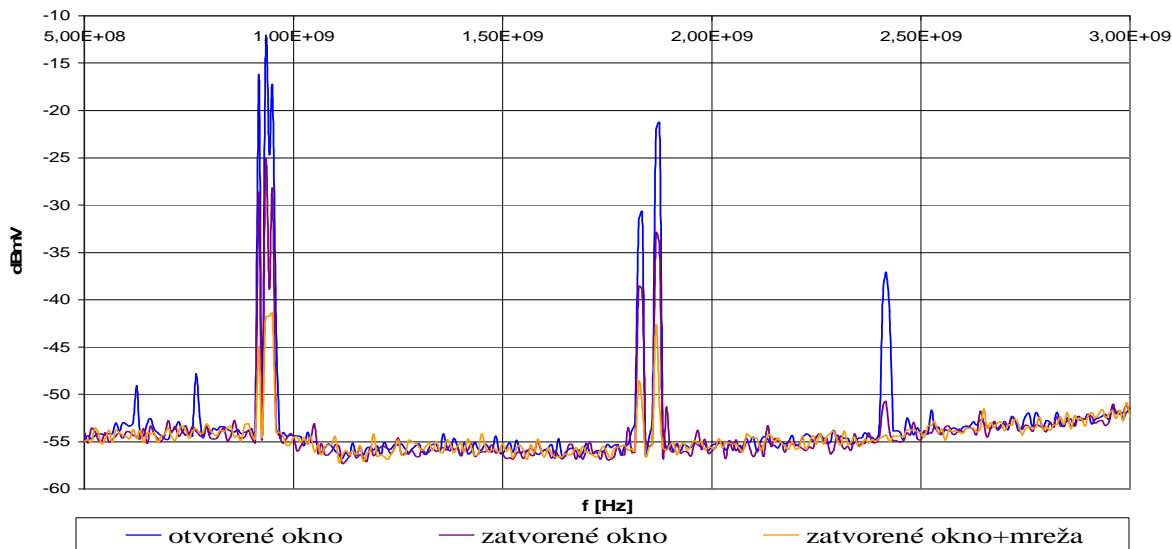
Obr. 44. Zmeranie úrovne signálu anténou HE 200 [ frekvenčný rozsah 200-500 MHz] – vertikálne meranie

### HE 200 [ frekvenčný rozsah 200-500 MHz] - horizontálne



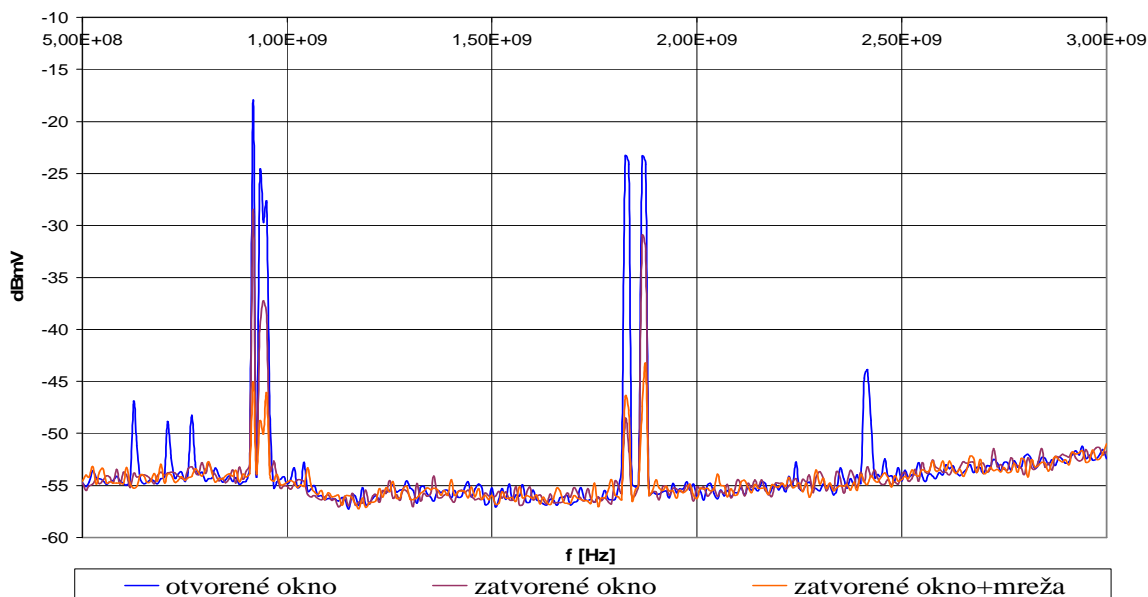
Obr. 45. Zmeranie úrovne signálu anténou HE 200 [ frekvenčný rozsah 200-500 MHz] – horizontálne meranie

### HE 200 [ frekvenčný rozsah 500-3000 MHz] - vertikálne



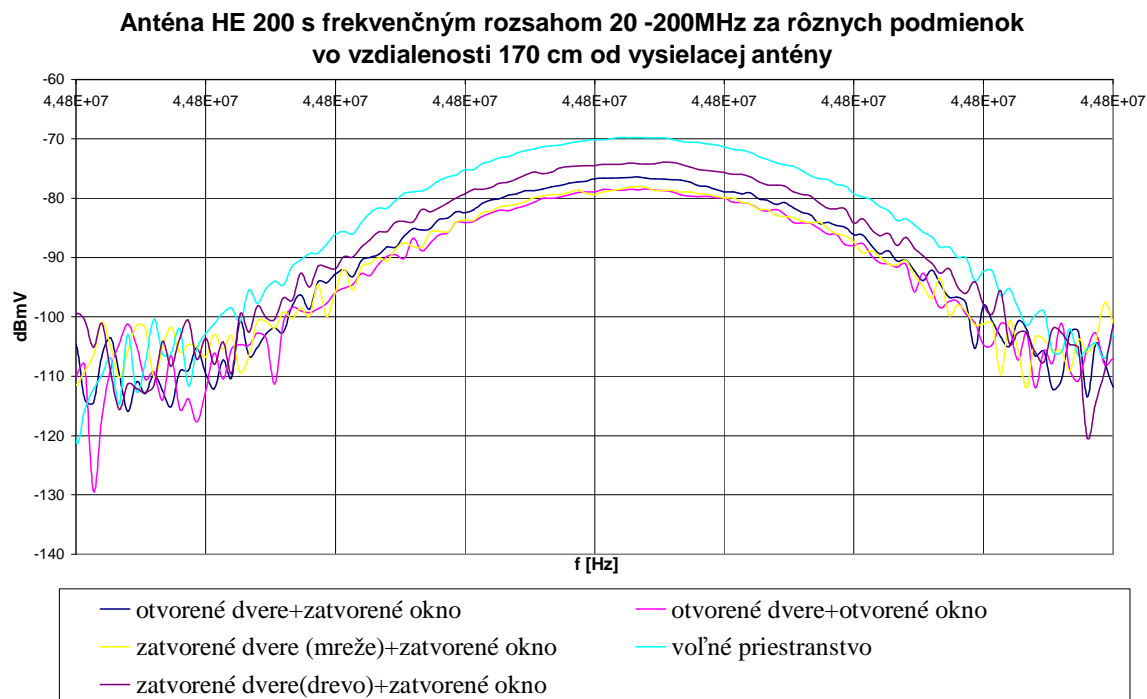
Obr. 46. Zmeranie úrovne signálu anténou HE 200 [ frekvenčný rozsah 500-3000 MHz] – vertikálne meranie

### HE 200 [ frekvenčný rozsah 500-3000 MHz] - horizontálne



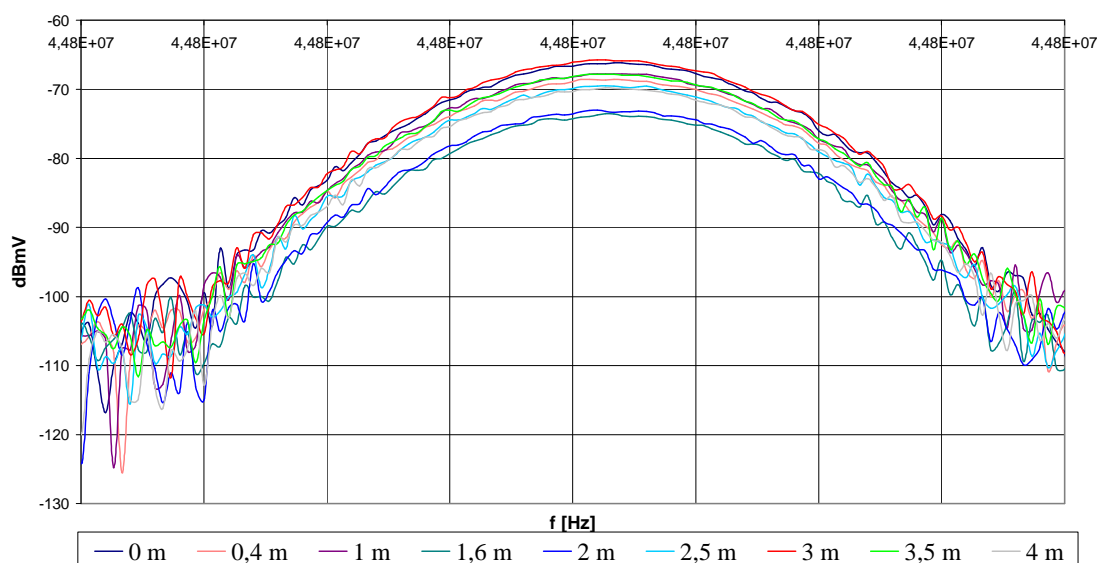
Obr. 47. Zmeranie úrovne signálu anténou HE 200 [ frekvenčný rozsah 500-3000 MHz] – horizontálne meranie

## PRÍLOHA P II: GRAFY PRE MERANIE 2 : MERANIE ROZLOŽENIA INTENZITY ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA V MIESTNOSTI



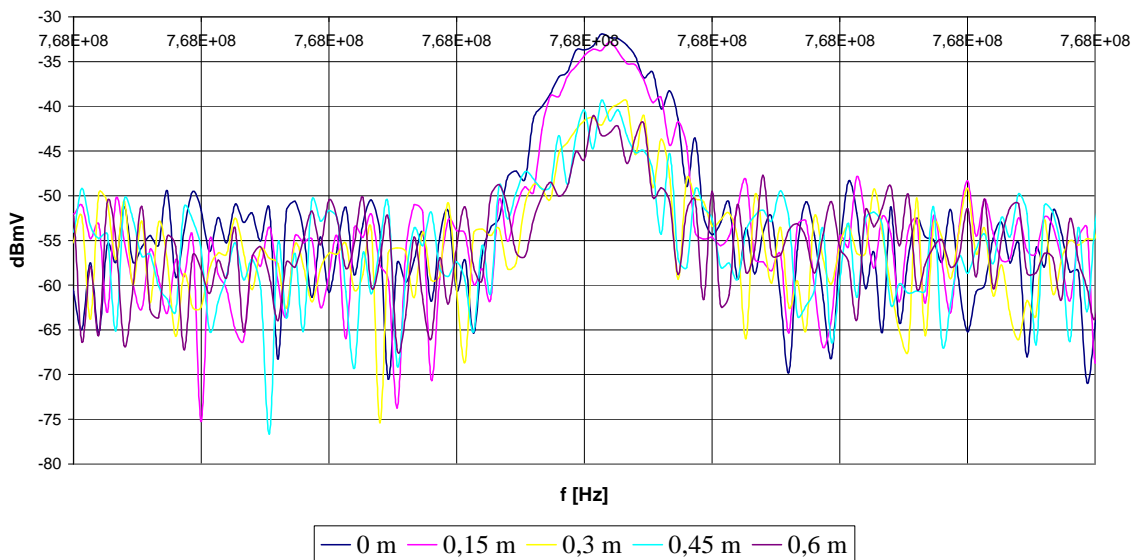
Obr. 48. Meranie úrovne signálu anténou HE 200 s frekvenčným rozsahom 20 - 200 MHz za rôznych podmienok

### Meranie v uzatvorenej tienenej miestnosti zmenou vzdialenosti od tienenej steny



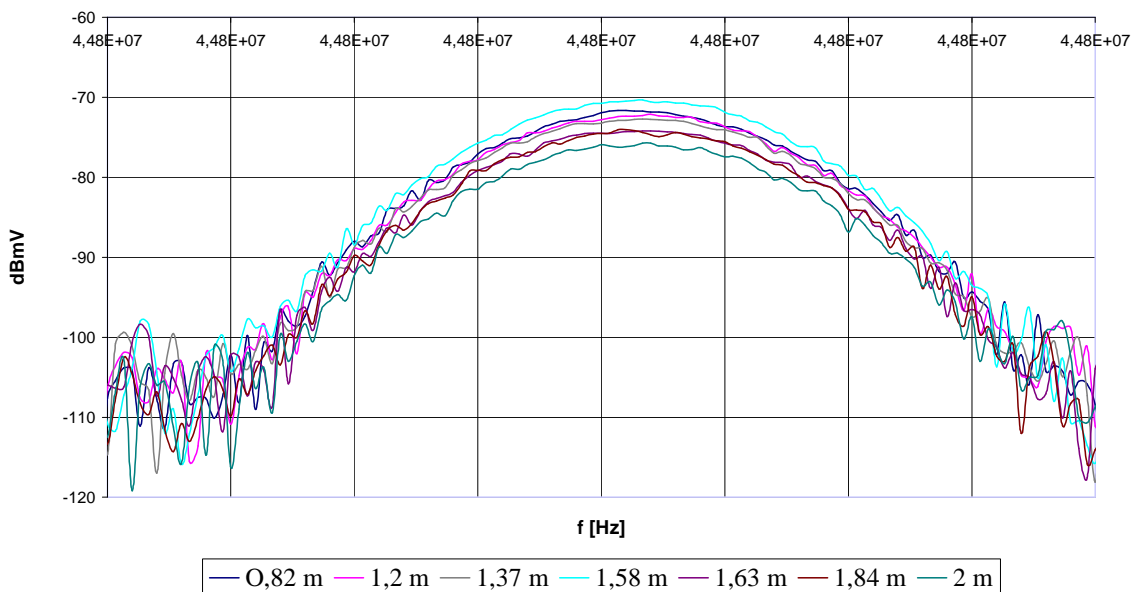
Obr. 49. Meranie úrovne signálu frekvencie 44,8 MHz v uzatvorenej tienenej miestnosti pohybovaním sa v smere osy X laboratórnej miestnosti

**Meranie vysielacou anténou HE 200 s frekvenčným rozsahom 20-200MHz  
tieniajacej steny f = 768 MHz  
pohybovaním sa po šírke miestnosti**



*Obr. 50. Meranie úrovne signálu frekvencie 768 MHz v uzatvorenej tienenej miestnosti pohybovaním sa v smere osy Y laboratórnej miestnosti*

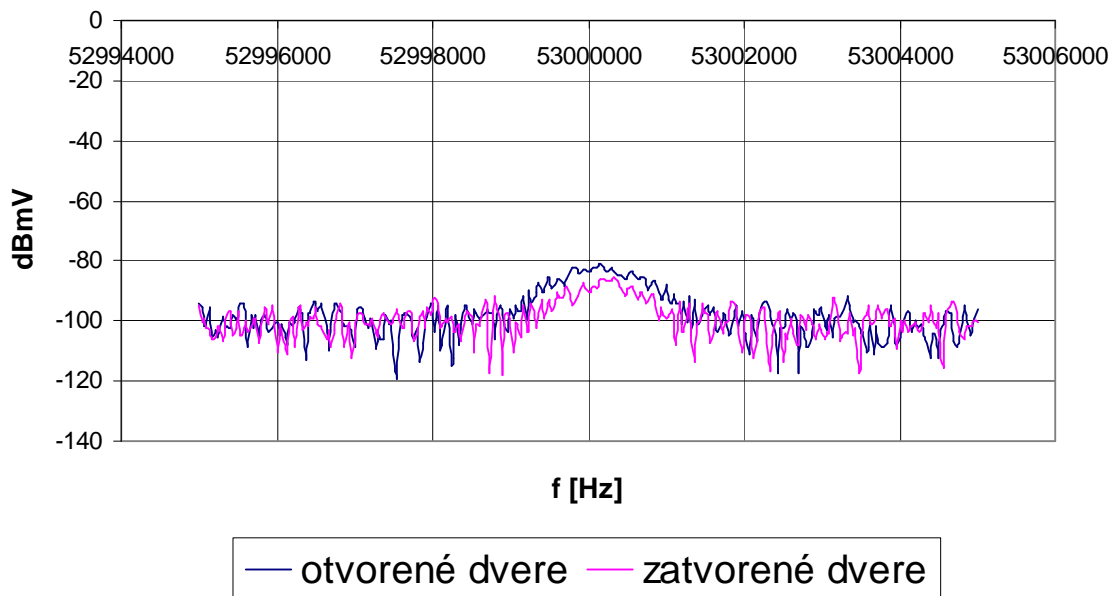
**Zmena výšky prijímacej antény s frekvenčným rozsahom 20 -200 MHz v  
tienenej miestnosti 5,3m od tienenej steny**



*Obr. 51. Meranie úrovne signálu frekvencie 44,8 MHz v uzatvorenej tienenej miestnosti pohybovaním sa v smere osy Z laboratórnej miestnosti*

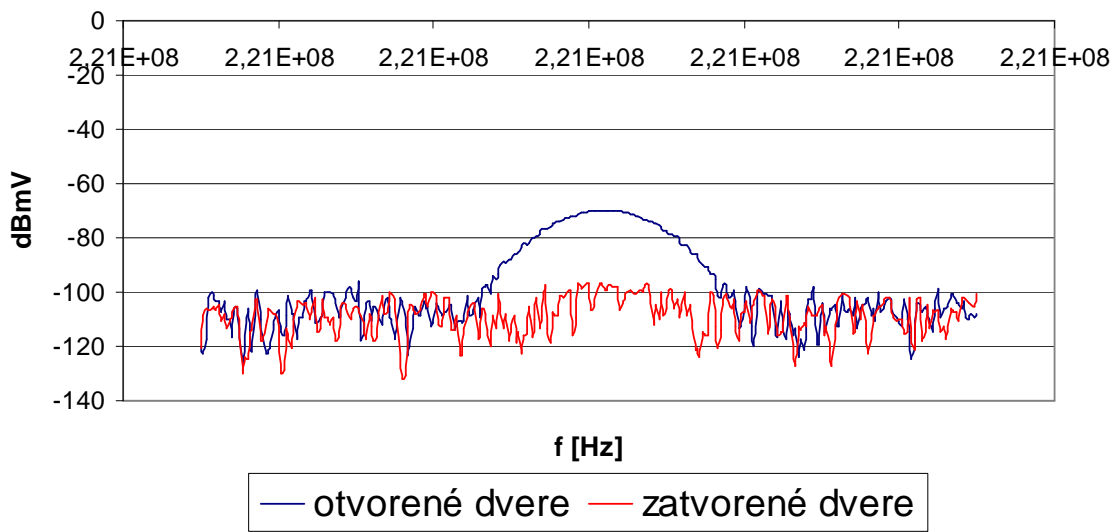
## PRÍLOHA P III: GRAFY PRE MERANIE 3 : ZÁVISLOSŤ TIENIACEJ ÚČINNOSTI NA FREKVENCII

### HE 200 [ frekvenčný rozsah 20-200 MHz]



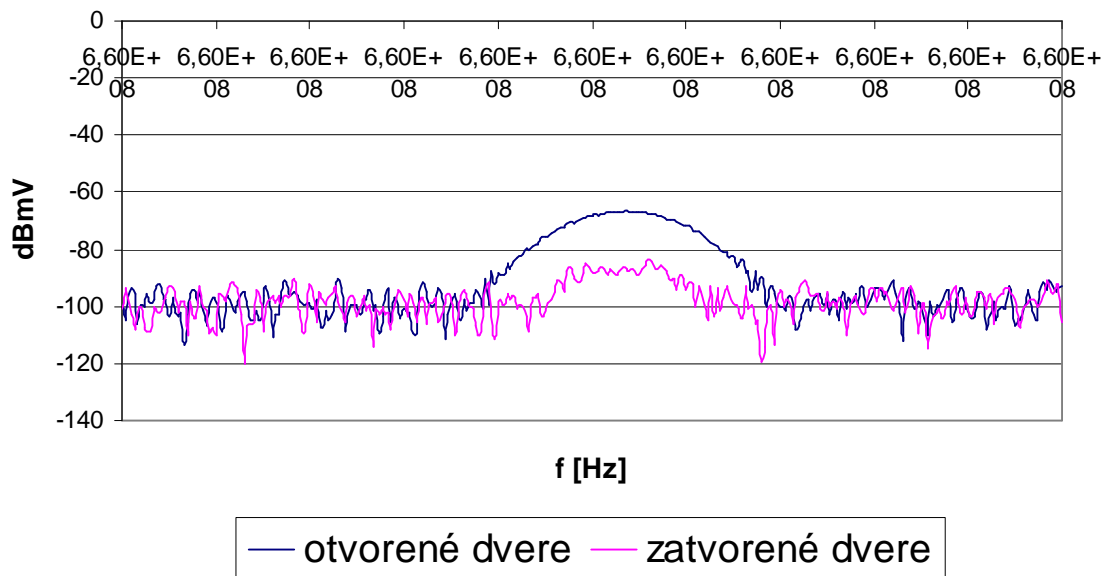
Obr. 52. Meranie úrovne signálu úrovne signálu pri otváraní a zatváraní dverí v laboratórnej miestnosti pri frekvencii 53 MHz

### HE 200 [ frekvenčný rozsah 200-500 MHz]



Obr. 53. Meranie úrovne signálu pri otváraní a zatváraní dverí v laboratórnej miestnosti pri frekvencii 221 MHz.

### HE 200 [ frekvenčný rozsah 500-3000 MHz]



Obr. 54. Meranie úrovne signálu pri otváraní a zatváraní dverí v laboratórnej miestnosti pri frekvencii 660 MHz.



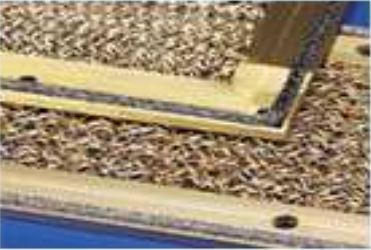







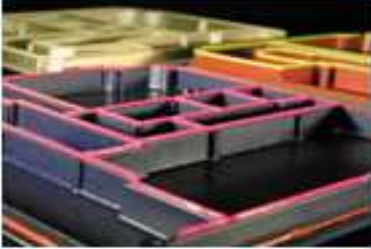





**PRÍLOHA P IV: CENNÍK TIENIACICH PRODUKTOV FIRMY  
LAIRD TECHNOLOGIES**

	<b>POPIS</b>	<b>ROZMERY [m]</b>	<b>CENA v KČ</b>
<b>TAPETY</b>	EMC tieniaca vlna		
	rola malá	10.05 x 0.53	1 335,-
	rola veľká	20.00 x 1.00	5 040,-
	EMV plus systém	20.00 x 1.03	17 640,-
	EMV plus 2 systém	10.05 x 0.53	5 460,-
	EMC vyztužovacie tkanivo	50.00 x 1.00	30 000,-
	EMV sieťovina	100.00 x 1.00	143 700,-
	EMV plus 3 systém	25.00 x 1.07	44 940,-
	EMC medená vlna	20.00 x 1.00	11 490,-
	EMC medená vlnená tapeta s blokáciou alkálií	20.00 x 1.00	14 940,-
	EMC medená vlna s blokáciou alkálií	20.00 x 1.00	7 470,-
<b>PRÍSLUŠENSTVO</b>	Dverná tesniaca sada		3 152,-
	Medená tieniaca páska		
	samolepiaca, vodivá	0.22 x 5.00	1 206,-
	samolepiaca, vodivá	0.22 x 33.00	6 884,-
	Interferenčný odrušovač 16 A, 115 V/ 230 V		1 992,-
	EMC špeciálne ľahko roztierateľné lepidlo	100 ml	1 059,-
	Lepidlo		246,-
	EMC tieniaci lak - okna / dvere	1 kg	4 800,-
	EMC krycie pásy	0.06 x 10.00	900,-
	Inštalačná sada		5 055,-
	EMC medená tieniaca páska	0.06 x 10.00	552,-
	Okenné fólie		
	medená		2 691,-
	strieborná		2 691,-
	strieborná svetlá		2 835,-
	priehľadná		6 837,-
<b>Meracie prístroje</b>	Jednotka na meranie nízkych		
	frekvencií elektromagnetických polí		5 568,-
	Jednotka na meranie vysokých		
	frekvencií elektromagnetických polí		

	Profesionálne meracie zariadenie pre body voltage		3 540,-
<b>Látky</b>	Látka priesvitná 40 g/m2	2.5 m široká	2 993,-
		1.5 m široká	2 174,-
	Látka bavlna 125 g/m2	1.5 m široká	2 326,-
	Látka bavlna 180 g/m2	1.5 m široká	3 058,-
<b>Špeciálne produk- ty</b>	na pranie zákazníka:		
	oblečenie		
	povlečenie		
	záclony		
	rolety,...		

## PRÍLOHA P V: VÝROBKY FIRMY LAIRD TECHNOLOGIES

<p><u>Board Level Shields</u></p> 	<p><u>Elastomer Core Mesh</u></p> 	<p><u>Electro-Air Filters</u></p> 
<p><u>Electro-Con Oriented Wire</u></p> 	<p><u>ElectroNit™ All Mesh</u></p> 	<p><u>ElectroSeal™ Electrically Conductive Elastomers</u></p> 
<p><u>ElectroVent™ Vent Panels</u></p> 	<p><u>Fabric-Over-Foam EMI Shielding Gaskets</u></p> 	<p><u>Fingerstock</u></p> 
<p><u>Electron™</u></p> 	<p><u>Form-In-Place</u></p> 	<p><u>I/O Backplane Shields</u></p> 
<p><u>Microwave Absorbers</u></p> 	<p><u>Conductive Tape</u></p> 	<p><u>UltraFlex™ Copper Beryllium (CuBe) Mesh</u></p> 