



# **Měření EMC v měřicích komorách**

**Miloš Mazánek, Tomáš Kořínek**

**Katedra elektromagnetického pole**

**Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze**

# Osnova

- Úvod – vymezení obsahu prezentace frekvenční pásmo
- EMC = EMI + EMS
- Měření v problematice EMC
- Měřicí prostory, návrhy, komponenty
  - Měření ve volném prostoru
  - Stíněné bezodrazové – anechoic, semi anechoic komory
  - Reverberation komory, měřicí stany
  - TEM vedení, Crawfordova komora a GTEM komory
  - .....
- Problémy, normy, výhledy

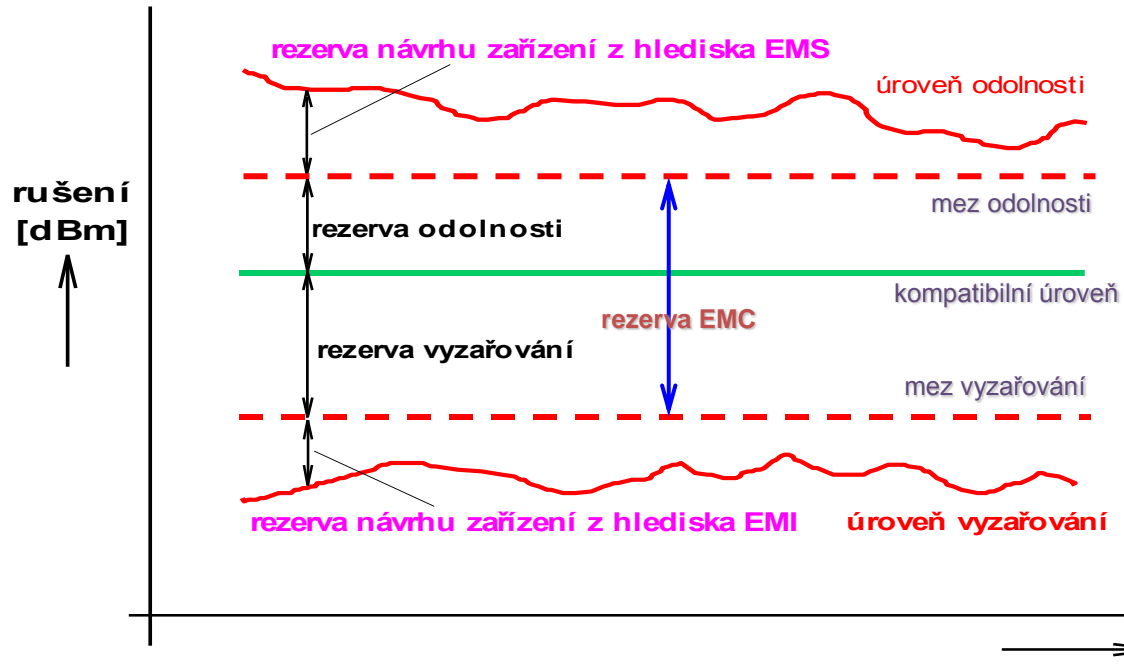
# Úvod do problematiky

## Definice pojmů

EMC je schopnost zařízení, systému či přístroje vykazovat správnou činnost i v prostředí, v němž působí jiné zdroje elektromagnetických signálů, a současně svou vlastní „elektromagnetickou činností“ nesmí nepřípustně ovlivňovat okolí.

EMC = EMI + EMC

# Základní pojmy EMC



# Měření EMC

- Měření rušivého elektromagnetického vyzařování (interference)
- Měření elektromagnetické odolnosti
- Nedosažitelnost absolutních hodnot
- Porovnání výsledků různých laboratoří
- Specializované laboratoře
- „Definované“ uspořádání

# Měření stínící účinnosti

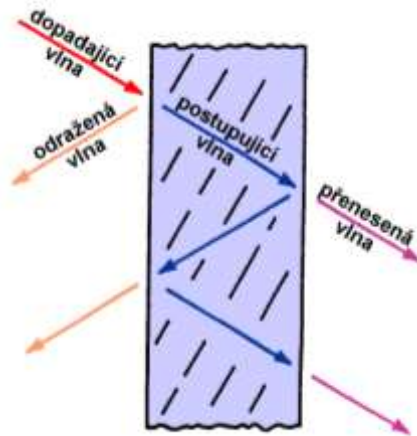
- IEEE Std. 299
- MIL-STD 285
- EN 50147
  
- IEEE Std. 299 WG
  - WG.0 ..... $d \geq 2\text{m}$
  - WG.1 ..... $0,75\text{m} < d < 2\text{m}$
  - WG.2 ..... $0,1\text{m} < d < 0,75\text{m}$
  - WG.3 ..... $d < 0,1\text{m}$

# Měření pomocí antén v měřicích komorách

- Uspořádání měření
- Antény
- Nejistota měření

# Stínicí účinnost (Shielding Effectiveness)

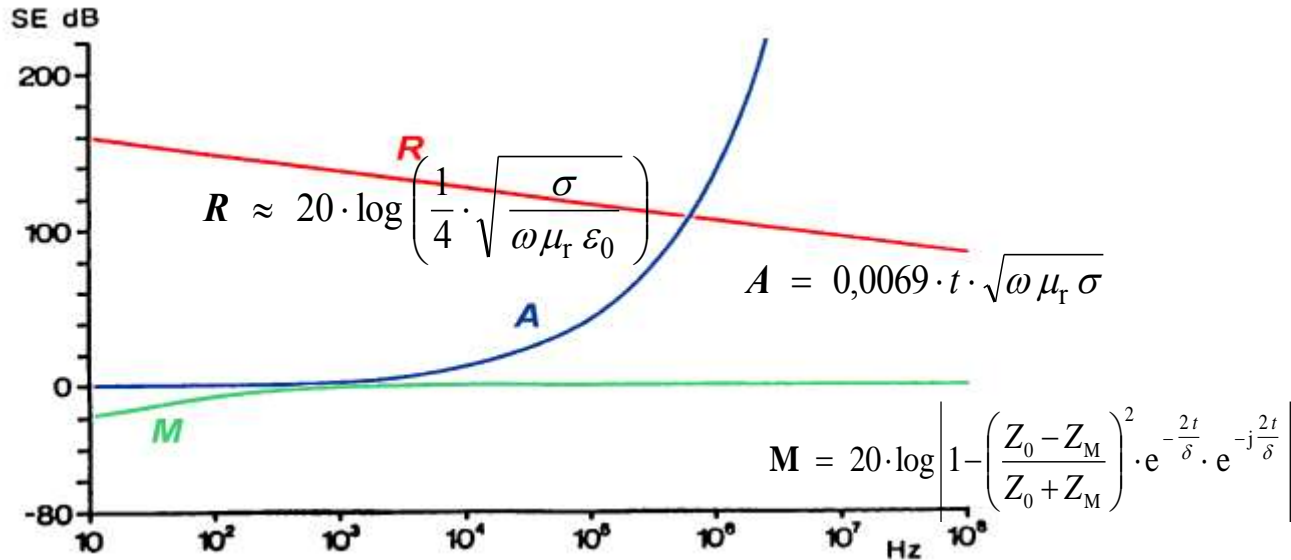
$$SE = 20 \cdot \log \frac{1}{|K_S|} = 20 \cdot \log \left| \frac{E_i}{E_t} \right| \quad [\text{dB}]$$



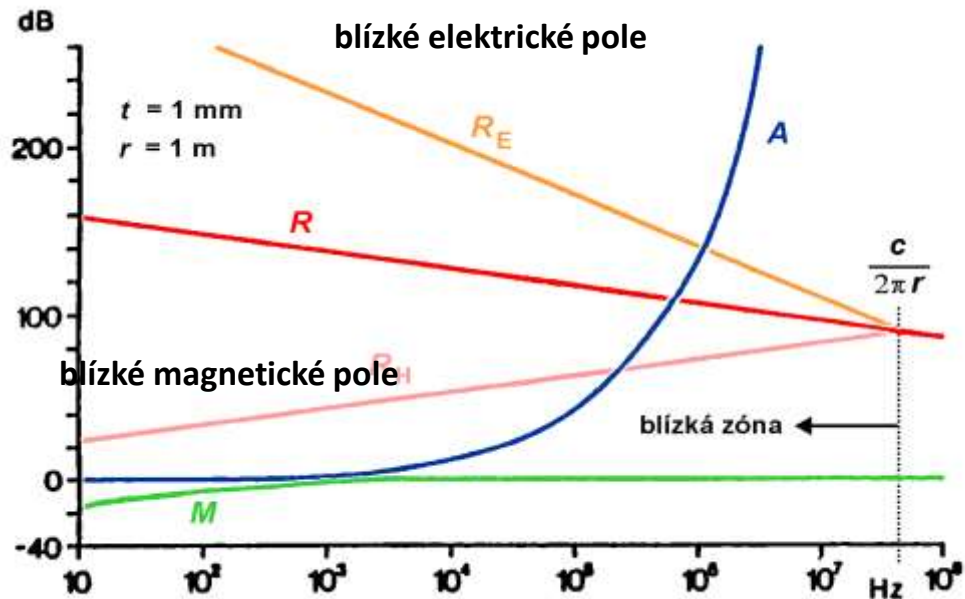
$$SE \text{ [dB]} = R \text{ [dB]} + A \text{ [dB]} + M \text{ [dB]}$$



# Stínicí účinnost, složky a výpočet



Kmitočtový průběh jednotlivých složek účinnosti stínění měděné desky o tloušťce  $t = 1$  mm

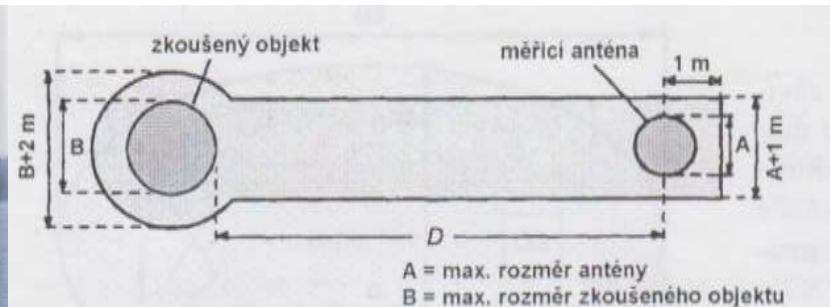
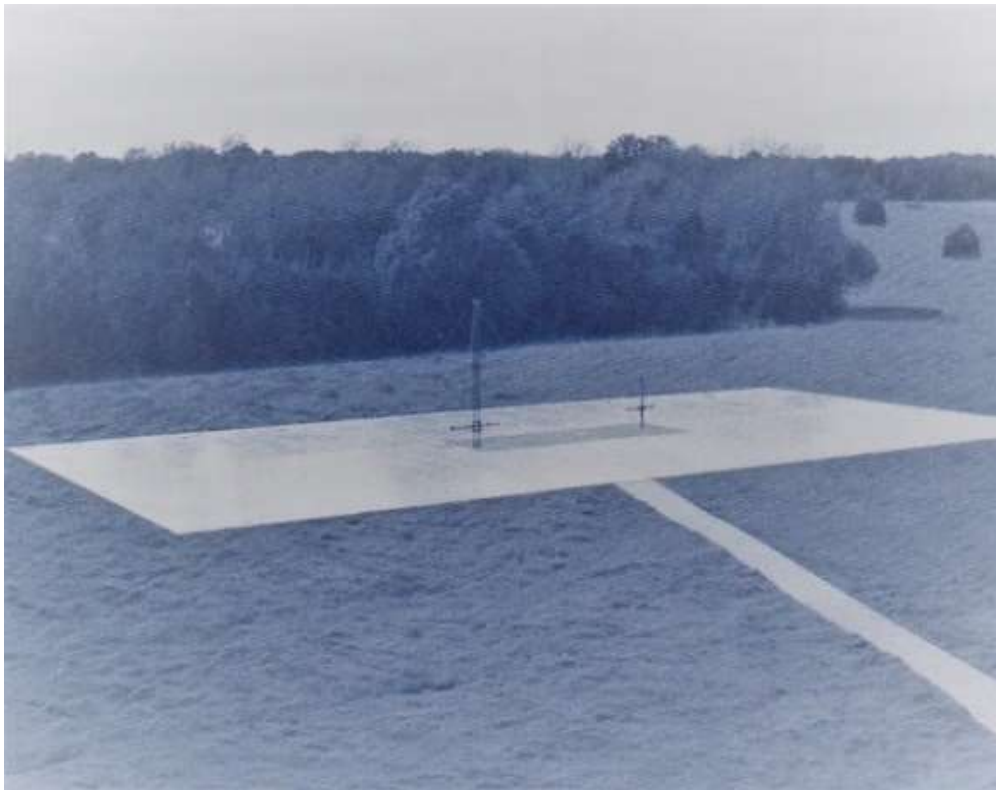


Kmitočtový průběh složek účinnosti stínění blízkého elektromagnetického pole

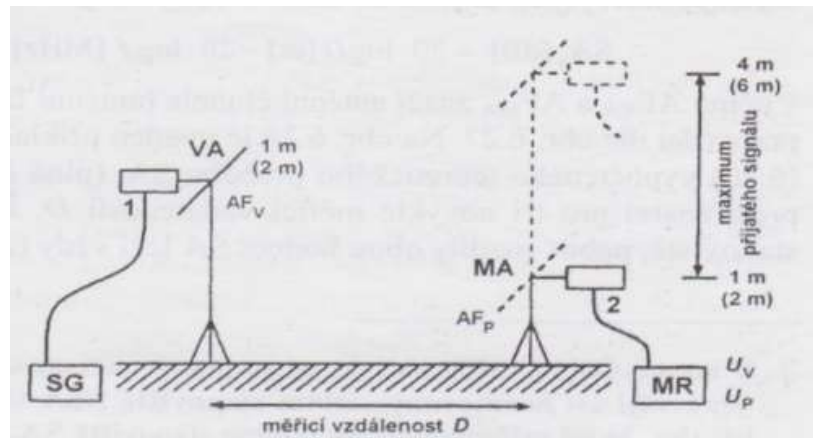
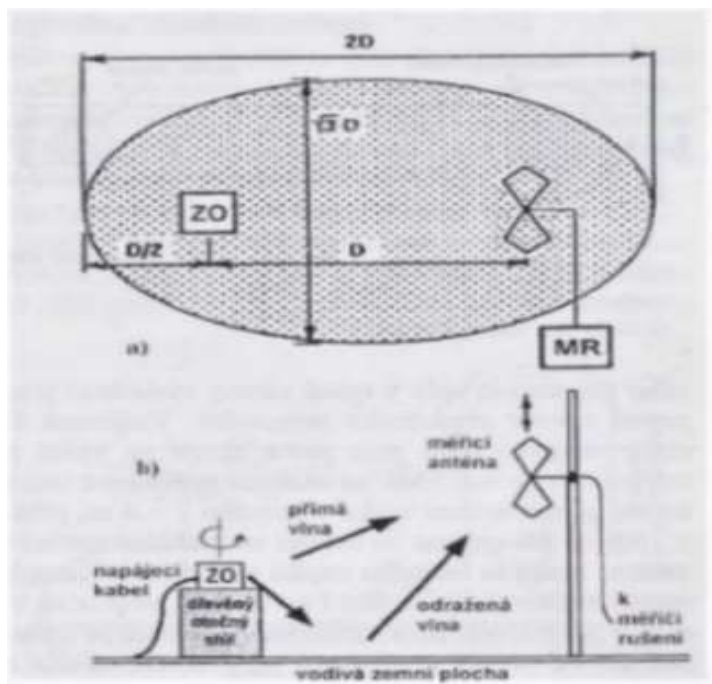
# Speciální prostory pro měření

- Volný prostor
- Speciální laboratoře
  - Bezodrazové komory (anechoic)
  - Semianechoic
  - TEM vedení
  - GTEM
  - Reverberation komorách

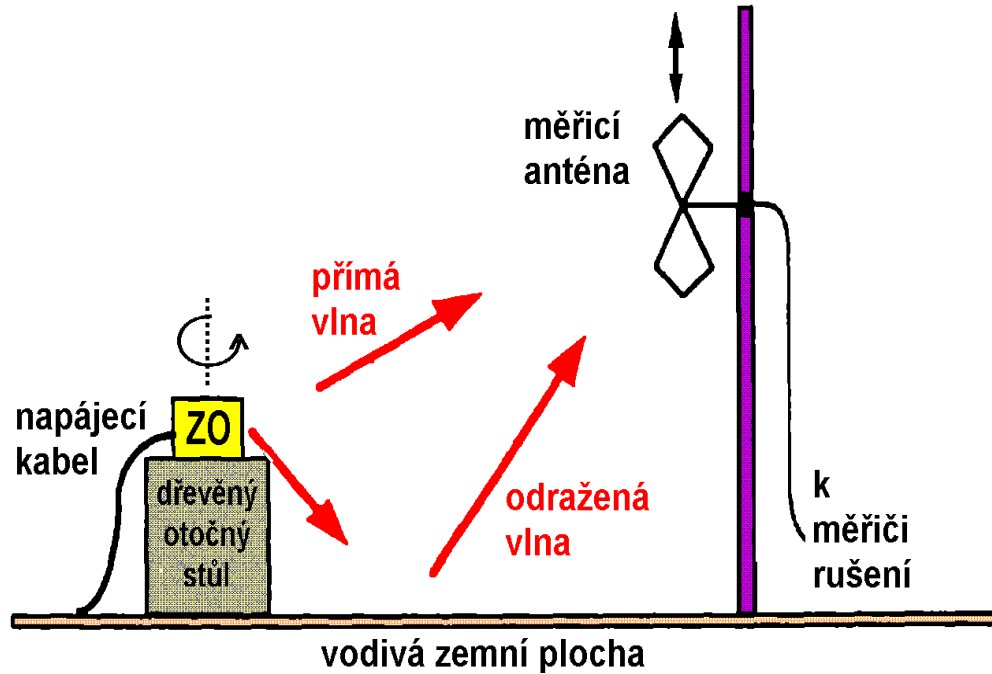
# Volný prostor a jeho náhrady



# Prostor měření



# Uspořádání měření v semianechoic komoře



# Stíněné komory

Aby měření nebylo ovlivňováno vnějšími rušivými signály, tedy aby měřicí anténa přijímala jen rušivé signály pocházející od zkoušeného zařízení.

Stíněná komora je vytvořena jako uzavřený prostor nejčastěji z desek ocelových plechů, který zajišťuje dostatečnou elektromagnetickou těsnost.

---

**Dva základní problémy provozu stíněných komor:**

- vlastní rezonance komory,
- vnitřní odrazy v komoře.

# Celková účinnost stínění 1

- Útlum odrazem  $R$  je funkcí poměru  $\sigma/\mu_r$ , zatímco absorpční útlum  $A$  je funkcí součinu těchto veličin  $\sigma \cdot \mu_r$ .
- Útlum odrazem  $R$  tvoří dominantní složku stínicího účinku na nízkých kmitočtech jak pro magnetické, tak i pro nemagnetické kovové materiály.



## Celková účinnost stínění 2

- Na vysokých kmitočtech vzrůstá absorpční útlum  $A$  a převyšuje klesající útlum odrazem. Tento vzrůst účinnosti stínění na vysokých kmitočtech je přitom výraznější u magnetických kovových materiálů s  $\mu_r \gg 1$ .
- Na nízkých kmitočtech, kde hloubka vniku je  $d \gg t$ , příp. u velmi tenkých stínících přepážek ( $t \ll d$ ) je hodnota útlumu mnohonásobnými odrazy **M záporná ?** a snižuje celkovou účinnost stínění SE kovové přepážky. S rostoucím kmitočtem mnohonásobné odrazy v kovové přepážce přestávají mít vliv na výslednou účinnost stínění.

# Doplňky

- Elektromagneticky stíněné pracoviště pro zajištění své kompletní funkce musí být vybaveno řadou nezbytných prvků (těsnění dveří, okna, větrací průchody, kliky apod.), které však výrazně snižují výslednou účinnost stínění.
- Kvalitní stíněná komora musí zajišťovat útlum pro vnější signály na úrovni  $100 \div 120$  dB. Tuto hodnotu lze zajistit v kmitočtovém rozsahu cca pěti dekad, tedy např. od 10 kHz do 1 GHz nebo od 100 kHz do 10 GHz

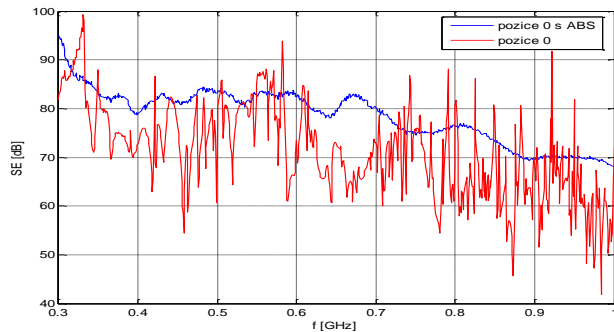
# Anechoic a emianechoic komora



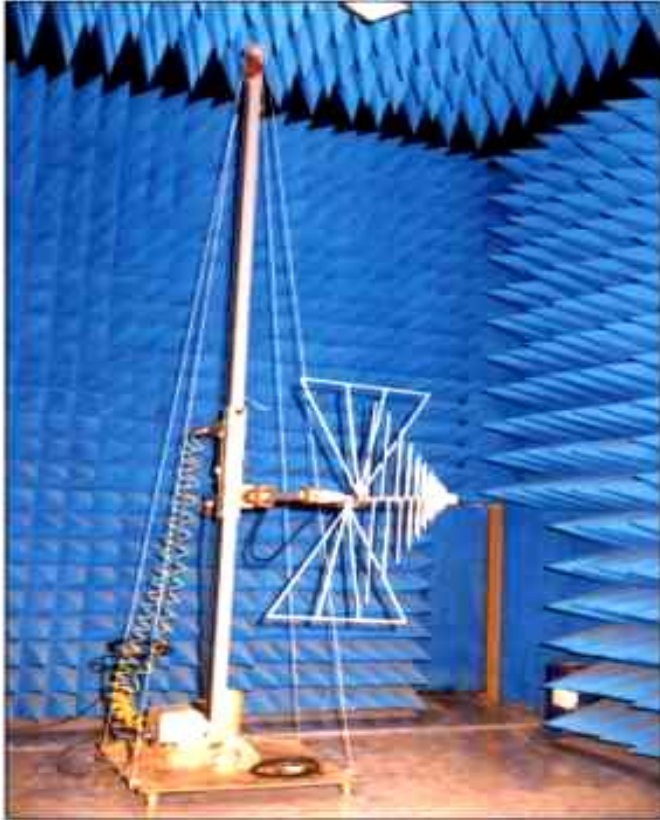
# Vlastní rezonance stíněné komory

Elektromagneticky stíněná komora tvoří „uzavřený“ dutý kovový kvádr a představuje **dutinový rezonátor**, se **chová jako rezonanční obvod** s vysokou hodnotou vlastního činitele jakosti a může obecně rezonovat na nekonečně mnoha diskretních kmitočtech

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \cdot \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{c}\right)^2}$$



# Semianechoická komora a měřicí stan



# Semianechoická komora a speciální měřicí zařízení pro testování aut (jako celek)

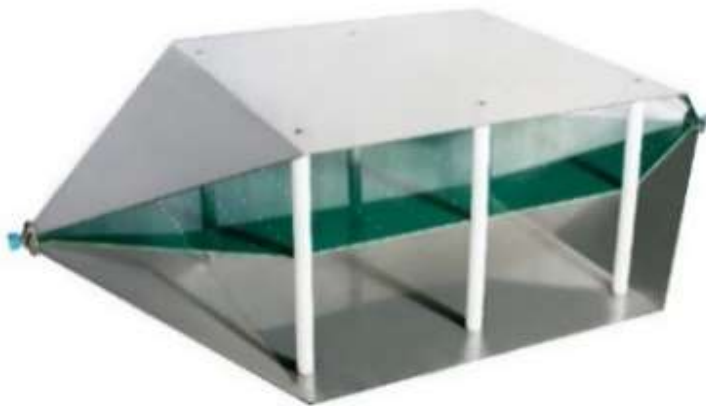
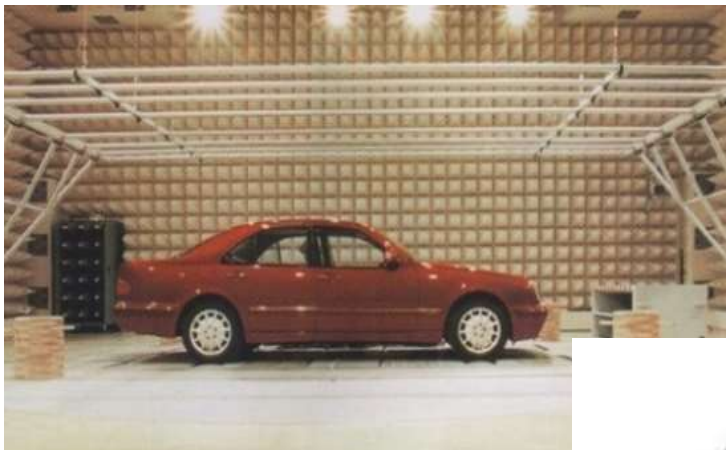




# Speciální testovací uspořádání pro testování letadla a mobilních telefonů

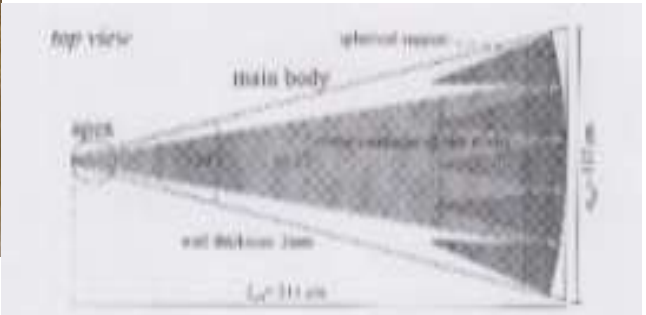
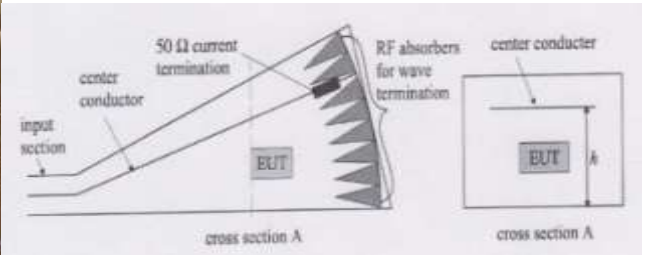
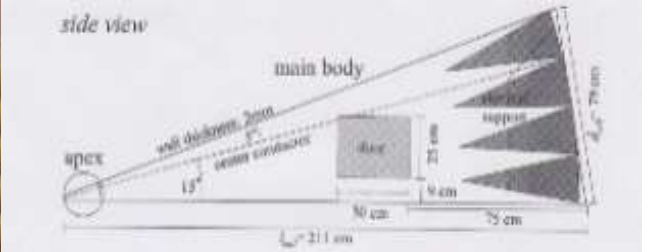


# Testování TEM vlnou

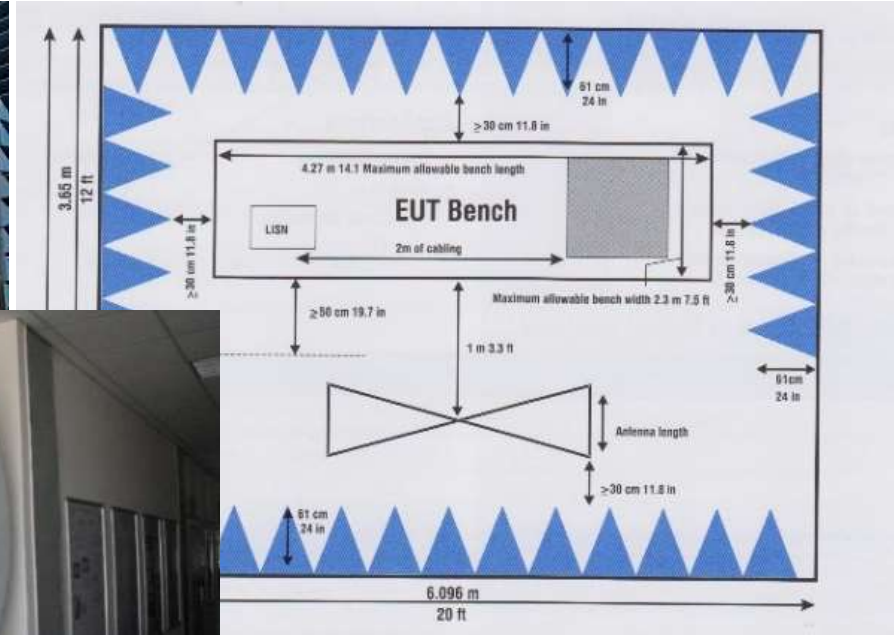




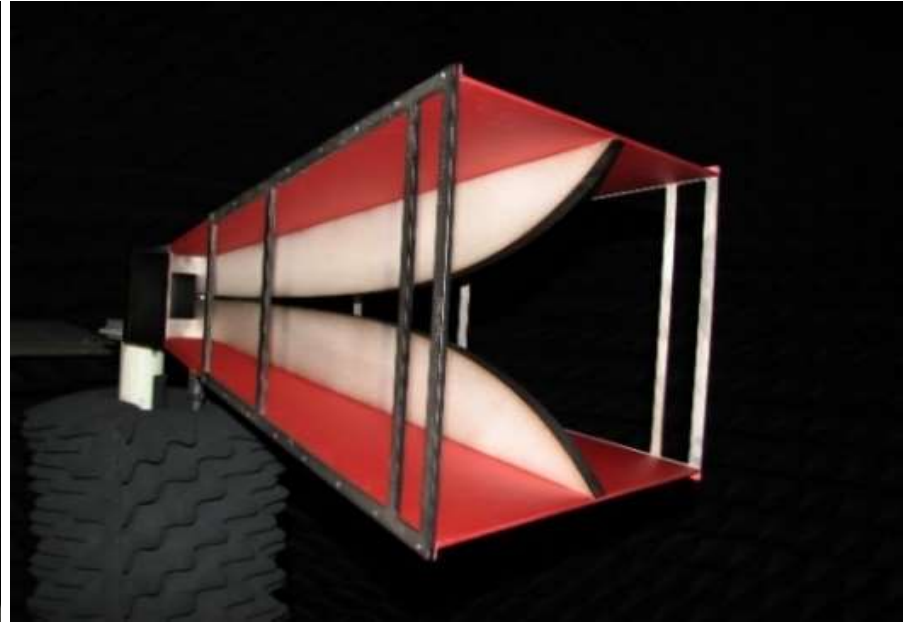
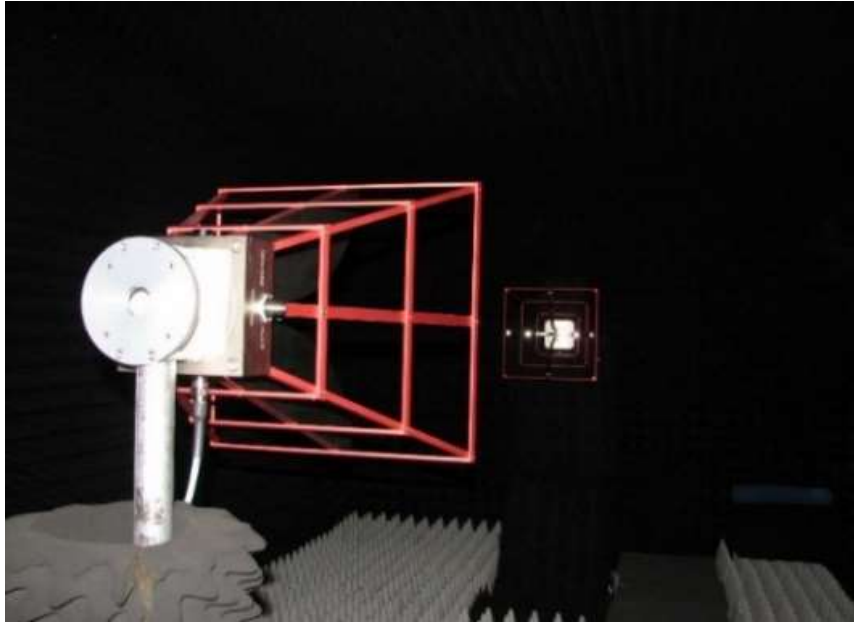
# Testování EMC v GTEM komoře



# Měření CATR compact antenna test range



# Měřicí širokopásmové antény



**Vliv mnohonásobných odrazů  $M$**  na velikost celkové účinnosti stínění **SE** se může nepříznivě uplatňovat i na vyšších kmitočtech, je-li stínicí přepážka velice tenká ( $t \ll d$ ).

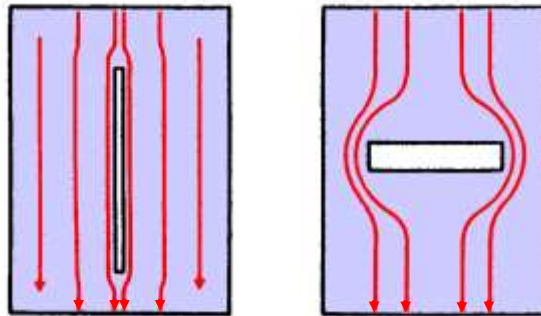


Přístrojové a počítačové stínicí „kryty“ vytvořené napařením či naprášením velmi tenkého kovového povlaku na vnitřní povrch nekovové (plastové) přístrojové skříně.

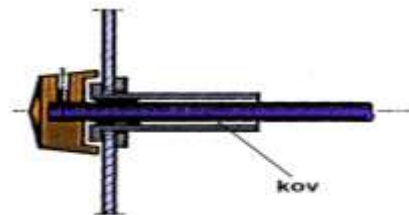
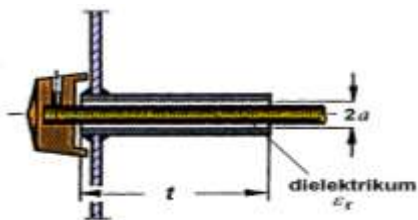
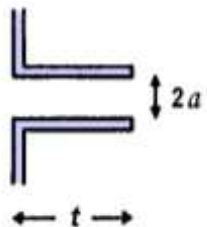
Tloušťka stínění	0,1 $\mu\text{m}$		1,25 $\mu\text{m}$		2,2 $\mu\text{m}$		22 $\mu\text{m}$	
	1	1000	1	1000	1	1000	1	1000
Kmitočet [MHz]								
Útlum odrazem $R$ [dB]	109	79	109	79	109	79	109	79
Absorpční útlum $A$ [dB]	0,014	0,44	0,16	5,2	0,29	9,2	2,9	92
Mnohonásobné odrazy $M$ [dB]	- 47	- 17	- 26	- 0,6	- 21	0,6	- 3,5	0
Účinnost stínění $SE$ [dB]	62	62	83	84	88	90	108	171

# Vliv otvorů a technologických netěsností na účinnost elektromagnetického stínění, průchody

- Otvory
- Špatné vodivosti
- Vyzařující a nevyzařující štěrby



# Průchody v kovovém stínění na principu „podkritického“ vlnovodu



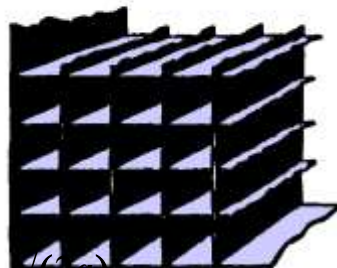
$$f \ll c / (3,41a \cdot \sqrt{\epsilon_r})$$

$$f \ll c / (3,41a)$$

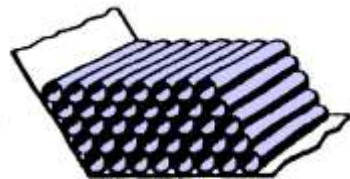


1000 MHz

$$f \ll c / (2a)$$



10 000 MHz

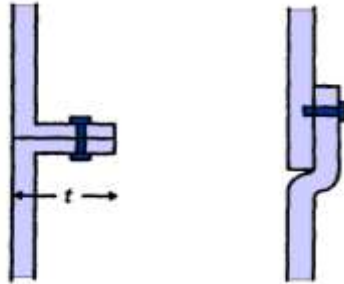


35 000 MHz

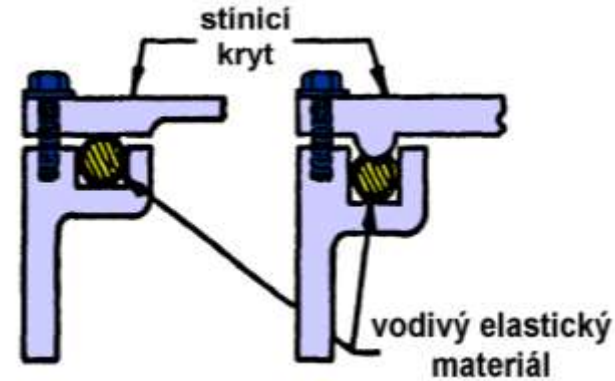


## Konstrukční zlepšení účinnosti stínění

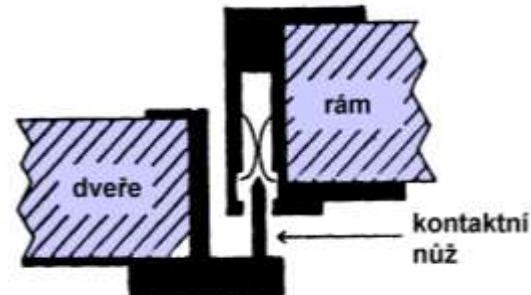
- vzájemným „dlouhým“ překryvem spojovaných částí



- použitím elastických vodivých materiálů (past, silikonů aj.)



- použitím pružinových, příp. pérových nožových kontaktů na pohyblivých částech



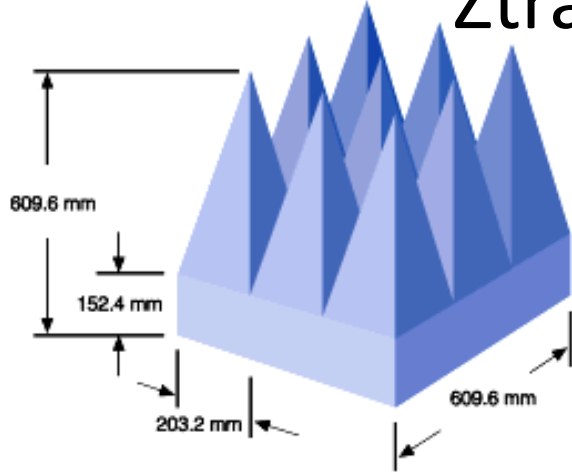
Absorpční materiály pro obložení stěn bezodrazových komor mění energii dopadající vlny na teplo s využitím buď **dielektrických nebo magnetických ztrát**. Většinou se dává přednost dielektrickým ztrátovým materiálům, neboť magnetické materiály jsou příliš těžké a také drahé.

Použitá ztrátová dielektrika mají nízké hodnoty relativní permitivity  $\epsilon_r$ , aby se svými dielektrickými (**nikoli ztrátovými**!) vlastnostmi blížila vlastnostem vzduchu. Používají se proto různé **tvrzené pěnové materiály** z polystyrénu, polypropylénu či polyuretanu, které se sytí elektrovodivými či grafitovými plnidly. Stupněm tohoto syčení lze účinně regulovat ztrátové parametry výsledného materiálu.

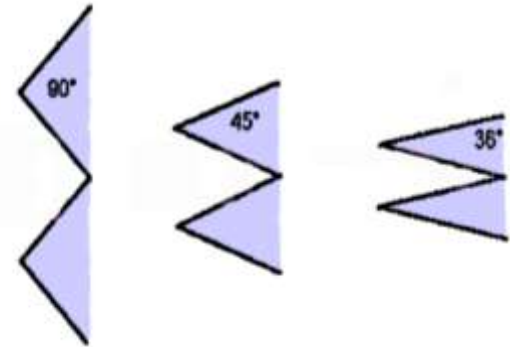
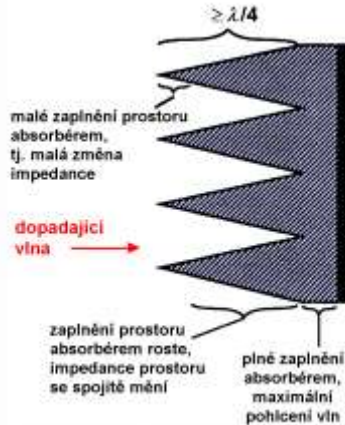
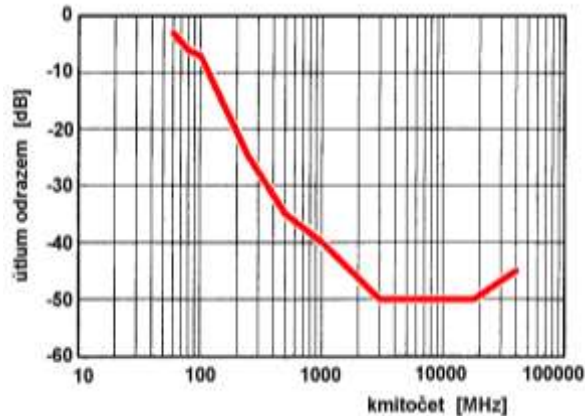


Dalšími výhodami těchto materiálů je nízká hmotnost, snadná mechanická opracovatelnost a snadné spojování lepením. Materiály lze obvykle použít do poměrně vysokých teplot (**90 ÷ 160 °C**), a tím pro pohlcování vysokých intenzit elektrického pole (**až 200 V/m**), příp. vysokých hustot výkonu (**až 100 W/m<sup>2</sup>**). Materiály jsou většinou nevznětlivé, tj. v případě požáru jen doutnají, ale nehoří plamenem.

# Ztráty absorpcí a odrazem

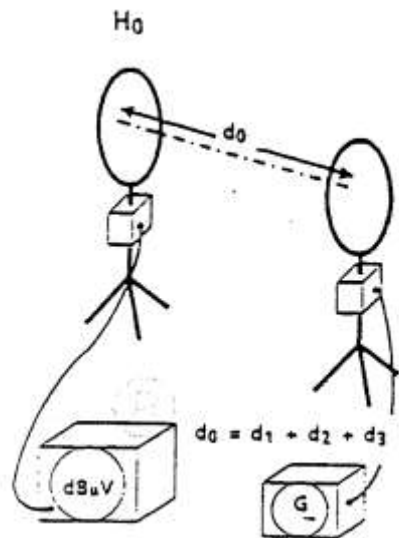


$$RL = 10 \cdot \log \frac{P_{\text{odražený}}}{P_{\text{dopadající}}} = 10 \cdot \log |\rho_{\text{vst}}|^2 = 20 \cdot \log |\rho_{\text{vst}}|$$



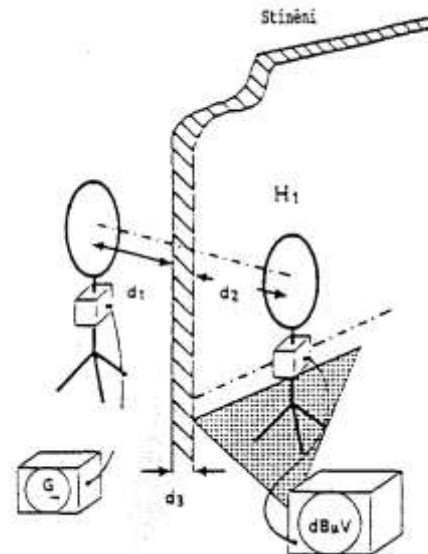
# IEEE Std. 299

EN 50147



Referenční měření

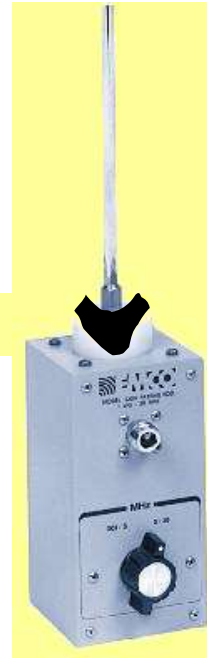
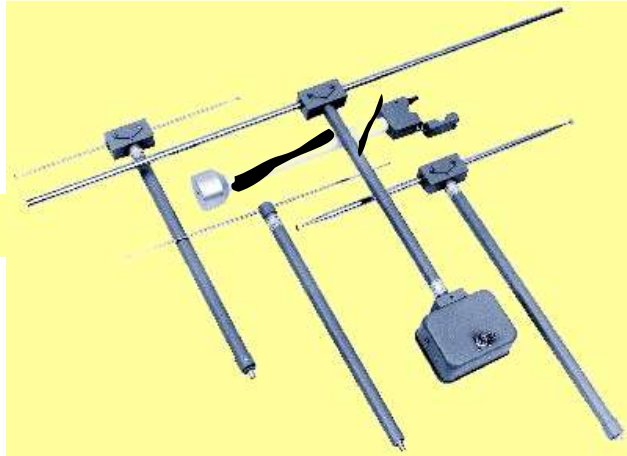
- 9kHz – 30MHz
- 30MHz – 1GHz
- 1GHz – 40GHz



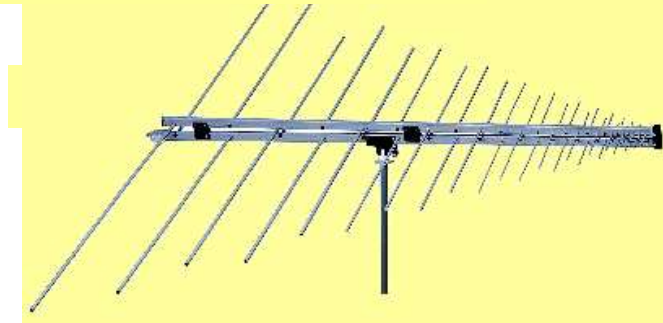
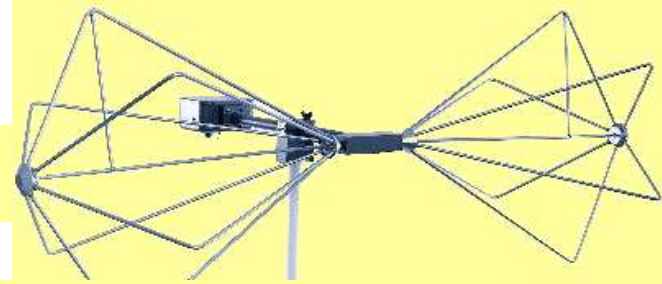
Měření se stínící přepážkou

- $d_1, d_2 = 30\text{cm}$
- $d_1, d_2 = 1\text{m}$
- $d_1, d_2 = 30\text{cm}$

# EMC antény – dipóly, monopóly, smyčky

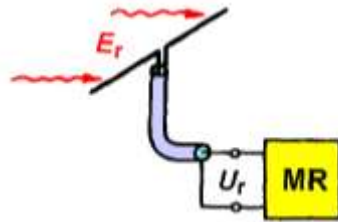


# EMC širokopásmové antény

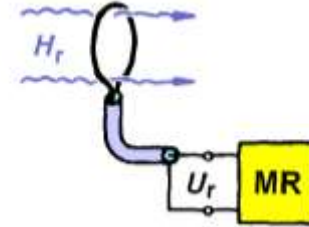


# Parametry měřicích antén

## Anténní faktor (činitel) AF



$$AF = \frac{E_r}{U_r}$$



$$AF_H = \frac{H_r}{U_r}$$

$$AF \text{ [dB/m]} = E_r \text{ [dBV/m]} - U_r \text{ [dBV]} \quad AF_H \text{ [dBS/m]} = H_r \text{ [dBA/m]} - U_r \text{ [dBV]}$$

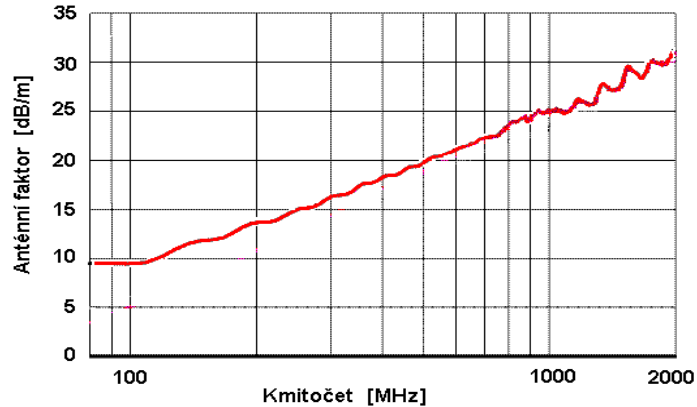


$$AF \text{ [dB/m]} = AF_H \text{ [dBS/m]} + 20 \cdot \log Z_0 = AF_H \text{ [dBS/m]} + 51,5 \text{ dB}$$

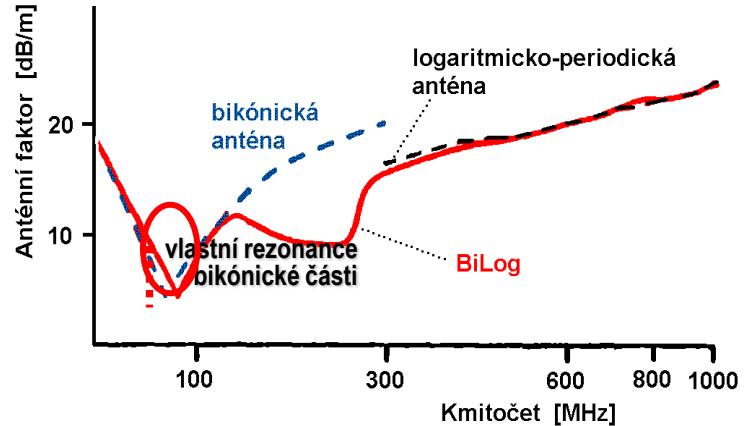
# Teoretický výpočet anténního faktoru

$$E_r = 9,73 \cdot \frac{U_r}{\lambda \cdot \sqrt{G_{MA}}} \quad AF [dB/m] = 20 \cdot \log f [MHz] - 29,8 - G_{MA} [dB]$$

pro měřicí anténu se ziskem  $G_{MA}$  zakončenou na svém výstupu přizpůsobenou impedancí  $Z_0 = 50 \Omega$ .



Logaritmicko-periodická anténa



Složená širokopásmová anténa BiLog 39

# Skutečná hodnota anténního činitele AF

- závisí na podmínkách měření a uspořádání měřicího pracoviště (např. výšce antény nad zemí, vodivosti a tedy odrazivosti země, přítomnosti jiných odražených signálů, polarizaci pole, vzdálenosti antény od zdroje rušení apod.)
- je ovlivněna i přítomností samého testovaného zařízení (zkoušeného objektu)
- závisí rovněž na impedančním přizpůsobení antény, napáječe a měřiče rušení.

---

Do hodnoty **AF** je některými výrobci zahrnován i útlum  $L$  napájecího kabelu mezi anténou a měřičem rušení

$$AF \text{ [dB/m]} = 20 \cdot \log f \text{ [MHz]} - 29,8 - G_{MA} \text{ [dB]} + L \text{ [dB]}$$





Děkuji za pozornost