

# **Stínění osob před vysokofrekvenčním elektromagnetickým polem pomocí stíněných obleků**

Shielding individuals against the high-frequency electromagnetic field using shielded suits.

Bc. Aleš Domitra



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Aleš DOMITRA**  
Osobní číslo: **A09356**  
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Stínění osob před vysokofrekvenčním  
elektromagnetickým polem pomocí  
stíněných obleků**

### Zásady pro vypracování:

1. **Nastudujte problematiku stínění elektromagnetického pole pro klasické a kompozitní materiály.**
2. **Popište současný stav v oblasti stínění osob pomocí částečně vodivých textilií**
3. **Rozeberte stručně vhodné metody měření stínící účinnosti pro materiály používané v těchto aplikacích**
4. **Navrhněte vhodný zjednodušený model člověka se stínícím pláštěm a proveďte přibližný odhad stínící účinnosti.**
5. **Na zjednodušeném modelu (phantomu) člověka opatřeném stíněným pláštěm proveďte měření stínící účinnosti**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **SVAČINA, J. Elektromagnetická kompatibilita, 2001. VUT Brno. ISBN 80-21418737.**
2. **CLAYTON, P. R. Introduction to electromagnetic compatibility, 2006. Nakladatelství Willey; Hoboken. ISBN 0471755001.**
3. **Wieckowski, T., W. Janukiewicz, J.M. Methods for Evaluating the Shielding Effectiveness of Textiles. FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe, Jan/Dec 2006, vol. 14, no. 5 (59), pg. 18-22.**
4. **Drinovsky, J., Kejik, Z. Electromagnetic Shielding Efficiency Measurement of Composite Materials, Measurement science review, 2009, vol. 9, no.4, pg. 109-112**
5. **Shielding effectiveness per far field measurement, Chomerics Premier conductive plastic, 2006. Test report. Chomerics, Woburn, Massachusetts. US.**
6. **Guy, A., W., Chow, C., K., Dougal, J., A, Sorensen, C. Measurement of Shielding Effectiveness of Microwave Protective Suits. Trans. On. Microwave Theory and Techniques, Nov 1987, vol. 35, no. 11, pg. 984-994.**
7. **Backstrom, M. , Martin, T. , Loren, J. Analytical model for bounding estimates of shielding effectiveness of complex resonant cavities. IEEE Int. Symposium on EMC, May 2003, vol. 2, pg. 946 - 949.**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Stanislav Goňa, Ph.D.**  
Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce:

**25. února 2011**

Termín odevzdání diplomové práce:

**27. května 2011**

Ve Zlíně dne 25. února 2011



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



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

## ABSTRAKT

Teoretická část práce se zabývá problematikou stínění elektromagnetického pole a srovnáním stínící účinnosti klasických materiálů s materiály kompozitními. Dále uvádí zdravotní rizika, legislativu a současný stav částečně vodivých textilií. Tato část je zakončena vybranými měřicími metodami těchto materiálů. Část praktická se pak zabývá návrhem phantomu se stínícím pláštěm, jehož přibližná stínící účinnost je odhadnuta pomocí simulačních programů. Navrhnutý phantom je následně sestaven a je na něm provedeno měření, které je porovnáno s měřením na komerčně vyráběném obleku.

Klíčová slova: kompozitní materiál, stínící účinnost, vodivé textilie

## ABSTRACT

The theoretical part deals with the shielding of electromagnetic fields and comparing the shielding effectiveness of traditional material with composite materials. Furthermore it mentions health risks, legislation and current state of partially conductive fabric. This part ends with selected methods of measuring these materials. The practical part deals with the phantom design with the shielding shell whose approximate shielding effectiveness is estimated by simulation programs. The proposed phantom is compiled and the measurement is made on it. This measurement is then compared with the measurement on commercially manufactured clothes.

Keywords: composite material, shielding effectiveness, conductive fabric

Děkuji Ing. Stanislavu Goňovi, Ph.D. za odborné vedení, přínosné rady, objektivní připomínky a za čas věnovaný k úpravě, připomínkám a návrhům formy zpracování diplomové práce. Také bych rád poděkoval rodičům a přátelům za poskytnutou podporu během studia.

Prohlašuji, že

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

Prohlašuji,

že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....  
podpis diplomanta

**OBSAH**

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 STÍNĚNÍ ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE</b> .....	<b>11</b>
1.1 STÍNÍCÍ ÚČINNOST.....	11
1.1.1 Útlum odrazem.....	12
1.1.2 Absorpční útlum.....	13
1.1.3 Útlum vlivem mnohonásobných odrazů .....	14
1.1.4 Celková účinnost stínění .....	15
1.2 VLIV OTVORŮ A TECHNOLOGICKÝCH NETĚSNOSTÍ NA CELKOVOU ÚČINNOST STÍNĚNÍ.....	17
1.3 SROVNÁNÍ KLASICKÝCH A KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ .....	21
<b>2 STÍNĚNÍ OSOB POMOCÍ ČÁSTEČNĚ VODIVÝCH TEXTILIÍ</b> .....	<b>24</b>
2.1 ZDRAVOTNÍ RIZIKA.....	24
2.1.1 Dopady na organismus .....	24
2.1.2 Vybrané vědecké výzkumy .....	25
2.1.2.1 Biologické změny způsobené elektromagnetickým zářením .....	25
2.1.2.2 Následky účinků elektromagnetického záření .....	26
2.2 LEGISLATIVA .....	26
2.2.1 Nařízení vlády č. 1/2008, Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením .....	27
2.2.2 Metodický návod hlavního hygienika .....	27
2.2.3 Dokumenty ICNIRP .....	28
2.3 SOUČASNÝ STAV ČÁSTEČNĚ VODIVÝCH TEXTILIÍ.....	29
<b>3 METODY MĚŘENÍ STÍNÍCÍ ÚČINNOSTI ČÁSTEČNĚ VODIVÝCH TEXTILIÍ</b> .....	<b>31</b>
3.1 MĚŘENÍ KOAXIÁLNÍM MĚŘÍCÍM VEDENÍM .....	31
3.2 MĚŘENÍ SE STÍNĚNOU KOMOROU .....	32
3.3 MĚŘENÍ SROVNÁVACÍ METODOU .....	35
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>36</b>
<b>4 ZJEDNODUŠENÝ MODEL ČLOVĚKA SE STÍNÍCÍM PLÁŠTĚM</b> .....	<b>37</b>
4.1 NÁVRH PHANTOMU .....	37
4.2 SIMULACE ÚČINNOSTI V PROGRAMECH WIPL A CST MICROWAVE STUDIO .....	38
4.2.1 Postup simulace v programu WIPL-D .....	39
4.2.2 Výsledné hodnoty stínící účinnosti ze simulačních programu .....	40
4.3 PRAKTICKÉ MĚŘENÍ PHANTOMU .....	41
4.3.1 Rozložení pracoviště .....	41
4.3.2 Použité přístroje .....	42
4.3.3 Postup měření.....	47
4.3.4 Výsledky měření stínící účinnosti phantomu .....	49

<b>5</b>	<b>KOMERČNĚ VYRÁBĚNÝ OBLEK ESO 3 ALEKSANDER .....</b>	<b>52</b>
5.1	ROZLOŽENÍ PRACOVNÍHO MÍSTĚ A POUŽITÉ PŘÍSTROJE.....	52
5.2	POUŽITÉ PŘÍSTROJE .....	54
5.3	PODMÍNKY MĚŘENÍ.....	56
5.4	POSTUP MĚŘENÍ.....	62
5.5	VÝSLEDKY MĚŘENÍ .....	63
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>71</b>
	<b>ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....</b>	<b>73</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>77</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>78</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>81</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>82</b>

## ÚVOD

S neustálým rozvojem průmyslu a rozšiřováním nových bezdrátových technologií, které nás každým dnem stále více obklopují roste i rizikovost vlivu nebezpečného elektromagnetického záření.

Svou práci jsem zaměřil na ochranu před neionizujícím zářením, konkrétně na rádiové a mikrovlnné záření, které mají frekvenční rozsah od 10 MHz do 18 GHz. Neionizující záření je široká oblast elektromagnetického spektra. Toto spektrum obsahuje viditelné světlo, ultrafialové, infračervené, laserové, rádiové a mikrovlnné záření. Neionizující záření na rozdíl od ionizujícího nedokáže ionizovat atomy nebo molekuly ozářené látky. Za hranici oddělující tyto záření se všeobecně pokládá vlnová délka 100 nanometrů.

Přírodním zdrojem elektromagnetického záření je slunce, avšak přibývá množství umělých zdrojů vytvořených člověkem. Z důvodu lepšího signálu a většího pokrytí se zvyšují výkony vysílačů televizních a rozhlasových vysílání a mobilních operátorů. Také se stále ve větším množství rozšiřují bezdrátové technologie a to především Wi-fi a Bluetooth. Tyto zdroje mají rozdílné kmitočty a intenzity záření. Někteří pracovníci manipulující s těmito zdroji nebo pracující v jejich bezprostřední blízkosti se dostávají do míst, kde jsou vystaveni daleko vyšším expozicím a proto je třeba takovéto pracovníky vybavit ochrannými pomůckami.

Legislativa ohledně ochrany zdraví před tímto zářením je přísnější ve střední a východní Evropě naopak západ je v této oblasti mírnější. Všeobecně jsou ale expozice velké a tak je nezbytné se zabírat prostředky umožňující toto nebezpečí eliminovat nebo alespoň snížit na minimální úroveň.

Účinky na lidský organismus jsou závislé na intenzitě, charakteru pole, vlnové délce a času expozice. Dobu vystavení účinkům pole lze částečně ovlivnit, bohužel nelze vždy zaručit délku případné opravy, montáže apod. na zdroji záření nebo v jeho blízkosti. Z toho důvodu je nejvýraznějším ochranným prostředkem stínění osob oblekem z částečně vodivých textilií.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 STÍNĚNÍ ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE

Elektromagnetické stínění znamená použít štít (z vodivého materiálu), který z části nebo úplně obklopí elektronický obvod (zdroj rušení). V případě stínění osob, kdy chráníme před účinky elektromagnetického pole vysílaného především anténami, se snažíme obklopit příslušnou osobu vodivým materiálem.

### 1.1 Stínící účinnost

Účinnost krytu a jeho výsledného útlumu závisí na frekvenci, vzdálenosti od zdroje elektromagnetického pole, tloušťce a materiálu. Účinnost stínění (SE) se obvykle vyjadřuje v decibelech (dB) v závislosti na logaritmu poměru intenzity elektrického (magnetického) pole  $E_i$  ( $H_i$ ) dopadajícího na stínící přepážku (neboli pole v tomtéž bodě bez stínící stěny) k intenzitě  $E_t$  ( $H_t$ ) v určitém bodě stíněného prostoru:

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

Určit efektivnost stínění znamená stanovit složky elektromagnetické vlny pronikající do stíněné oblasti při známé velikosti dopadající vlny  $E_i$ ,  $H_i$ , známých parametrech stínící přepážky ( $\epsilon$ ,  $\mu$ ,  $\sigma$ ,  $t$ ) a známých parametrech obklopujícího prostředí ( $\epsilon_0$ ,  $\mu_0$ ). Při řešení vycházíme ze systému Maxwellových rovnic jak pro okolní prostředí, tak i pro kovové prostředí stínící přepážky. Tímto postupem lze pro účinnost stínění SE odvodit vztah:

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

V těchto výrazech značí  $Z_0$  charakteristickou impedanci volného prostředí před a za stínící přepážkou a  $Z_M$  charakteristickou impedanci vodivého prostředí přepážky. Pro tyto veličiny platí:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120 \cdot \pi = 377 \Omega \quad \text{a} \quad Z_M = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma}} \quad (3)$$

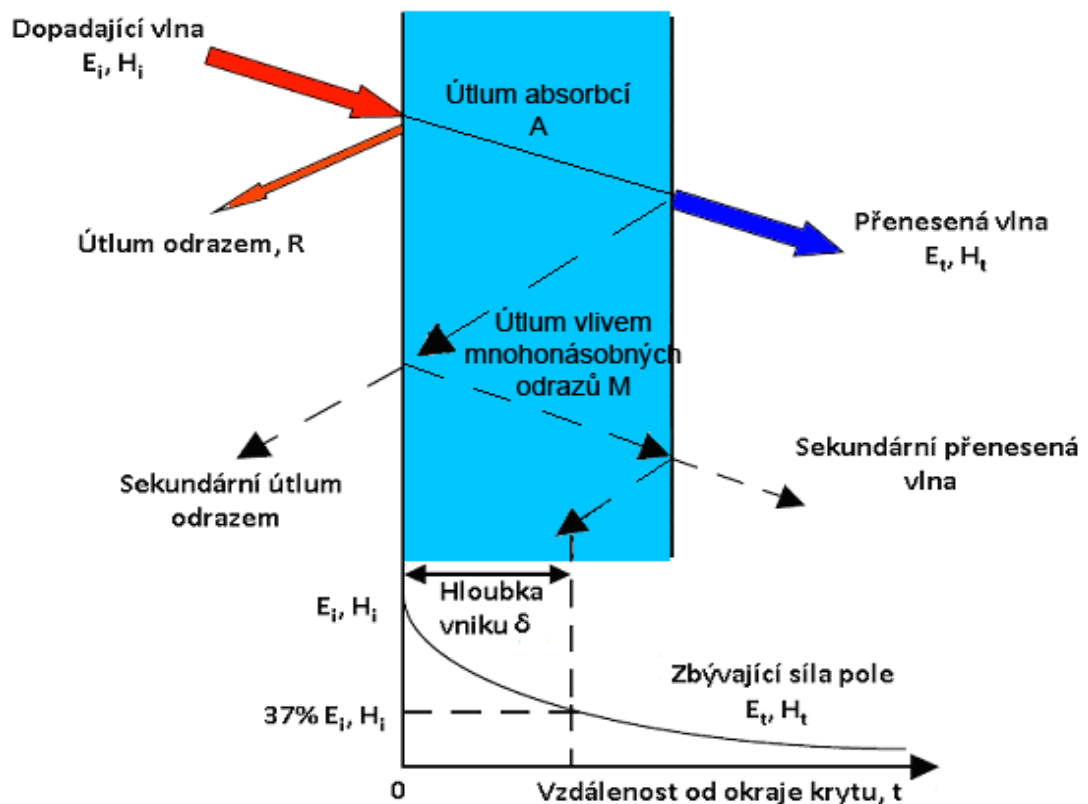
Veličina  $\gamma$  vyjadřuje tzv. konstantu šíření (vlnové číslo) rovinné elektromagnetické vlny ve vodivém prostředí stínící přepážky:

$$\gamma = \sqrt{j\omega\mu\sigma} = (1 + j) \cdot \sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}} = \alpha + j\beta \quad (4)$$

U jakékoliv elektromagnetické pole existují tři mechanismy, které přispívají k účinnosti krytu. Část dopadajícího záření se odráží od přední plochy krytu, současně je vstřebáváno a částečně se odráží od zadní plochy krytu zpět na přední (Obr. 1). Proto je celková účinnost stínícího materiálu (SE) rovna součtu útlumu odrazem (R), absorpčním útlumem (A), a útlumem vlivem mnohonásobných odrazu (M):

$$SE[dB] = R[dB] + A[dB] + M[dB] \quad (5)$$

Útlum vlivem mnohonásobných odrazů M lze zanedbat, pokud absorpční útlum je větší než 10 dB. V praktické výpočtu, může být také opomíjen M pro elektrické pole a rovinné vlny. [1]



Obr. 1 Znárodnění útlumů elektromagnetického pole

### 1.1.1 Útlum odrazem

Útlum odrazem R je způsoben vlivem částečného odrazu dopadající vlny na impedanční rozhraní mezi vzduchem s impedancí  $Z_0$  a kovovou stěnou krytu s impedancí  $Z_M$  a rovněž na výstupním rozhraní mezi kovovou stěnou  $Z_M$  a dielektrikem (vzduchem)  $Z_0$ . Ze vztahu je jeho velikost rovna:

$$R = 20 \log \left| \frac{(Z_0 + Z_M)^2}{4 \cdot Z_0 \cdot Z_M} \right| \text{ [dB]} \quad (6)$$

přičemž lze zřejmě psát:

$$R = \left| \frac{Z_0 + Z_M}{2 \cdot Z_M} \cdot \frac{Z_0 + Z_M}{2 \cdot Z_0} \right| = R_1 + R_2 \text{ [dB]} \quad (7)$$

Zde  $R_1$  ( $R_2$ ) vyjadřuje útlum odrazem vlny na vstupním rozhraní vzduch kov (výstupním rozhraní kov vzduch). Je-li stínící stěna vytvořena z dobrého vodiče, kdy  $Z_0 \gg Z_M$ , je celkový útlum odrazem přibližně roven:

$$R \approx 20 \log \left| \frac{Z_0}{4 \cdot Z_M} \right| \text{ [dB]} \quad (8)$$

neboli:

$$R \approx 20 \log \left| \frac{Z_0}{2 \cdot Z_M} \right| \text{ a } R \approx 20 \log \frac{1}{2} = -6 \text{ [dB]} \quad (9)$$

Z toho vyplývá, že podstatný útlum odrazem je na přechodu ze vzduch do stěny krytu a je tedy nezávislý na tloušťce stínícího materiálu. Kvalitní stínění lze tedy vytvořit z tenkého, ale vysoce vodivé materiálu. [1]

### 1.1.2 Absorpční útlum

Absorpční útlum je závislý na fyzikálních vlastnostech krytu. Amplituda elektromagnetické vlny exponenciálně klesá (*Obr. 1*), toto zeslabení je způsobeno krytem o tloušťce  $t$  vlivem tepelných ztrát. Absorpční útlum je tedy roven:

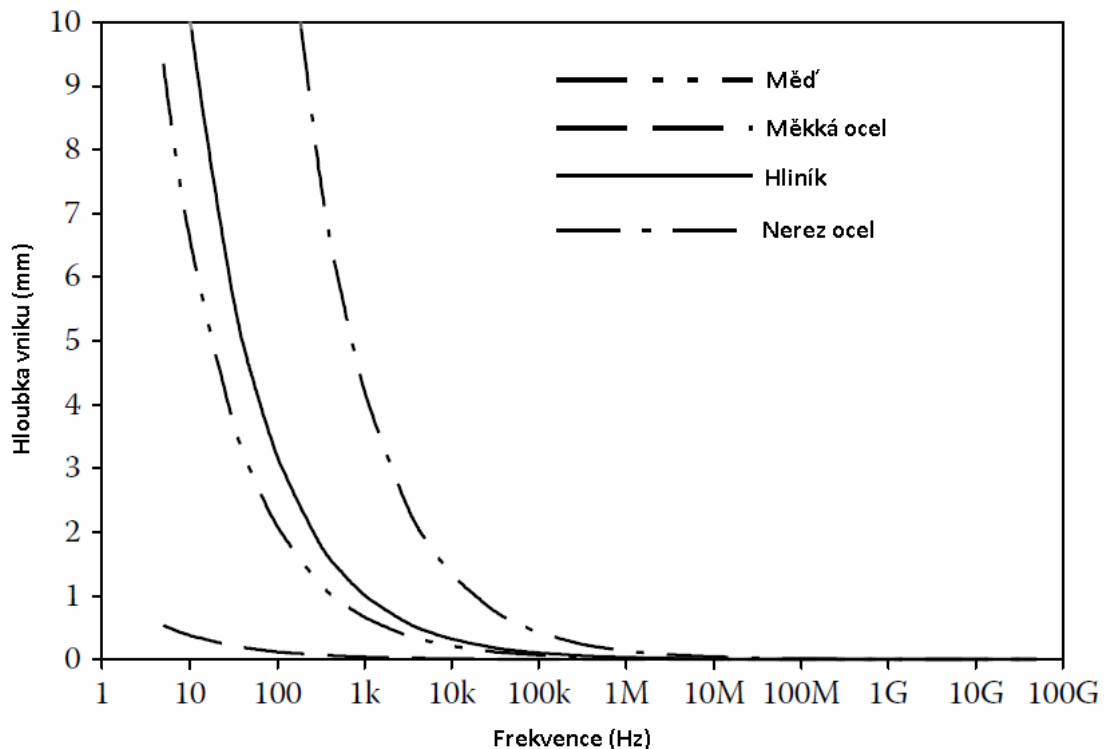
$$A = 20 \cdot \log |e^{\gamma t}| = 20 \cdot \log e^{\alpha t} = 20 \cdot \log e^{\frac{t}{\delta}} = 8,69 \frac{t}{\delta} \text{ [dB]} \quad (10)$$

Vzdálenost potřebná pro vlnu, aby se zmírnila na  $1/e$ , nebo 37% je definována jako hloubka vniku  $\delta$ .

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

Hloubka vniku je obzvláště důležitá při nižších frekvencích, jak lze vidět na obrázku (*Obr. 2*). Měď a hliník mají pětikrát větší vodivost než ocel a tudíž jsou velmi dobré pro stínění elektrického pole, ale mají relativní permeabilitu 1 (stejně jako vzduch). Měkké oceli mají relativní permeabilitu okolo 300 na nízkých frekvencích, tato vyšší

permeabilita snižuje hloubku vniku, takže nabízí na nízkých frekvencích lepší tloušťku krytu než hliník či měď. [1]



Obr. 2 Závislost hloubky vniku na frekvenci některých materiálu [11]

### 1.1.3 Útlum vlivem mnohonásobných odrazů

Útlum vlivem mnohonásobných odrazů  $M$  (Obr. 1) vzniká na rozhraních mezi vzduchem a kovovým krytem a naopak (přechod elektromagnetických vln mezi prostředími s různou impedancí  $Z$ ). Skládání mnohonásobně odražených vln může mít nezanedbatelný vliv na celkový útlum kovového krytu. Pro velikost tohoto útlumu mnohonásobnými odrazy  $M$  lze ze vztahu určit:

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

Je-li stínění z dobře vodivého kovu ( $Z_0 \gg Z_M$ ) a jeho tloušťka  $t$  je podstatně větší než hloubka vniku ( $t \gg \delta$ ), je z předchozího výrazu  $M \approx 0$  dB a vliv mnohonásobných odrazů na celkovou účinnost stínění lze zanedbat. Pak je přibližně

$$SE = R + A \text{ [dB]} \quad (13)$$

Je-li naopak stínící kryt tenký ve srovnání s hloubkou vniku ( $t \ll \delta$ ), je útlum

mnohonásobnými odrazy záporný (v dB) a hodnota M snižuje celkovou účinnost stínění přepážky! [1]

#### 1.1.4 Celková účinnost stínění

Pro celkovou účinnost stínění je obvykle nejdůležitější útlum odrazem a absorpční útlum přepážky. Dosazením za  $Z_0$  a  $Z_M$  dostaneme výraz pro útlum odrazem:

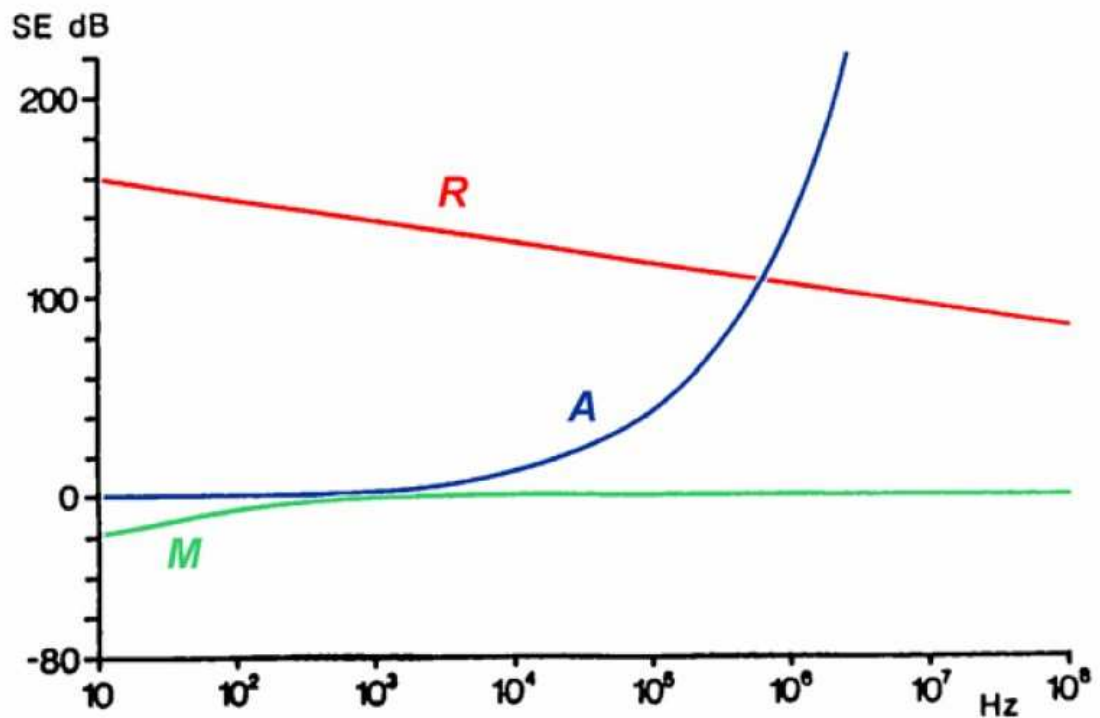
$$R \approx 20 \cdot \log \left( \frac{1}{4} \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{\omega \mu_r \varepsilon_0}} \right) \text{ [dB]} \quad (14)$$

když jsme pro kovovou přepážku dosadili  $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$  a  $\varepsilon = \varepsilon_0$ . Je zřejmé, že útlum odrazem je vyšší na nízkých kmitočtech a pro vysoce vodivé kovy. Jeho hodnota s rostoucím kmitočtem klesá se směrnici 10 dB/dekádu. Nemagnetické materiály ( $\mu_r \approx 1$ ) vykazují přitom vyšší útlum než feromagnetické materiály ( $\mu_r \gg 1$ ). Pro absorpční útlum stínící přepážky platí vztah:

$$A = 8,69 \cdot \frac{t}{\sigma} = 0,0069 \cdot t \cdot \sqrt{\omega \mu_r \sigma} \text{ [dB]} \quad (15)$$

Absorpční útlum roste s druhou odmocninou kmitočtu na dB stupnici a je větší pro vodivé feromagnetické materiály ( $\mu_r \gg 1$ ) než stejně vodivé nemagnetické materiály.

Je zřejmé, že útlum odrazem je funkcí poměru  $\sigma/\mu_r$ , zatímco absorpční útlum je funkcí součinu těchto veličin  $\sigma \cdot \mu_r$ . Rozbor předešlých dvou vztahů ukazuje, že útlum odrazem tvoří dominantní složku stínícího účinku na nízkých kmitočtech jak pro magnetické, tak i pro nemagnetické kovové materiály. Na vysokých kmitočtech vzrůstá absorpční útlum a vysoce převyšuje (klesající) útlum odrazem. Vzrůst účinnosti stínění na vysokých kmitočtech je přitom výraznější u magnetických kovových materiálů s  $\mu_r \gg 1$ . Tyto závěry jsou dokumentovány kmitočtovými průběhy obou složek účinnosti stínění útlumu odrazem R a útlumu absorpcí A na Obr. 3. [1]



Obr. 3 Kmitočtový průběh jednotlivých složek účinnosti stínění měděné desky o tloušťce  $t = 1 \text{ mm}$  [1]

V tomtéž obrázku je naznačen i kmitočtový průběh třetí složky celkové účinnosti stínění útlumu mnohonásobnými odrazy  $M$  podle vztahu (12). Je zřejmé, že na nízkých kmitočtech, kdy hloubka vniku  $\delta \gg t$ , je hodnota  $M$  záporná a snižuje celkovou účinnost stínění kovové přepážky. S rostoucím kmitočtem se velikost  $M \rightarrow 0 \text{ dB}$  a mnohonásobné odrazy přestávají mít vliv na výslednou účinnost stínění.

Mnohonásobné odrazy  $M$  se mohou nepříznivě uplatňovat i na vyšších kmitočtech, je-li stínicí přepážka velice tenká ( $t \ll \delta$ ). Tato situace vzniká typicky u přístrojových či počítačových stínících krytů vytvořených napařením velmi tenkého kovového povlaku na vnitřní povrch nekovové (plastové) přístrojové skříně. Velikosti útlumových složek  $R$ ,  $A$  a  $M$  pro několik velmi tenkých měděných stínících povlaků jsou v *Tab. 1.* [1]

tloušťka stínění	0,1 $\mu\text{m}$		1,25 $\mu\text{m}$		2,2 $\mu\text{m}$		22 $\mu\text{m}$	
kmitočet [MHz]	1	1000	1	1000	1	1000	1	1000
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

Tab. 1 Účinnost stínění velmi tenkých měděných povlaků [1]

## 1.2 Vliv otvorů a technologických netěsností na celkovou účinnost stínění

Různé materiály používané pro elektromagnetické stínění mají velké rozpětí elektrické vodivosti, magnetické propustnosti a tvaru. Stínící kryty vždy obsahují nějaké otvory pro přístup a větrání, spoje a švy pro praktickou výrobu. U stínění osob to jsou především švy, překrytí v místě rukou a nohou a průzory. Všechny tyto složky narušují integritu stínění a hrají rozhodující roli v celkovém stínění.

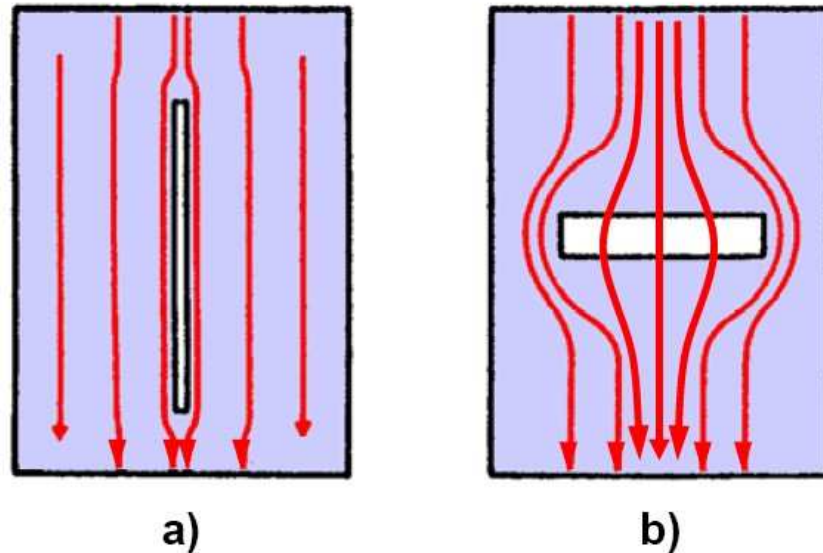
Technické nehomogenity stínění lze rozdělit na:

- Otvory ve stínícím krytu (např. vstupní, větrací a přístupové otvory)
- Části stínícího krytu se špatnou vodivostí (např. průzory, pohyblivé části a spoje)
- Kabely a vedení (např. napájecí, signálové a datové kabely)

Nejvíce ovlivňují stínící účinnost otvory ve stínícím krytu. Malý kruhový otvor v tenké kovové přepážce, na kterou dopadá rovinná elektromagnetická vlna, se vůči stíněnému prostoru chová jako plošná anténa s výkonovým ziskem.

Stejný rozbor lze provést i pro pravoúhlou (obdélníkovou) štěrbinu ve stínící přepážce. Zejména dlouhé štěrbiny v kovovém stínění se mohou chovat jako účinné štěrbinové antény, které podle své orientace vůči dopadající elektromagnetické vlně, příp. vůči proudům protékajícím po stínící přepážce, mohou intenzivně vyzařovat do vnitřního (chráněného) prostoru stínícího krytu, a tím výrazně snižovat účinnost jeho stínění. Případy

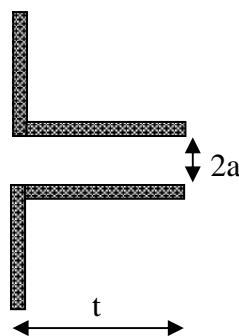
nejlepší a nejhorší orientace podlouhlé štěrbiny v kovové stínicí ploše z hlediska jejího vyzařování jsou naznačeny v *Obr. 4*.



*Obr. 4 Orientace nevyzařující a) a vyzařující b) podlouhlé štěrbiny v kovové stínicí přepážce [1]*

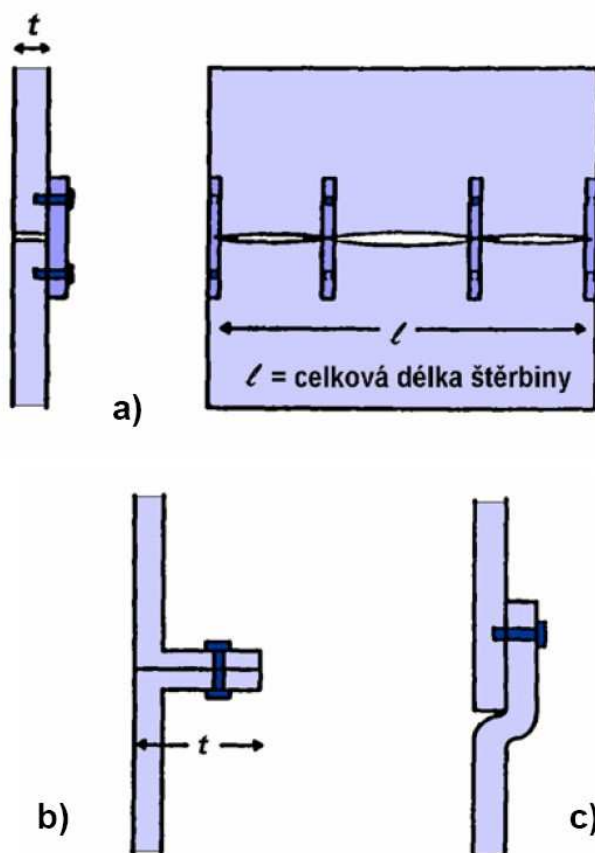
Protože však v praxi neznáme orientaci vlny dopadající na stínicí přepážku, je v oblasti EMC nutno vždy předpokládat nejhorší možný případ, tedy situaci dle *Obr. 4b*.

Pomocí podkritického dutého kovového vlnovodu, tj. vlnovodu provozovaného pod svým nejnižším mezním kmitočtem, se v technice elektromagnetického stínění realizují rovněž průchody a otvory nutné např. pro zavedení kabelů či mechanických ovládacích prvků do vnitřku stíněného prostoru, nebo pro zajištění jeho větrání či denního osvětlení. Princip takového vlnododového průchodu kovové stínicí stěny je naznačen na *Obr. 5*.



*Obr. 5 Průchod v kovovém stínění na principu podkritického vlnovodu*

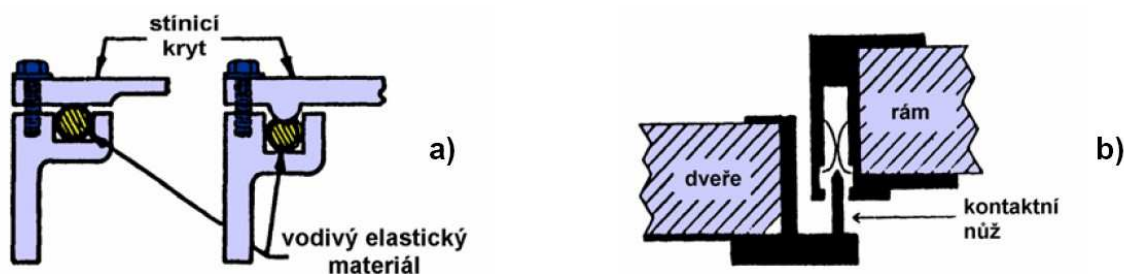
Kromě těchto úmyslně vytvářených průvlekových, prosvětlovacích, přístupových, montážních a podobných otvorů vznikají však ve všech stínících krytech i neúmyslné a nechtěné štěrby a průchozí netěsnosti, zejména v místech spojení dílčích stínících ploch celkového kovového krytu. Tyto štěrby, jejichž možný vznik při spojení ne zcela ideálně opracovaných kovových desek způsobem na tupo je zobrazen na *Obr. 6a*, mohou přitom dosáhnout značných délek (podle rozlohy celé stínící plochy až několika desítek cm), a tím výrazně snížit účinnost stínění kovového krytu již od poměrně nízkých kmitočtů.



*Obr. 6 Vznik nežádoucích štěrbin při spojení částí stínícího krytu na tupo a) a způsoby zlepšení účinnosti stínění překryvem spojovaných částí b), c). [1]*

Potlačit vliv těchto netěsností lze zejména zlepšením způsobu spojení dílčích kovových desek jejich dostatečně dlouhým vzájemným překryvem, např. dle *Obr. 6b* nebo *Obr. 6c*. Těmito způsoby vlastně tvoříme podkritický vlnovod o dostatečné délce  $t$ , a tím zvyšujeme celkovou účinnost stínění SE, příp. posouváme hranici jejího poklesu k vyšším kmitočtům.

Dalším zdrojem technologicky podmíněných elektromagnetických netěsností stínících krytů zejména přístrojového a skříňového typu jsou místa mechanických spojů dílčích částí krytu. Kromě principu podkritického vlnovodu se elektromagnetická těsnost těchto míst dosahuje užitím elastických a současně vysoce vodivých materiálů (past, silikonů apod.), které se nanášejí do míst spojení a mechanickým tlakem spojovaných částí zcela vyplní štěrby mezi nimi. Tato technika je vhodná zejména tam, kde z konstrukčních či údržbových důvodů je nutno stínící kryt čas od času rozebrat a opět sestavit. Příklad užití vodivého elastického materiálu pro zajištění elektromagnetické těsnosti konstrukce je na Obr. 7a.



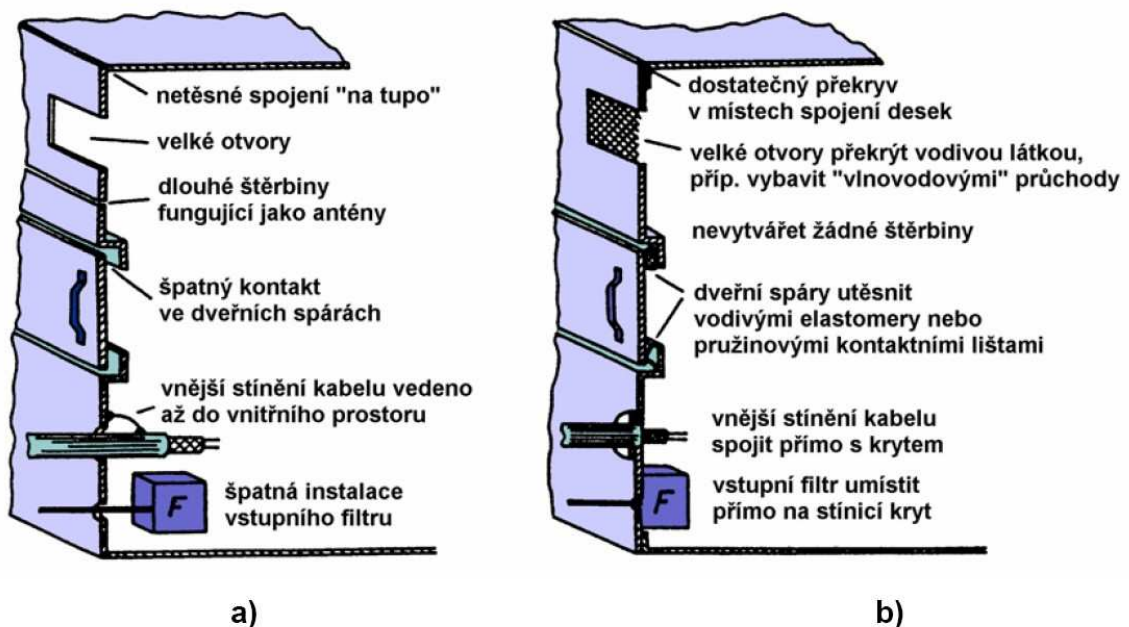
Obr. 7 Řešení elektromagnetického těsnění pomocí vodivých elastomerů a) a nožových kontaktů b). [1]

Velmi kvalitní vodivý kontakt bez štěrbin musí být zajištěn rovněž u všech dveří a dalších často otvíraných přístupů do stíněného krytu či místnosti. V zavřeném stavu musí tyto přístupy (dveře) zajišťovat dokonalou elektromagnetickou těsnost. Toho se v praxi dosahuje užitím pružinových kontaktů na pohyblivých částech, příp. užitím pérových nožových kontaktů. Příklad je uveden na Obr. 7b.

Z uvedeného je zřejmé, že skutečně dosahované hodnoty účinnosti stínění SE reálných stínících krytů jsou mnohem nižší, než by odpovídalo teoretickým možnostem kompaktních neomezených kovových stínících ploch. Dlouholeté zkušenosti v potřebách elektromagnetického stínění elektronických a elektrotechnických přístrojů, zařízení a systémů vedly k jisté kategorizaci stínění podle dosahovaných hodnot jejich účinnosti SE. Tyto kategorie jsou shrnuty v Tab. 2, souhrn hlavních konstrukčních zásad pro dosažení dobrého elektromagnetického stínění kovového krytu či celé stíněné místnosti je uveden na Obr. 8. V Obr. 8a je zobrazena chybná konstrukce z hlediska EMC, v Obr. 8b jsou naznačeny konstrukční úpravy vedoucí ke zlepšení výsledné účinnosti stínění. [1]

účinnost stínění [dB]	kategorie - hodnocení
0÷10	nedostateční stínění
10÷30	stínění pro minimální požadavky
30÷60	stínění dostačující pro většinu běžných požadavků
60÷90	velmi dobré stínění
90÷120	vysoce kvalitní stínění

Tab. 2 Hodnocení elektromagnetického stínění dle orientačních hodnot SE [1]



Obr. 8 Zásady konstrukce elektromagneticky stíněných krytů: a) chybná konstrukce z hlediska EMC; b) zlepšená konstrukce k dosažení vyšší účinnosti stínění. [1]

### 1.3 Srovnání klasických a kompozitních materiálů

Kompozitní materiály (zkráceně kompozity) jsou heterogenní materiály složené ze dvou nebo více látek různých fyzikálních, chemických a mechanických vlastností. Takto vytvořené materiály získávají nové vlastnosti, kterých u klasických materiálů nelze dosáhnout.

Jedním z hlavních důvodů využití kompozitního materiálu u stínění osob před nebezpečným elektromagnetickým zářením, je mít k dispozici materiál značně vodivý a

zároveň s vlastnostmi textilií. Problémem je ovšem, že stínící účinnost klasických (kovových) materiálů je mnohonásobně větší a má jiný průběh než u materiálů kompozitních.

Stínící účinnost klasických materiálů, lze vypočítat následujícím vzorcem:

$$SE = 45 + 20 \cdot \log(d \cdot \sigma) \quad (16)$$

kde  $d$  – tloušťka materiálu

$\sigma$  – elektrická vodivost materiálu

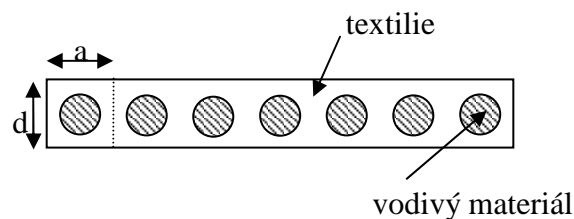
U kompozitu je vzorec pro výpočet stínící účinnosti (17) shodný s klasickými materiály, avšak je nutno vypočítat elektrickou vodivost pro daný kompozitní materiál pomocí vzorce (18).

$$SE_z = 45 + 20 \cdot \log(d \cdot \sigma_{ef}) \quad (17)$$

$$\sigma_{ef} = \sigma_z \cdot V_f \quad (18)$$

V tomto výrazu značí  $V_f$  objemovou koncentraci (19), ta nám udává poměr objemu vodivého materiálu  $V_v$  k celkovému objemu  $V_c$ . Výpočet takového poměru lze usnadnit tím, že si zvolíme (pokud to materiál umožňuje) periodicky se opakující buňku kompozitu (Obr. 9).

$$V_f = \frac{V_v}{V_c} \quad (19)$$



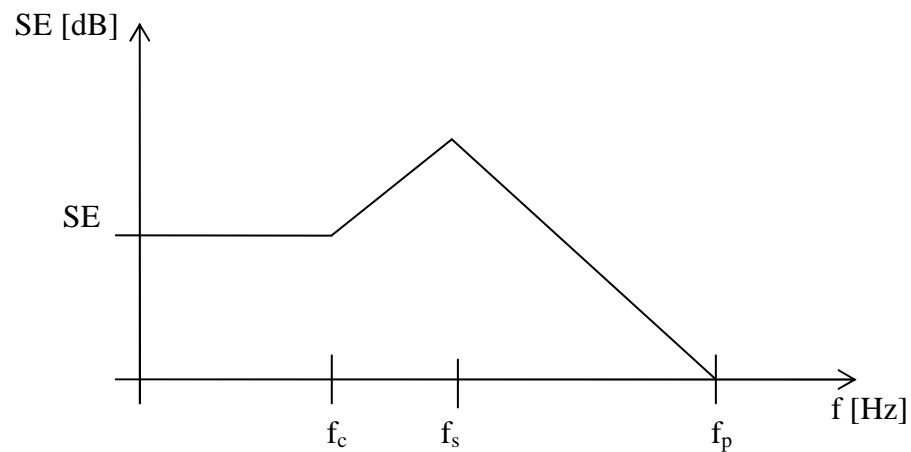
Obr. 9 Řez kompozitním materiálem

Na Obr. 10 je znázorněn graf průběhu stínící účinnosti kompozitního materiálu, kde lze vidět, že účinnost je přibližně konstantní do kritické (lomové) frekvence  $f_c$ . Tuto frekvenci je možno vypočítat vzorcem (20). Pokud je frekvence vyšší než  $f_c$ , tak stínící účinnost s rostoucí frekvencí stoupá vlivem skin efektu a v bodě  $f_s$  (vlivem podélné indukčnosti a kapacity mezi vlákny) se láme zpět k nižším hodnotám až do plazmatické

frekvence  $f_p$ , kterou lze vypočíst podle vzorce (21).

$$f_c = \frac{1}{d^2 \cdot \mu \cdot \sigma_{ef} \cdot \pi} \text{ [Hz]} \quad (20)$$

$$f_p^2 = \frac{c^2}{2 \cdot \pi \cdot a^2 \cdot \ln\left(\frac{a^2}{4 \cdot r \cdot (a-r)}\right)} \text{ [Hz]} \quad (21)$$



Obr. 10 Graf průběhu stínící účinnosti kompozitního materiálu

## 2 STÍNĚNÍ OSOB POMOCÍ ČÁSTEČNĚ VODIVÝCH TEXTILIÍ

### 2.1 Zdravotní rizika

V otázce zdravotních rizik je spousta nesrovnalostí a odborná veřejnost vede v této otázce spory. Jedna část se přiklání pouze tepelným účinkům elektromagnetického pole s vyšší výkonovou hustotou a část druhá prosazuje možná rizika způsobená i netepelnými účinky, které jsou způsobeny dlouhodobým vystavením elektromagnetickému poli.

Rád bych zde uvedl citaci Ing. Jaroslava Nováka ve které se vyjadřuje k rozporu mezi oběmi stranami: „Vývoj v této oblasti z pohledu zdravotnictví sleduji víc než deset let a musím konstatovat, že ti biologové a lékaři, kteří vycházejí většinou z vlastní experimentální či klinické zkušenosti (označil bych je za nezávislé na ekonomických zájmech), došli k závěru, že trvalá expozice všech vysílačů by mohla v budoucnu při dlouhodobém působení na organismus způsobovat zdravotní problémy a doporučují jako bezpečný limit intenzity VF elektromagnetického pole maximálně 6 V/m.

Naopak druhá skupina vědců, jde často spíše o techniky, kteří biologickou a zdravotní problematiku znají jen teoreticky, zprostředkovaně a kuse, tvrdí, že bezpečný zdravotní limit je 28 - 58 V/m, a to v závislosti na frekvenci.“ [16]

Ze studie NRL (Národní referenční laboratoř) vyplývá, že teplo a indukované proudy jsou jedinými faktory, které mohou poškodit zdraví, avšak žádní specialisté podílející se na přípravě doporučení se nevěnovali dlouhodobým účinkům vystavení organismu elektromagnetickým polím. Navíc většina zpráv a studií se zaměřuje především na mobilní telefony.

#### 2.1.1 Dopady na organismus

Elektromagnetické pole se využívá v lékařství (a tedy má na organismus vliv) a proto se přikláním ke skupině, prosazující i netepelné účinky. Z krátkodobého hlediska jsou sice nejvýraznější tepelné účinky, ale projevují se také bolesti hlavy, narušení spánku, únava apod.

Nicméně pro člověka jsou značně nebezpečné i velmi slabé elektromagnetické signály, pokud leží v oblasti mikrovln s vhodně malou vlnovou délkou a to tehdy jestliže dochází ke sčítání dvou fyzikálně slabých polarizovaných polí.

Například společnost Energy prodávající zdravotní produkty zadala výzkum účinku BTS GSM stanic na člověka. Na vzorcích krevních buněk byly pro vzdálenost 10 cm a výkon 50W pozorovány změny v buněčných stěnách.

### 2.1.2 Vybrané vědecké výzkumy

Vědecké výzkumy můžeme rozdělit do dvou kategorií podle toho zda jsou pozorovány při působení elektromagnetického pole nebo zda jsou následky jeho trvalejšího vlivu. [14]

#### 2.1.2.1 Biologické změny způsobené elektromagnetickým zářením

Proteinové změny v kůži: Deset žen se dobrovolně zúčastnilo studie, ve které na ně bylo aplikováno záření z GSM mobilních telefonů po dobu jedné hodiny jako simulace telefonního hovoru. Vědci pak zkoumali jejich kožní buňky a jakoukoliv stresovou reakci. Prohlíželi 580 různých proteinů a našli dva, které byly podstatně ovlivněny. (Jeden z nich se zvětšil o 89% a druhý se zmenšil o 32%). *New Scientist February 23, 2008*

Podrážděné mozkové buňky: Vědci z Fatebenefratellské nemocnice v Isola Tibera zjistili, že elektromagnetické pole vyzařované mobilními telefony může způsobit, že některé buňky v mozkové kůře (přiléhající ke straně používaného telefonu) asi na hodinu zvýší svou aktivitu (v důsledku podráždění), zatímco aktivita jiných buněk je potlačena. *Health24 - Červen 27, 2006*

Poškození DNA: Německá výzkumná skupina Verum studovala vliv záření na lidské a zvířecí buňky. Poté, co byly vystaveny frekvenci mobilních telefonů, buňky vykazovaly zvýšené zlomy DNA. Tyto zlomy nemohou být vždy opraveny buňkami. Škoda by proto mohla být přenesena na budoucí buňky, které by mohly mít predispozice k tomu, stát se rakovinotvornými buňkami. *USA Today Prosinec 21, 2004*

Agresivní růst leukemických buněk: Vědci National Research Council v Bologni, Itálie zjistili, že leukemické buňky vystavené frekvenci mobilních telefonů po dobu 48 hodin se replikovaly s větší agresivitou. *New Scientist Říjen 24, 2002*

Zvýšený krevní tlak: Němečtí vědci zjistili, že jednorázové použití mobilního telefonu po dobu 35-ti minut by mohlo způsobit zvýšení klidného krevního tlaku mezi 5 a 10mm Hg. *Lanceta Červen 20, 1998*

### 2.1.2.2 *Následky účinků elektromagnetického záření*

Rakovina slinné žlázy: Izraelská studie uvádí, že u lidí, kteří používali mobilní telefon po dobu 22 hodin měsíčně a více, byla o 50 procent větší pravděpodobnost vzniku rakoviny příušní žlázy než u lidí, kteří používali mobilní telefon zřídka nebo nikdy. *Health24 Únor 19, 2008*

Mozkový nádor: Analýza několika předešlých studií ukázala, že používání mobilních telefonů po dobu více než 10-ti let způsobuje zvýšené riziko získání některých typů mozkových nádorů (2,4krát na akustický neurom a 2krát na gliomy). *News24 October 3, 2007*

Lymfatická rakovina a rakovina kostní dřeně: Vědci z Tasmánské a Bristolské univerzity studovali záznamy 850-ti pacientů, kteří byli diagnostikováni s lymfatickou rakovinou a rakovinou kostní dřeně. Došli k závěru, že u lidí, žijících do vzdálenosti 300 metrů od elektrického vedení na určitou dobu (zvláště v dětském věku), byla až pětkrát větší pravděpodobnost vzniku těchto chorob v pozdějším životě. *Internal Medicine Journal Září 2007 Physorg.com Srpen 24, 2007*

Sebevražda: Američtí vědci zjistili, že míra sebevražd u 5000 pracovníků elektrárenské společnosti, kteří byli vystaveni extrémně nízké frekvenci EMP, byla dvojnásobná než u kontrolní skupiny stejné velikosti. Účinek byl zvláště patrný u mladých pracovníků. *Journal of Occupational and Environmental Medicine Březen 15, 2000*

## 2.2 **Legislativa**

V současné době existují dva závazné legislativní dokumenty vztahující se k ochraně lidského organismu před elektromagnetickými poli a neionizujícím zářením. Jsou to:

- a) Nařízení vlády č. 1/2008, Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, ve znění pozdějších předpisů, s platností od 30.4.2008.
- b) Metodický návod hlavního hygienika ČR č.j. HEM-300-16.1.01-1375 ze dne 16.01.2001.

Tyto předpisy vznikly na základě dokumentů vytvořených Mezinárodní komisí pro ochranu před neionizujícím zářením (ICNIRP). Jedná se o dokumenty:

- a) ICNIRP Guidelines - Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz).
- b) ICNIRP Statement - Guidance on determining compliance of exposure to pulsed and complex non-sinusoidal waveforms below 100kHz with ICNIRP Guidelines.

### 2.2.1 Nařízení vlády č. 1/2008, Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením

Nařízení vysvětluje neionizující záření jako „statická magnetická a časově proměnná elektrická, magnetická a elektromagnetická pole a záření s frekvencemi od 0 Hz do  $1,7 \cdot 10^{15}$  Hz“

Tento dokument dělí osoby vystavené elektromagnetickému poli na dvě skupiny, jimiž jsou zaměstnanci a ostatní osoby. Důvodem rozdělení na tyto skupiny je fakt, že zaměstnanci jsou osoby poučené a vybavené ochrannými pomůckami, které jim musí zajistit zaměstnavatel.

Stanovuje limity expozice elektromagnetického pole pomocí referenčních a nejvyšších přípustných hodnot. Jako referenční hodnoty uvádí intenzitu elektrického pole E, intenzitu magnetického pole H, magnetickou indukci B a hustotu zářivého toku.

Dále říká, že při překročení referenčních hodnot musí být proveden výpočet nebo měření, které se provádí na modelech lidského těla (phantomech) nebo měřením hodnot intenzity elektrického pole, magnetické indukce, hustoty zářivého toku, kontaktního a indukovaného proudu tekoucího kteroukoli končetinou, nebo hustoty dopadnuvší zářivé energie, zjištěných pro posuzovanou situaci, a jejich srovnáním s referenčními úrovněmi.

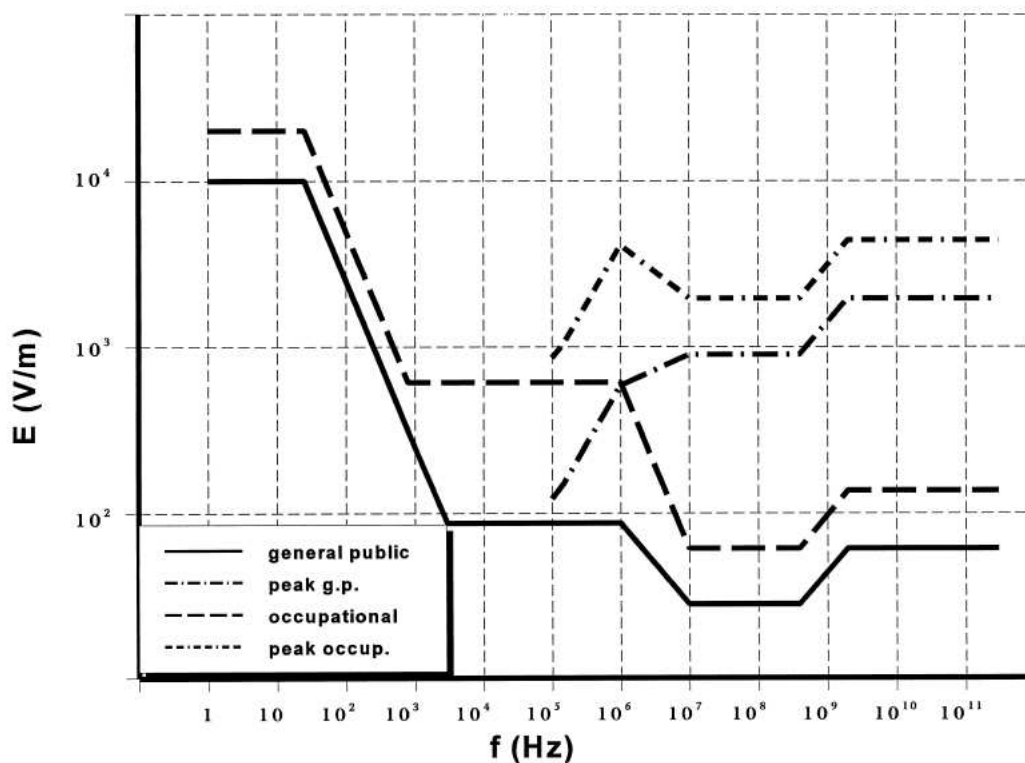
### 2.2.2 Metodický návod hlavního hygienika

Návod se řídí nařízením vlády č. 1/2008, Sb. Umožňuje kontrolu překročení expozičních limitů neionizujícího záření zaměstnancem hygienické stanice a související úkony orgánů ochrany veřejného zdraví.

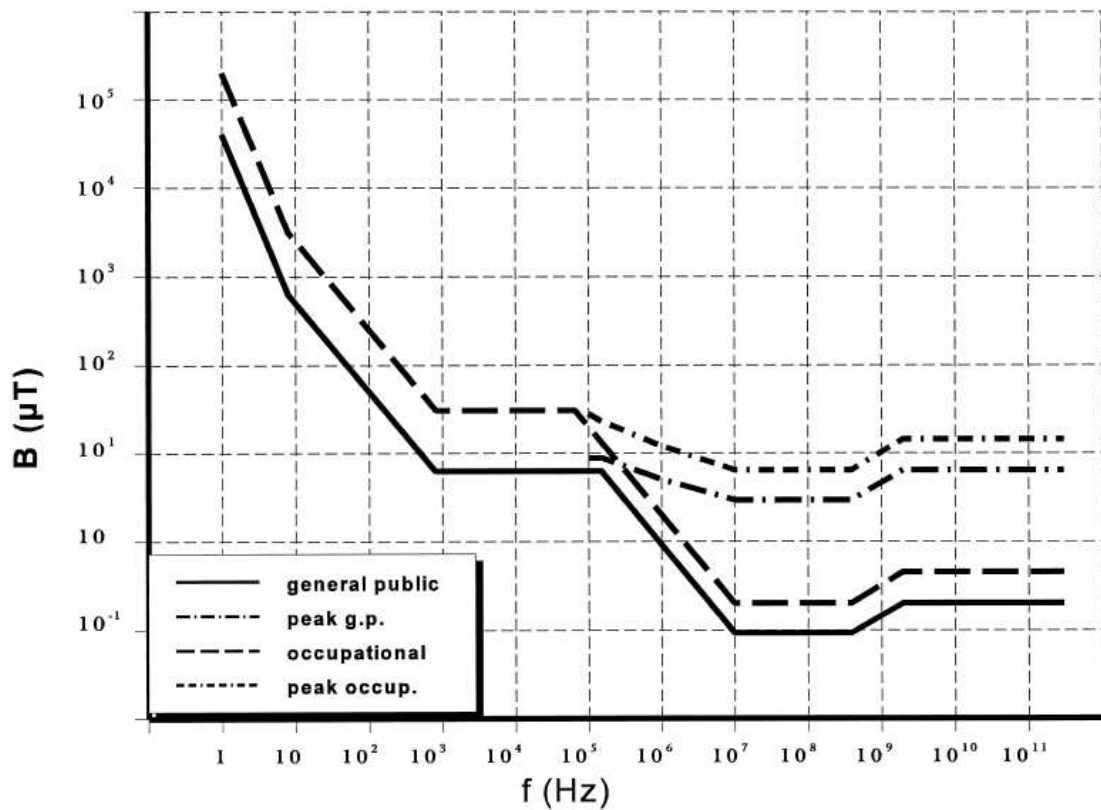
Uvádí postupy při posuzování expozičních situací a typy přístrojů vhodné k měření těchto limitů.

### 2.2.3 Dokumenty ICNIRP

Z těchto dokumentů zpracovaných Mezinárodní komisí pro ochranu před neionizujícím zářením jsou pro naše účely nejdůležitější grafy znázorňující referenční hodnoty elektrického (Obr. 11) a magnetického (Obr. 12) pole z nichž vychází naše legislativa.



Obr. 11 Referenční úrovně elektrického pole [14]



Obr. 12 Referenční úrovně pro magnetické pole [14]

### 2.3 Současný stav částečně vodivých textilií

Na našem současném trhu se nachází několik typů elektricky vodivých textilií. Tyto vodivé textilie jsou kompozitní materiály vyrobeny například zapředěním vodivých vláken z mědi, stříbra, cínu uhlíkových vláken atd. do polyamidu, bavlny, polyesteru, polypropylenu atd. (nevodivé materiály). Podíl vodivých vláken v těchto textiliích se pohybuje v rozmezí 1-20%

Podle způsobu zapředění se pak textilie rozlišují na (Obr. 13):

- mřížka
- proužek
- melír



*Obr. 13 Způsoby zapředení (mřížka, proužek, melír)*

**Mřížka** - tento způsob zapředení zajišťuje směr vodivosti vertikální i horizontální. Mřížka bývá o maximálních rozměrech 10x10 cm, které jsou dány normou.

**Melír** – při tomto způsobu výroby vznikne melír, jehož barva je závislá na použitých materiálech. Vodivá látka je rozprostřena po celé ploše textilie s orientací do všech směrů, což zajišťuje vodivost vertikálního i horizontálního směru.

**Proužek** - tato metoda umožňuje vodivost pouze v jednu směru (horizontálním nebo vertikálním). Pro zajištění vodivosti i v druhém směru je potřeba do švů kolmo ke směru proužků zapracovat vodivý materiál.

U nás se tyto textilie využívají především k výrobě antistatických oděvů a obuvi, avšak v zahraničí lze nalézt několik obleků (*Obr. 14*) vyrobených za účelem stínění osob před nebezpečným elektromagnetickým zářením.

Tyto ochranné obleky jsou vyráběny pro ochranu celého těla a jsou doplněny kuklou a rukavicemi vyrobených taktéž z vodivých textilií.



*Obr. 14 Ukázka některých ochranných obleků*

### 3 METODY MĚŘENÍ STÍNÍCÍ ÚČINNOSTI ČÁSTEČNĚ VODIVÝCH TEXTILIÍ

Při metodách měření stínící účinnosti se nejčastěji využívá porovnávací měření, které vychází ze vztahu (21):

$$SE = 20 \cdot \log \left| \frac{E_i}{E_t} \right| \quad SE = 20 \cdot \log \left| \frac{H_i}{H_t} \right| \quad [\text{dB}] \quad (21)$$

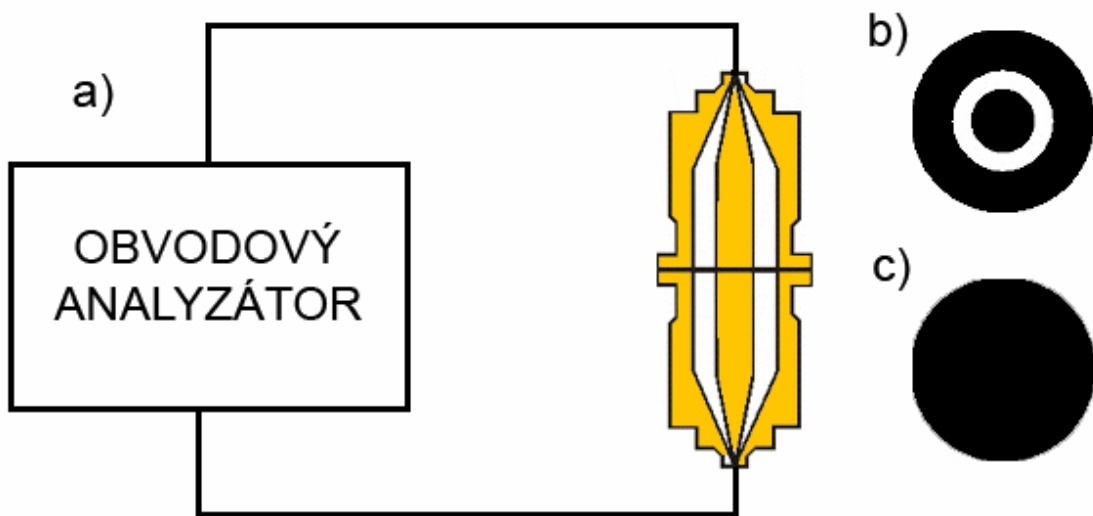
Měření je v první řadě provedeno bez vodivé textilie, čímž získáme referenční hodnoty od nichž odečteme hodnoty naměřené s vodivou textilií.

#### 3.1 Měření koaxiálním měřicím vedením

Tato měřicí metoda označovaná jako ASTM D4935 byla odebrána ze standardů ASTM, přesto je v současnosti využívána.

Testovací adaptér je vyroben z 50 Ω koaxiálního vedení a dvou symetrických dílů. Měření stínící účinnosti se provádí v rozsahu 30 MHz – 1,5 GHz. V praxi je možné měřit i od 1 MHz s tím, že vznikají různá omezení při nižších frekvencích způsobené vlivem kapacitní vazby a dynamických rozsahů měřicích přístrojů.

Způsob zapojení přístrojů zobrazených na Obr. 15a vychází ze standardu ASTM a jak bylo zmíněno na začátku kapitoly využívá porovnávacího měření. Zapojení se skládá z obvodového analyzátoru, vysokofrekvenčních připojovacích kabelů, měřicího adaptéru a útlumových článků nezbytných k zabránění nechtěných odrazů či signálových interferencí. Vhodné je také doplnění soustavy o počítač, který slouží jako pomocné zařízení pro zpracování a vyhodnocení výsledků.



*Obr. 15 a) uspořádání pracoviště při měření s měřícím koaxiálním vedením, b) referenční vzorek c) měřený vzorek*

Prvním krokem je vložení referenčního vzorku (*Obr. 15b*), který se skládá ze dvou částí:

- malá o ploše středního vodiče
- velká bez mezikruží umístěná mezi plochy adaptéru

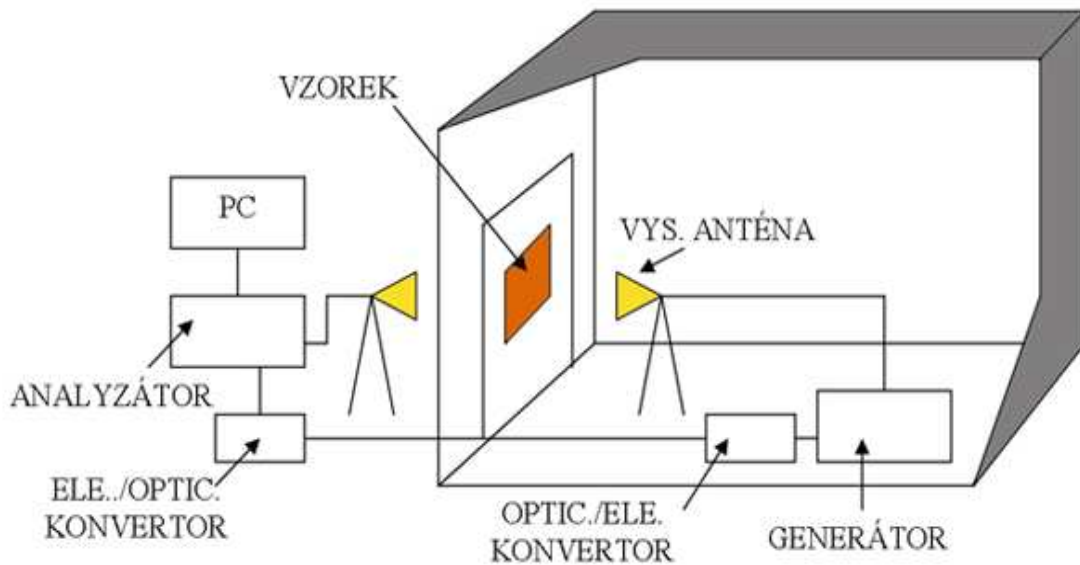
Obě části adaptéru jsou následně fixovány pomocí šroubů. Referenční měření je zakončeno kalibrací obvodového analyzátoru, kdy je průběh frekvenční závislosti útlumu nastaven na nulovou hodnotu.

Samotné měření je prováděno měřeným vzorkem (*Obr. 15c*) vyrobeným ze stejného materiálu jako vzorek referenční. Jako u referenčního měření je nezbytné části adaptéru fixovat a teprve poté provádět měření, kdy na obvodovém analyzátoru odečítáme průběh stínící účinnosti. [9]

### 3.2 Měření se stíněnou komorou

Tento způsob vyhodnocování stínící účinnosti je označován jako MIL-STD-285. Je to pravděpodobně nejčastěji odkazována norma pokrývající tlumené měření stíněného prostoru v kmitočtovém rozsahu 100 kHz až 10 GHz. Tato norma definuje frekvence a části elektromagnetického pole, které jsou předmětem testování a stanovuje potřebné vybavení a konfiguraci antény. Zdroj signálu je umístěn uvnitř testovaného prostoru,

zatímco měřicí přístroje jsou umístěny vně (Obr. 16).



Obr. 16 Uspořádání pracoviště při měření se stíněnou komorou

V této metodě často nazývané jako "modifikovaná MIL-STD-285", vyhodnocovaný materiál kryje otvor ve správně stíněném prostoru. Srovnání měření intenzity elektrického pole E, intenzity magnetického pole H nebo výkonu P krytého i nekrytého otvoru stínícím materiálem zapracované do vzorce (22, 23 nebo 24) umožňuje stanovit efektivitu stínění.

$$SE = 10 \cdot \log \frac{P_i}{P_t} [\text{dB}] \quad (22)$$

$$SE = 20 \cdot \log \frac{E_i}{E_t} [\text{dB}] \quad (23)$$

$$SE = 10 \cdot \log \frac{H_i}{H_t} [\text{dB}] \quad (24)$$

Metody pro měření efektivitu stínění popsané v MIL-STD-285 byly později nahrazeny jinými v IEEE-STD-299. Tento dokument popisuje metody pro měření stínící účinnosti pro kryté prostory, i když nejmenší lineární rozměr takového prostoru musí být alespoň 2 m. Rozsah měření této metody je rozdělen do 3 pod-rozsahů:

- nízký rozsah - od 9kHz (50Hz) do 20MHz - pro magnetickou složku (H),
- rezonanční rozsah - od 20MHz do 300MHz - pro elektrickou složku (E),
- vysoký rozsah - od 300MHz do 18GHz (100GHz) - pro rovinnou vlnu výkonu (P).

V budoucnosti by měl tento standard zahrnovat metody umožňující vyhodnocení

menších krytých prostorů a stínících materiálů. Mělo by být jasně uvedeno, že stávající norma zde popsaná se týká pouze vyhodnocování efektivitu stínění velkých krytých prostor jako celku; jinými slovy, nevyhodnocují jednotlivé vlastnosti stínících materiálů. Vzhledem k tomu existují četné adaptace této metody, které byly vytvořeny pro hodnocení vlastností plochy stínících materiálů.

Jeden takový test nastavení byl proveden v roce 1994 na Ústavu telekomunikací a akustiky na Wroclawské Universitě technologií. Testovací prostor ve tvaru 30cm kruhu byl vytvořen otvorem ve dveřích stíněné komory. Tento otvor byl zakončen kruhovým límcem s dvou spirálovitým pružinovým těsněním z nerezavějící oceli, která poskytuje vynikající elektrický kontakt se vzorky materiálu na testování.

Inovativním řešením bylo použití spojení optickým vláknem mezi vnějšími zařízeními a anténou umístěnou uvnitř stíněné komory. Spojení optickým vláknem umožňuje eliminaci různých rezonančních jevů; tyto jevy jsou způsobeny spojením mezi anténou a kabelem, který k ní přivádí vysokofrekvenční signál.

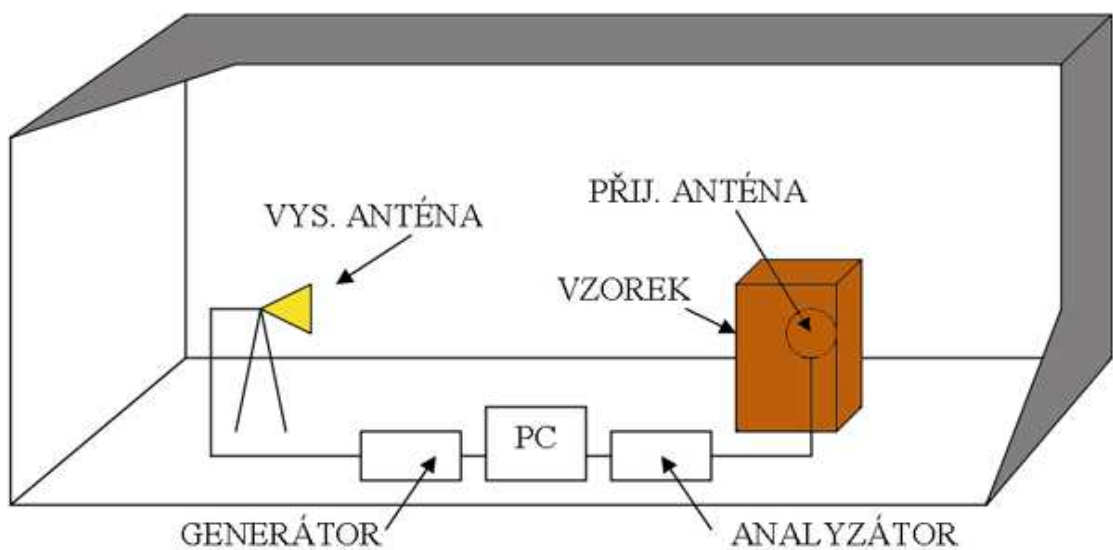
Měřicí standardy odvozené od MIL-STD-285 se obvykle používají pro čtvercové 1x1 m nebo 30-cm kruhové testovací vzorky. Nedošlo k žádnému významnému výzkumu prováděného pro srovnání různých nastavení testů a proto nejsou ani žádné informace vztahující se k nepřesnostem měření dosažených používáním těchto nastavení. Stávající testovací standardy také nejsou předmětem žádného certifikátu v této oblasti. Dá se očekávat, že výsledky testování získané ze stejného materiálu testovaného v různých laboratořích, se mohou lišit a to dokonce až o několik dB. Důvodem je, že otvor ve zdi stíněné komory také ovlivňuje měření. Tento otvor sám tvoří typ antény s parametry závisujícími na několika faktorech, z nichž jeden je její velikost. Brát v úvahu tuto velikost a její účinek na efektivitu stínění měřených výsledků není snadné a v této oblasti proběhly pouze menší výzkumy.

Měření stínící účinnosti použitím výše zmíněných nastavení testování je časově náročné a problematické. Vyžaduje to vynikající znalosti a osobní zkušenosti s měřením testování. [9]

### 3.3 Měření srovnávací metodou

Srovnávací metoda (nebo-li metoda vložného útlumu) je vhodná při měření stínícího útlumu v rozmezí 40 – 60 dB v závislosti na kmitočtu. Měření se u této metody provádí ve frekvenčních rozsazích 30 MHz – 1 GHz. Měřit lze i při vyšších kmitočtech a to až do 20 GHz, ale to pouze v případě použití vhodných vysílacích antén a sond.

Narozdíl od předchozích metod je tato ideální pro měření již hotových krytů, obleků, skříní apod. jak lze vidět na *Obr. 17*.



*Obr. 17 Uspořádání pracoviště při měření srovnávací metodou*

Postup měření je následující:

- Nejprve se provede referenční měření bez vzorku, pro urychlení měření se využije software počítače, který automaticky nastavuje frekvenci (po předchozím navolení) a ukládá výsledné hodnoty do souboru v počítači.
- Následně se provede měření při stejných nastaveních ovšem s vloženým vzorkem
- Posledním krokem je dosazení do následujícího vzorce (25) pro vypočet velikosti stínící účinnosti.

$$SE[dB] = E_{ref}[dB] - E_{load}[dB] \quad (25)$$

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 ZJEDNODUŠENÝ MODEL ČLOVĚKA SE STÍNÍCÍM PLÁŠTĚM

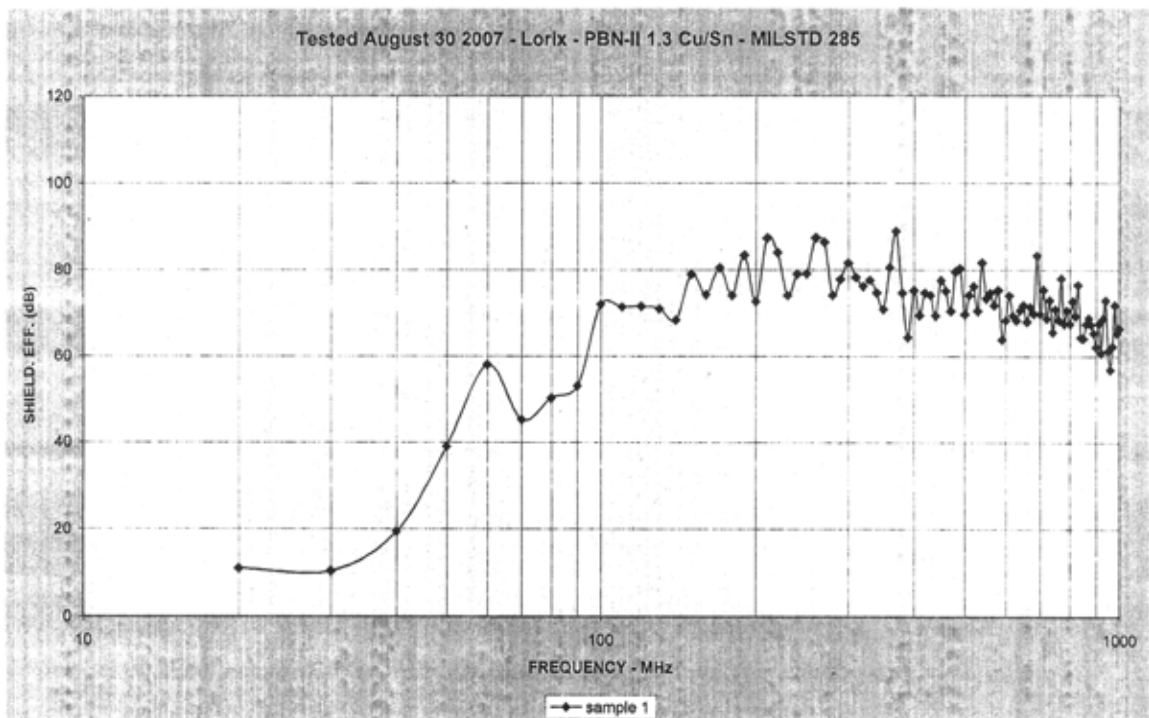
Pro simulaci a měření stínící účinnosti jsem musel navrhnout zjednodušený model člověka, který by byl vyroben z vhodného materiálu a svými rozměry a tvarem umožnil naměření co nejpřesnějších hodnot skutečného obleku.

Pro porovnání výsledných hodnot naměřených na modelu člověka, jsem v následující kapitole provedl měření stínící účinnosti na komerčně vyráběném obleku ESO 3 Aleksander od polské firmy P.H.U. ESO.

### 4.1 Návrh phantomu

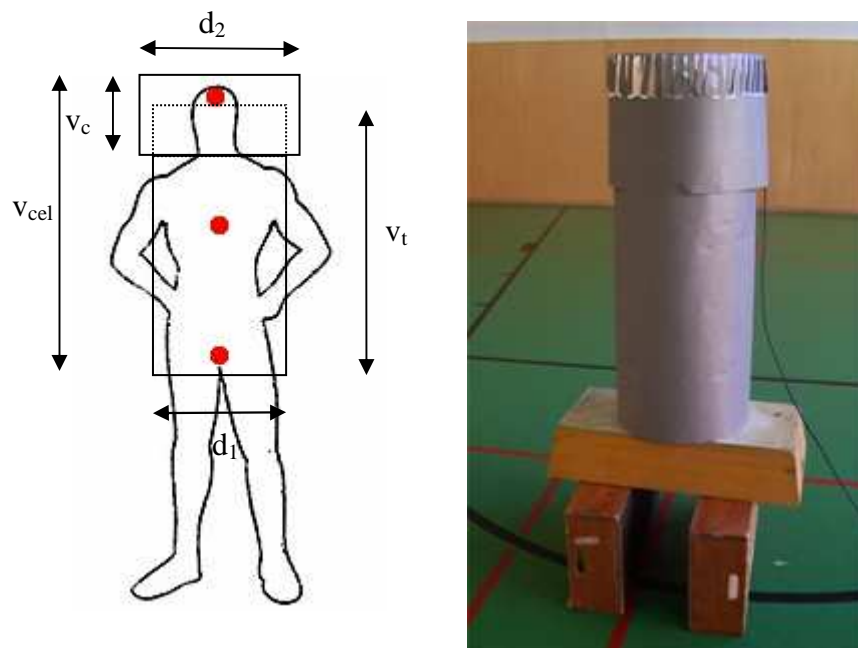
Pro stavbu zjednodušeného modelu člověka (phantomu) byla zakoupena netkaná textilie (polyamid) potažená mědí a cínem s názvem PBN-II 1.3-Cu-Sn od firmy LORIX jejíž parametry jsou:

- Šířka role: 102 cm  $\pm$  2 cm
- Povrchový měrný odpor: max průměr 0,02 Ohm/m<sup>2</sup>
- Účinnost stínění: 70-80 dB od 50 MHz do 1 GHz (*Obr. 18*)
- Teplotní rozsah: -30 °C až 90 °C



Obr. 18 Průběh stínící účinnosti použité textilie v závislosti na frekvenci

U návrhu jsem se snažil dodržet velikost průměrného člověka, kdy jsem počítal s šířkou ramen 50 cm, hloubkou hrudi 20 cm a výškou od rozkroku po temeno hlavy 105 cm. Výsledný phantom jsem vytvořil jako válec o rozměrech (Obr. 19)  $v_{cel} = 105$  cm,  $v_c = 35$  cm,  $v_t = 100$  cm,  $d_1 = 40$  cm a  $d_2 = 42$  cm, kde byl z důvodů zjednodušení výroby zachován přibližný objem a výška. Mezi hlavním tubusem a cylindrem byla ponechána štěrbina 1 cm široká po celém obvodu z důvodu zjištění vlivu této mezery a vytvoření prostoru pro propojovací kabel sondy s analyzátozem.



Obr. 19 Rozměry phantomu oproti člověku a phantom

Spoje jednotlivých kusů tkaniny jsem provedl samolepicí hliníkovou páskou, pro zajištění dobré vodivosti v přechodech a přesahy byly o velikosti 10 cm. Kruhové podstavy phantomu jsem nastříhal po celém obvodu a jednotlivé proužky takto vzniklých stříhů byly přilepeny k těle modelu.

#### 4.2 Simulace účinnosti v programech WIPL a CST microwave studio

Pro simulaci stínící účinnosti phantomu jsem využil programy WIPL-D a CST microwave studio, kde jsem vymodeloval phantom o daných rozměrech (Obr. 19) a ve výšce 50 cm od spodního okraje modelu jsem umístil měřený bod. Vzdálenost vysílací antény a měřeného bodu ( $R = 7,35$  m) jsem vypočetl podle vztahu pro Frauhofferovu vzdálenost (26) při frekvenci 1 GHz.

$$R_{FAR} = \frac{2D^2}{\frac{c}{f}} = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (26)$$

#### 4.2.1 Postup simulace v programu WIPL-D

Program WIPL-D neumožňoval přímé získání hodnot stínící účinnosti vytvořeného modelu, proto bylo třeba stanovit postup simulace. Při modelování jsem zhotovil pouze poloviční model a vytvořil jsem rovinu symetrie v  $y = 0$ , jak jde vidět na *Obr. 20*. Hlavními důvody volby tohoto postupu bylo zjednodušení modelu a snížení výpočetní náročnosti.



*Obr. 20 Vzhled modelu v simulačním programu WIPL-D*

V programu WIPL-D jsem nejprve získal velikosti proudu v daném bodě uvnitř phantomu  $I_{2LOAD}$  a velikost referenčního proudu  $I_{2REF}$ , pomocí kterých jsem dopočítal stínící účinnost při různě natočené přijímací anténě (27). Vysílací anténa byla při měření natočena svisle (ve směru osy  $z$ ) a přijímací anténa byla při dílčích částech měření natočena podle osy  $x$ ,  $y$  a  $z$ .

$$SE_z = 20 \cdot \log \frac{I_{2REF}}{I_{2LOAD}} \quad SE_y = 20 \cdot \log \frac{I_{2REF}}{I_{2LOAD}} \quad SE_x = 20 \cdot \log \frac{I_{2REF}}{I_{2LOAD}} \quad (27)$$

Poté následujícími vzorci (28) jsem vypočetl intenzitu elektrického pole jednotlivých směrů přijímací antény.

$$E_z = 10^{\frac{-SE_z}{20}} \quad E_y = 10^{\frac{-SE_y}{20}} \quad E_x = 10^{\frac{-SE_x}{20}} \quad (28)$$

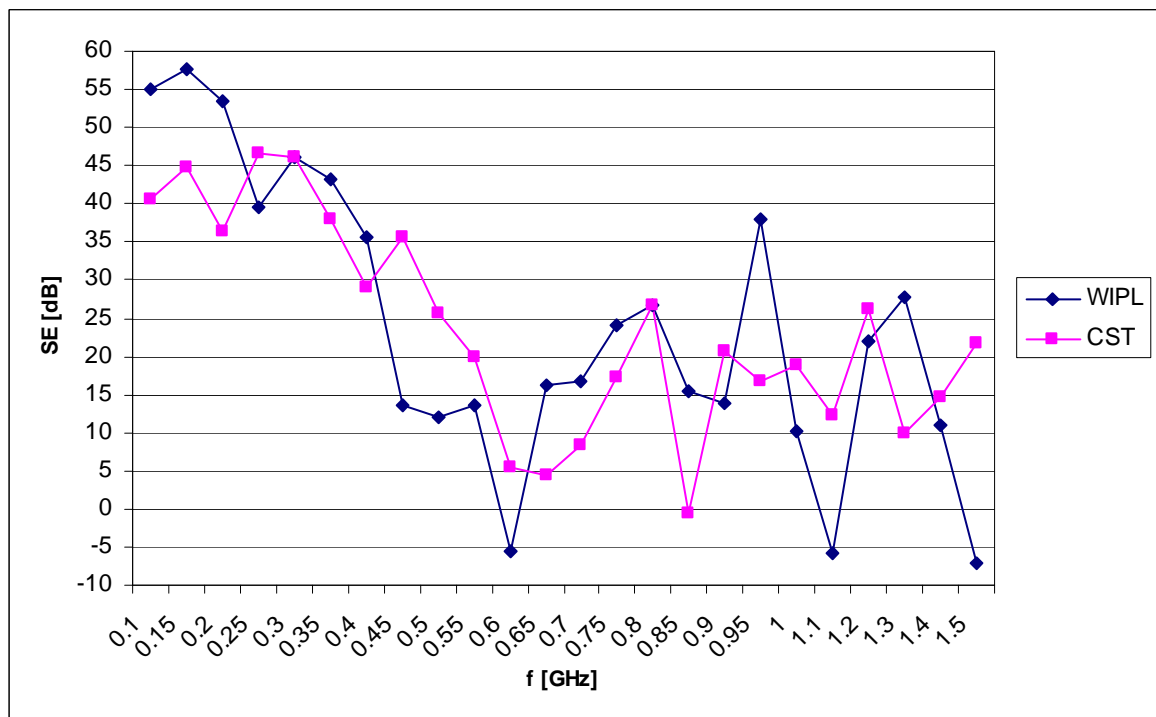
Na závěr jsem vypočetl celkovou intenzitu elektrického pole podle vzorce (29) a z ní vzorcem (30) výslednou stínící účinnost v měřeném bodě.

$$E_{sum} = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \quad (29)$$

$$SE_{cel} = -20 \cdot \log(E_{sum}) \quad (30)$$

#### 4.2.2 Výsledné hodnoty stínící účinnosti ze simulačních programu

Simulace byla provedena pouze v rozsahu 100 MHz – 1,5 GHz a to z důvodů zakoupené licence, která neumožňovala měření vyšších frekvencí kdy bylo již příliš mnoho neznámých (licence umožňovala pouze 3000 neznámých). Porovnání grafů výsledných hodnot simulovaných v obou programech lze vidět na *Obr. 21*.



*Obr. 21 Graf závislosti stínící účinnosti na frekvenci v simulačních programech WIPL-D a CST microwave studio*

Při srovnání těchto hodnot lze říci, že oba simulační programy se celkem dobře shodují v predikci rezonančních vrcholů a jejich frekvenčních pozic. Příčinou rozdílů ve výsledcích je to, že WIPL-D je simulátor pracující ve frekvenční oblasti a lépe modeluje tenké dobře vodivé kovové struktury. Naopak CST pracuje v časové oblasti a není tak schopno přesně řešit struktury, které rezonují.

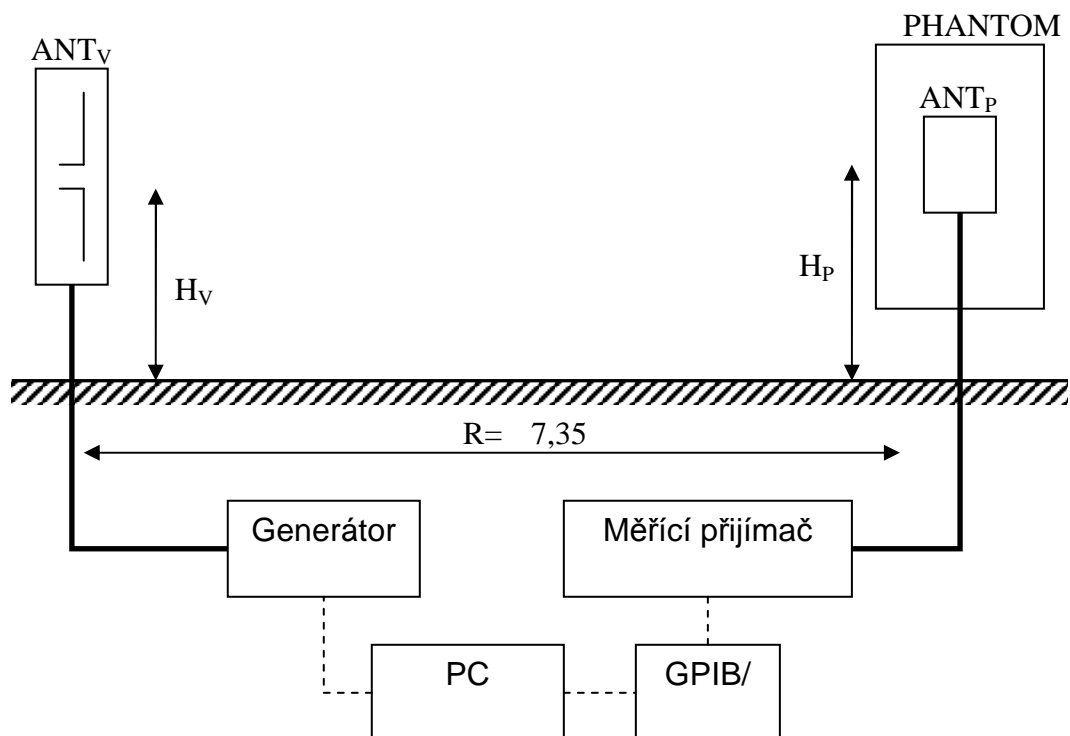
### 4.3 Praktické měření phantomu

Měření se uskutečnilo v tělocvičně v budově Fakulty aplikované informatiky ve Zlíně, jelikož tato místnost byla nejvhodnější z možného výběru a to jak svými rozměry, tak i odrazivostí stěn.

#### 4.3.1 Rozložení pracoviště

K získání hodnot stínící účinnosti bylo použito uspořádání uvedené v *Obr. 22*, kde  $ANT_V$  je vysílací anténa a  $ANT_P$  je anténa přijímací. Jako vysílací anténa  $ANT_V$  byla použita trychtýřová anténa s frekvenčním rozsahem 700 MHz - 18 GHz u níž měření probíhalo v rozsahu 1 GHz – 10 GHz s krokem 100 MHz a logaritmicko-periodická anténa s rozsahem 290 MHz - 2000 MHz u níž měření probíhalo v rozsahu 300 MHz – 1000 MHz s krokem 100 MHz.

Veškerá měření probíhala při vertikálním nastavení vysílací antény. Jako přijímací anténa  $ANT_P$  byla použita elektrická sonda z produkce Rohde&Schwarz a byla součástí soupravy HZ11. Tato sonda byla kulového provedení, čili umožňuje snímání celkové složky elektrického pole.



Obr. 22 Zapojení měřících zařízení pro měření stínící účinnosti

U měření byla dodržena stejná měřící vzdálenost jako u simulačních programů. Z důvodů rozměrů místnosti byla tato vzdálenost dodržena pouze pro frekvenci 1 GHz a její velikost činila 7,35m.

Také bylo nutné ověřit pomocí následujících vzorců (31 a 32) celkové ozáření phantomu a to pro obě použité antény a zvolenou měřící vzdálenost (Tab. 3).

$$\delta = \frac{27000}{\Theta_E^o \cdot \Theta_H^o} = \frac{27000}{\Theta^2} \Rightarrow \Theta = \sqrt{\frac{27000}{\delta}} \quad (31)$$

$$x = 2 \cdot \tan \frac{\Theta}{2} \cdot R \quad (32)$$

ANTÉNA	ROZSAH [MHz]	ABSOLUTNÍ ZISK	ROZMĚR OZÁŘENÍ [cm]
Anténa č.1	290-2000	6,5	925,7
Anténa č.2	700-18000	15	570,2

Tab. 3 Tabulka antén s velikostí vyzářovacího vějíře pro vzdálenost 7,35m

Anténa byla uchycena ve výšce  $H_v = 1$  m od země a phantom byl umístěn na podstavci o velikosti 52 cm. Měřící body byly tři, pro zjištění stínící účinnosti v rozkroku, na hrudi a hlavě (Obr. 19)(Tab. 4).

MĚŘENÝ BOD	VÝŠKA OD ZEMĚ
Rozkrok	62 cm
Hrud'	127 cm
Hlava	147 cm

Tab. 4 Tabulka umístění sondy

#### 4.3.2 Použité přístroje

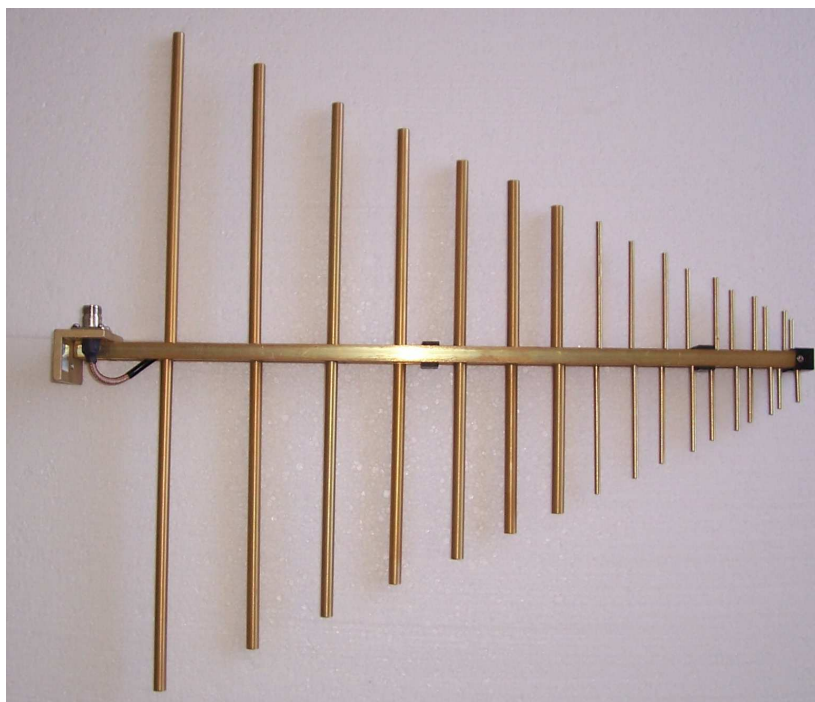
Přístroje použité při tomto měření (Tab. 5) jsou od firmy ROHDE & SCHWARZ, která nabízí vysokou kvalitu při laboratorních měřeních. Antény jsou od firmy A.H. System a rozhraní použité na propojení analyzátoru a generátoru s PC je od firmy Agilent. Veškerý tento hardware je vlastnictvím školy.

PŘÍSTROJ	NÁZEV
Anténa č.1	Logaritmicko-periodická anténa SAS-510-2
Anténa č.2	Trychtýřová anténa SAS-571
Sonda	R&S HZ-11 Sphere 3,6 mm
Měřicí přijímač	R&S FSP 40
Generátor	R&S SMR 20
Rozhraní	Agilent GPIB rozhraní

*Tab. 5 Tabulka použitých přístrojů*

### **Logaritmicko-periodická anténa SAS-510-2**

Tato anténa splňuje normu CISPR 16-1 a výrazně snižuje nepřesnosti měření. Je ideálním řešením pro měření útlumu signálu. Je vyrobena z lehkého hliníku, tak aby zajišťovala maximální zisk. Ve svém měření jsem ji využil pro rozsahy 300 - 1000 MHz.



*Obr. 23 Logaritmicko-periodická anténa SAS-510-2*

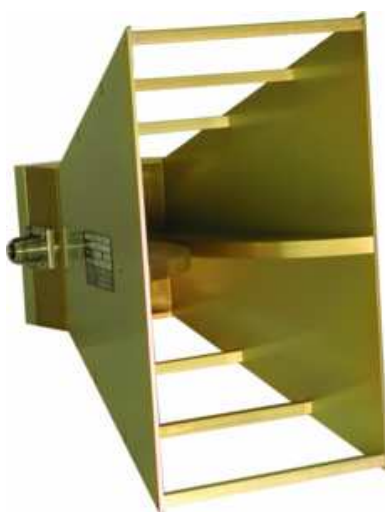
#### Technické parametry

- Frekvenční rozsah: 290 MHz - 2000 MHz
- Anténní faktor: 14 - 32 dB
- Zisk: 6,5 dBi

- Maximální trvalý výkon: 1000 W
- Typ: směrová

### **Trychtýřová anténa SAS-571**

Tento typ antény nabízí kvalitní výkon na frekvencích v rozsahu od 700 MHz do 18 GHz. Díky svému robustnímu designu má vynikající vlastnosti pro testování stínící účinnosti. Ve svém měření jsem ji využil pro rozsahy 300 - 1000 MHz.



*Obr. 24 Trychtýřová anténa SAS-571 [8]*

### **Technické parametry**

- Frekvenční rozsah: 700 MHz - 18 GHz
- Anténní faktor: 22 - 44 dB
- Zisk: 1,4 - 15 dBi
- Maximální trvalý výkon: 300 W
- Typ: směrová

### **ROHDE & SCHWARZ HZ-11 Sphere 3,6 mm**

Tato sonda ze sady HZ-11 mi posloužila jako diagnostický nástroj pro měření úrovně intenzity elektrického pole. Vyhovovala pro měření především z důvodu snímání celkové složky elektrického pole, tudíž nebylo potřeba sondu natáčet souhlasně se směrem vysílací antény.



Obr. 25 R&S HZ-11 Sphere 3,6 mm

### **ROHDE & SCHWARZ FSP 40**

Jedná se o ideální prostředek pro laboratorní i výrobní účely. Přístroj je velice přesný, vysoce výkonný a spolehlivý. V měření jsem jej využil jako měřicí přijímač pro měření úrovně signálu.



Obr. 26 R&S FSP 40 [8]

#### Technické parametry

- Frekvenční rozsah: 9 kHz až 40 GHz
- Celková nejistota měření 0,5 dB
- Šířka zkoumaného pásma 1 Hz až 10MHz
- Průměrná zobrazovaná úroveň šumu -155 dB (1 Hz)
- 80 měření za sekundu
- Elektronické tlumení

## ROHDE & SCHWARZ SMR 20

Jedná se o signálový generátor, který poskytuje rychlé přepínání frekvencí v čase. Tuto možnost jsem využil především u měření pomocí programu VEE čímž jsem mohl provádět měření rychleji. SMR 20 generuje velmi přesný výstupní signál, který nekolísá a nemá cizí rušivé šумы. Svým frekvenčním rozsahem mi vyhovoval pro praktické měření.



*Obr. 27 R&S SMR 20 [8]*

### Technické parametry

- Frekvenční rozsah: 10 MHz až 20 GHz
- Rychlost nastavení frekvence: <math><10\text{ ms} + 2\text{ ms/GHz}</math>
- Výstupní výkon: +10 dBm
- Provozní režim: Single, Pulse, Double Pulse, Externally Triggered, Gate Mode
- Šířka pulsu: 20 ns až 1 s
- Opakování pulsu: 100 ns to 85 s
- Paměť: 50 kompletních nastavení
- Rozlišení frekvence:
  - Bez nastavení SMR-B3: 1 kHz
  - S nastavení SMR-B3: 0,1 Hz
- Impedance zdroje: 50  $\Omega$

### Agilent USB/GPIB rozhraní

Toto rozhraní od firmy Agilent mi umožnilo přímé propojení laptopu přes USB port ke generátoru SMR 20 a analyzátoru FSP 40, které jsou oba vybaveny interfacem GPIB.

Díky tomuto rozhraní nebylo zapotřebí nastavovat žádné přepínače, instalovat PC karty ani používat externí napájení.



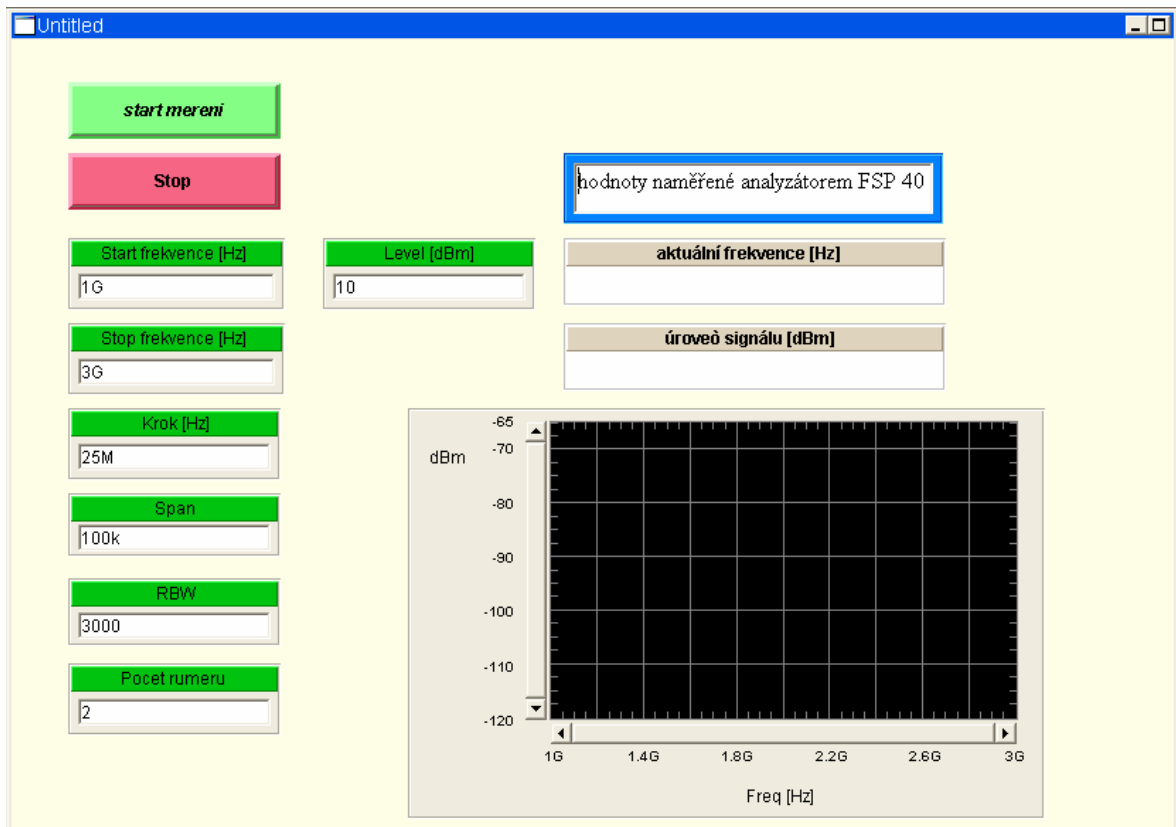
Obr. 28 Agilent USB/GPIB rozhraní

#### Technické parametry

- Napájení: pře USB +5 V, 500 mA (max.)
- Maximální rychlost přenosu dat: 1,15 MB/s
- Maximální počet zařízení: 14
- LED indikace: READY, ACCESS, FAIL
- Délka kabelu: 2,5m

#### 4.3.3 Postup měření

Přístroje jsem zapojil podle schématu zobrazeném na *Obr. 22* (na propojení mezi analyzátořem a PC bylo použito GPIB rozhraní). Na laptopu se spustil program VEE Pro ve kterém byl vytvořen program (*Obr. 29*) s jehož pomocí bylo možné přístroje snadněji ovládat a urychlit tak celé měření.



Obr. 29 Vzhled pracovního prostředí měření v programu VEE Pro

Nejprve jsem trychtýřovou anténu natočil ve svislém směru k podlaze, v programu jsem zadal rozsahy, krok a spustil měření. U měření s logaritmicko-periodickou anténou jsem na generátoru nastavoval frekvence ručně a výsledné hodnoty jsem z analyzátořu odečítal.

Měření jsem provedl ke každému bodu dvě:

- referenční měření (elektrická intenzita bez phantomu  $E_{ref}$ ), kdy jsem sondu umísťoval v předem určených výškách na teleskopickém stojanu
- měření samotného phantomu (elektrická intenzita s phantomem  $E_{load}$ )

Připevnění sondy v jednotlivých bodech lze vidět na Obr. 30. Přívodní kabel od analyzátořu k sondě byl protažen štěrbinou mezi tubusem a cylindrem.



*Obr. 30 Zobrazení připevnění sondy v jednotlivých bodech (zleva: rozkok, hrud', hlava)*

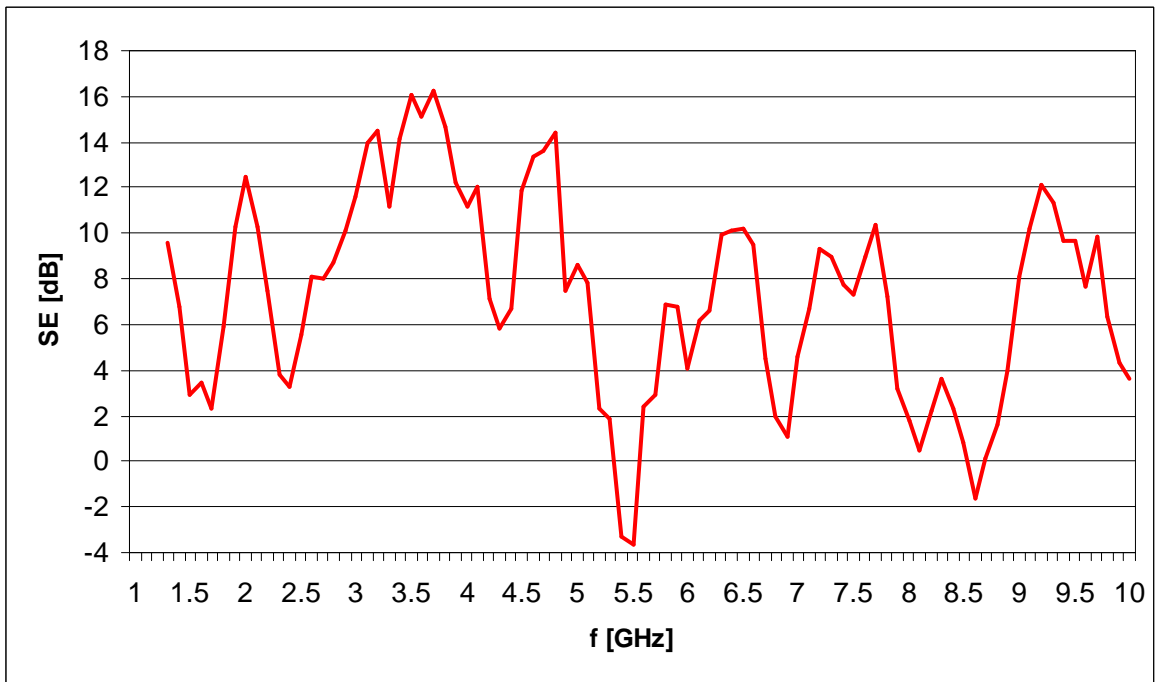
Výsledky obou měření vytvořený program ukládal do textového souboru. Tyto hodnoty jsem pak pomocí následujícího vzorce (33) přepočtl na stínící účinnost měřeného phantomu.

$$SE = -(E_{load} - E_{ref}) \text{ [dB]} \quad (33)$$

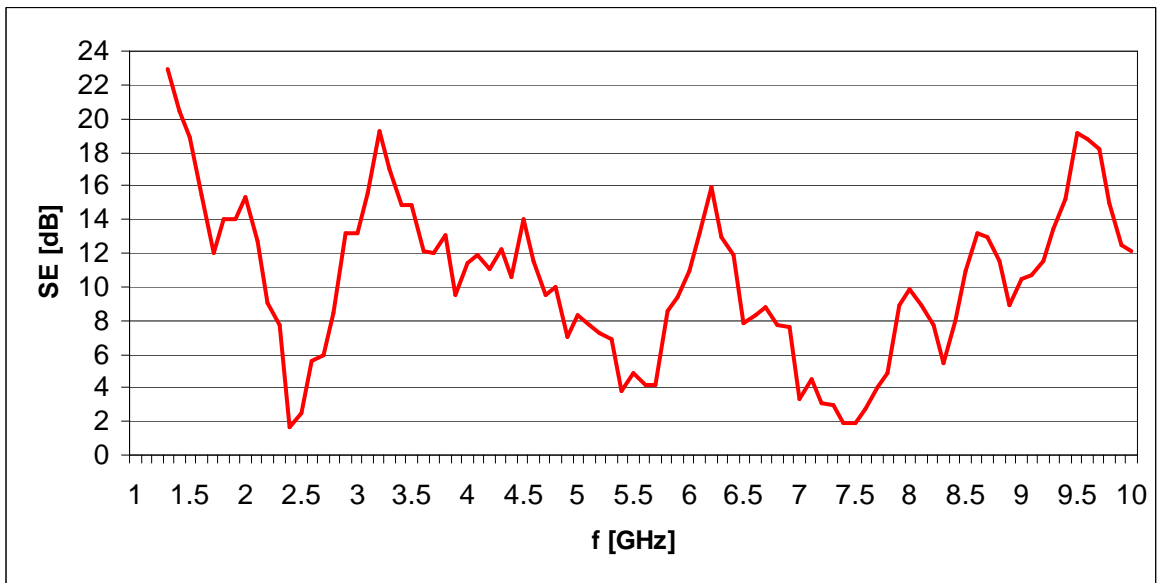
Na závěr jsem v programu Microsoft Excel z vypočtených hodnot vytvořil grafy a pomocí funkce klouzavý průměr jsem vygenerované grafy vyhladil z důvodu lepší čitelnosti.

#### **4.3.4 Výsledky měření stínící účinnosti phantomu**

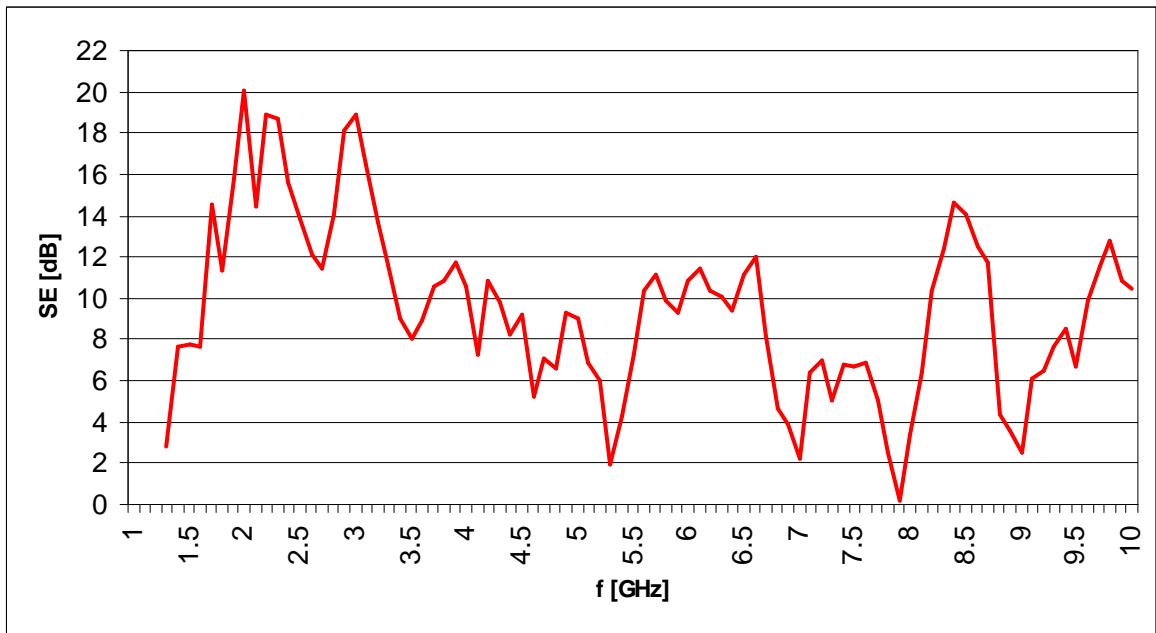
Výsledky měření pro všechny 3 body jsou zobrazeny v grafech níže (*Obr. 31, Obr. 32, Obr. 33*) a následujícím grafu (*Obr. 34*) je zobrazena stínící účinnost při nižších frekvencích v bodě hlava, jelikož zde má největší vliv štěrbina mezi tubusem a cylindrem.



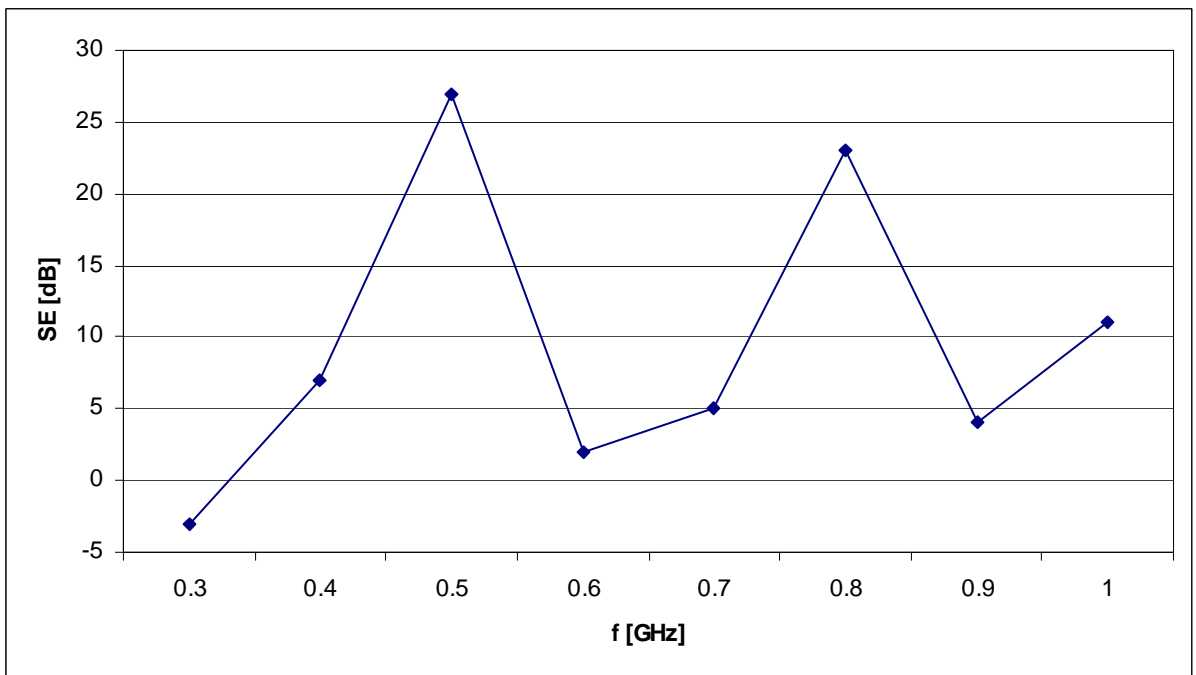
Obr. 31 Stínící účinnost phantomu v bodě – hlava



Obr. 32 Stínící účinnost phantomu v bodě – hrud'



Obr. 33 Stínící účinnost phantomu v bodě – rozkrok



Obr. 34 Stínící účinnost phantomu v bodě – hlava pro nižší frekvence

## 5 KOMERČNĚ VYRÁBĚNÝ OBLEK ESO 3 ALEKSANDER

V této kapitole jsou shrnuty výsledky měření obleku ESO 3 ALEKSANDER (Obr. 35) sloužícího jako ochrana proti elektromagnetickému záření.



Obr. 35 Oblek ESO 3 Aleksander

### 5.1 Rozložení pracoviště a použité přístroje

Provedl jsem měření stínící účinnosti obleku ESO 3 ALEKSANDER, v pásmu 30 – 3000 MHz. Měření jsem uskutečnil v tělocvičně v budově Fakulty aplikované informatiky ve Zlíně. Stínící účinnost jsem měřil ve třech testovacích bodech a to na hlavě, na hrudi a v rozkroku (Tab. 6) ve vzdálenosti 4 cm od těla a přímo na těle.

MĚŘENÝ BOD	VÝŠKA OD ZEMĚ
Rozkrok	85 cm
Hrud'	130 cm
Hlava	175 cm

Tab. 6 Tabulka umístění sondy

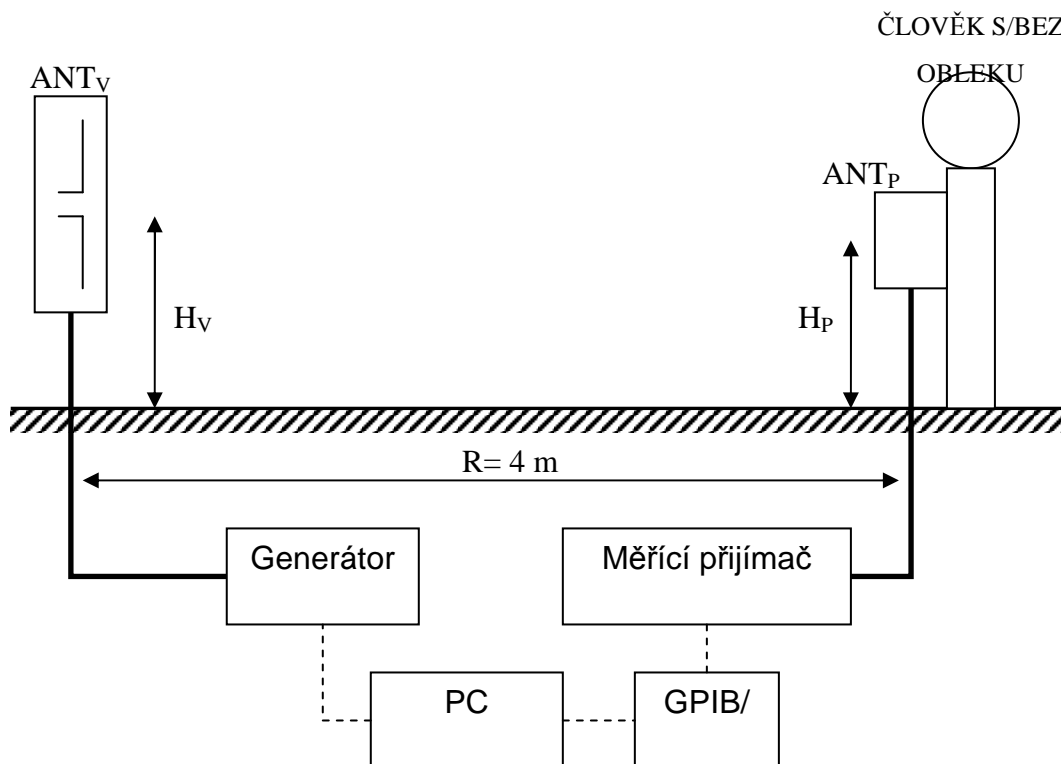
K měření stínící účinnosti jsem použil uspořádání uvedené v Obr. 36, kde  $ANT_V$  je vysílací anténa a  $ANT_P$  je anténa přijímací. Jako vysílací anténa  $ANT_V$  (Tab. 7) jsem využil tří typů antén pro různé frekvenční rozsahy. Pro frekvenční rozsah 30-300 MHz byla použita anténa A01, pro 300-1000 MHz A02 a pro 1-3 GHz A03. Jako přijímací anténa  $ANT_P$  jsem použil elektrické sondy. Obě sondy byly z produkce Rohde&Schwarz a byly

součástí soupravy HZ-11. První sonda kulového provedení snímá celkovou složku elektrického pole, čili nebylo nutné měnit polohu sondy při horizontálním a vertikálním natočení antény a její parametry vyhovovaly pouze do 1 GHz. Druhou sondu tyčového provedení jsem již musel při natočení antény uchytit souhlasně se směrem šíření vln z důvodu zisku signálu.

ZKRÁCENÝ NÁZEV	TYP ANTÉNY	FREKVENČNÍ ROZSAH	ZISK
A01	Bikonická anténa	30 – 300 MHz	2,8 dBi
A02	Logaritmicko-periodická anténa	300 – 1000 MHz	6,5 dBi
A03	Trychtýřová anténa	1 – 3 GHz	15 dBi

Tab. 7 Tabulka použitých antén

Pro generování signálu jsem použil generátor SM300 a k měření úrovně signálu jsem zvolil přijímače FSP 40.



Obr. 36 Zapojení měřících zařízení pro měření stínící účinnosti

## 5.2 Použité přístroje

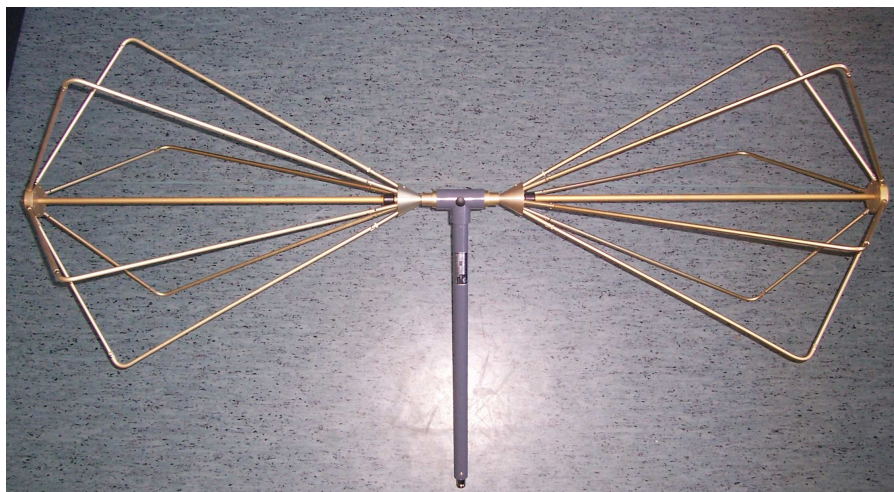
Přístroje použité při tomto měření (Tab. 8) jsou stejné jako u předchozího měření s tím rozdílem, že byl použit jiný typ generátoru. Navíc zde byla použita bikonická anténa a sonda tyčového provedení.

PŘÍSTROJ	NÁZEV
Anténa č.1	Bikonická anténa SAS-510-2
Anténa č.2	Logaritmicko-periodická anténa SAS-510-2
Anténa č.3	Trychtýřová anténa SAS-571
Sonda č. 1	R&S HZ-11 Rod 6 mm
Sonda č. 2	R&S HZ-11 Sphere 3,6 mm
Měřicí přijímač	R&S FSP 40
Generátor	R&S SM 300

Tab. 8 Tabulka použitých přístrojů

### Bikonická anténa SAS-542

Jedná se o skládací bikonickou anténu vhodnou pro mobilní měření a testování stínící účinnosti. Díky jejímu frekvenčnímu rozsahu mi vyhovovala pro měření nejnižších frekvencí a to od 30 do 300 MHz.



Obr. 37 Bikonická anténa SAS-542

### Technické parametry

- Frekvenční rozsah: 20 MHz - 330 MHz

- Anténní faktor: 8,5 - 21,5 dB
- Zisk: -22 - 2,8 dBi
- Maximální trvalý výkon: 1 W
- Typ: všesměrová

### **ROHDE & SCHWARZ HZ-11 Rod 6 mm**

Tato sonda ze sady HZ-11 mi posloužila jako diagnostický nástroj pro měření úrovně intenzity elektrického pole. Tento typ sondy bylo potřeba při měření Natáčet v souhlasném směru s anténou z důvodu získání kvalitnějšího signálu.



*Obr. 38 Sonda tyčového provedení*

### **ROHDE & SCHWARZ SM 300**



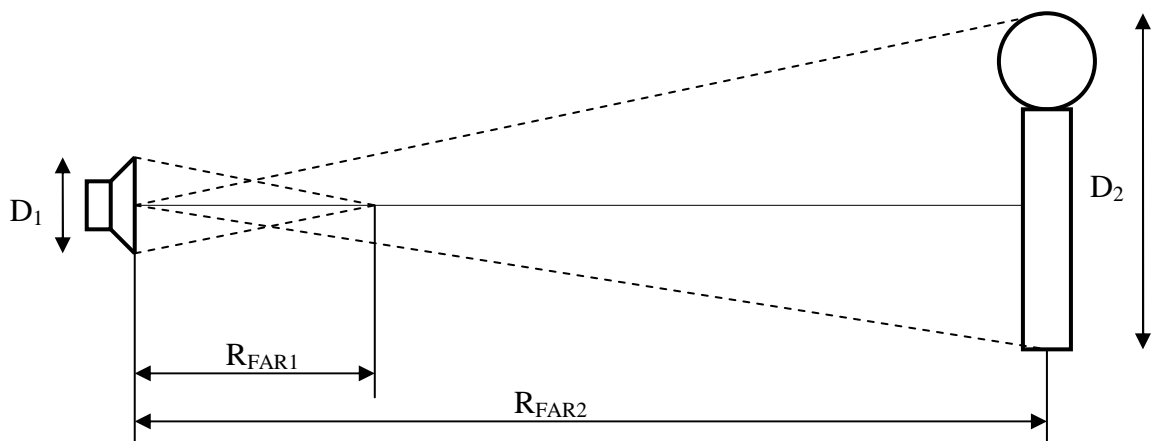
*Obr. 39 Generátor SM 300*

Technické parametry

- Frekvenční rozsah: 9 kHz až 3 GHz
- Rychlost nastavení frekvence: <10 ms
- Výstupní výkon: +36 dBm
- Provozní režim: AM / FM /  $\phi$ M / pulse / IQ
- Šířka pulsu: 100  $\mu$ s až 1 s
- Opakování pulsu: 200  $\mu$ s až 2 s
- Rozlišení frekvence: 0,1 Hz
- Impedance zdroje: 50  $\Omega$

**5.3 Podmínky měření**

Jak se vidět na *Obr. 40* bylo nutno do měření započítat Frauhofferovu vzdálenost, z důvodu zajištění dopadu rovinné vlny na měřený oblek. Toto bohužel nebylo možno zajistit, jelikož to prostory neumožňovaly. Konkrétní požadované hodnoty jsou uvedeny v tabulce *Tab. 9*.



*Obr. 40* Zobrazení Frauhofferovy vzdálenosti

Vzorec pro výpočet Frauhofferovy vzdálenosti je následující:

$$R_{FAR} = \frac{2D^2}{\frac{c}{f}} = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (34)$$

ANTÉNA ŠÍŘKA [m]	f [MHz]	R <sub>FAR1</sub> [m]	R <sub>FAR2</sub> [m]
A01 1,34	30	0,26	0,65
	300	3,59	6,48
A02 0,511	300	0,52	6,48
	1000	1,74	21,6
A03 0,142	1000	0,13	21,6
	3000	0,4	64,8

Tab. 9 Splnění podmínky pro Frauhofferovu vzdálenost

Také bylo nutné ve všech případech zajistit kompletní ozáření obleku. V následujících výpočtech (Tab. 10) lze vidět, že pro zvolenou měřící vzdálenost ( $R = 4\text{m}$ ) byla podmínka splněna, jelikož největší požadovaný rozměr pro ozáření byl 2m.

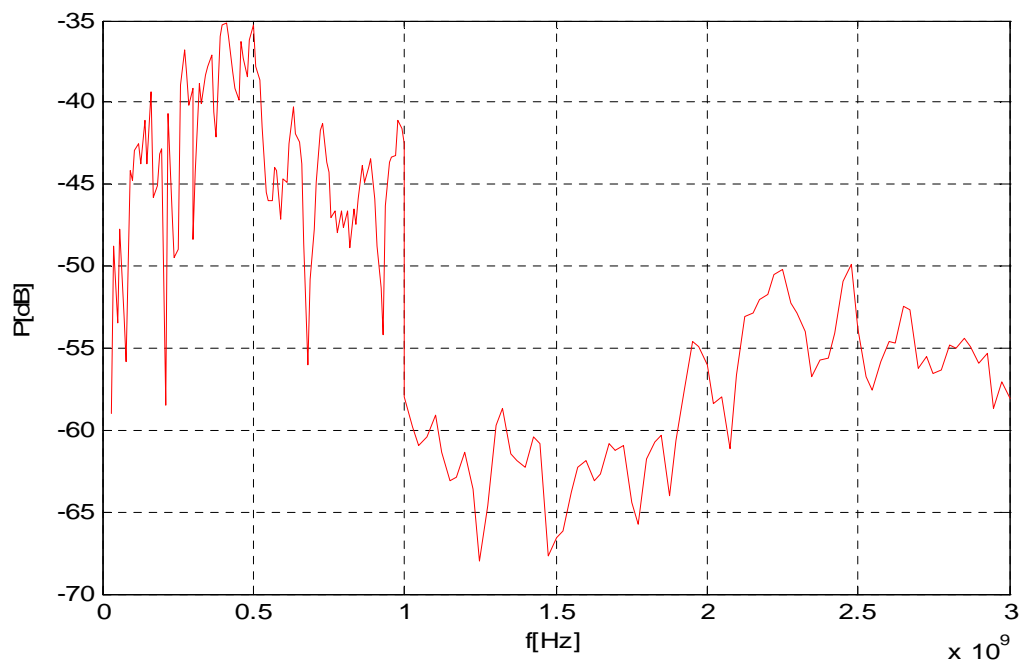
$$\sigma = \frac{27000}{\Theta_E^o \cdot \Theta_H^o} = \frac{27000}{\Theta^2} \Rightarrow \Theta = \sqrt{\frac{27000}{\sigma}} \quad (35)$$

$$x = 2 \cdot \tan \frac{\Theta}{2} \cdot R \quad (36)$$

ANTÉNA	VYZAŘOVACÍ ÚHEL $\Theta$ [°]	ŠÍŘKA DOPADU x [m]
Bikonická	98,2	923,5
Logaritmicko-periodická	64,4	503,8
Trychtýřová	42,4	310,3

Tab. 10 Splnění podmínek pro vyzařovací úhel

Měření z jisté části ovlivnil odraz od země. V následujících grafech (Obr. 41 a Obr. 42) jsou zobrazeny průběhy referenčního měření pro vertikální a horizontální polarizaci antény. Z těchto grafů bylo odečteno kolísání výkonu ze kterého jsem dopočítal koeficient odrazu.



Obr. 41 Průběh referenčního měření, sonda ve výšce 1,75m – anténa vertikálně

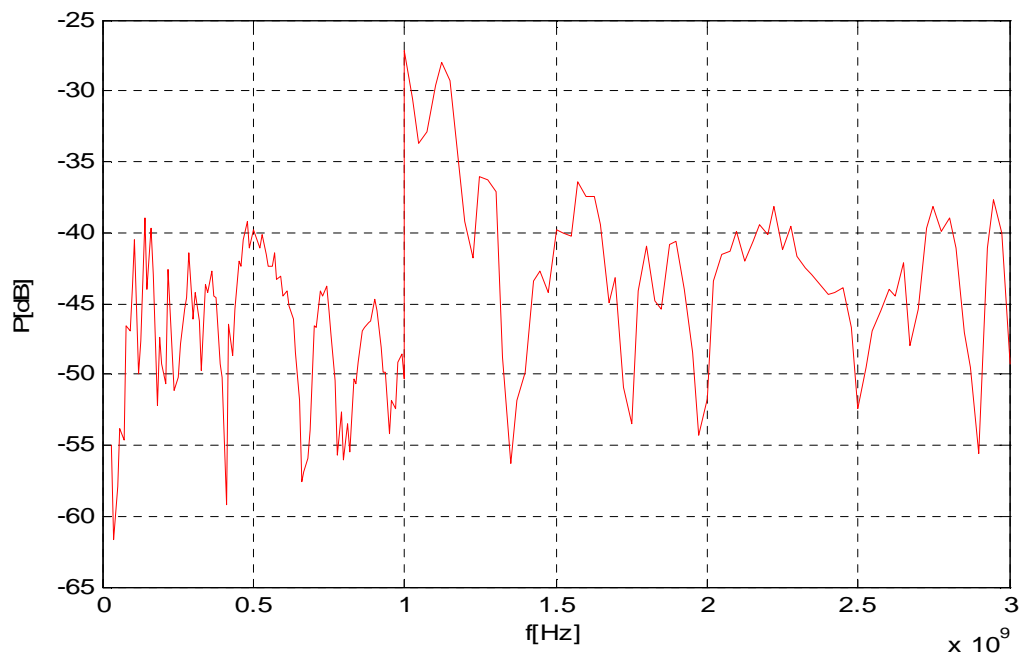
Postup výpočtu koeficientu odrazu pro vertikální polarizaci antény:

$$E_{V_{pol}} \updownarrow 8dB(1 \div 3GHz)$$

$$PSV_p = 10^{\frac{\Delta P_{db}}{10}} = 10^{\frac{8}{10}} = \underline{6,31} \quad (37)$$

$$PSV_v = \sqrt{PSV_p} = \sqrt{6,31} = \underline{2,51} \quad (38)$$

$$\rho = \frac{PSV_v - 1}{PSV_v + 1} = \frac{1,51}{3,51} = \underline{0,43} \quad (39)$$



Obr. 42 Průběh referenčního měření, sonda ve výšce 1,75m – anténa  
horizontálně

Postup výpočtu koeficientu odrazu pro horizontální polarizaci antény:

$$E_{Hpol} \uparrow 12dB(1 \div 3GHz)$$

$$PSV_p = 10^{\frac{\Delta P_{db}}{10}} = 10^{\frac{12}{10}} = \underline{15,85} \quad (40)$$

$$PSV_v = \sqrt{PSV_p} = \sqrt{15,85} = \underline{3,98} \quad (41)$$

$$\rho = \frac{PSV_v - 1}{PSV_v + 1} = \frac{2,98}{4,98} = \underline{0,598} \quad (42)$$

Následně jsem provedl ověření vypočtených hodnot simulací v programu Matlab a to pro obě polarizace antény s výškou vysílací antény 1,3m a to pro všechny 3 měřené body. Zvolené kmitočtové pásmo (30 – 3000 MHz) a měřící vzdálenost (4 m) v této simulaci byly shodné s praktickým měřením.

#### Vertikální polarizace – simulace v Matlabu

```
>> evpol_gnd(30*1e6,3000*1e6,101,4,1.3,[0.85 1.3 1.75]);
```

Angle of incidence theta = 61.742 deg (h\_2 = 0.85 m)

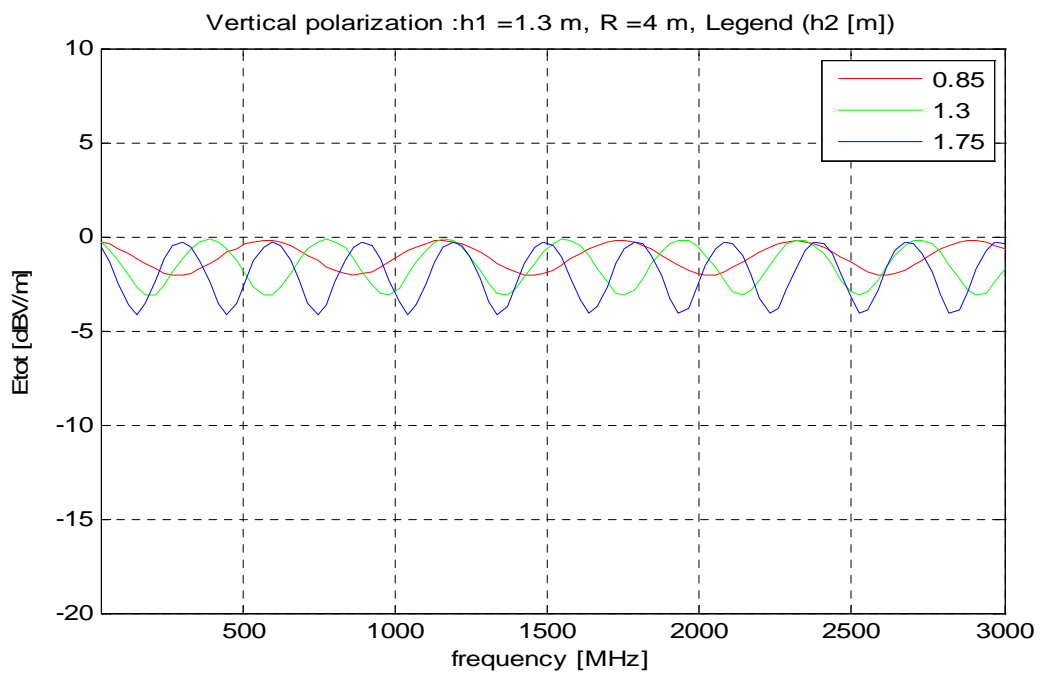
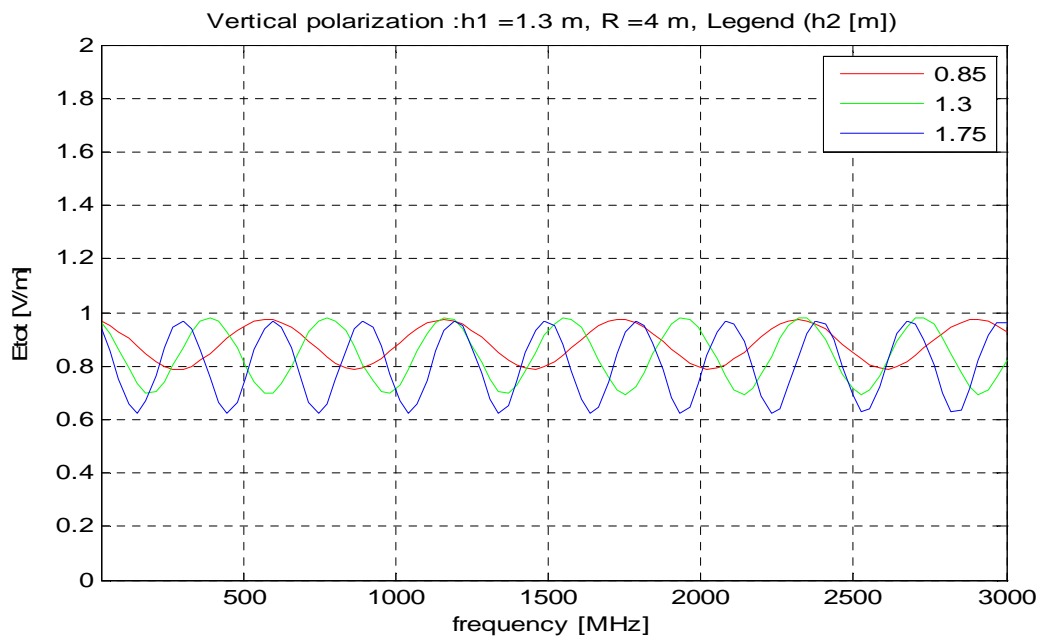
Angle of incidence theta = 56.976 deg (h\_2 = 1.30 m)

Angle of incidence  $\theta = 52.674$  deg ( $h_2 = 1.75$  m)

Reflection coefficient  $ro_v = 0.10$  (at  $h_2 = 0.85$  m)

Reflection coefficient  $ro_v = 0.17$  (at  $h_2 = 1.30$  m)

Reflection coefficient  $ro_v = 0.22$  (at  $h_2 = 1.75$  m)



Obr. 43 Průběhy homogenity elektrického pole v rozsahu 0,85-1,75m

– anténa vertikálně

Horizontální polarizace – simulace v Matlabu

```
>> ehpol_gnd(30*1e6,3000*1e6,101,4,1.3,[0.85 1.3 1.75]);
```

Angle of incidence theta = 61.742 deg (h<sub>2</sub> = 0.85 m)

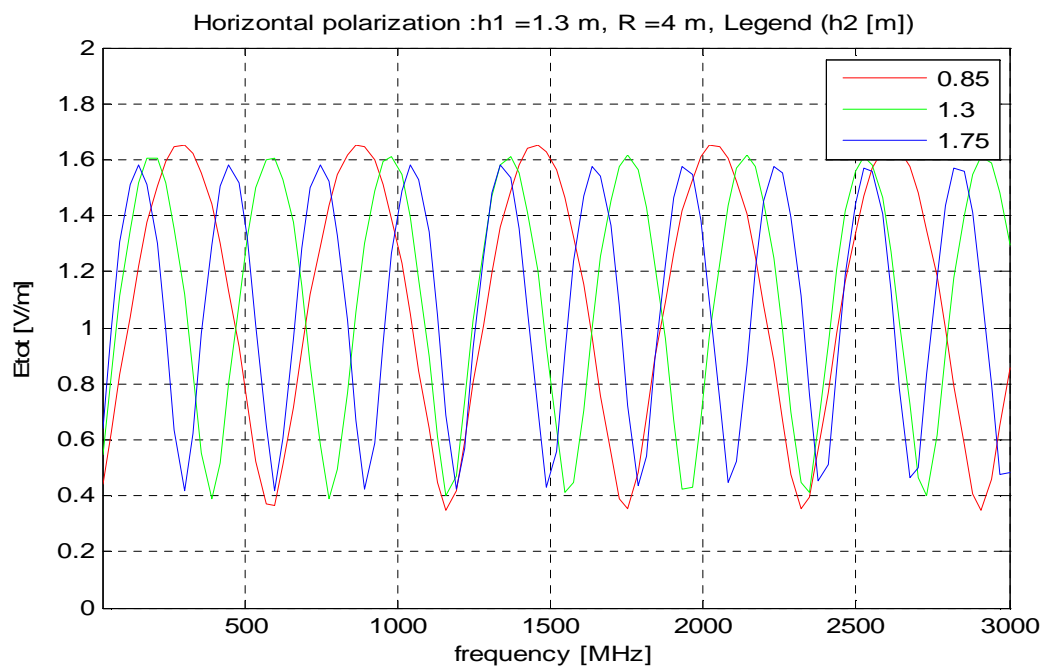
Angle of incidence theta = 56.976 deg (h<sub>2</sub> = 1.30 m)

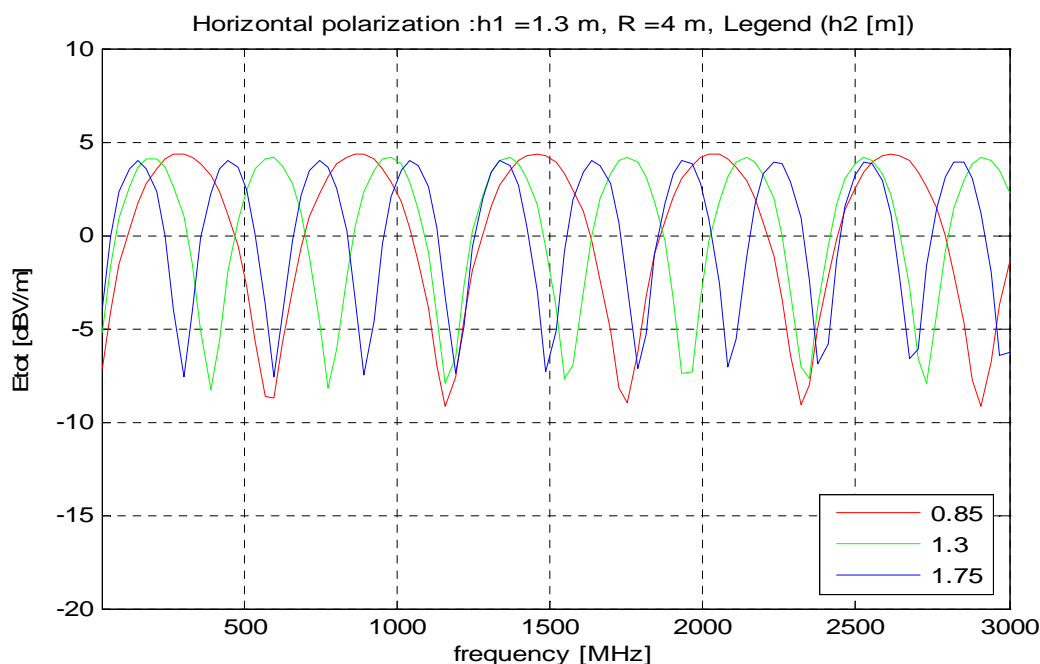
Angle of incidence theta = 52.674 deg (h<sub>2</sub> = 1.75 m)

Reflection coefficient ro<sub>h</sub> = 0.65(at h<sub>2</sub>= 0.85 m

Reflection coefficient ro<sub>h</sub> = 0.61(at h<sub>2</sub>= 1.30 m

Reflection coefficient ro<sub>h</sub> = 0.58(at h<sub>2</sub>= 1.75 m





Obr. 44 Průběhy homogenity elektrického pole v rozsahu 0,85-1,75m  
– anténa horizontálně

## 5.4 Postup měření

Přístroje jsem zapojil podle schématu zobrazeném na *Obr. 36* (na propojení mezi analyzátořem a PC bylo použito GPIB/USB rozhraní). Na laptopu jsem spustil program VEE Pro ve kterém byl vytvořen program (*Obr. 29*) s jehož pomocí bylo možné přístroje snadněji ovládat a urychlit tak celé měření.

Jednotlivé antény jsem podle frekvenčních rozsahů měnil a natáčel ve dvou směrech a to vertikálním a horizontálním. Sondu tyčového provedení jsem natáčel souhlasně s vysílací anténou z důvodů lepšího zisku signálu. Pro jednotlivé antény jsem v programu jsem zadal rozsahy a krok a spustil měření.

Měření jsem provedl ke každému bodu dvě:

- referenční měření (elektrická intenzita bez phantomu  $E_{ref}$ ), kdy jsem sondu umístoval v předem určených výškách na figurantovi bez obleku
- měření obleku na figurantovi (elektrická intenzita s phantomem  $E_{load}$ )

Připevnění sondy v jednotlivých bodech lze vidět na *Obr. 45*. Přívodní kabel od analyzátořu k sondě byl protažen nohavicí obleku, která byla pevně stažena suchým zipem.



Obr. 45 Zobrazení připevnění sondy v jednotlivých bodech (zprava: rozkrok, hrud', hlava)

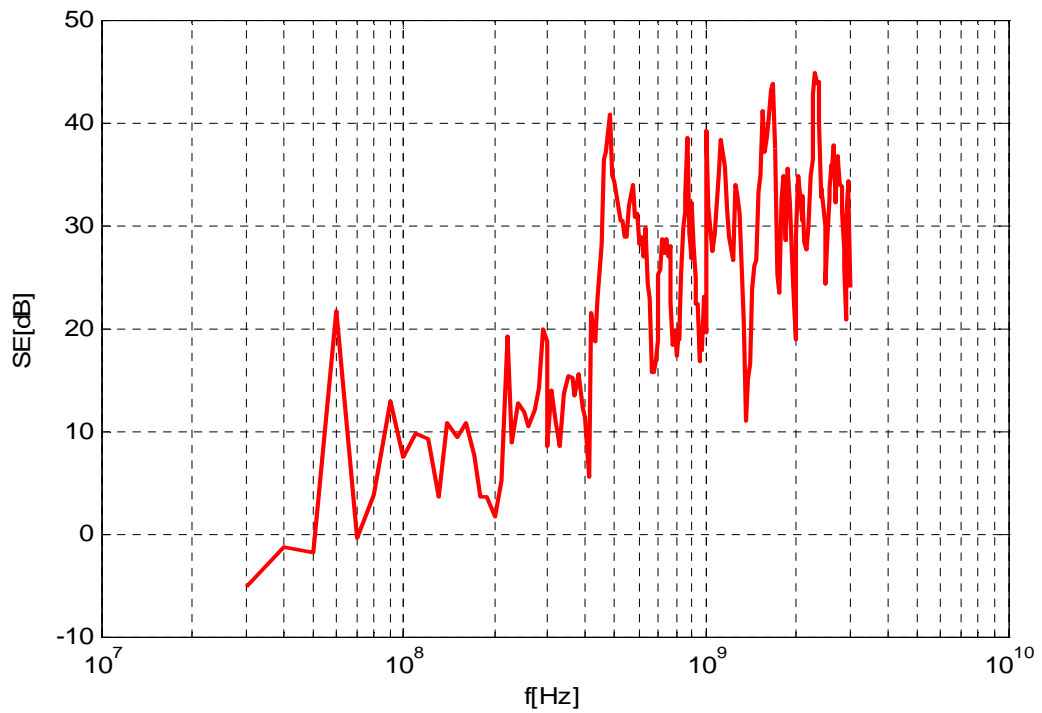
Výsledky obou měření vytvořený program ukládal do textového souboru. Tyto hodnoty jsem pak pomocí následujícího vzorce (32) přepočtl na stínící účinnost měřeného obleku.

$$SE = -(E_{load} - E_{ref}) \text{ [dB]} \quad (32)$$

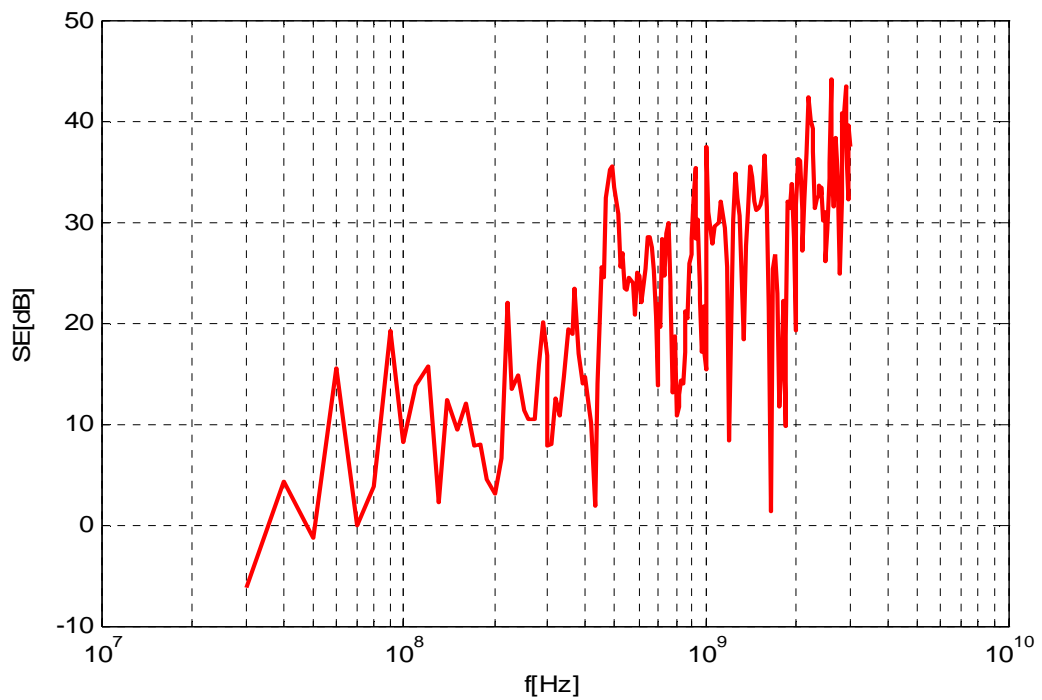
Na závěr jsem v programu MATLAB z vypočtených hodnot vytvořil grafy s logaritmickým měřítkem v ose x (frekvence).

## 5.5 Výsledky měření

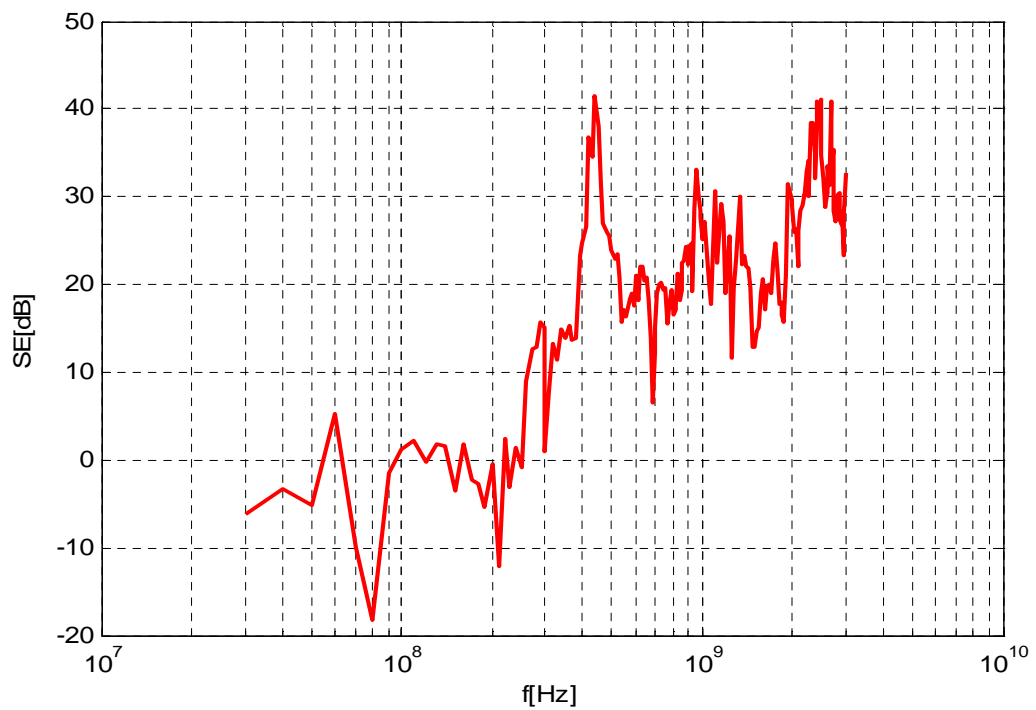
V této kapitole jsou vyobrazeny grafy naměřených hodnot stínící účinnosti komerčně vyráběného obleku ESO 3 Aleksander. Pro každý bod bylo provedeno měření s uchycením sondy přímo na těle a ve vzdálenosti 4 cm od těla.



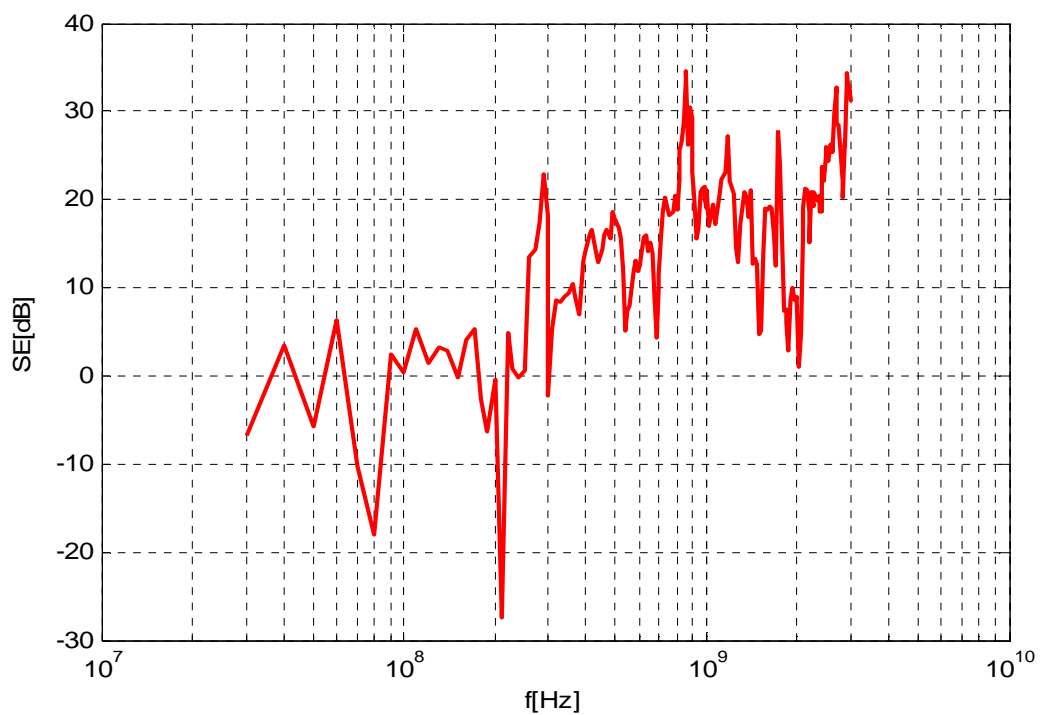
Obr. 46 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – sonda na hlavě ve vzdálenosti 0 cm od těla – anténa horizontálně



Obr. 47 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – sonda na hlavě ve vzdálenosti 4 cm od těla – anténa horizontálně



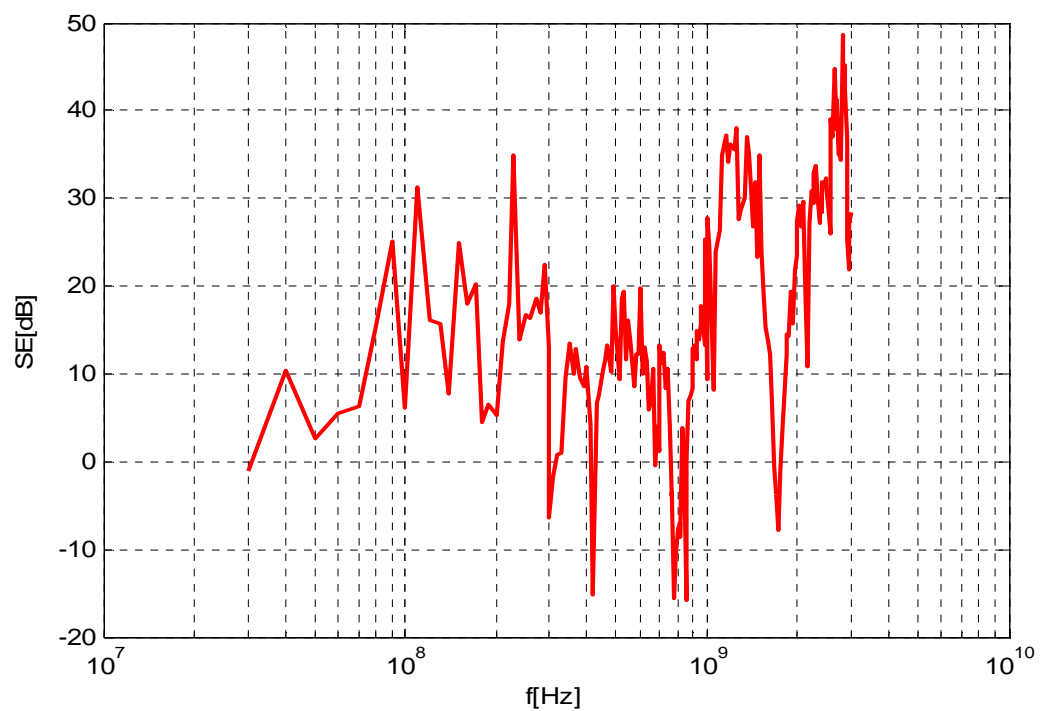
Obr. 48 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – sonda na hlavě ve vzdálenosti  
0 cm od těla – anténa vertikálně



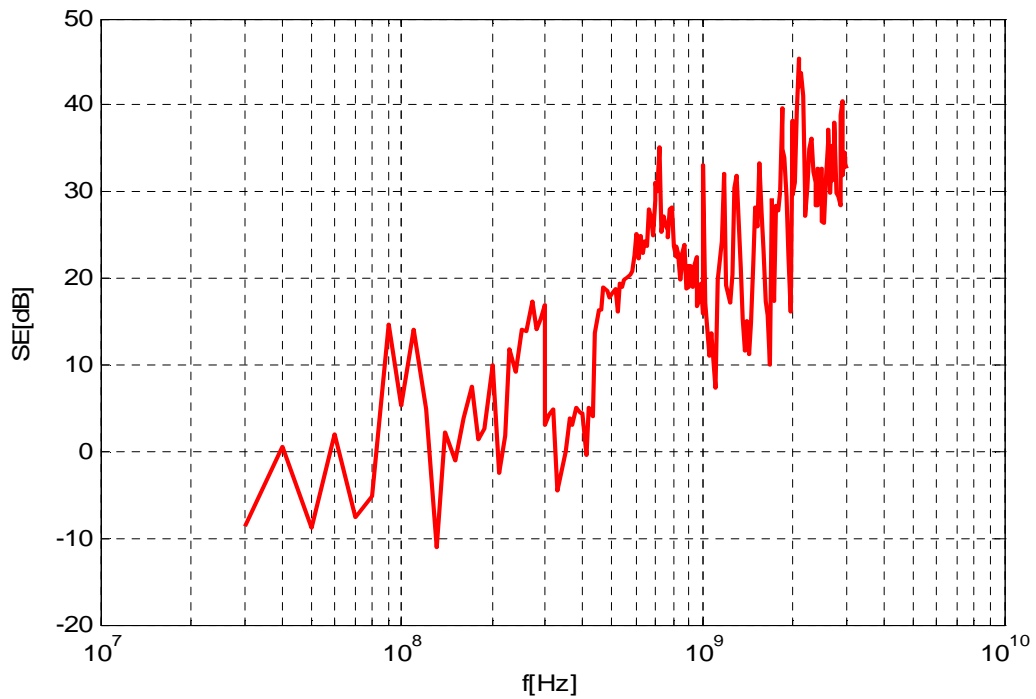
Obr. 49 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – sonda na hlavě ve vzdálenosti  
4 cm od těla – anténa vertikálně



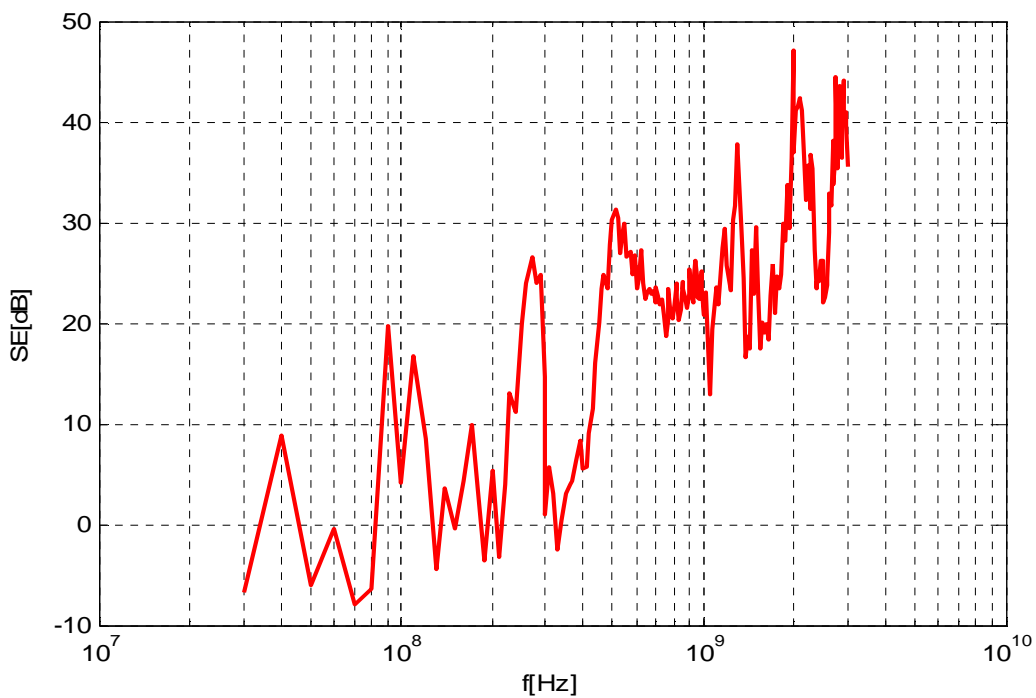
Obr. 50 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – sonda na hrudi ve vzdálenosti 0 cm od těla – anténa horizontálně



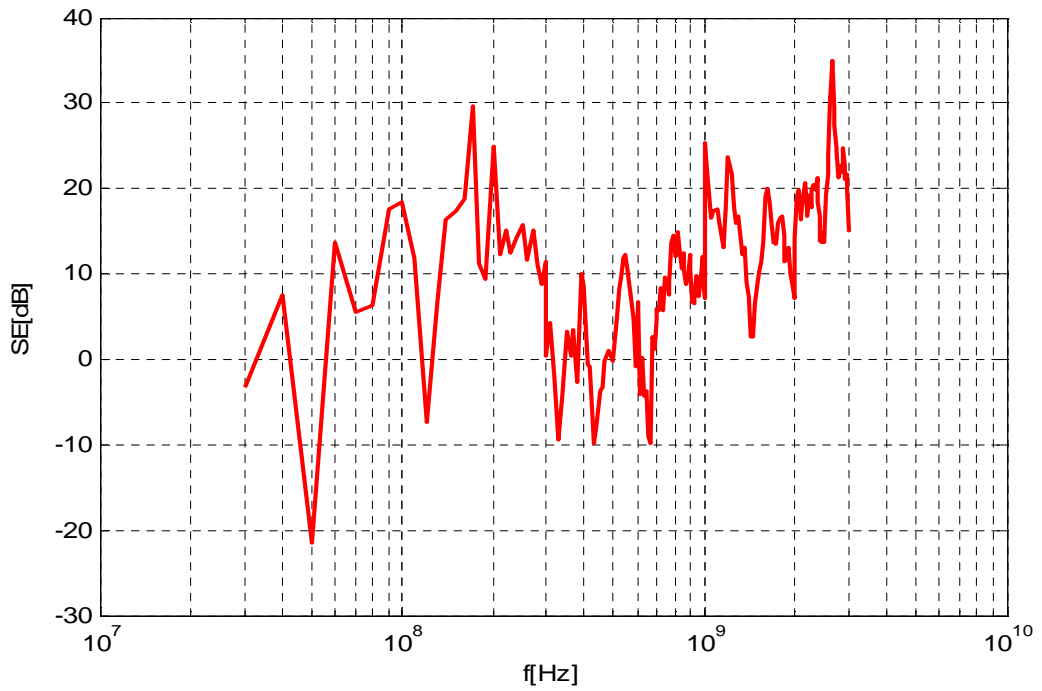
Obr. 51 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – sonda na hrudi ve vzdálenosti 4 cm od těla – anténa horizontálně



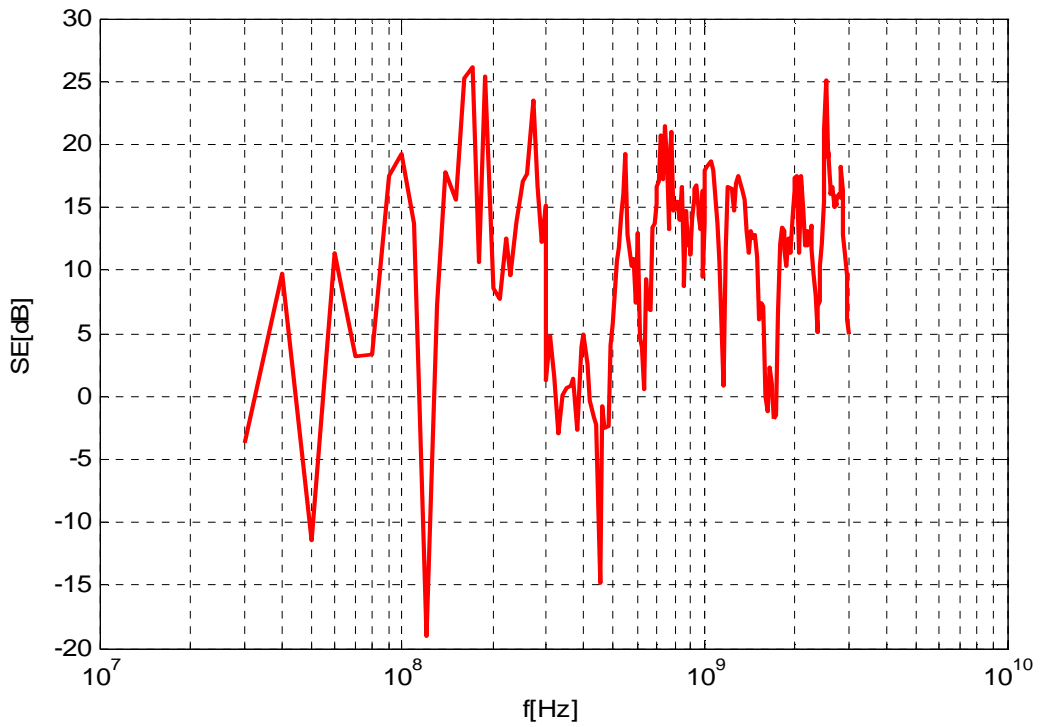
Obr. 52 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – sonda na hrudi ve vzdálenosti 0 cm od těla – anténa vertikálně



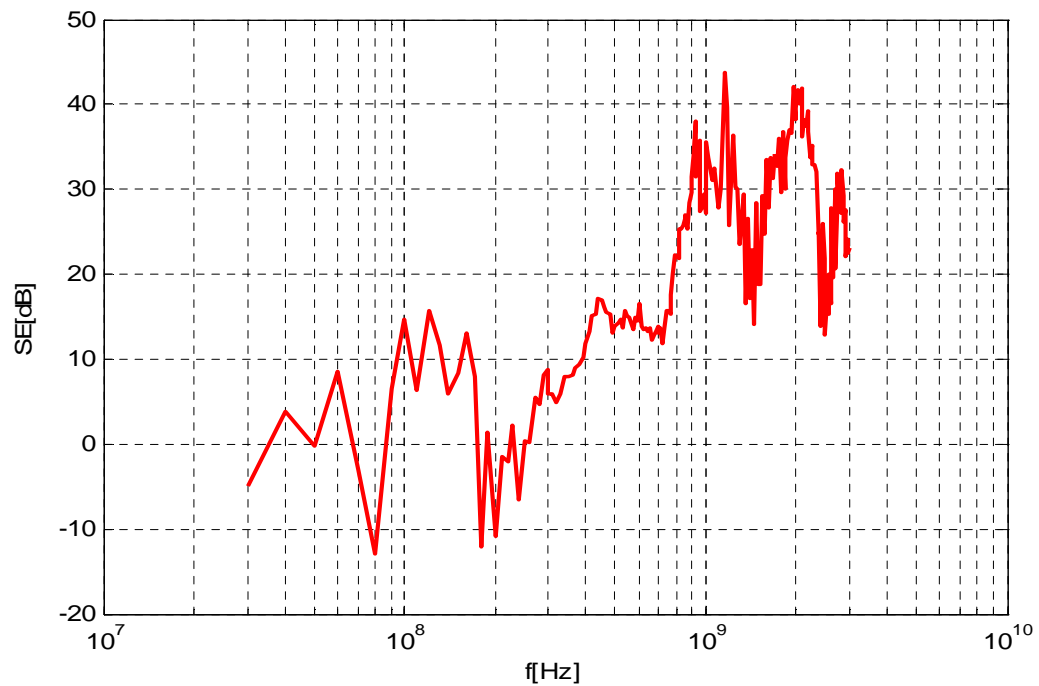
Obr. 53 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – sonda na hrudi ve vzdálenosti 4 cm od těla – anténa vertikálně



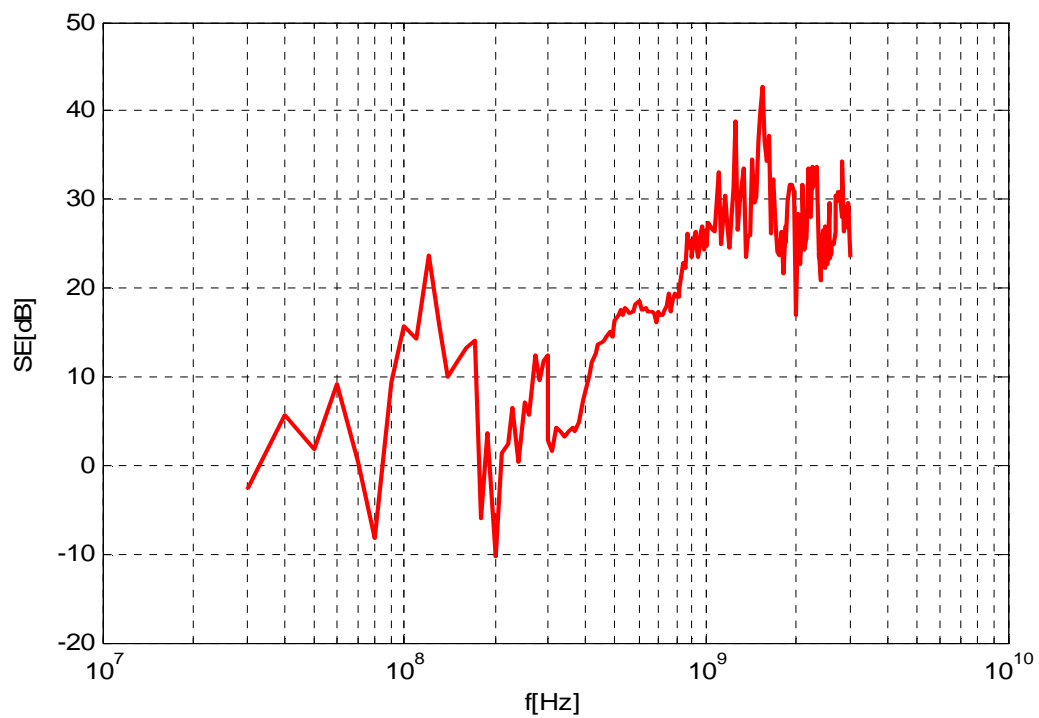
*Obr. 54 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – sonda v rozkroku ve vzdálenosti 0 cm od těla – anténa horizontálně*



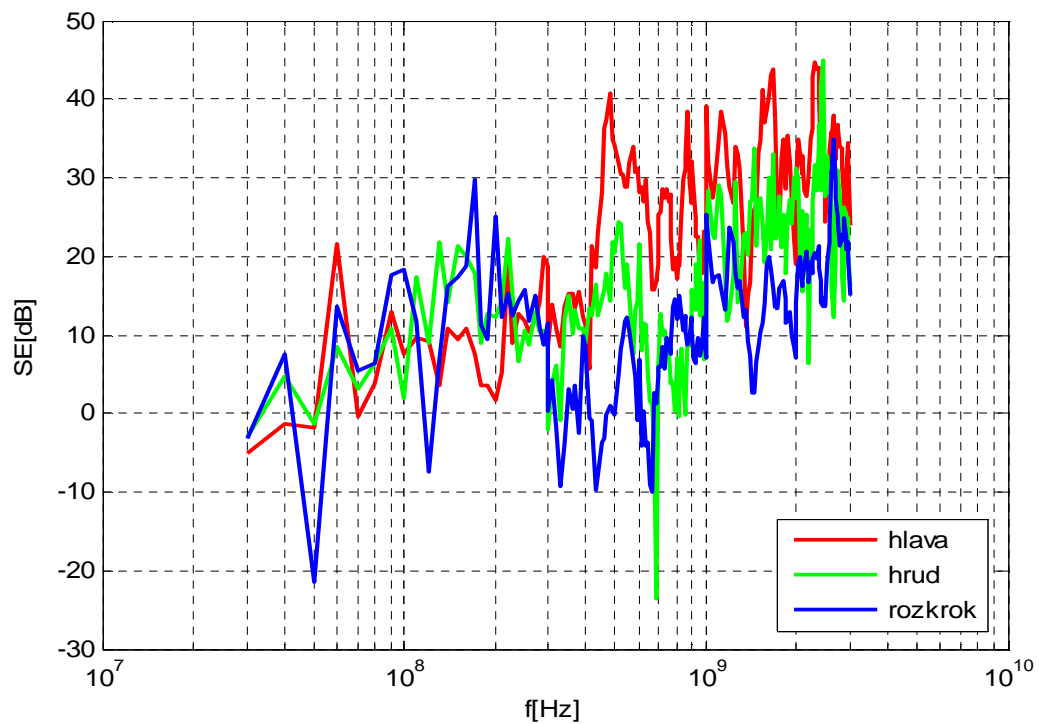
*Obr. 55 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – sonda v rozkroku ve vzdálenosti 4 cm od těla – anténa horizontálně*



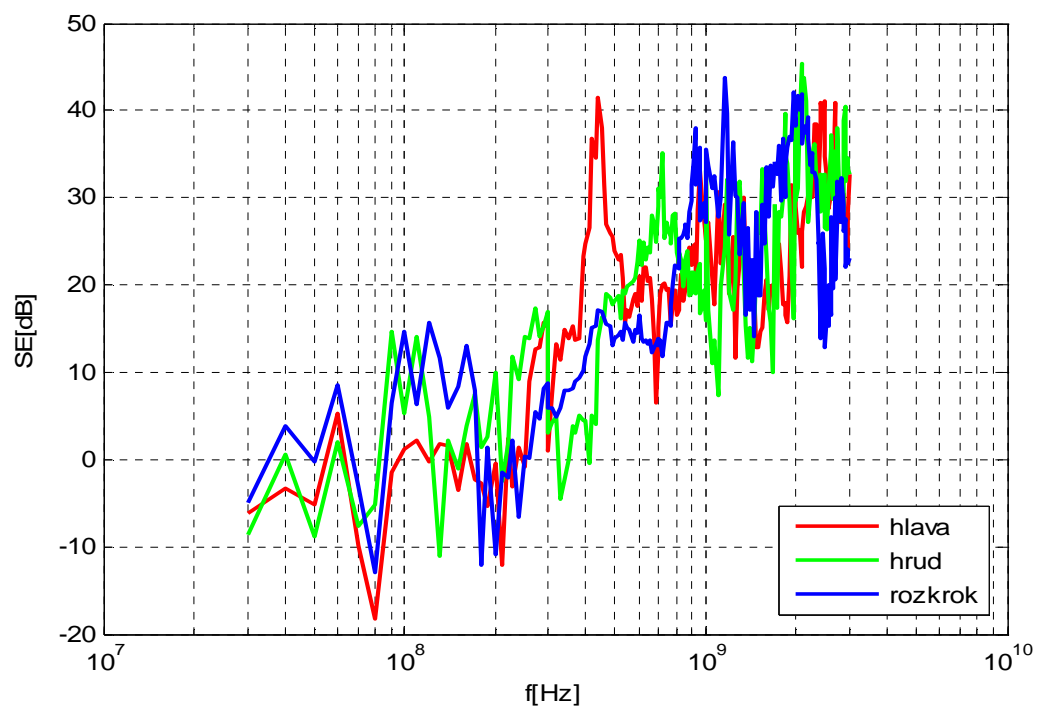
Obr. 56 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – sonda v rozkroku ve vzdálenosti 0 cm od těla – anténa vertikálně



Obr. 57 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – sonda v rozkroku ve vzdálenosti 4 cm od těla – anténa vertikálně



Obr. 58 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – porovnání měřených bodů –  
anténa horizontálně



Obr. 59 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – porovnání měřených bodů –  
anténa vertikálně

## ZÁVĚR

Hlavním cílem práce bylo srovnat hodnoty stínící účinnosti komerčně vyráběného obleku od výrobce s hodnotami naměřenými. Tyto údaje v dokumentaci nejsou udávány, avšak po ústní rozmluvě s výrobcem se došlo k závěru, že hodnoty korespondují. Při měření obleku v kmitočtovém rozsahu od 30 MHz do 3 GHz bylo prokázáno, že se vzrůstající frekvencí stínící účinnost stoupá. Menší útlum signálu při nižších frekvencích byl způsoben difrakčními jevy, kdy se dlouhé vlny ohýbají za překážky. V případě obleku pronikalo toto vlnění rukávy, nohavicemi a štěrbinou mezi kombinézou a kapucí.

Stíněný oblek se skládá z kombinézy a kapuce s kovovou sítkou na obličejové části. Vyroběn je z vodivé textilie s vetkanými měděnými vlákny. Svou konstrukcí neomezuje pohyb, je prodyšný a lehký což jej činí vhodným i pro náročnější práce např. na televizních stožárech.

Abych zjistil jak tento oblek pracuje, tak jsem vyrobil model člověka se stínícím pláštěm, který jsem prakticky měřil a simuloval v programech WIPL-D a CST microwave studio a snažil jsem se jej porovnat s oblekem. Porovnání výsledků mezi simulačními programy navzájem vyšlo velmi dobře, realita byla naopak špatná jelikož jsme neměli vodivý tmel. Pokud by se sešily nebo vodivě spojily části phantomu, tak by výsledky nejspíš vyšly podobné jako u obleku. Samolepící hliníková paska bohužel nezaručovala dost dobré kontakty.

Z mého měření je zřejmé, že i při použití textilií se stínící účinnosti okolo 80 dB lze dosáhnout velikosti stínící účinnosti maximálně v rozmezí 20 – 30 dB. Jako směrodatné hodnoty v tomto ohledu беру výsledky z měření skutečného obleku, jelikož prodejce dané textilie (použité pro model phantomu) poskytl nevhodné (nevodivé) lepidlo a tudíž výsledné hodnoty jsou do určité míry ovlivněny nekvalitními spoji.

Porovnáním obou měření (obleku i phantomu) lze říci, že největší podíl na výsledné stínící účinnosti mají dva prvky. Prvním jsou štěrbiny, které se mohou při různých frekvencích sčítat a druhým vodivost a kvalita spoje (švu).

Z nastudovaných a uvedených materiálů si myslím, že obleky mají velký smysl při práci na vysílačích, s radarovými signály a všude tam kde se pracuje se zdroji záření. Jednak to je povinnost zaměstnavatele vybavit pracovníka ochrannými pomůckami a na rozdíl od ostatních rizikových prostředí není elektromagnetické pole vnímáno lidskými

smysly.

Budoucí vývoj ve směru stínění osob před nebezpečným elektromagnetickým zářením vidím především ve tvorbě ideálních švů. Takovéto švy by měly být dostatečně široké a vytvořeny z vodivé nebo alespoň částečně vodivé nitě, která by definovala určitou kvalitu omických kontaktů. Také je možný vývoj tlumivek ve štěrbinách vzniklých v rukávech, nohavicích a u hlavy (částek které nelze absolutně přiškrtnit), které by potlačovaly vnik vlnění dovnitř obleku.

## ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The main objective was to compare the value of shielding effectiveness of commercially manufactured clothes from the manufacturer with the measured values. These data are not reported in the documentation, but after an oral conversation with producer, it was concluded that the values correspond. The suit a measurement in the frequency range from 30 MHz to 3 GHz has been demonstrated that with increasing frequency shielding effectiveness increases. Less signal attenuation at lower frequencies was due to diffraction phenomena, where long waves bend behind obstacles. In the case of suits waves penetrate the sleeves, pants and a slit between the overall and hood.

The shielded suit consists of coveralls and hood with metal mesh on the face. It is made of conductive fabric with copper woven fibers. Its construction does not restrict movement, is breathable and lightweight making it suitable even for demanding work such as on TV towers. To find out how this suit works, I made a model of man with shielding shell, which I practically measured and simulated in programs WIPL-D and CST Microwave Studio and tried to compare him with the suit. Comparing the results between simulation programs themselves became very good, the reality was, however bad because we did not have conductive filler. If the parts of phantom were conductively put together or stitched together, the results would probably come to similar results as in the suit. Self-adhesive aluminum tape, unfortunately did not guarantee enough good contacts.

From my measurements, it is clear that even when using the fabric shielding effectiveness around 80 db it is possible to achieve shielding effectiveness maximum size in the range of 20-30 dB. As the benchmarks in this regard, I take the results of measuring the actual suit, since the fabric dealer (used for the phantom model) has given inadequate (nonconductive) adhesive and therefore the result values are to some extent influenced by poor quality connections.

Comparing the two measurements (phantom and suit) can say that the biggest part of the result shielding effectiveness have two elements. The first are slots, which can sum up at different frequencies and the second element is conductivity and the quality of the joint (seam).

According to the staged and listed materials, I think that the suits have a great sense during work on the transmitter, with the radar signals and everywhere where people work

with radiation sources. First, it is the employer's duty to equip workers with protective equipment, and unlike to other high-risk environment, the electromagnetic field is not perceived by human senses.

I see the future developments in the direction of shielding people from harmful electromagnetic radiation particularly in creating the ideal seams. These seams should be sufficiently wide and made of conductive or partly conductive threads, which would define a quality contacts resistance. The development is also possible for inductors in the gaps arising in the sleeves, legs and head (the parts that can not be absolutely choked), which would suppress wave penetration to the inside the suit.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] SVAČINA, J. Elektromagnetická kompatibilita, 2001. VUT Brno. ISBN 80-21418737.
- [2] CLAYTON, P. R. Introduction to electromagnetic compatibility, 2006. Nakladatelství Willey; Hoboken. ISBN 0471755001.
- [3] Wieckowski, T.,W. – Janukiewicz, J.M. Methods for Evaluating the Shielding Effectiveness of Textiles. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, Jan/Dec 2006, vol. 14, no. 5 (59), pg. 18-22.
- [4] Drinovsky, J., Kejik, Z. Electromagnetic Shielding Efficiency Measurement of Composite Materials, *Measurement science review*, 2009, vol. 9, no.4, pg. 109–112
- [5] Shielding effectiveness per far field measurement, Chomerics Premier conductive plastic, 2006. Test report. Chomerics, Woburn, Massachusetts. US.
- [6] Guy, A.,W., Chow, C., K., Dougal, J., A, Sorensen, C. Measurement of Shielding Effectiveness of Microwave Protective Suits. *Trans. On. Microwave Theory and Techniques*, Nov 1987, vol. 35, no. 11, pg. 984-994.
- [7] Backstrom, M. , Martin, T. , Loren, J. Analytical model for bounding estimates of shielding effectiveness of complex resonant cavities. *IEEE Int. Symposium on EMC*, May 2003, vol. 2, pg. 946 - 949.
- [8] Firemní literatura Agilent, Rohde&Schwarz, A.H. System
- [9] WIĘCKOWSKI, Tadeusz; JANUKIEWICZ, Jarosław. Methods for Evaluating the Shielding Effectiveness of Textiles. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* [online]. 2006, 14, [cit. 2011-05-19]. Dostupný z WWW: <[http://fibtex.lodz.pl/59\\_09\\_18.pdf](http://fibtex.lodz.pl/59_09_18.pdf)>.
- [10] PROTIVA, Pavel. *Kompozitní materiál se zápornou permitivitou*. Praha, 2007. 55 s. Diplomová práce. ČVUT Praha.
- [11] TONG, Xingcun Colin. *Advanced Materials and Design for Electromagnetic Interference Shielding*. Broken Sound Parkway NW : CRC Press, 2009. 342 s.
- [12] Česko. Nařízení vlády o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. In *Sbírka zákonů, Česká republika*. 2008, 1, s. 2-29.

- [13] Česko. METODICKÝ NÁVOD k postupu podle § 35 a 36 zákona č. 258/2000 Sb. a nařízení vlády č. 480/2000 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením.. In *MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ – HLAVNÍ HYGIENIK ČESKÉ REPUBLIKY*. 2001, HEM-300-16.1.01-1375, s. 1-8
- [14] *Electromagnetic Pollution / EMF Pollution* [online]. 2008 [cit. 2011-05-19]. Emwatch.com. Dostupné z WWW: <<http://www.emwatch.com/EMF%20Effects.htm>>.
- [15] *GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC, MAGNETIC, AND ELECTROMAGNETIC FIELDS (UP TO 300 GHz)*. Německo : ICNIRP Guidelines, 1998. 29 s.
- [16] NOVÁK, Jaroslav. *TZB-info* [online]. 2004 [cit. 2011-05-19]. Elektromagnetické pole a zdravotní rizika (I). Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/1801-elektromagneticke-pole-a-zdravotni-rizika-i>>.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

SE	(Shielding Effectivness) Stínící účinnost
A	Útlum absorpcí
R	Útlum odrazem
M	Útlum vlivem mnohonásobných odrazů
VF	vysokofrekvenční
NRL	Národní referenční laboratoř
GSM	Globální Systém pro Mobilní komunikaci
EMP	Elektromagnetické pole
ICNIRP	(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) Mezinárodní komise pro ochranu před neionizujícím zářením
ASTM	(American Society for Testing and Materials) Americká společnost pro testování a materiály
MIL-STD	(Military Standards) Armádní normy
R&S	Rohde&Schwarz
GPIB	(General Purpose Interface Bus) univerzální měřicí rozhraní
ANT	Anténa (sonda)

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1</i> Znázornění útlumů elektromagnetického pole.....	12
<i>Obr. 2</i> Závislost hloubky vniku na frekvenci některých materiálu [11] .....	14
<i>Obr. 3</i> Kmitočtový průběh jednotlivých složek účinnosti stínění měděné desky o tloušťce $t = 1 \text{ mm}$ [1] .....	16
<i>Obr. 4</i> Orientace nevyzařující a) a vyzařující b) podlouhlé štěrbin v kovové stínící přepážce [1] .....	18
<i>Obr. 5</i> Průchod v kovovém stínění na principu podkritického vlnovodu.....	18
<i>Obr. 6</i> Vznik nežádoucích štěrbin při spojení částí stínícího krytu na tupo a) a způsoby zlepšení účinnosti stínění překryvem spojovaných částí b), c). [1] .....	19
<i>Obr. 7</i> Řešení elektromagnetického těsnění pomocí vodivých elastomerů a) a nožových kontaktů b). [1] .....	20
<i>Obr. 8</i> Zásady konstrukce elektromagneticky stíněných krytů: a) chybná konstrukce z hlediska EMC; b) zlepšená konstrukce k dosažení vyšší účinnosti stínění. [1] .....	21
<i>Obr. 9</i> Řez kompozitním materiálem.....	22
<i>Obr. 10</i> Graf průběhu stínící účinnosti kompozitního materiálu.....	23
<i>Obr. 11</i> Referenční úrovně elektrického pole [14] .....	28
<i>Obr. 12</i> Referenční úrovně pro magnetické pole [14] .....	29
<i>Obr. 13</i> Způsoby zapředení (mřížka, proužek, melír) .....	30
<i>Obr. 14</i> Ukázka některých ochranných obleků .....	30
<i>Obr. 15</i> a) uspořádání pracoviště při měření s měřícím koaxiálním vedením, b) referenční vzorek c) měřený vzorek .....	32
<i>Obr. 16</i> Uspořádání pracoviště při měření se stíněnou komorou .....	33
<i>Obr. 17</i> Uspořádání pracoviště při měření srovnávací metodou .....	35
<i>Obr. 18</i> Průběh stínící účinnosti použité textilie v závislosti na frekvenci .....	37
<i>Obr. 19</i> Rozměry phantomu oproti člověku a phantom .....	38
<i>Obr. 20</i> Vzhled modelu v simulačním programu WIPL-D.....	39
<i>Obr. 21</i> Graf závislosti stínící účinnosti na frekvenci v simulačních programech WIPL-D a CST microwave studio .....	40
<i>Obr. 22</i> Zapojení měřících zařízení pro měření stínící účinnosti .....	41
<i>Obr. 23</i> Logaritmicko-periodická anténa SAS-510-2 .....	43
<i>Obr. 24</i> Trychtýřová anténa SAS-571 [8].....	44

<i>Obr. 25 R&amp;S HZ-11 Sphere 3,6 mm</i> .....	45
<i>Obr. 26 R&amp;S FSP 40 [8]</i> .....	45
<i>Obr. 27 R&amp;S SMR 20 [8]</i> .....	46
<i>Obr. 28 Agilent USB/GPIB rozhraní</i> .....	47
<i>Obr. 29 Vzhled pracovního prostředí měření v programu VEE Pro</i> .....	48
<i>Obr. 30 Zobrazení připevnění sondy v jednotlivých bodech (zleva: rozkrok, hrud', hlava)</i> .....	49
<i>Obr. 31 Stínící účinnost phantomu v bodě – hlava</i> .....	50
<i>Obr. 32 Stínící účinnost phantomu v bodě – hrud'</i> .....	50
<i>Obr. 33 Stínící účinnost phantomu v bodě – rozkrok</i> .....	51
<i>Obr. 34 Stínící účinnost phantomu v bodě – hlava pro nižší frekvence</i> .....	51
<i>Obr. 35 Oblek ESO 3 Aleksander</i> .....	52
<i>Obr. 36 Zapojení měřících zařízení pro měření stínící účinnosti</i> .....	53
<i>Obr. 37 Bikonická anténa SAS-542</i> .....	54
<i>Obr. 38 Sonda tyčového provedení</i> .....	55
<i>Obr. 39 Generátor SM 300</i> .....	55
<i>Obr. 40 Zobrazení Frauhofferovy vzdálenosti</i> .....	56
<i>Obr. 41 Průběh referenčního měření, sonda ve výšce 1,75m – anténa vertikálně</i> .....	58
<i>Obr. 42 Průběh referenčního měření, sonda ve výšce 1,75m – anténa horizontálně</i> .....	59
<i>Obr. 43 Průběhy homogenity elektrického pole v rozsahu 0,85-1,75m – anténa vertikálně</i> .....	60
<i>Obr. 44 Průběhy homogenity elektrického pole v rozsahu 0,85-1,75m – anténa horizontálně</i> .....	62
<i>Obr. 45 Zobrazení připevnění sondy v jednotlivých bodech (zprava: rozkrok, hrud', hlava)</i> .....	63
<i>Obr. 46 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – sonda na hlavě ve vzdálenosti 0 cm od těla – anténa horizontálně</i> .....	64
<i>Obr. 47 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – sonda na hlavě ve vzdálenosti 4 cm od těla – anténa horizontálně</i> .....	64
<i>Obr. 48 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – sonda na hlavě ve vzdálenosti 0 cm od těla – anténa vertikálně</i> .....	65
<i>Obr. 49 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – sonda na hlavě ve vzdálenosti 4 cm od těla – anténa vertikálně</i> .....	65

<i>Obr. 50 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – sonda na hrudi ve vzdálenosti 0 cm od těla – anténa horizontálně .....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 51 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – sonda na hrudi ve vzdálenosti 4 cm od těla – anténa horizontálně .....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 52 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – sonda na hrudi ve vzdálenosti 0 cm od těla – anténa vertikálně .....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 53 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – sonda na hrudi ve vzdálenosti 4 cm od těla – anténa vertikálně .....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 54 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – sonda v rozkroku ve vzdálenosti 0 cm od těla – anténa horizontálně .....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 55 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – sonda v rozkroku ve vzdálenosti 4 cm od těla – anténa horizontálně .....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 56 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – sonda v rozkroku ve vzdálenosti 0 cm od těla – anténa vertikálně .....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 57 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – sonda v rozkroku ve vzdálenosti 4 cm od těla – anténa vertikálně .....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 58 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – porovnání měřených bodů – anténa horizontálně .....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 59 Kmitočtový průběh stínící účinnosti – porovnání měřených bodů – anténa vertikálně .....</i>	<i>70</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Účinnost stínění velmi tenkých měděných povlaků [1] .....</i>	<i>17</i>
<i>Tab. 2 Hodnocení elektromagnetického stínění dle orientačních hodnot SE [1] .....</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 3 Tabulka antén s velikostí vyzařovacího vějíře pro vzdálenost 7,35m.....</i>	<i>42</i>
<i>Tab. 4 Tabulka umístění sondy .....</i>	<i>42</i>
<i>Tab. 5 Tabulka použitých přístrojů.....</i>	<i>43</i>
<i>Tab. 6 Tabulka umístění sondy .....</i>	<i>52</i>
<i>Tab. 7 Tabulka použitých antén.....</i>	<i>53</i>
<i>Tab. 8 Tabulka použitých přístrojů.....</i>	<i>54</i>
<i>Tab. 9 Splnění podmínky pro Frauhofferovu vzdálenost .....</i>	<i>57</i>
<i>Tab. 10 Splnění podmínek pro vyzařovací úhel .....</i>	<i>57</i>

**SEZNAM PŘÍLOH**

PŘÍLOHA P I:       INFORMAČNÍ BROŽURA K OBLEKU ESO 3 ALEKSANDER

PŘÍLOHA P II:       CD – NAMĚŘENÉ HODNOTYHODNOTY V SIMULAČNÍCH  
PROGRAMECH (EXCEL – phantom\_simulace.xls)

PŘÍLOHA P III:       CD – NAMĚŘENÉ HODNOTYHODNOTY MODELU ČLOVĚKA  
SE STÍNÍCÍ PLÁŠTEM (EXCEL – phantom\_mereni.xls)

PŘÍLOHA P IV:       CD – NAMĚŘENÉ HODNOTYHODNOTY OBLEKU ESO 3  
ALEKSANDER (EXCEL – oblek\_mereni.xls)

# PŘÍLOHA P I: INFORMAČNÍ BROŽURA K OBLEKU ESO 3 ALEKSANDER

## OCHRANNÁ KOMBINÉZA PRO PRÁCI V ELEKTRO- MAGNETICKÝCH POLÍCH

ESO 3 **ALEKSANDER**

Vybraná témata a  
nejdůležitější informace

Výrobce:  
PHU "ESO" Stanislaw Osajda, Polsko

*Elektromagnetická pole jsou velmi rozličným faktorem prostředí – od polí statických (elektrostatických a magnetostatických) o malém a velkém kmitočtu, do záření mikrovlnného (o kmitočtu nižším než 300 GHz). V přírodě vystupují zároveň pole sinusoidálně střídavá v čase i modulovaná ve velmi rozmanitých formách. K označení pole elektromagnetického jako fyzikálního faktoru prostředí práce, jsou používány mimo jiné parametry typu:*

- \*kmitočet polí sinusoidálně střídavých v čase (v Hz)
- \*síla polí elektromagnetických (v V/m)
- \*síla polí magnetických (v A/m)
- \*doba expozice lidského organismu

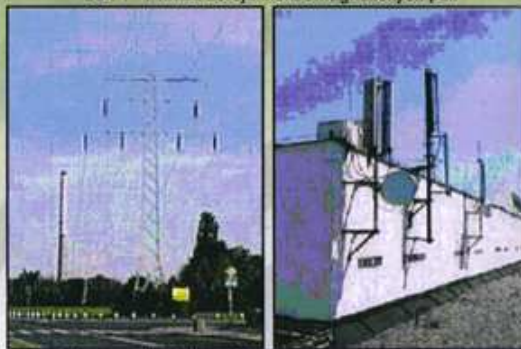
*Způsob a účinky působení polí elektromagnetických na lidské tělo, stejně jako na materiální součásti pracovního prostředí, záleží na jeho četnosti a síle.*

**Pole elektromagnetická nejsou oproti mnoha fyzikálním faktorům prostředí, jako např. hluk, vnímány lidskými smysly, a proto není možné, aby se lidské tělo intuitivně přizpůsobilo úrovni zamoření.**

Polí elektromagnetická o nízkých kmitočtech nacházejí různé praktické využití v průmyslu, armádě, ve zdravotnictví, v telekomunikacích i v běžném životě.

**Energie elektromagnetických polí absorbovaná bezprostředně lidským organismem, v něm vyvolává vznik indukovaných proudů a také ohřívání buněk. Může být příčinou nežádoucích biologických efektů i následných změn zdravotního stavu (dočasné, nebo i trvalé újmy na zdraví), které se mohou projevit i ve značném časovém odstupu od chvíle prvního ozáření.**

Obr. 1 - Příklad zdrojů elektromagnetických polí



a) sloupky elektromagnetické vysokého napětí

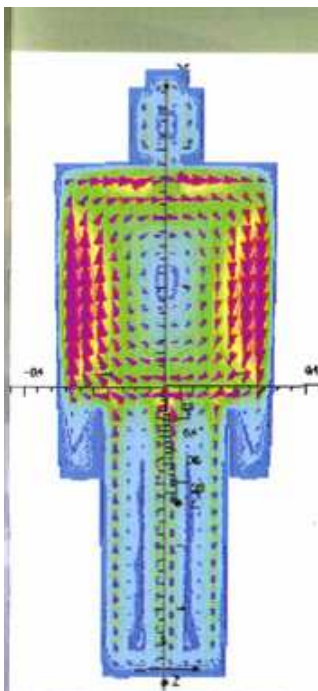
b) antény - vysílače pro mobilní telefony

Kromě různorodého bezprostředního působení na organismus pracovníka může elektromagnetické pole ohrožovat lidi působením na technickou infrastrukturu, protože odběr energií elektromagnetického pole různými zařízeními může být příčinou m.j.

poruch práce automatizovaných řídicích zařízení a elektronických lékařských přístrojů (jako např. elektrostimulátorů, případně jiných lékařských implantátů),

výbuchů elektrovýbušných zařízení (detonátorů)

požárů a explozí spojených se samovznícováním hořlavých látek způsobených jiskrami vzniklými indukci anebo elektromagnetickými částicemi.



Obrázek 2 - Simulace magnetického proudu indukovaného v lidském těle, které se nachází v magnetickém poli s vodorovnou polarizací.

Má to zvláštní význam pro pracovníky, kteří jsou při práci v dosahu působení silných elektromagnetických polí.

V rámci možnosti by měly být technické a organizační metody využívány k omezení expozice pracovníků, mimo jiné monitorováním elektromagnetické zátěže a značením zón vystupování silných elektromagnetických polí a také používáním ochranných oděvů.

### NEJNEBEZPEČNĚJŠÍ VLNY VYSKYTUJÍCÍ SE V NAŠEM OKOLÍ

#### Mikrovlny

Jsou to vlny o délce od  $10^{-4}$  m do 0,3 m (0,1 mm až 30 cm). Mikrovlny z horního rozsahu mohou vznikat v elektronických zařízeních kmitajících podobně jako rádiové vlny, a proto jsou velmi často zahrnovány do vln rádiových a nejsou posuzovány zvlášť. V současné době je známo mnoho různých zdrojů mikrovln. Mohou to být mikrovlnné lampy, klístrony, karcinotrony a magnetrony (jsou to dvouelektrodové lampy umístěné v magnetickém poli, kde opožděné elektrony krouží v magnetickém poli po spirále emitují mikrovlny). S rozvojem využití polovodičů došlo k nárůstu zdrojů mikrovln, jako např. generátor Gunna, diody lavinové a také tranzistory bipolární a pólové.

Obr. 3 Kombinéza proti mikrovlnám před zabezpečením hlavy (pohled ze předu)



3



Mikrovlny jsou využívány v radiolokaci (radar), k měření rychlosti vozidel - proto jsou občas nazývány vlnami radarovými, a také k ohřívání potravin v mikrovlnných troubách. Využití mikrovln je velmi rozšířené - od zjednodušení kuchyňských prací až po velmi komplikované radiolokační a monitorovací systémy v armádě i v civilním vysílacím provozu.

V nedávné době byl vynalezen způsob monitorování stavu vodních přehrad a mostů v oblastech ohrožených zemětřesením. V kritických místech staveb se umístí prázdné plechové schránky velikosti krabičky od cigaret, do kterých vedou trubičky, přes které jsou vedeny mikrovlny a při změně rezonančního kmitočtu je vydán varovný signál o možnosti vzniku nebezpečí.

#### Rádiové vlny

Jsou elektromagnetické vlny o délce větší než  $10^{-4}$  m (0,1 mm). S ohledem na délku vlny (či její kmitočty) rozlišujeme charakter rádiových vln na tradiční a dekadické, doporučené radiokomunikačními předpisy.

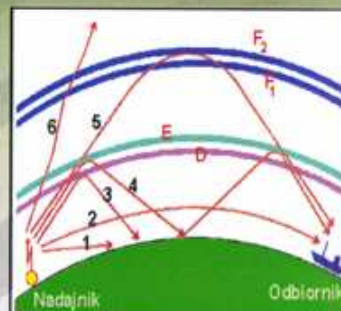
Rádiové vlny vznikají vyzařováním energie z vysílací antény (systém vysílající, který představuje elektronický kmitací systém). Podle prostředí, ve kterém se vlny šíří, rozlišujeme vlnu **přízemní** (povrchovou a nadzemní), vlnu **troposférickou**, vlnu **ionosférickou** a vlnu v **kosmickém prostředí**.

Vzhledem k délce rádiové vlny je její šíření vystaveno různorodým vlivům např. difrakci, refrakci, odrazu od ionosféry a pod.

Důležitý význam při vysílání a přijímání rádiových vln má ionosféra. Je to horní část zemské atmosféry, zionizovaná vlivem ultrafialového a rentgenového záření Slunce. Její spodní část se dělí na několik

vrstev: D (60-90 km), E (kolem 120 km), F1 (180-240 km), F2 (220-300 km). Dlouhé vlny se lehce ohýbají (difrakce) a mohou se stát dlouhou přízemní vlnou (označenou číslicí 2 na obrázku) a odrážejí se od vrstvy D (číslice 3 na obrázku), přičemž vůbec nejsou pohlcovány ionosférou. Proto mají nejdelší dosah a při jejich šíření nezáleží na denní nebo noční době. Střední vlny se odrážejí od vrstvy E (číslice 4 na obrázku), mají mnohem větší dosah v noci, kdy vzniká vrstva D, kterou jsou pohlcovány.

Krátké vlny tvoří na Zemi vlnu krátkou přízemní (číslice 1 na obrázku) a odrážejí se od vrstev F1 a F2 (číslice 5 na obrázku - vrstva F1 vystupuje pouze v létě) také od zemského povrchu a díky tomu jsou zachytitelné na velkou vzdálenost, ale jen v těch místech, kde běží vlna po odrazu od ionosféry. Ultrakrátké vlny a mikrovlny (číslice 6 na obrázku) se odrážejí od ionosféry a mizí v kosmickém prostoru. Právě tyto vlny jsou vysílány a přijímány telekomunikačními satelity (UKV) anebo slouží k satelitnímu spojení (mikrovlny).



4

### Tradiční rozdělení rádiových vln a jejich využití

Tradiční rozdělení	Délka vlny [m]	Kmitočet [MHz]	Poznámky týkající se šíření vln na zemi	Využití
velmi dlouhé vlny	100000 - 10 000	0,003 - 0,03	slabě tlumená povrchová vlna a vlny ionosferické	radionavigace, radiotelegrafie dalekého dosahu
dlouhé vlny	10 000 - 1000	0,03 - 0,3	vlna tlumená povrchová, vlna ionosferická	radiotelegrafie, radiofonie, radiomajáky
Střední vlny	1000-75	0,3 - 4	záleží na denním období - ve dne vlna povrchová, v noci vlna ionosferická, jevy interferencí a selektivního ztláčení	radiofonie a radiotelekomunikace
Krátké vlny	75-10	4 - 30	Dominuje ionosferická vlna, mezikráti odražená,	radiofonie a radiotelekomunikace
Ultrakrátké vlny	10-0,3	30 - 1000	Vlna nadzemní, hlavně v prostoru, kde je vidět vysílač	elektřina, radiofonie, radiotelekomunikace, kosmické spojení,
Mikrovlny	0,3-0,0001	1000-3 000 000	vlna troposferická	radiolokace, kosmické spojení

### Typické zdroje elektromagnetických ohrožení v místech práce

#### Energetická zařízení

Ívedení vysokého napětí, transformátory, generátory - pracují při kmitočtu 50 Hz a mohou vytvářet nadměrné elektromagnetické a elektrické pole. Největší ohrožení člověka nastává při práci s elektrickým nadzemním vedením pod napětím, síla elektrického pole tam překračuje 100 kV/m (nebezpečná zóna) a síla pole magnetického je v řádu mT (zóna ohrožení). Rozdíly síly v polích elektrických jsou v řádu několika kV/m a v polích magnetických v řádu několika desítek  $\mu$ T. Podle platných předpisů úrovně magnetických polí zpravidla zůstávají v oblasti bezpečné zóny, avšak podle posledních výzkumů se musí k působení slabých magnetických polí s frekvencí 50 Hz přistupovat s nejvyšší opatrností a snažit se o omezení úrovně B na pracovištích i s menší hodnotou než 1  $\mu$ T.

Obr. 4: Kombinéza proti mikrovlně po zabezpečení hlavy (pohled zepředu)



5

#### Telekomunikační zařízení:

Jedná se o vysílače **dlouho a středněvlnné** o kmitočtu 0,1 - 2 MHz a síle od několika desítek tisíc kW do 1-2 MW. Zdrojem polí, hlavně pak elektrických, jsou antény (zóna ohrožení), fidery (zóna ohrožení), zařízení která připojují fider k anténě v tzv. anténových domcích (nebezpečná zóna), vnitřky vysílačů a anténní vstupy s vysokorezonančními obvody (zóna nebezpečná nebo ohrožení), anténové stožáry (zóna ohrožení, popř. nebezpečná).

Objekty vysílající **krátkovlnné záření** (o kmitočtu 3 do 30 MHz a síle do 100 kW), jako prostory pod fidery na anténním poli, anténové stožáry (zóna ohrožení i v krátkých expozičních dobách), prostory pod přepínači fiderů uvnitř vysílačů (zóna ohrožení, někdy i nebezpečná).

Objekty vysílající **UKV/TY** o kmitočtu 50 - 1.000 MHz a síle od několika set W do 40 kW na anténových stožárech (zóna nebezpečná), u antén IV/V dosahu (zóna ohrožení).

**Radiolokační stanice** - pásmo vyšší než 1 GHz o síle od několika kW do několika MW v impulsu. **Nebezpečná zóna před anténou může vznikat při otevřených vlnovodech, existuje možnost nevratných termických efektů. Je vyžadována velká opatrnost a důsledné dodržování bezpečnostních předpisů. U radiotelefonů, mobilních telefonů apod.** v pásmu od 27 MHz do 1.000 MHz je zóna ohrožení do vzdálenosti 10 cm od antény (vliv ohrožení těla, často hlavy operátora, nejsou zatím vyjasněny, jejich výzkum intenzivně probíhá). Doporučuje se omezit používání takových zařízení, která jsou napevno spojena s anténou, lepší je používat telefony s oddělenou anténou, případně umístěnou na střeše auta.

#### Ohrožení vyvolávané elektromagnetickými poli na pracovištích

- **Elektromagnetické pole (EMP) může ohrožovat lidi** bezprostředně - škodlivé působení energie elektromagnetického záření vnikajícího do organismu člověka
- ohrožení zprostředkované - škodlivé působení energie elektromagnetického záření vnikajícího do těla v podobě střídavého proudu, který vyvolává indukci v tělesných orgánech
- ohrožení systémů citlivých na elektromagnetickou energii, které jsou určeny pro monitorování nebo přímo zachování životních funkcí člověka. V oblasti elektronických zařízení se touto tématikou zabývá vědní obor elektromagnetická kompatibilita. Jiná typická prvotní ohrožení jsou popsána v odd. 1.3.2.

#### Vliv EMP na lidský organismus

**Biologická aktivita je složitou funkcí mnoha jevů, ovlivňovaných kmitočtem a silou polí. Záleží především na**

- množství energie pole absorbované organismem a s tím spojená úroveň síly proudu a napětí indukovaných v těle a také na množství vydaného tepla.
- elektrických vlastnostech tkání (vodivosti a dielektrické pronikavosti), které vedou k ohřívání tkání
- vlastnostech buněčných blan, které určují základní skutečný obraz vnitřku buněk (pro kmitočet 1 - 10 MHz), ponořených v mezibuněčných tekutinách. Pravidelně podobně propustnost buněčných stěn a jejich selektivnost pro různé složky záření může být modifikována elektromagnetickým polem.

Základním a nejlépe poznaným jevem je absorpce energie pole lidským tělem. Záleží na kmitočtu, vzájemné orientaci pole a těla, rozměru těla vzhledem k délce vlny, stupni izolovanosti podloží apod. Je to obor klasické elektrodynamiky, ze kterého vznikla teoretická (matematická) dozimetrie, která umožnila složitými výpočtovými technikami (zejména počítačovými) vyznačit množství energie EMP pohlcované lidským tělem. Výsledkem zkoumání tohoto oboru je velikost SAR (Specific absorption rate), určující množství síly vydávané na jednotku hmotnosti lidského těla v určených podmínkách polarizace pole. Tato veličina se udává v jednotkách W/100g. Absorbce síly je největší v dosahu rezonančním (30 - 400 MHz), kdy se lidské tělo chová jako kmitočtové naladěná anténa. Nejzávažnější případ nastává v blízkosti kmitočtu, při kterém dochází k rezonanci celého těla. Podle Komiewiczze je možno vyjádřit

$$Fr[\text{MHz}] = 75 [\text{MHz m}] / h [\text{m}]$$

kde: h - výška člověka v metrech

Při vyšších kmitočtech může docházet k lokálním rezoncím v kratších částech těla (např. trup, hlava, končetiny nebo jiné části). Při kmitočtu vyšším než 2 GHz následuje povrchové pohlcování mikrovln (malá hloubka vniknutí), které je zvláště nebezpečné pro špatně prokrvené části těla, jako jsou oči nebo varlata

Obr. 4: Kombiniza proti mikrovlně po zabezpečení hlavy (pohled z boku)



7

#### U biologického působení záření na člověka pozorujeme

- efekt termický - vzniklý v důsledku změny části energie EMP na teplo, což může vyvolat patologické změny a fyziologické reakce podmíněné zvýšením teploty celého těla nebo některých jeho částí
- efekt mitemerický, vzniklý vlivem záření bez zvýšení teploty a s tím spojené patologické a fyziologické příznaky

**Elektromagnetické záření působící na člověka může vyvolat příznaky jak objektivní, tak také subjektivní**

#### Zatím popsané příznaky subjektivní

- celkové oslabení organismu, zhoršení koncentrace, oslabení paměti, ospalost během dne, bolesti hlavy a závratě, snížení pohlavní potence, menstruační poruchy.

#### Příznaky objektivní jsou popisovány jako

- reakce centrálního nervového systému - stavy neurastenické, třes rukou, změny bioelektrické činnosti mozku zjištěné EEG, zvýšený dermatografismus.
- změny v orgánech zraku - drobné změny v duhovce
- změny krevního a srdečního oběhu - změny bioelektrické činnosti srdce zjištěné EKG.
- změny v krvi a krevetorbě
- změny hormonální (menstruační poruchy)

Od konce 80. let se velmi intenzivně prověřuje souvislost nárůstu výskytu některých typů vzácných nádorů (lymfatického oběhového systému, zvláště pak leukémie u dětí, nádory mozku) s působením magnetického pole o kmitočtu 50 a 60 Hz. V mnohých případech už v epidemiologických výzkumech zjišťujeme vzrůst rizika těchto nemocí ve skupinách lidí, kteří bydleli, pracovali nebosi delší dobu zdržovali poblíž energetického vedení

**Velmi důležité! - V lidském těle nejsou známy žádné pocitové receptory EMP. Exponovaná osoba není samostatně schopná zjistit úroveň své expozice, pokud o ní není informována, ani jí včas zastavit.**

Můžeme říci, že ve většině případů, kdy dodržujeme pravidla zabezpečení před EMP, nevznikají vážné potíže. Problémy vznikají častěji z nedostatku informovanosti o bioelektromagnetismu a také z mylného zaměňování charakteru záření z mikrovlnného za záření ionizující anebo z jiných příčin. Je nutné upozornit na častá bezprostřední sousedství obydlí nebo pracovišť s velkými průmyslovými a telekomunikačními zdroji EMP, která mohou znamenat vážné nebezpečí poškození zdraví lidí.

### Způsoby omezování nebezpečí a ohrožení

Elektromagnetické ohrožení je velmi zvláštním ohrožením. Z důvodu neviditelnosti a nemožnosti zjistit přítomnost tohoto jevu vyvolává velký společenský zájem a obavy. Prakticky všechny rádiové vysílací stanice s velkým výkonem se staly objektem společného zájmu a bouřlivých protestů. V důsledku toho vzrostly náklady na lékařské výzkumy, na omezení výkonu a pod. Při současném stavu vědy není možné na sto procent vyloučit nebo potvrdit vliv polí na zdravotní stav osob dlouhodobě pracujících v dosahu pole. Musíme si uvědomit, že dobrá organizace práce včetně používání ochranného oblečení v zónách ohrožení a rozmístění stanovišť práce z dosahu EMP jsou základními a nejlevnějšími způsoby omezování možnosti ohrožení elektromagnetickým zářením. Musíme vzít v úvahu následující faktory:

1) Ve většině případů se pracuje v zóně blízké, kde síly EMP jsou proporcionálně do  $1/r^2$  ( $r$  = vzdálenost od zdroje). Díky tomu je možné dostat možnost ohrožení pracovníka do úrovně bezpečné anebo přípustné. Odsouváním od zdroje pole (např. zvětšením vzdálenosti z 0,5 m na 1 m může způsobit, že pracovník bude vystaven 4x menší síle pole). Je to velmi důležité pro práci skupiny pracovníků, kteří vykonávají jen pomocné práce v procesu pod vlivem EMP nebo pro osoby vykonávající jiné práce bez spojení s tímto procesem.

2) Zdroje EMP je nutné situovat tak, aby emise polí nebyla směřována na jiná pracoviště nebo frekventované přechody. Všechna zařízení nebo stanoviště pracovního procesu, ať už trvalá nebo dočasná, by měla být v rámci možnosti odsunuta z dosahu ochranných zón.

■ Pokud je zapotřebí seřadit zařízení produkující EMP, je nutné v rámci možnosti snížit úroveň vyzařované síly.

Obr. 5 - Kombinéza dvouvrstvá před nasazením kapuce (pohled zepředu)



9

### Monitorování

■ Jedná se o cílené snižování síly pole ve vybraném místě formou oslabení tohoto zdroje pole látkami, které mají schopnost snížit intenzitu síly pole anebo pohlcovat jeho energii, např. látka SCREENTEX 3

■ Účinnost monitorování znamená poměr síly pole v určitém bodu prostoru před použitím monitoru k síle pole ve stejném bodu po použití monitoru. V souvislosti s mikrovlnami se používá proporce určených hodnot síly záření a výsledek se určuje v decibelech.

**Osoby pracující v dosahu ochranných zón jsou povinny zúčastňovat se vstupních a preventivních lékařských prohlídek a také školení bezpečnosti práce v elektromagnetických polích. V případě nutnosti zdržování se v dosahu působení EMP je nutné používání ochranných pomůcek, které omezují působení škodlivého záření na lidský organismus.**

### Ochranné oblečení

■ používání prostředků individuální ochrany za účelem ochrany před elektromagnetickým polem má zatím omezený účinek. Je to způsobeno jednak „neviditelností“ bezprostředních účinků na zdraví a život pracovníka a také i z nedostatku literatury zaměřené na téma škodlivosti záření, jak elektrického, tak i magnetického

■ firma ESO je jediným producentem takového oblečení v kraji

■ Obleky ESO 3 ALEKSANDER charakterizují účinnost tlumení (monitorování) na úroveň menší než 18 dB pro rozkrok, 15 dB pro okolí srdce a obličeje a 18 dB pro záda pracovníka

Představuje to stonásobné snížení hodnot záření původního zdroje. Vyznačují se malou hmotností od 2 kg, přičemž záleží na velikosti a množství vrstev a druhu látky na povrchu oděvu.

■ Oblek obsahuje kombinézu a kapuci se sítkou na obličejové části. Oblek tohoto typu musí být elektricky těsný, aby nebylo možné vniknutí vlny dovnitř a odstranila se hrozba rezonančního vzrůstu síly EMP uvnitř kombinézy.

■ K výrobě kombinéz se používají speciální látky vyrobené z měděných vodičích vláken podle standardu SCREENTEX 3

■ Obleky mohou být používány k ochraně před elektromagnetickými vlnami a elektrickými poli v dosahu pásma o kmitočtu VHF (od 30 MHz do 300 MHz) a pro pásma o kmitočtu L, S, C, X.

■ Ochranná kombinéza má dobré užitné vlastnosti. Je lehká, nebrání ve výkonu pracovních činností, propouští vodní páry, odpovídá nejvyšším antropometrickým standardům. Používání těchto obleků v nebezpečné zóně zaručuje zlepšení bezpečnosti pracovníků vystavených účinkům mikrovlnného záření.

■ Ochranná kombinéza splňuje normy pro speciální ochranný oblek popsany Ministerstvem národní obrany

■ Ochranná kombinéza pro práci v popsanych elektromagnetických polích dostala povolení k používání Vojenským institutem hygieny a epidemiologie Gen. Karola Kaczkowského ve Varšavě, pracoviště metrologie.

Elektromagnetické záření VIHE má akreditaci PCA č. AV 366 v oboru měření elektromagnetických polí k účelům bezpečnosti práce a ochrany životního prostředí a také tlumivosti látek.

#### Základní pravidla bezpečnosti práce v EMP

Pracovníci zaměstnaní v bezprostřední obsluze zdrojů polí anebo v jejich okolí jsou povinni dodržovat následující pravidla:

- seznámit se důkladně s umístěním zařízení produkujících EMP a s dosahem ochranných zón
- naučit se významu jednotlivých výstražných značení
- striktně dodržovat zákaz vstupu do nebezpečné zóny, omezit zbytečné zdržování se v zóně ohrožení, kde není možné tomu zabránit, dodržovat omezení povoleného času expozice, určeného předpisy
- nezapínat zařízení, pokud jejich ochranné štíty nejsou kompletní a pevně upevněné
- v případě přídavného monitorování anebo monitorování pohyblivého kontrolovat pevnost spojení a také dbát na to, aby místa spojení pohyblivého monitoru a krytu nebyla zakryta nebo neprůhledná vívem nečistot
- Nepřipustit používání těchto zařízení nekompetentními osobami, zvláště v ochranných zónách
- v případě mikrovlnných zařízení zvlášť dbát na těsnost spojení, neopouštět otevřené vlnovody a kryty, v případě práce při expozici používat ochranný oblek. Nezdržovat se poblíž radiolokačních antén
- ve zvláštních případech vyžadujících konzultaci specialistů je možné využít několik státních institucí, které mají mnohaleté zkušenosti s bojem s elektromagnetickým ohrožením. K takovým institucím patří:

Obr. 6 - Kombinéza před nasazením kapuce (pohled z boku)

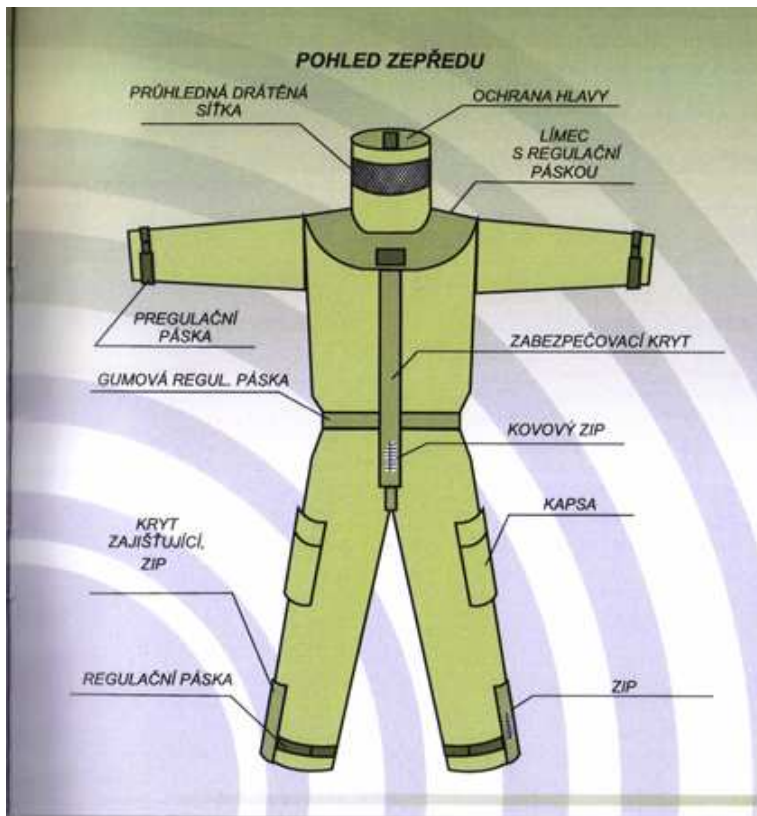


11

1. Centrální Institut Ochrany Práce - hlavní autor hygienických předpisů týkajících se elektromagnetických ohrožení a také norem týkajících se měření polí od 0 do 300 Mhz, má zkušenosti v oboru elektromagnetického monitorování, měření EMP a zdokonalování měřících přístrojů. Dále zajišťuje měření a hodnocení ohrožení EMP na pracovištích organizace práce, v identifikaci biologických základů aktivity EMP a teoretické dozimetrie, jakož i počítačový monitoring EMP.

2. Institut Medicíny Práce v Lodži - specializace v oboru vyhodnocení zdravotních vlivů EMP, výzkumu biologických vlivů, měření síly EMP na pracovištích a evidence zdrojů polí.

3. Vojenský Institut Hygieny a Epidemiologie ve Varšavě - specializace v oboru vlivů biologických mikrovln, měření a ochrany před mikrovlnným zářením



Obr. 7 - Kombinéza protimikrovinná TRIVRSTVOVÁ (vrstva vnitřní - bavlněná podšívka část základní - látka protimikrovinná vrstva povrchová - látka maskovací) před nasazením kapuce. (pohled zepředu).



Obr. 8 -Kombinéza proti mikrovinám se sundanou kapucí (pohled ze zadu).

