

*Studentská tvůrčí a odborná činnost*  
**STOČ 2011**

**STÍNĚNÍ OSOB PŘED NEBEZPEČNÝM  
ELEKTROMAGNETICKÝM ZÁŘENÍM**

**Bc. Aleš DOMITRA**

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
Nad Stráněmi 4511  
760 05 Zlín  
Česká republika

**5. května 2011**  
VŠB Ostrava

**Klíčová slova:** kompozitní materiál, stínící účinnost, vodivé textilie,

**Anotace:** Tento příspěvek se věnuje problematice stínění osob před elektromagnetickým zářením, a to pomocí stíněných obleků. V práci jsou dokumentovány výsledky měření stínící účinnosti pro komerčně dostupný stíněný oblek v pásmu 30 - 3000 MHz. Dále je v tomto pásmu prováděno srovnání naměřené a numericky vypočtené stínící účinnosti pro zjednodušený model člověka (phantom), válcového tvaru. Výsledky numerické simulace byly přitom získány metodou konečných integrací (CST microwave studio) a metodou momentů (program WIPL-D). Měření se skutečným modelem i phantomem prokázalo, že stínící účinnost se v pásmu 1-3 GHz pohybuje od 20 do 30 dB v závislosti na poloze testovacího bodu (rozkrok, hrudník, hlava).

## Obsah

1	Stínící účinnost klasických a kompozitních materiálů.....	3
2	Vybrané typy vodivých textilií .....	3
3	Stínící účinnost modelu člověka (phantomu) .....	4
3.1	Návrh modelu.....	4
3.2	Simulace stínící účinnosti .....	5
3.3	Měření stínící účinnosti.....	6
4	Stínící účinnost obleku ESO 3 Alexander .....	9
5	Závěr .....	10
6	Literatura.....	10

## 1 Stínící účinnost 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.

Hlavním důvodem využití kompozitu u stínění osob před 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:

$$SE = 45 + 20 \cdot \log(d \cdot \sigma) \quad (1)$$

kde  $d$  – tloušťka materiálu

$\sigma$  – elektrická vodivost materiálu

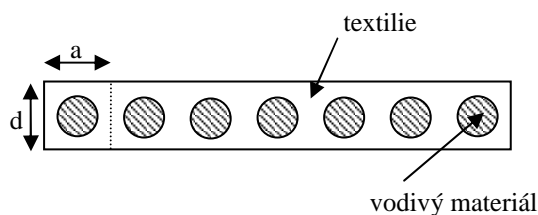
U kompozitu je vzorec (2) shodný s klasickými materiály, avšak je nutno vypočítat elektrickou vodivost pro daný materiál pomocí vzorce (3).

$$SE_z = 45 + 20 \cdot \log(d \cdot \sigma_{ef}) \quad (2)$$

$$\sigma_{ef} = \sigma_z \cdot V_f \quad (3)$$

V tomto výrazu značí  $V_f$  objemovou koncentraci (4), ta nám udává poměr objemu vodivého materiálu  $V_v$  k celkovému objemu  $V_c$ . Tento poměr lze vypočítat pro periodicky se opakující buňku kompozitu (Obr. 1).

$$V_f = \frac{V_v}{V_c} \quad (4)$$



Obr.1: Řez kompozitním materiálem

## 2 Vybrané typy vodivých textilií

Na našem trhu se nachází několik typu vodivých textilií. Tyto textilie jsou kompozity vyrobeny například zapředením vodivých vláken z mědi, stříbra, uhlíkových vláken atd. do polyamidu, bavlny, polyesteru, polyesteru atd. (nevodivé materiály).

Podle způsobu zapředení se pak textilie rozlišují na:

- mřížka
- proužek
- melír



Obr.2: 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 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.

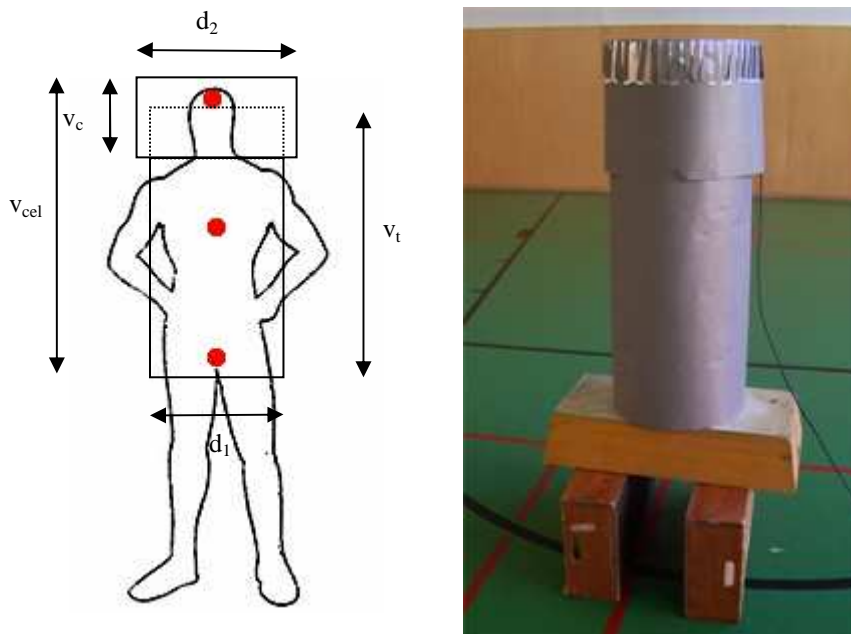
### 3 Stínící účinnost modelu člověka (phantomu)

#### 3.1 Návrh modelu

Pro stavbu modelu phantomu člověka byla zakoupena netkaná textilie (polyamid) potažená mědí a cínem s názvem PBN-II 1.3-Cu-Sn 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
- Teplotní rozsah: -30 °C až 90 °C

U návrhu byla snaha dodržet velikost průměrného člověka, kdy počítáme s šířkou ramen 50 cm, hloubkou hrudi 20 cm a výškou od rozkroku po temeno hlavy 105 cm. Výsledný phantom byl vytvořen jako válec o rozměrech (Obr. 3)  $v_{cel} = 105$  cm,  $v_c = 35$  cm,  $v_t = 100$  cm,  $d_1 = 40$  cm a  $d_2 = 42$  cm, kde se z důvodů zjednodušení výroby byl zachován přibližný objem a výška. Mezi hlavním tubusem a cylindrem byla ponechána štěrbina 1 cm široká po celém obvodu.



Obr.3: Rozměry phantomu oproti člověku a phantom

Spoje jednotlivých kusů tkaniny byly provedeny samolepící hliníkovou páskou, pro zajištění dobré vodivosti v přechodech a přesahy byly o velikosti 10 cm.

### 3.2 Simulace stínící účinnosti

Pro simulaci stínící účinnosti phantomu byly využity programy WIPL-D a CST microwave studio, kde byl vymodelován phantom o daných rozměrech (Obr. 3) a ve výšce 50 cm od spodního okraje modelu byl měřený bod. Vzdálenost vysílací antény a měřeného bodu ( $R = 7,35$  m) byla vypočtena podle vztahu pro Frauhofferovu vzdálenost (5) při frekvenci 1 GHz.

$$R_{FAR} = \frac{2D^2}{\frac{c}{f}} = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (5)$$

V programu WIPL-D jsem 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 (6).

$$SE_z = 20 \cdot \log \frac{I_{2REF}}{I_{2LOAD}} \quad SE_y = 20 \cdot \log \frac{I_{2REF}}{I_{2LOAD}} \quad SE_x = 20 \cdot \log \frac{I_{2REF}}{I_{2LOAD}} \quad (6)$$

Poté následujícími vzorci (7) jsem vypočetl intenzitu elektrického pole jednotlivých směrů antény.

$$E_z = 10^{\frac{-SE_z}{20}} \quad E_y = 10^{\frac{-SE_y}{20}} \quad E_x = 10^{\frac{-SE_x}{20}} \quad (7)$$

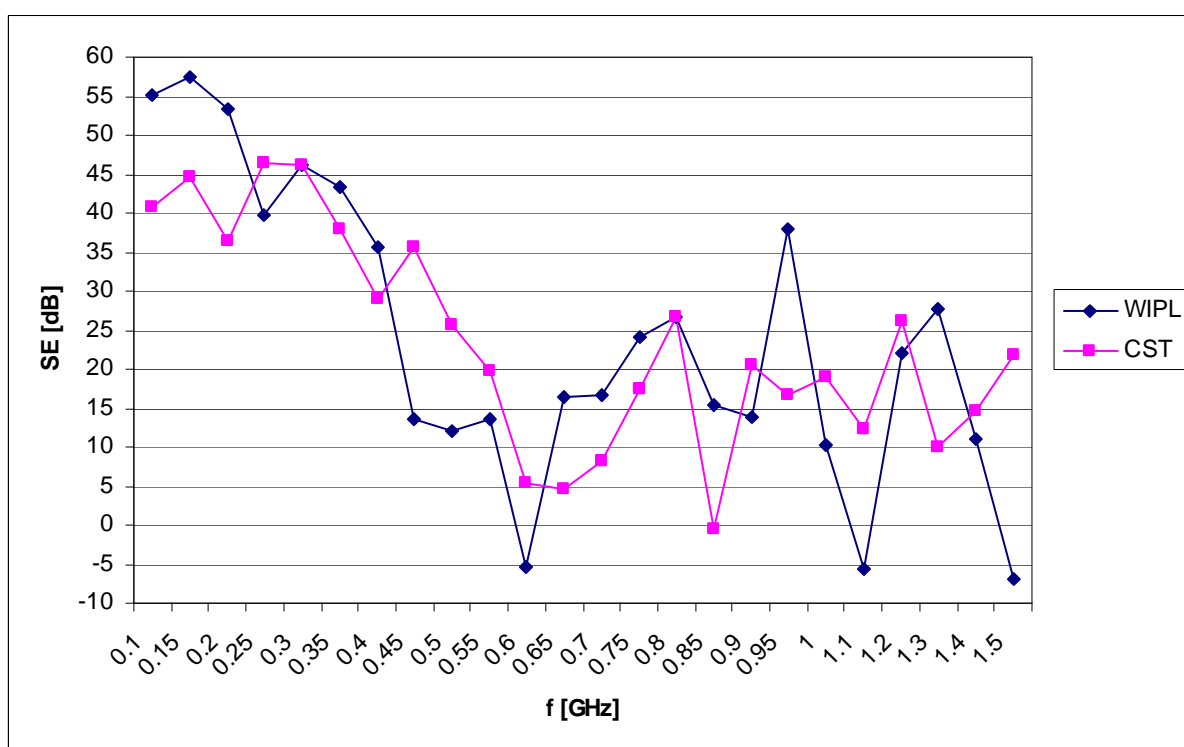
Na závěr jsem vypočetl celkovou intenzitu elektrického pole podle vzorce (8) a z ní vzorcem (9) výslednou stínící účinnost v měřeném bodě.

$$E_{sum} = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \quad (8)$$

$$SE_{cel} = -20 \cdot \log(E_{sum}) \quad (9)$$

Porovnání grafů výsledných hodnot simulovaných v obou programech lze vidět na Obr. 4.

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.

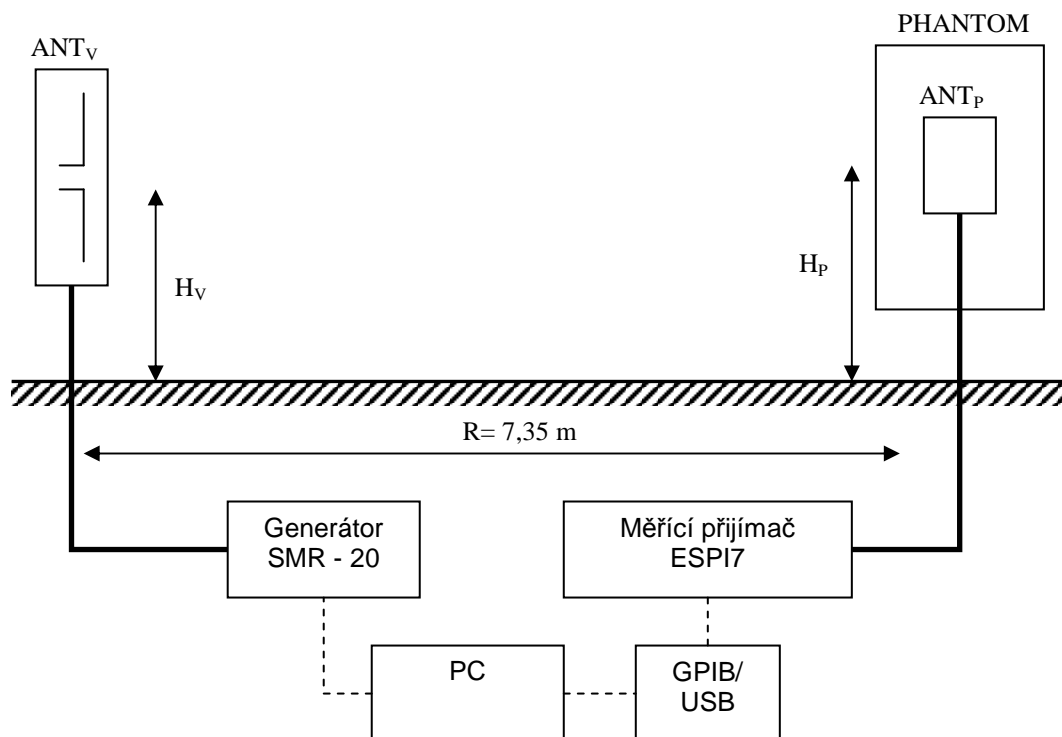


Obr.4: Graf závislosti stínící účinnosti na frekvenci v simulačních programech WIPL-D a CST microwave studio

### 3.3 Měření stínící účinnosti

Měření se uskutečnilo v tělocvičně v budově Fakulty aplikované informatiky ve Zlíně. K získání hodnot stínící účinnosti bylo použito uspořádání uvedené v Obr. 4., 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.



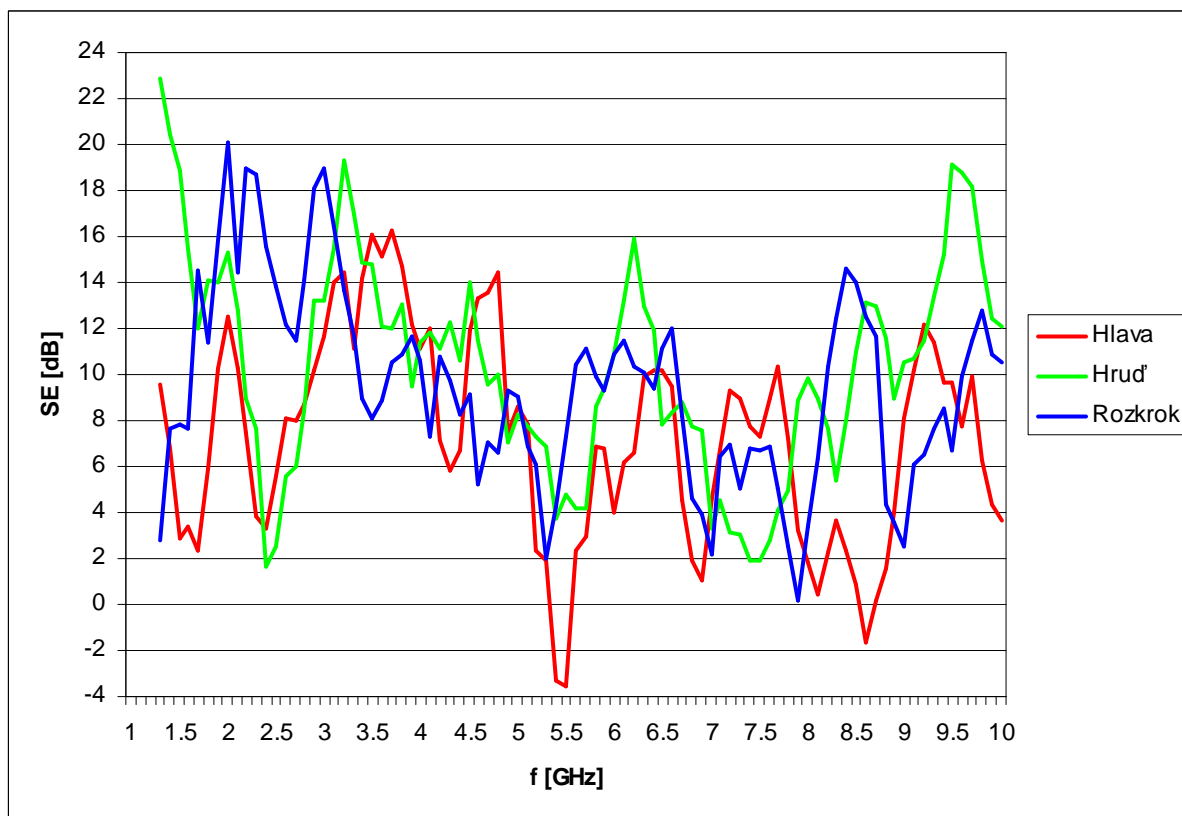
Obr.4: Zapojení měřicích zařízení pro měření stínící účinnosti

Anténa byla uchycena ve výšce  $H_V = 1$  m od země a phantom byl umístěn na podstavci o velikosti 52 cm. Měřicí body byly tři, pro zjištění stínící účinnosti v rozkroku, na hrudi a hlavě (Obr. 3)( Tab. 1).

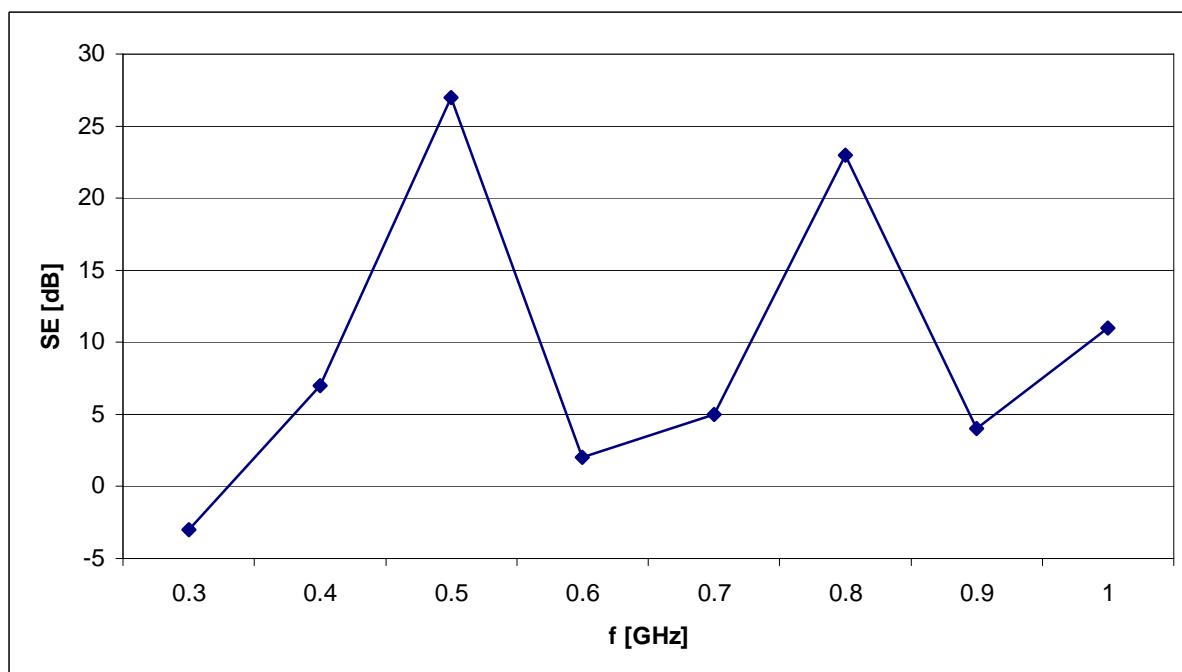
MĚŘENÝ BOD	VÝŠKA OD ZEMĚ
Rozkrok	62 cm
Hrud'	127 cm
Hlava	147 cm

Tab.1: Tabulka umístění sondy

Výsledky měření pro všechny 3 body jsou zobrazeny v grafu níže (Obr. 5) a následujícím grafu (Obr. 6) je zobrazena stínící účinnost při nižších frekvencích v bodě hlava, jelikož zde má největší vliv šterbina mezi tubusem a cylindrem.



Obr.5: Graf závislosti stínící účinnosti na frekvenci v měřených bodech



Obr.6: Graf závislosti stínící účinnosti na frekvenci v bodě hlava



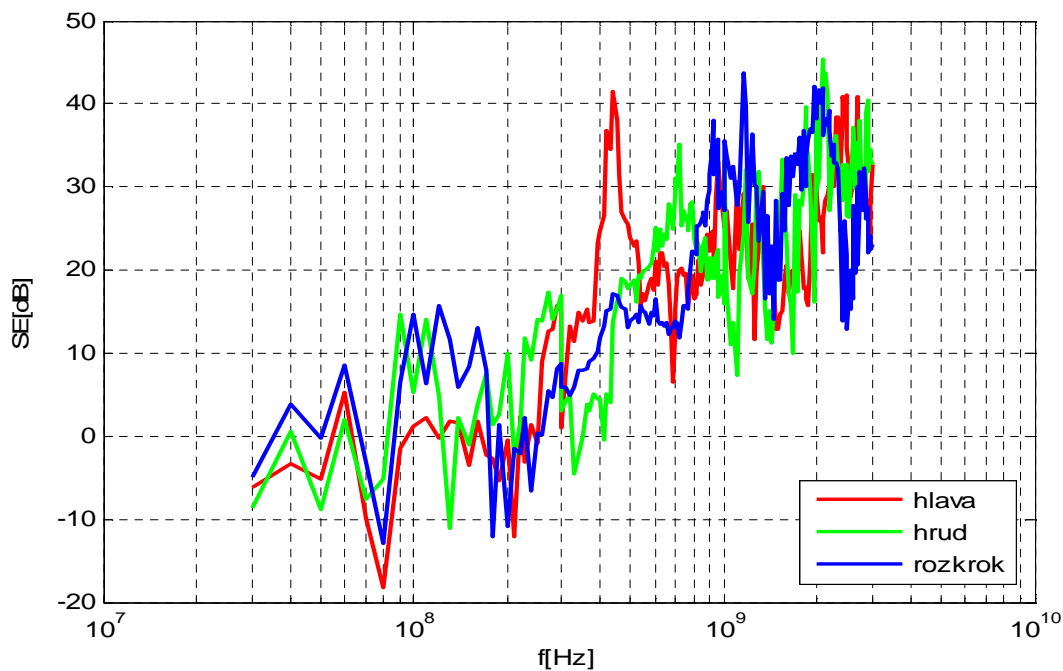
#### 4 Stínící účinnost obleku ESO 3 Alexander

Měření probíhalo totožně jako u phantomu s tím rozdílem, že byl použit generátor SM300. Rozsah měření byl 30 – 3000 MHz a pro měření byly použity 3 antény (trychtýřová, logaritmicko-periodická a bikonická) a 2 sondy (kulového a tyčového provedení).



Obr.7: Graf závislosti stínící účinnosti na frekvenci v bode hlava hrud' a rozkrok

V následujícím grafu (Obr. 8) jsou uvedeny výsledné hodnoty měření.



Obr.8: Graf závislosti stínící účinnosti na frekvenci v bode hlava hrud' a rozkrok

## **5 Závěr**

Z 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 (ESO 3 Alexander), 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 štěrbin, které se mohou při různých frekvencích sčítat a druhým vodivost a kvalita spoje (švu).

## **6 Literatura**

Svačina, J. Elektromagnetická kompatibilita. VUT Brno 2001

Tong, X. C.: Advanced Materials and Design for Electromagnetic Interference Shielding. CRC Press, Boca Raton 2009

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.