

SVS FEM

**33/Ansys
KONFERENCE**

Difrakce vln na tělesech – experimenty, simulace, aplikace

Jsme experti v oblasti simulací

**Petr Svoboda, Tibor Bachorec
SVS FEM s.r.o.**

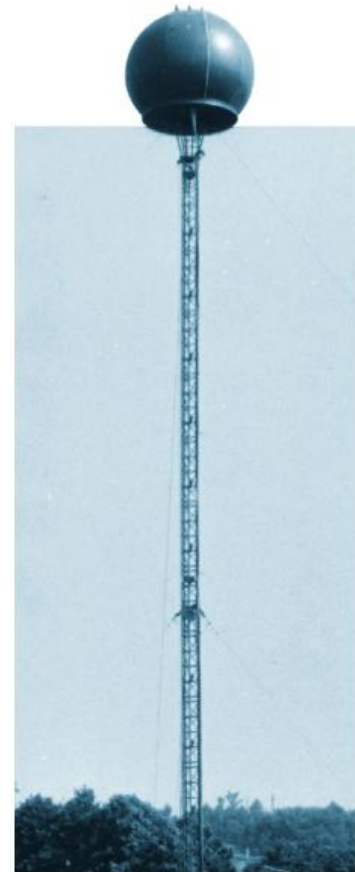
— Pohled do historie pasivních sledovacích systémů



Ing. Petr Svoboda: Genialita docenta **Pecha** a jeho kolektivu spočívala v tom, že s tehdejší „**elektronkovou**“ technologií (1960) a bez klasického počítače dokázali před šedesáti lety nalézt a realizovat technické řešení, navíc na výhradně československé součástkové základně, a přesného měření času na **100** nanosekund.



Centrální stanice PRP-1 Kopáč

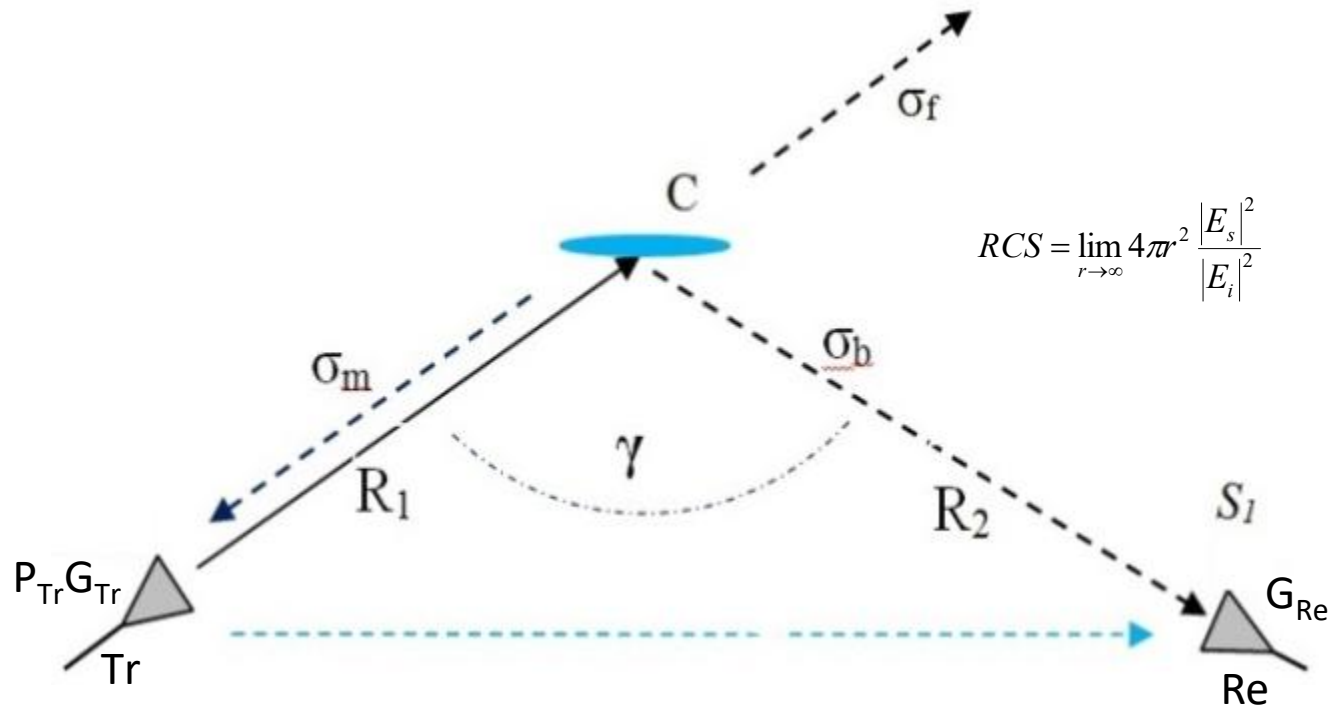


RAMONA – anténní
jednotka
na stožáru 25 m

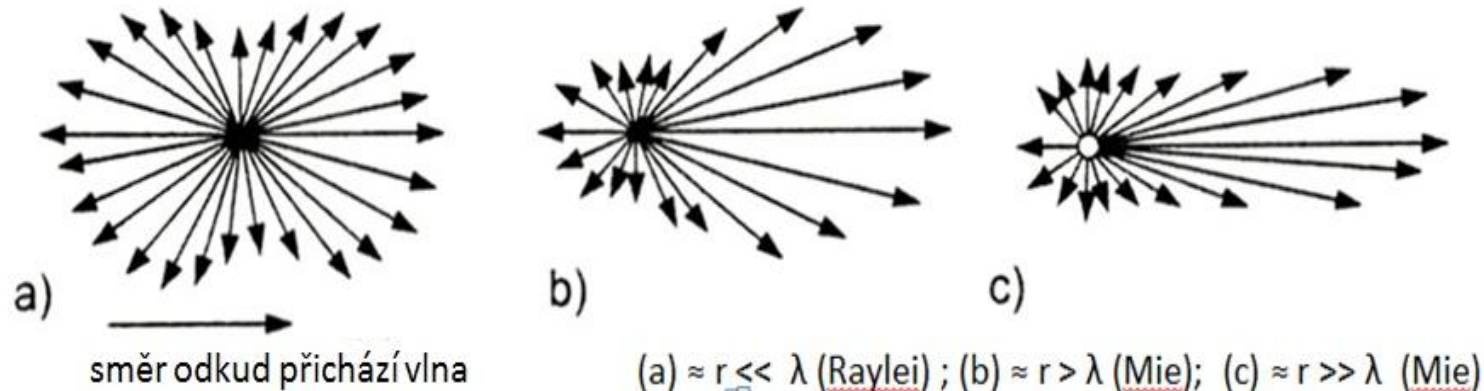


TAMARA - antény na teleskopu
ve výšce 25 m

— Základní konfigurace sestavy pro analýzu odrazné plochy

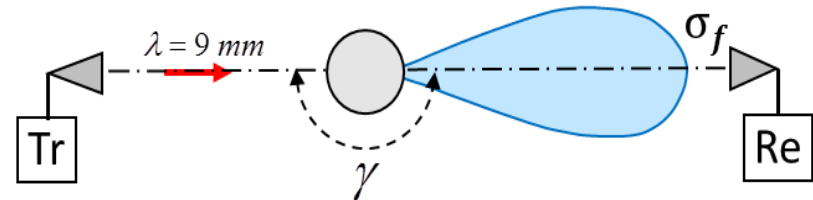


Pro $\gamma = 0^\circ$ jde o **monostatickou** odraznou plochu $RCS = \sigma_m$
 Pokud je $(0 < \gamma < 180)^\circ$ hovoříme o **bistatické** odrazné ploše $RCS = \sigma_b$,
 Příklad, kdy $\gamma = 180^\circ$ vyjadřuje tzv. **dopřednou** (forward) „odraznou“
 plochu cíle FW $RCS = \sigma_f$



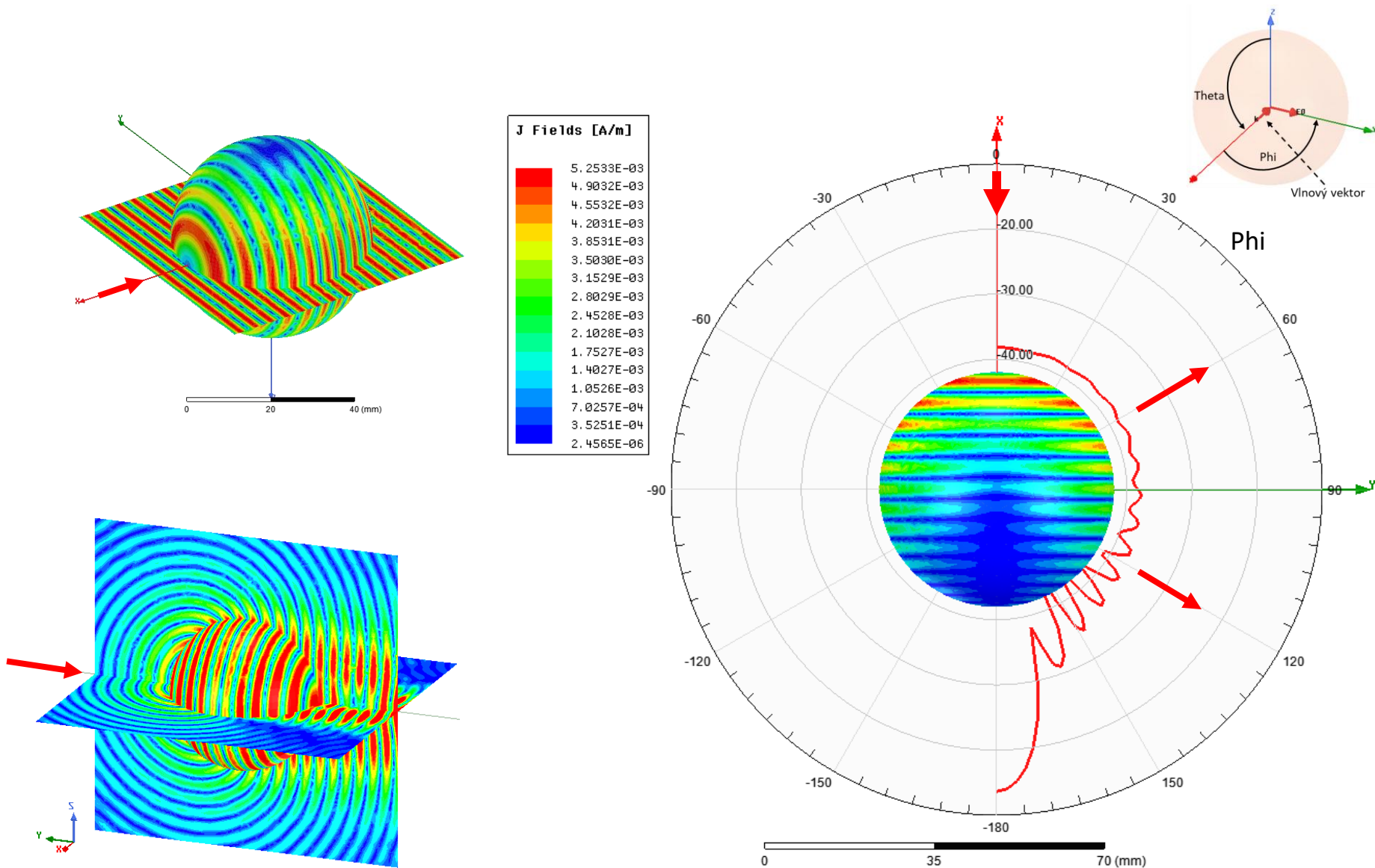
- První měření zveřejnil Mie již v r.1908 (obr.-a,b,c - dle Pechač.P, Zvánovec St.-ISBN 978-80-7300-223-7)
- Bistatická odrazná plocha byla v praxi radiolokace využívána již ve třicátých letech minulého století. *Nové technické poznatky však později umožnily snadnější rozvoj monostatické radiolokace.*
- U cílů s konstrukčně sníženou RCS nebo u malorozměrných cílů, např. dronů vzniká, při ozařování monostatickými RL z čelní polosféry, problém s detekcí.
- Problém s detekcí (zjištěním cíle) představuje vážná bezpečnostní rizika **pro letový provoz, vojenské aplikace i jiné oblasti využití.**
- Výhody bistatické / multistatické radiolokace jsou nyní důvodem opětovného návratu této technologie do praxe.

- Zvláštní pozornost představuje dopředná odrazná plocha
- $RCS = \sigma_f = 4\pi (A / \lambda)^2$, kde A - je plocha siluety řezu tělesem v rovině kolmé na osu ozařování.

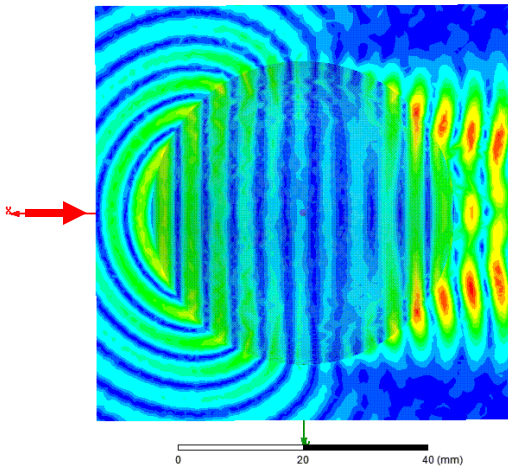
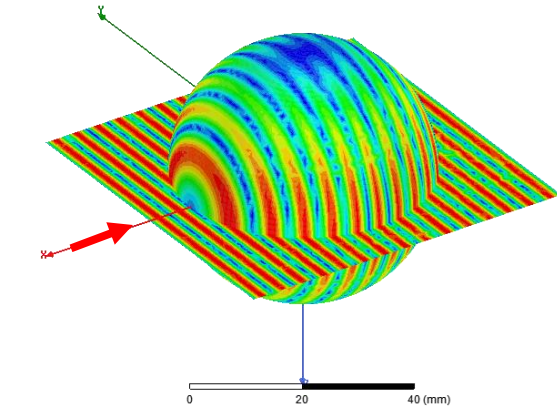


- Pro praxi je důležité, že velikost dopředné RCS je **nezávislá** na druhu materiálu (kov/dielektrikum) ozařovaného tělesa.
- Pro experimentální ověření dopředné, resp. bistatické RCS bylo zvoleno kmitočtové pásmo kolem **33 GHz**.
- Lehce splnitelná podmínka ozařování těles ve vzdálené zóně vysílací antény.
- Technická proveditelnost v relativně malé bezodrazové komoře.
- Konstrukce přijímací části umožňovala vícekanálovou detekci.

Simulace bistatické odrazní plochy, „full wave“ formulace



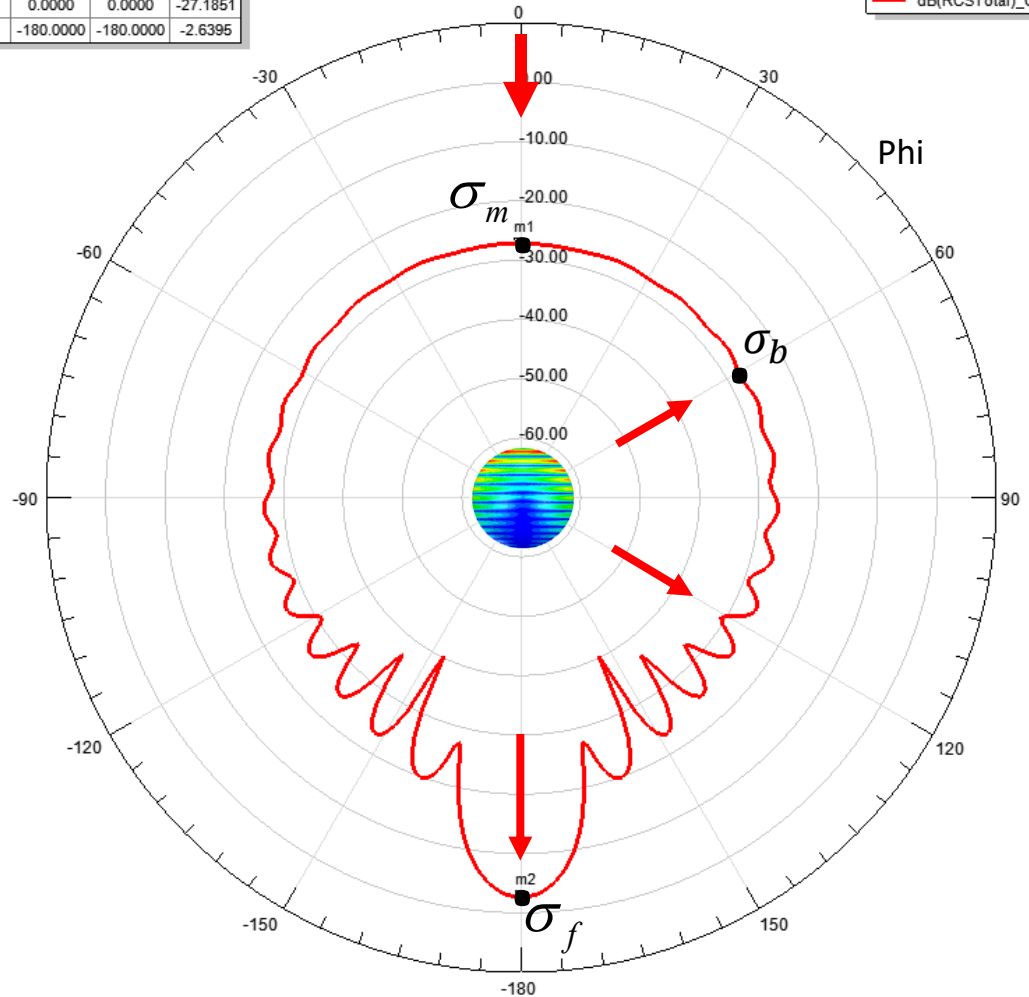
Simulace bistatické odrazní plochy, „full wave“ formulace



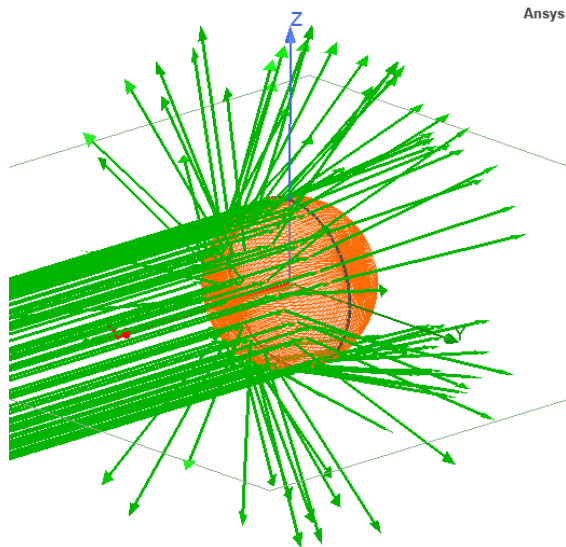
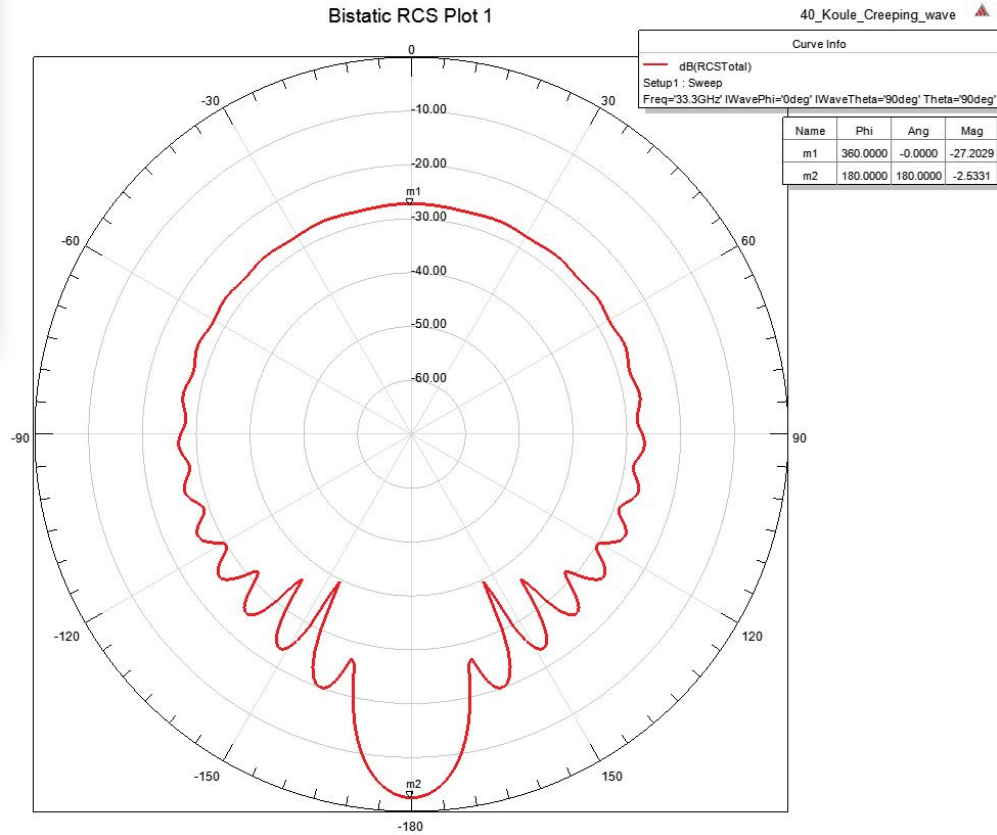
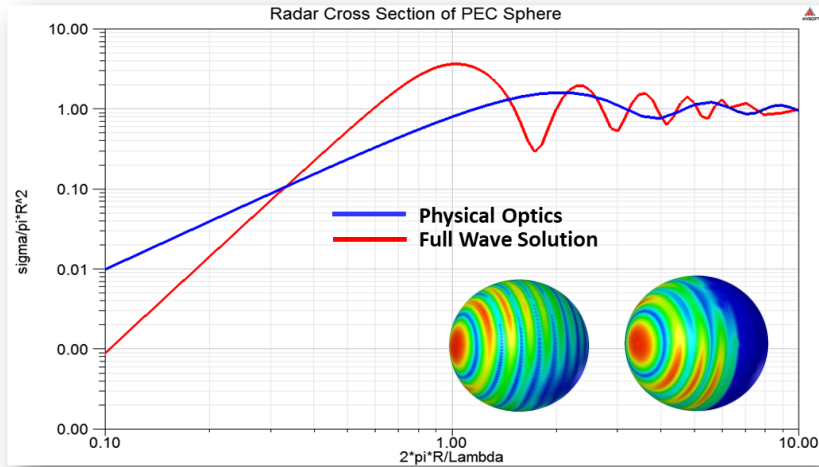
Name	Phi	Ang	Mag
m1	0.0000	0.0000	-27.1851
m2	-180.0000	-180.0000	-2.6395

Bistatic RCS - Kovova koule D49 mm

Curve Info
 — dB(RCSTotal)_Cu_IE_D49

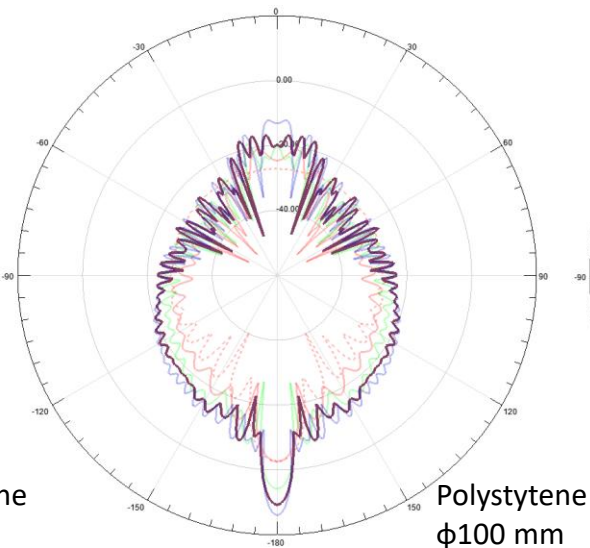
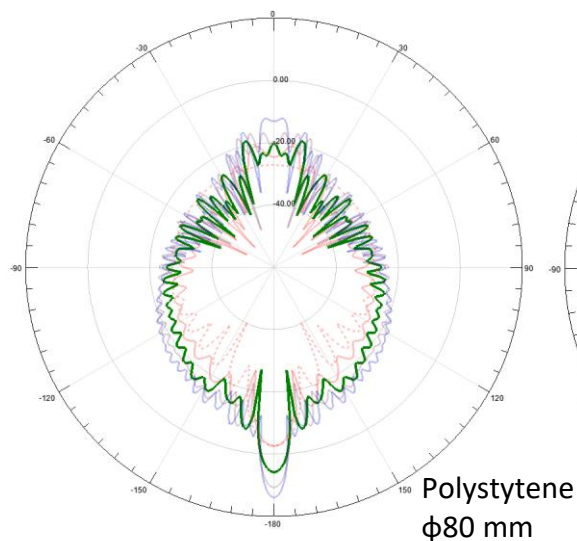
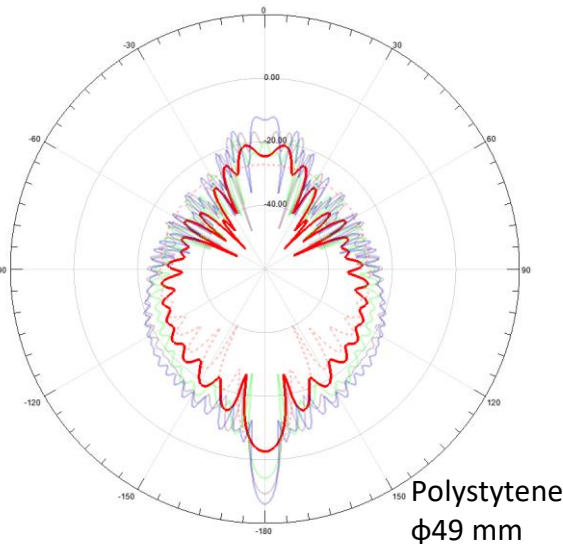
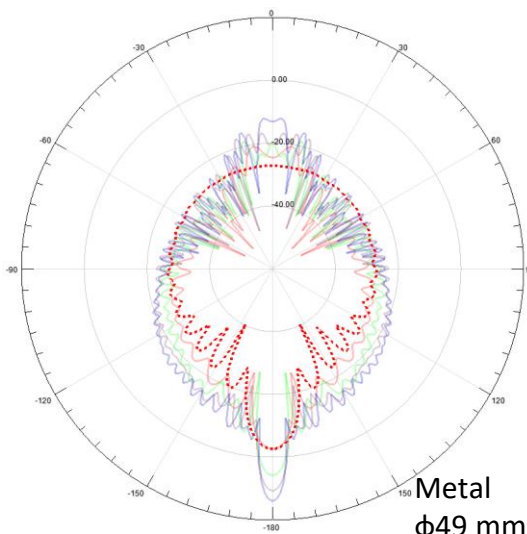


Simulace bistatické odrazní plochy, asymptotická formulace

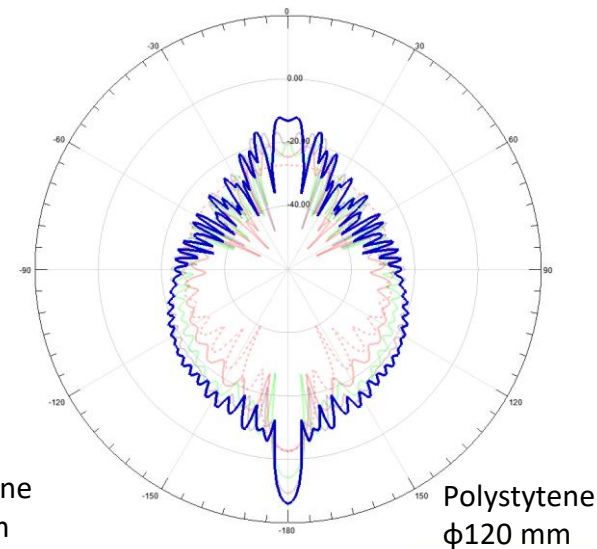


Porovnání bistatických odrazných ploch koulí $\phi 49$ až 120 mm

040_Diel_D80_100_IE_Opti

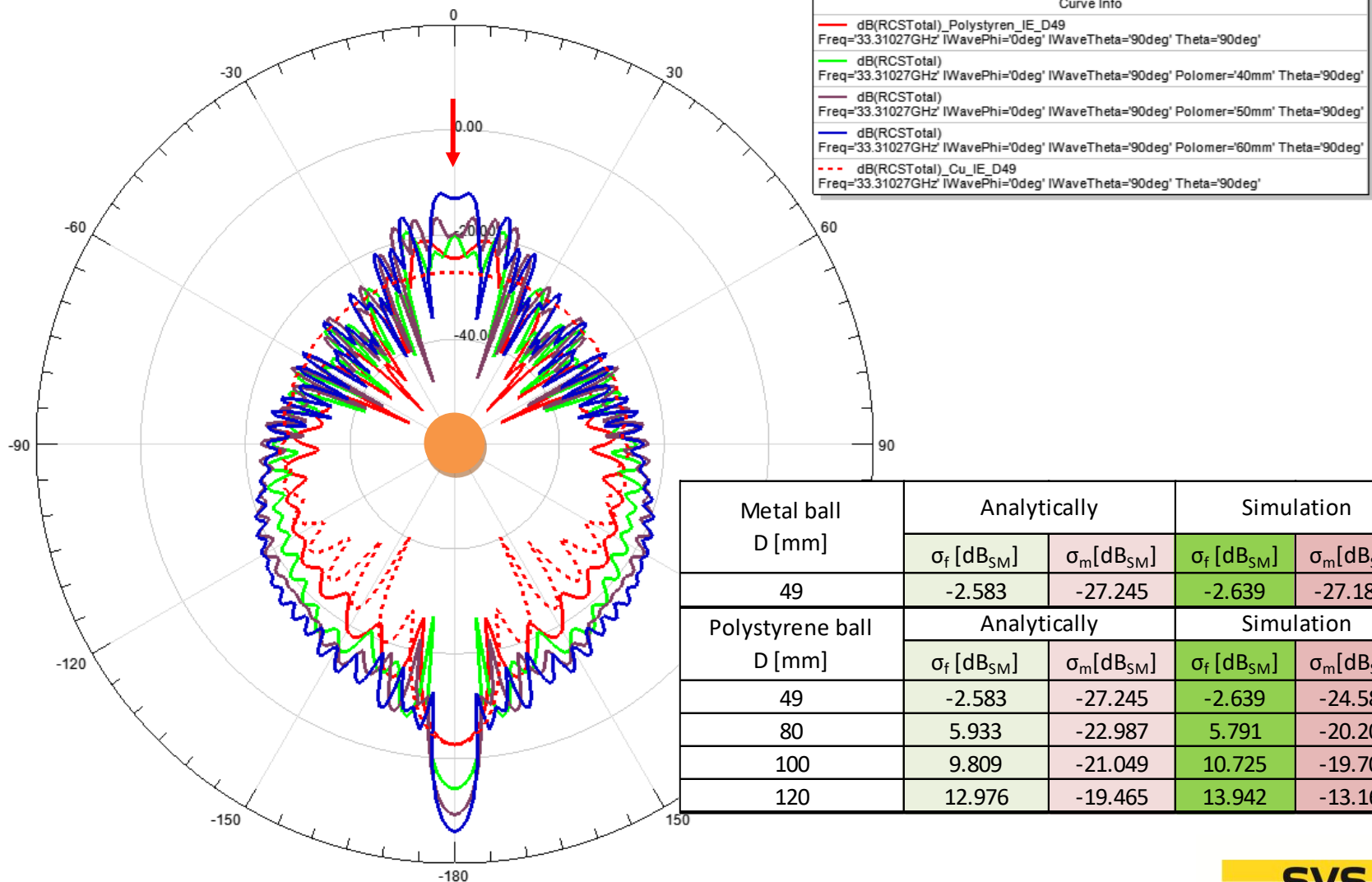


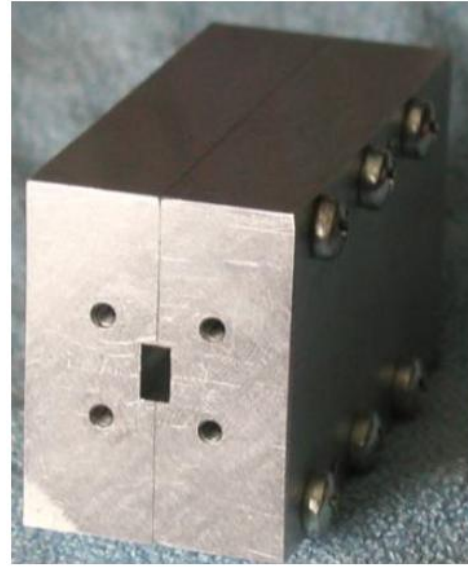
Curve Info	
—	dB(RCSTotal)_Polystyren_IE_D49 Freq='33.31027GHz' IWavePhi='0deg' IWaveTheta='90deg' Theta='90deg'
—	dB(RCSTotal) Freq='33.31027GHz' IWavePhi='0deg' IWaveTheta='90deg' Polomer='40mm' Theta='90deg'
—	dB(RCSTotal) Freq='33.31027GHz' IWavePhi='0deg' IWaveTheta='90deg' Polomer='50mm' Theta='90deg'
—	dB(RCSTotal) Freq='33.31027GHz' IWavePhi='0deg' IWaveTheta='90deg' Polomer='60mm' Theta='90deg'
- - -	dB(RCSTotal)_Cu_IE_D49 Freq='33.31027GHz' IWavePhi='0deg' IWaveTheta='90deg' Theta='90deg'



Porovnání bistatických odrazných ploch koulí $\phi 49$ až 120 mm

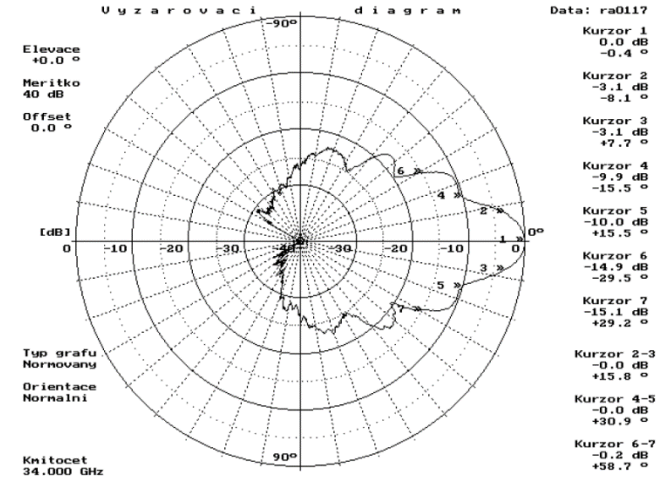
Bistatic RCS - Kovova a polystyrenove koule D49 - 120 mm



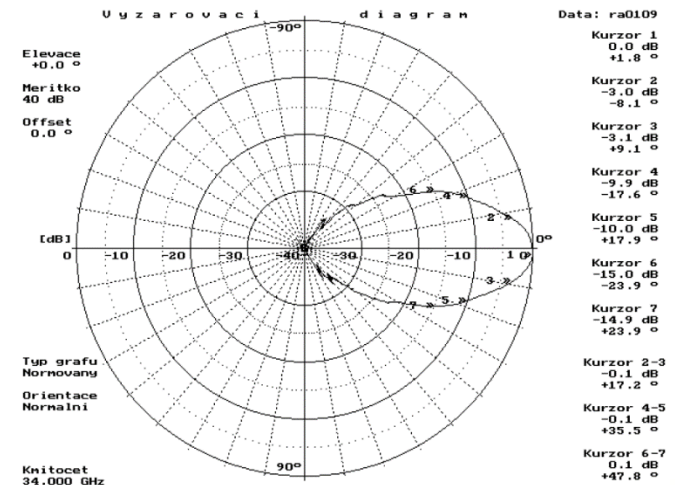


- Anténa trychtýřová 20 dB pro pásmo 8 mm
- Napájení trychtýře je řešeno vlnovodem R320
- Apertura v ústí trychtýře má rozměry:
 $D_H = 42 \text{ mm}$, $D_E = 30 \text{ mm}$
- Vzdálená zóna antény je $R_{vz} = 2 D^2/\lambda = 44 \text{ cm}$

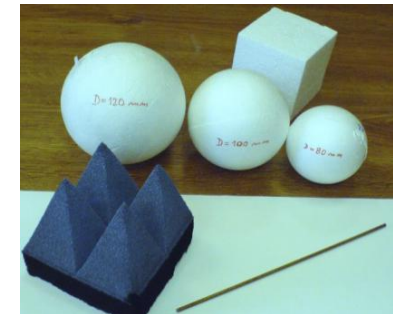
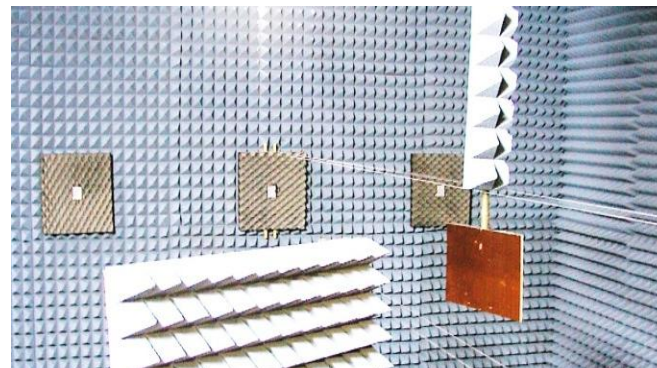
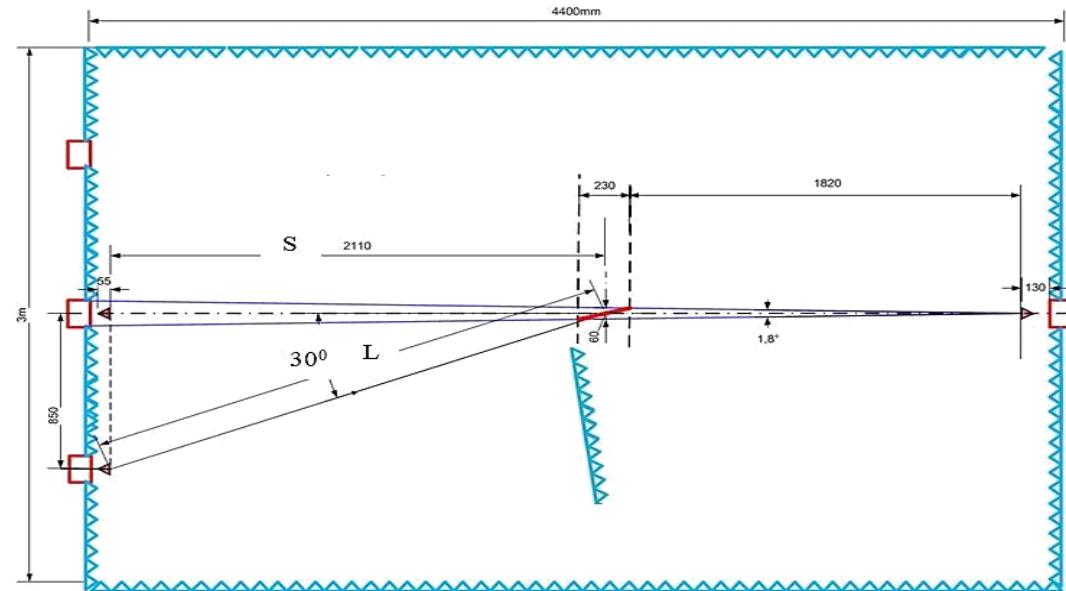
Rovina E, 34 GHz

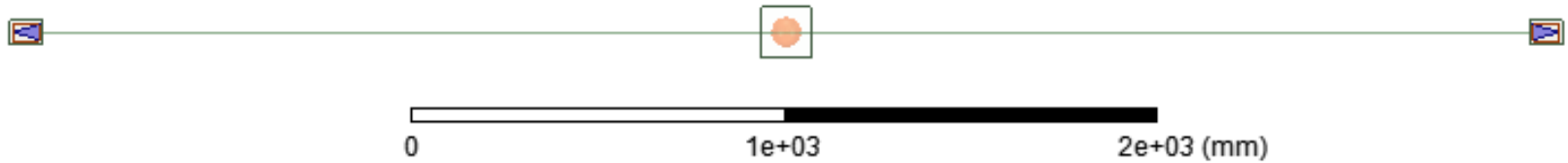
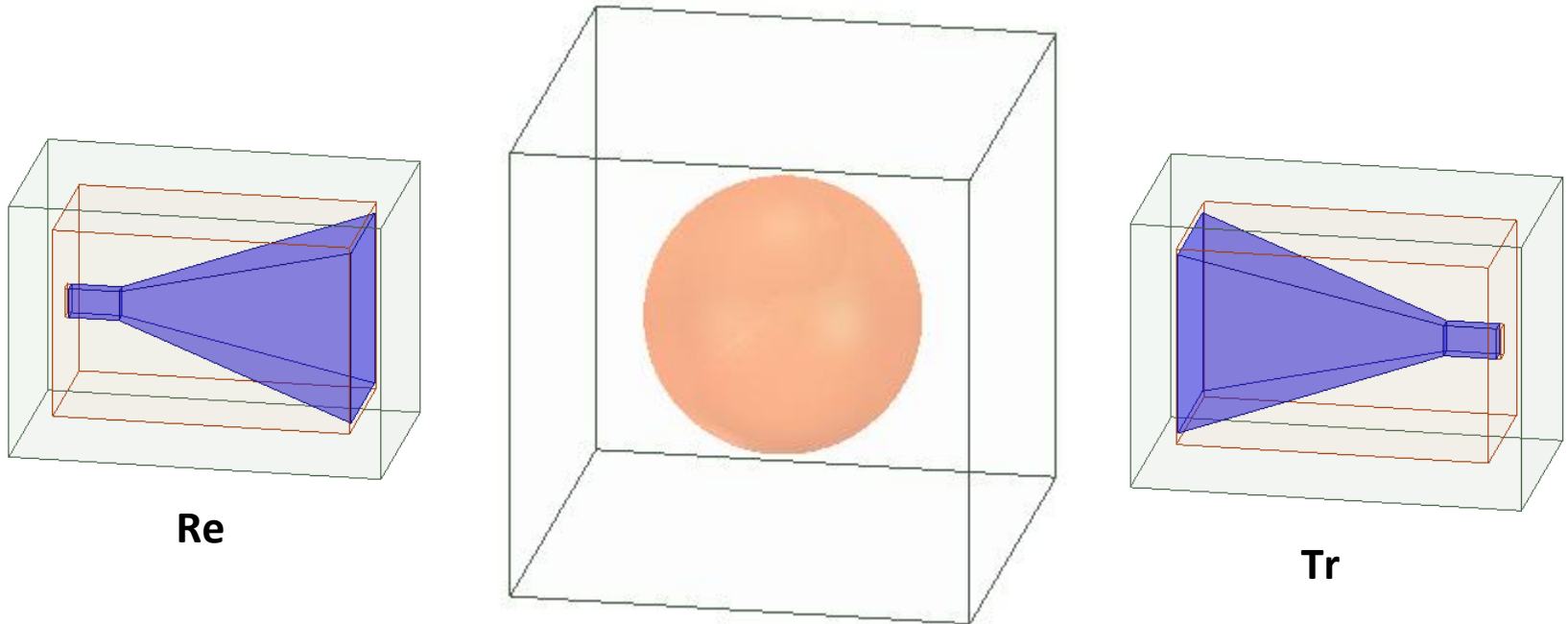


Rovina H, 34 GHz

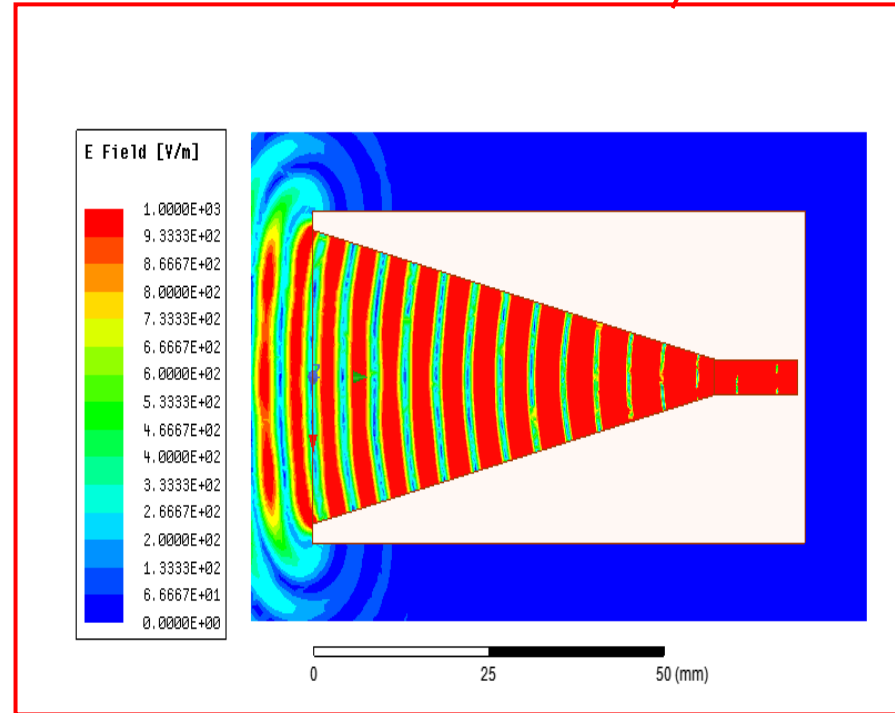
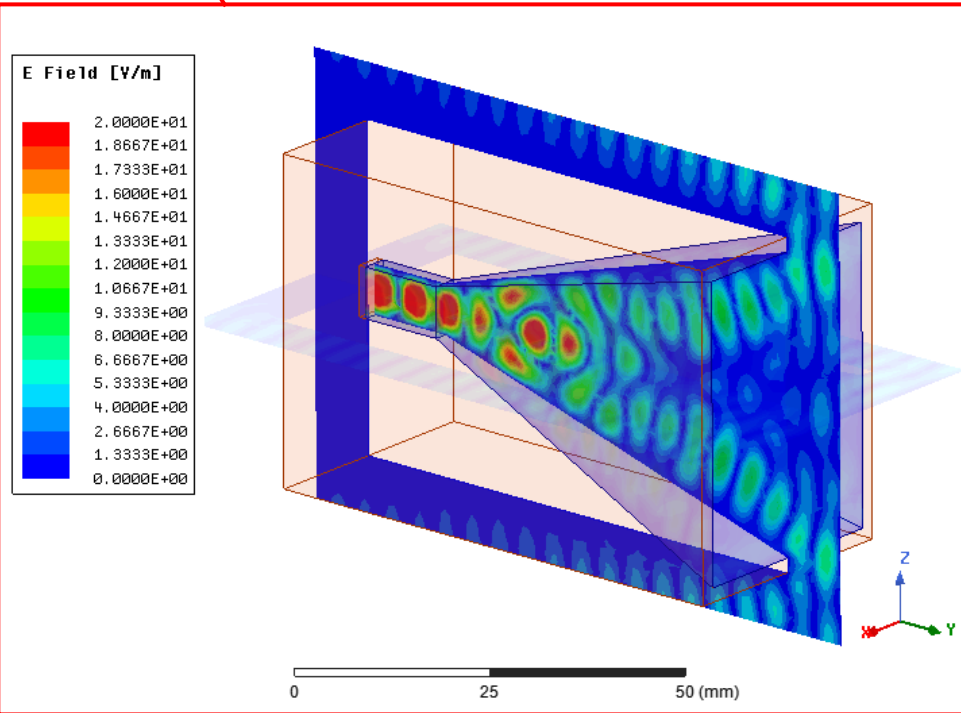
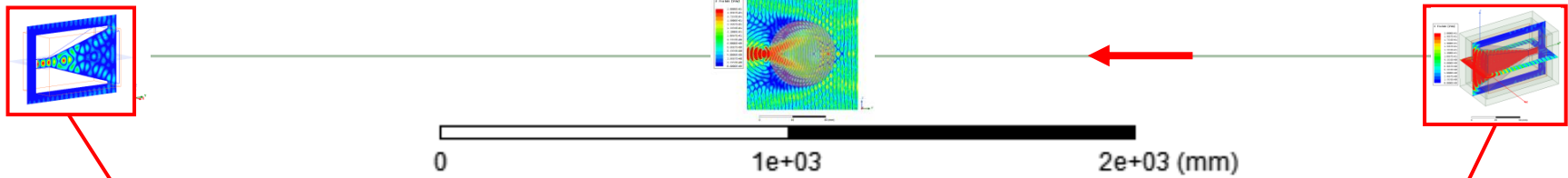


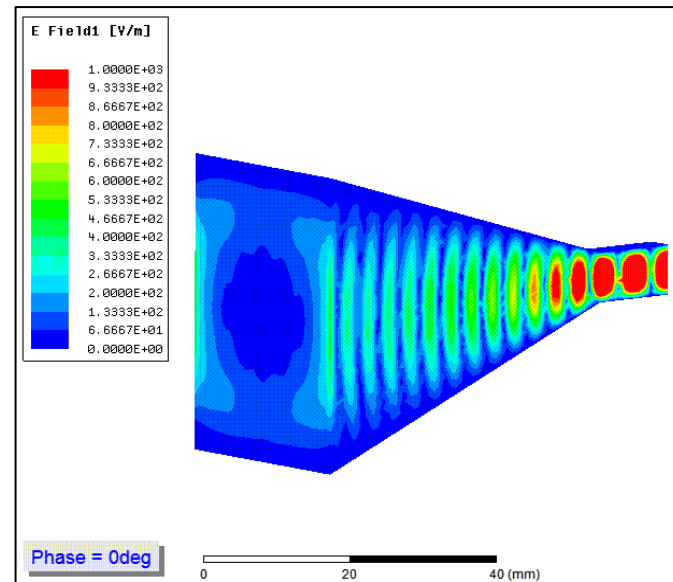
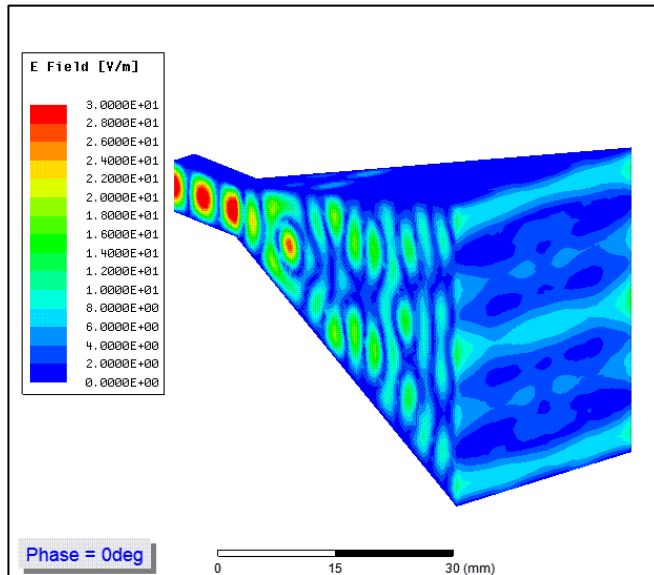
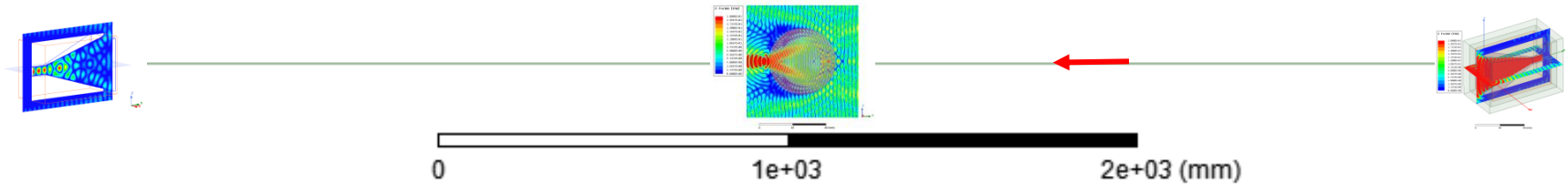
- Měření v komoře 4.4 x 3.0 m
- Ozařovací signál má výkon +19 dBmW na přírubě antény.
- Trychtýře jsou užším rozměrem v rovině půdorysu – polarizace je horizontální
- Přijímaný signál 33 GHz byl konvertován na 1090 MHz a pak měřen spektrálním analyzátozem.
- Výsledky přijímaného výkonu jsou rozdílem mezi stavem bez tělesa a s tělesem:
 - +3,5 dB pro kouli $\phi 120$ mm
 - +3,0 dB pro kouli $\phi 100$ mm
 - +2,5 dB pro kouli $\phi 80$ mm



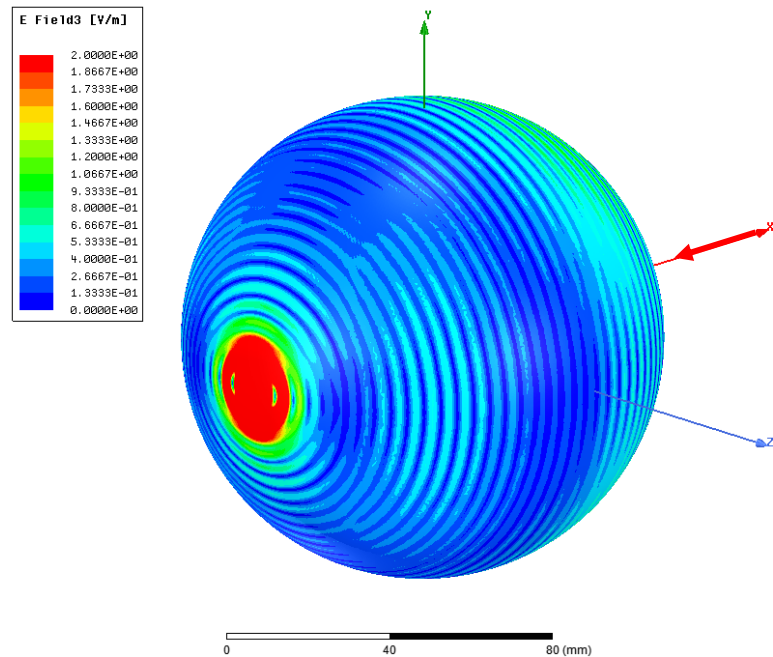
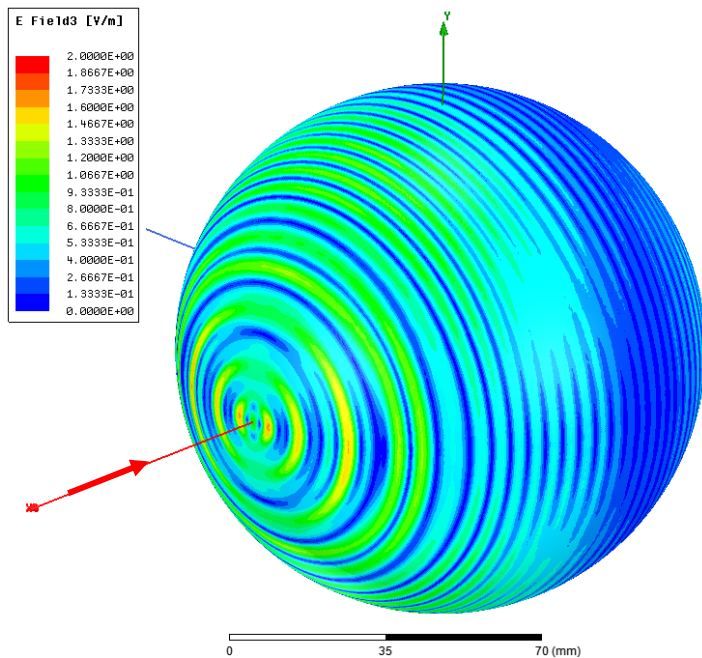
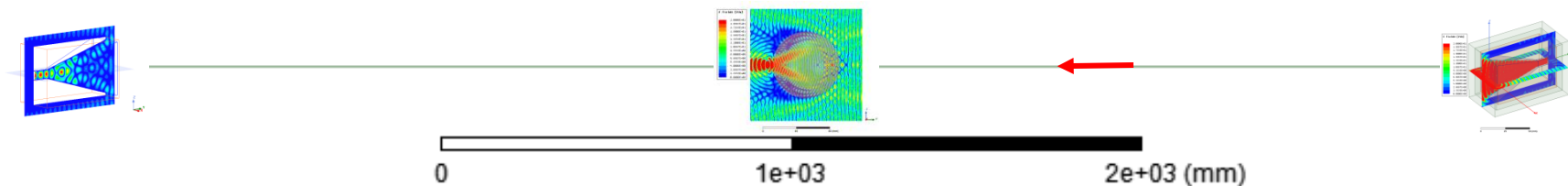


Numerická simulace experimentu FE-BI formulace



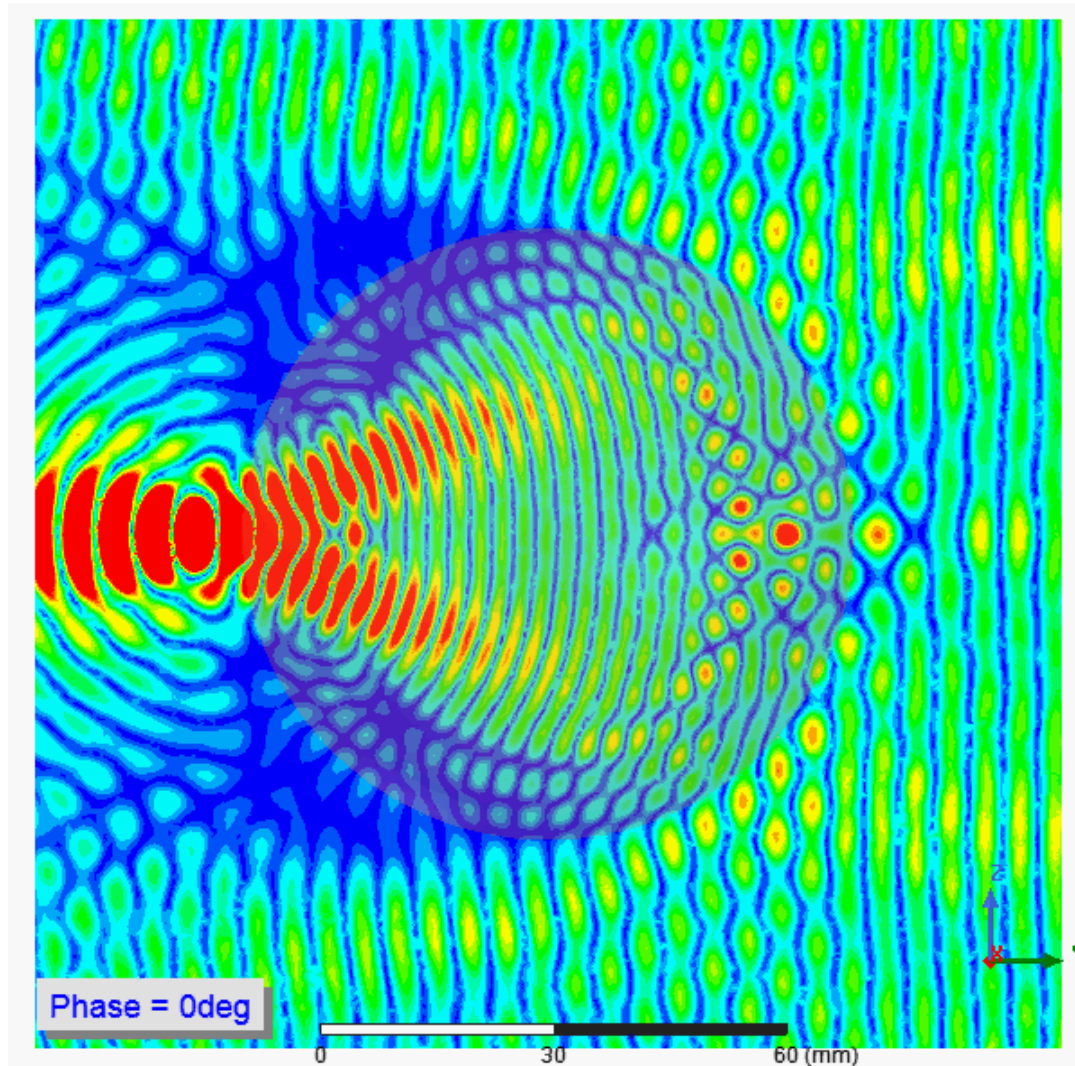
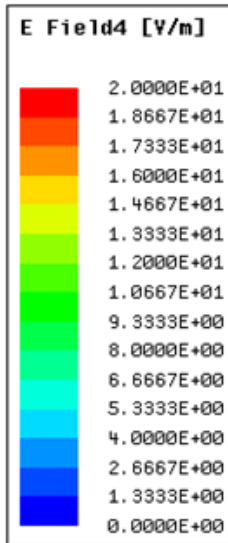


Intenzita elektrického pole na povrchu polystyrénové koule



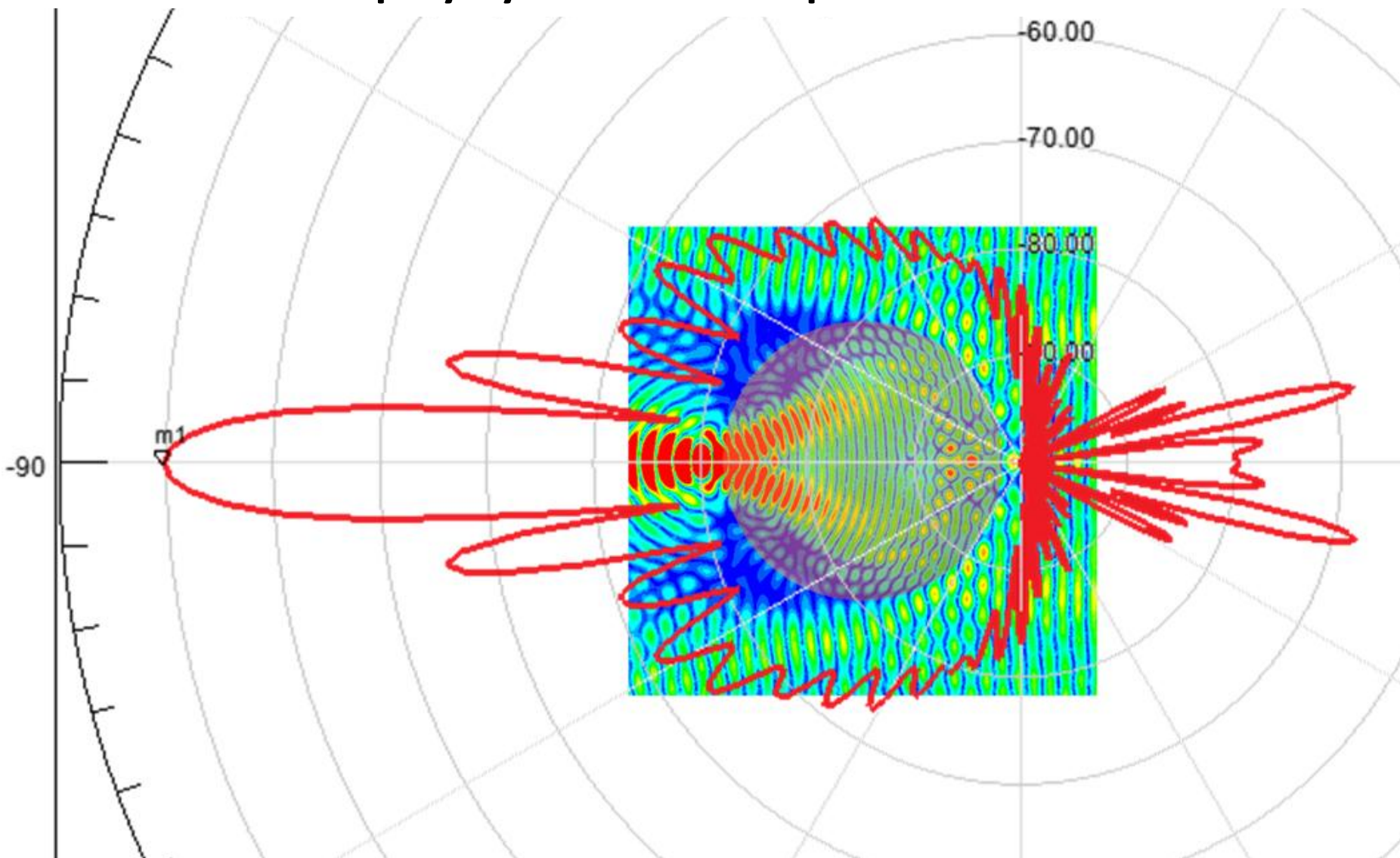


Animace intenzity elektrického pole v řezu a okolí polystyrénové koule $\phi 80\text{mm}$

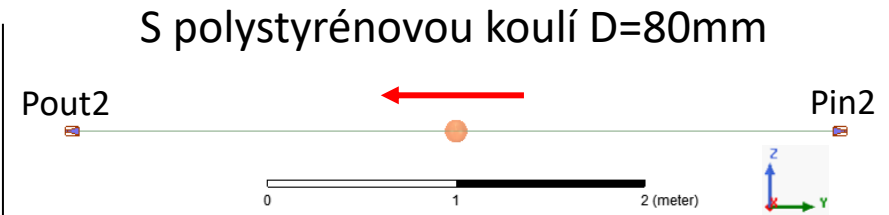
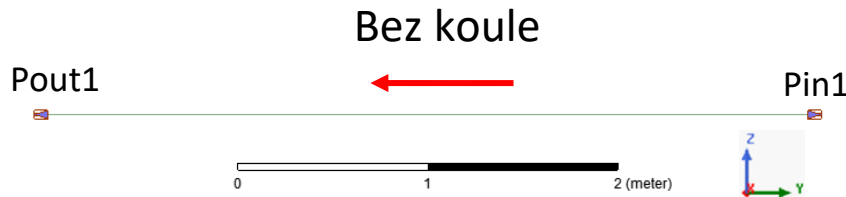




Vyzařovací diagram hustoty výkonu polystyrénové koule $\phi 80\text{mm}$



Vyhodnocení simulace přenosu energie

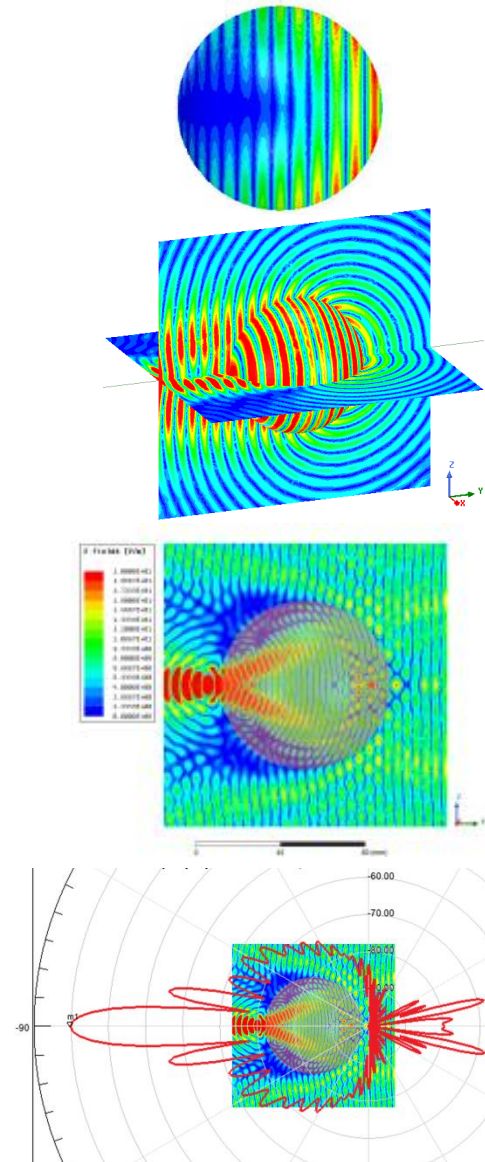


		Polyst. 80 mm
Vzduch (z ¶)	Pin1 [W] =	7.9355E-02
	Pout1 [W] =	6.1760E-06
	S_{21_air} [dB] =	-41.14
Polystyrén (z ¶)	Pin2 [W] =	7.9354E-02
	Pout2 [W] =	1.1259E-05
	S_{21_polyst} [dB] =	-38.53
Poměr vyzářených výkonů	Pin1/Pin2 =	1.000018
Polystyrén/Vzduch z ¶	$10\log(Pout2/Pout1)$ [dB]=	2.607917
Přenos vzduch z ¶	$10\log(Pout1/Pin1)$ [dB]=	-41.0887
Přenos s koulí z ¶	$10\log(Pout2/Pin2)$ [dB]=	-38.4807
	Rozdíl přenosu z ¶ [dB]=	2.6080
	Rozdíl přenosu z S_{21} [dB]=	2.6100

Pro polystyrénovou kouli D=80mm byl experimentálně zjištěn rozdíl **+2.5 dB**

Stručný souhrn k difrakci

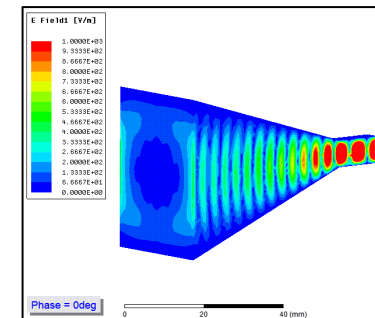
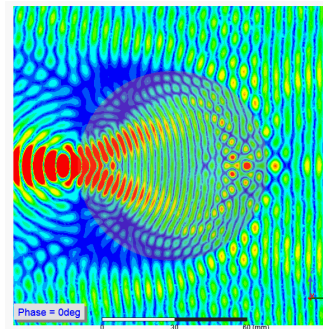
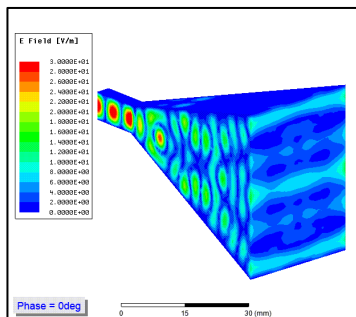
- Pole za tělesem se bude utvářet podle zákonů fyzikální (vlnové) optiky, jejímž základem je Huygensův princip (vznik množiny nových bodů záření na okrajích tělesa nebo štěrbin, které ve vzdálené zóně vytvoří opět souvislé pole).
- Zisku VF pole za tělesem nastává pro rozměry tělesa $D > (5 \text{ až } 10) \lambda$
- U kovových těles dochází při ozáření k zatečení proudů na odvrácenou stranu a vybuzení sekundárního pole, které soustřeďuje energii.
- Dielektrická tělesa se při ozáření polarizují v celém svém objemu a budou na odvrácené straně soustřeďovat pole podobně jako tělesa kovová.
- Těleso můžeme považovat za sekundární anténu, která vykazuje zisk (soustředění pole) v dopředném směru.
- Zisk této „sekundární antény“ je dán plochou řezu tělesem (v rovině kolmé na směr šíření vlny) tedy siluetou řezu, která tvoří aperturu sekundární antény. Tvar dopředného svazku bude určen rozměry řezu (siluety) v příslušných úhlech.



— Difrakce vln na tělesech - experimenty, simulace, aplikace

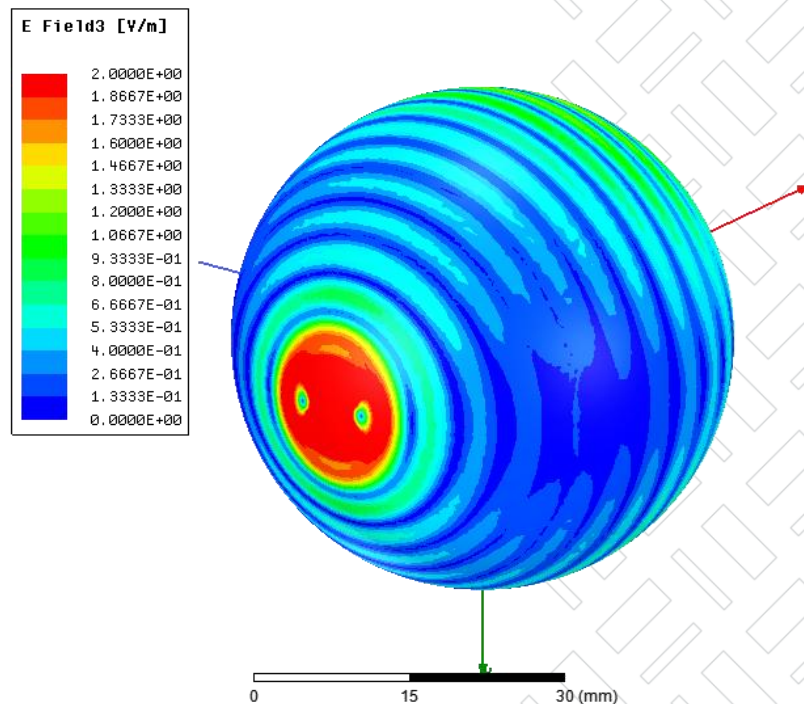
Závěry

- Kombinace experimentů, analytických vztahů a SW simulace vykazují velmi dobrou shodu. Správnost výsledků je tímto objektivně zajištěna.
- Vlnová délka $\lambda \approx 8$ mm (použitá pro ozařování těles) umožnila realizovat experimenty v malé laboratorní bezodrazové komoře, minimalizace nákladů a snadná opakovatelnost experimentů.
- Pro praxi a uživatele lze obdobnou SW simulací analyzovat difrakční jevy na mnohem větších vzdálenostech než umožňují laboratorní měření. Kombinace s experimentem může tvořit užitečný prostředek k vyloučení omylů v analýze daných jevů.
- Dopředný rozptyl vln je realitou, která má zřejmý uživatelský potenciál pro detekci malorozměrných objektů.



Děkujeme za pozornost
a zůstaňme ve spojení ...

33 Ansys
KONFERENCE



www.svsfem.cz