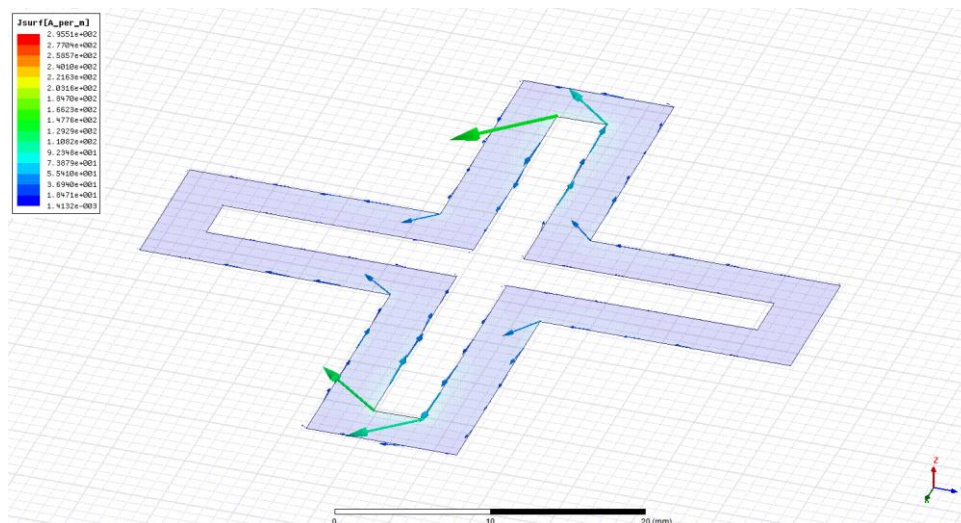




Inštitut za celulozo in papir
Pulp and paper Institute

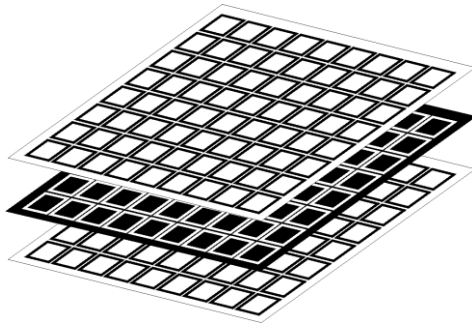
META – PAPIR, PAPIR ZA ELEKTROMAGNETNO ZAŠČITO

matija.mraovic@icp-lj.si

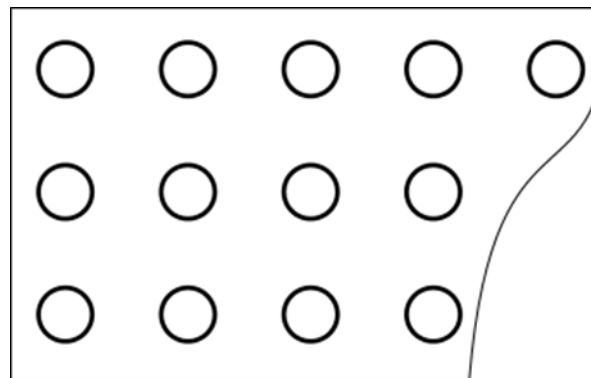


Meta-papir

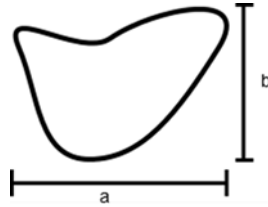
- Frekvenčno selektivni zaslon (angl. frequency selective screen)
- Filter za elektromagnetno valovanje
- Interakcija vpadnega valovanja s periodičnimi prevodnimi vzorci na površini zaslona
- Tiskanje (sitotisk) prevodne barve na osnovi srebra



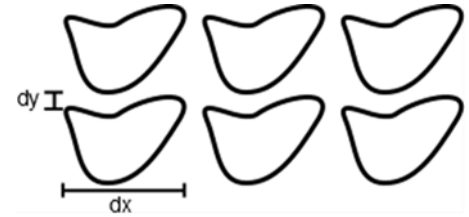
3D



2D - tiskano



Meta-papir

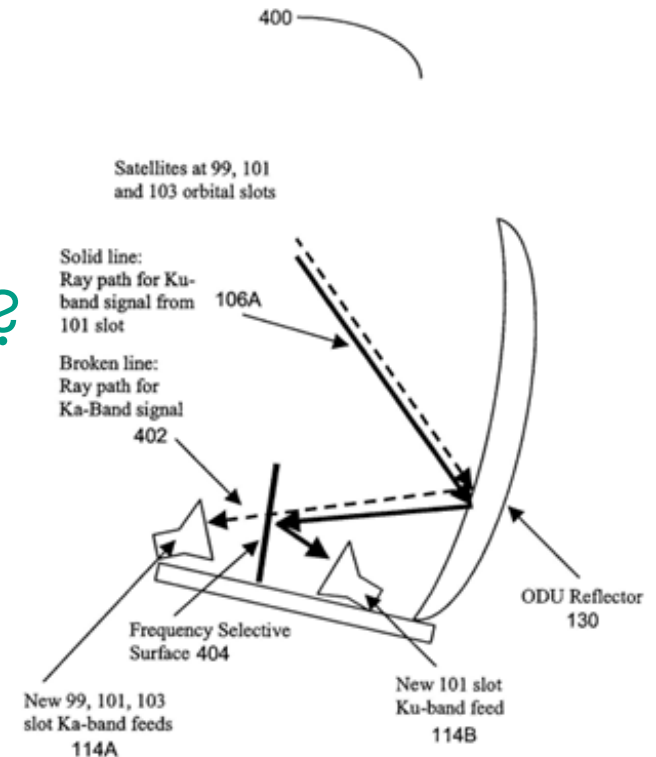


- Meta-papir sestavljajo meta-celice.
- Meta-celice so periodično razporejene po površini papirja.
- Pomembna je dimenzija meta-celic in razmik med celicami v periodični strukturi.
- Pri optimalnem dizajnu meta-celice odreagirajo na elektromagnetno vzbujanje pri določeni(h) frekvenci(ah).
- Dimenzije meta-celice so odvisne od valovne dolžine EM signala (λ).
- „META“ material – s tiskom prevodnih struktur spremenimo osnovne lastnosti materiala.



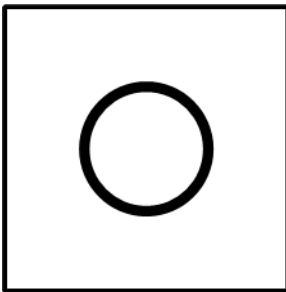
Uporaba

- Reflektorji za določene frekvence elektromagnetnega valovanja (Cassegrain reflectors)
- Ločevanje frekvenc
- Usmerjanje moči antene
- Zaščita pred IR sevanjem?

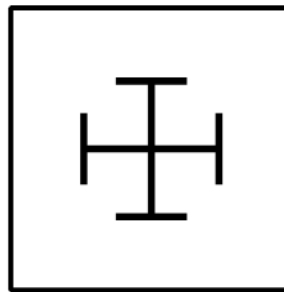


Vzorci (meta-celice)

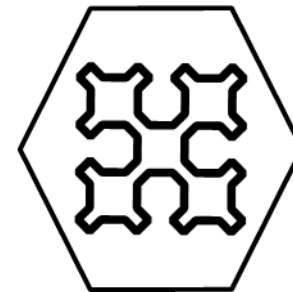
- 3 meta-celice
- Sitotisk
 - Ročno
 - Strojno (pol-avtomatsko)



Obroč



Jeruzalemski križ



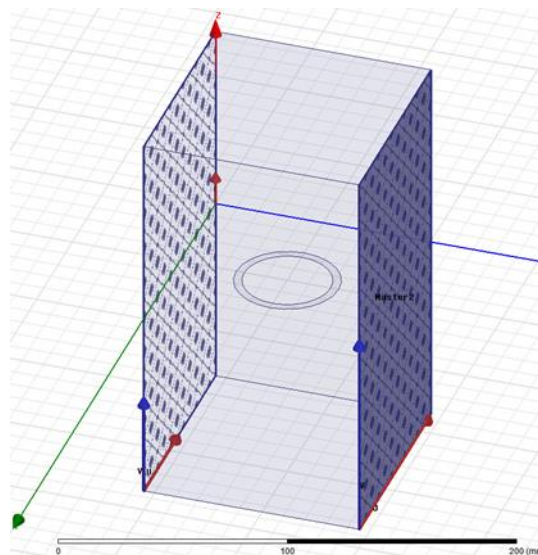
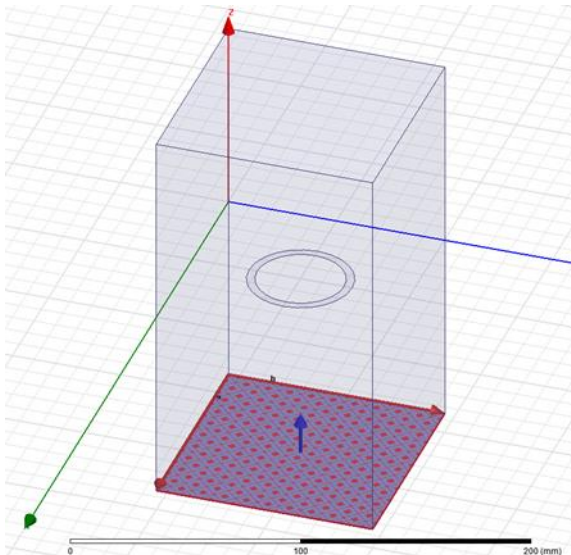
Fraktal

Vzorec	Strojno	Ročno
Jeruzalemski križ	NE	DA
Obroč	DA	DA
Fraktal	DA	NE



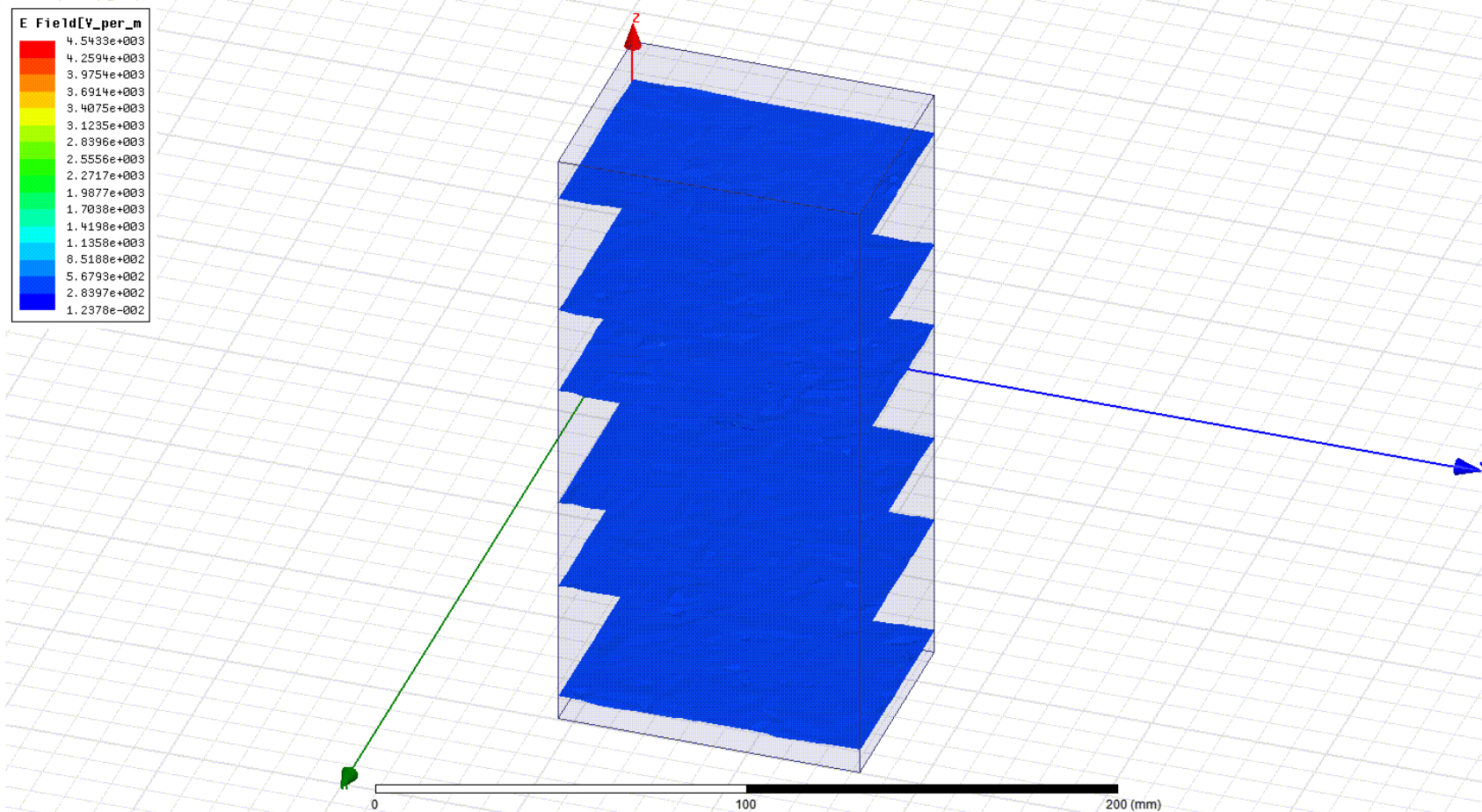
Simulacija – postavitve problema

- Idealni prevodnik
- Neskončno tanke prevodne linije
- Pravokotni valovod
- Periodični robni pogoji
- Konvergenca rešitve OK



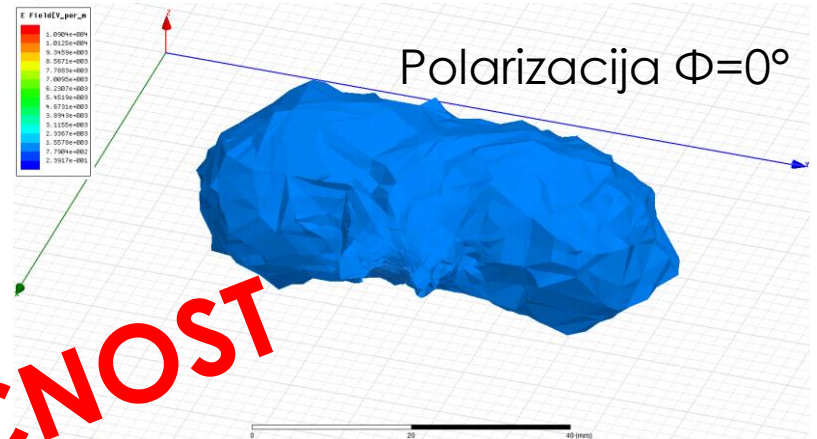
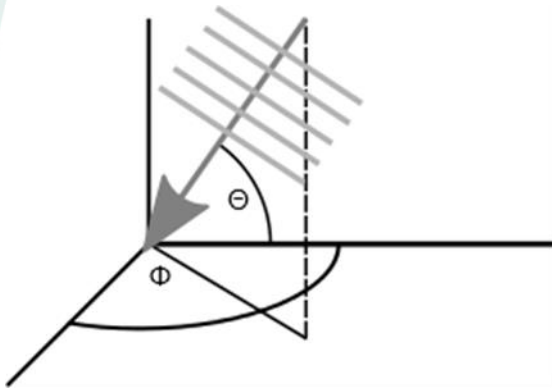


Simulacija

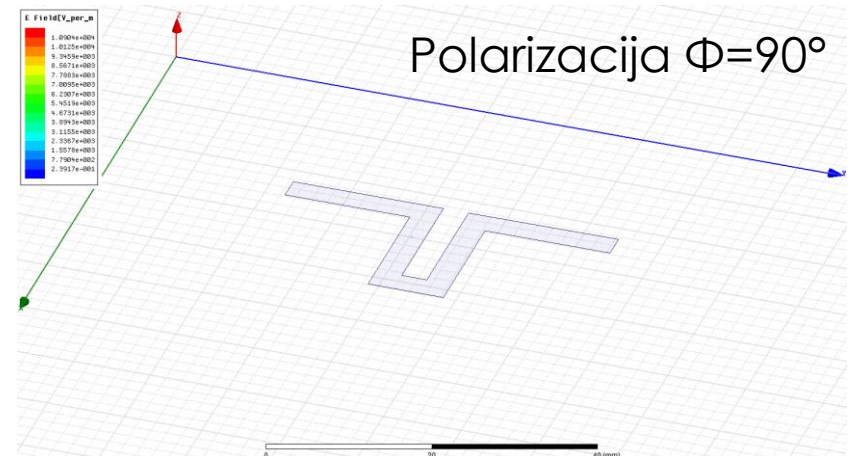
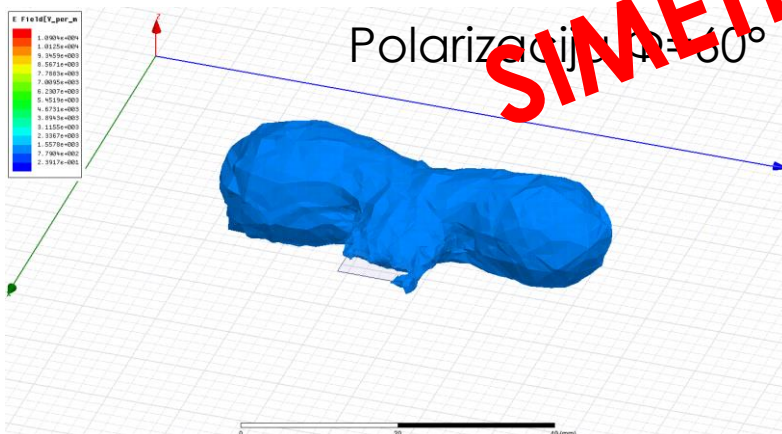


Vpadni vektor

- Odziv meta-papirja je odvisen od vpadnega vektorja EM valovanja.



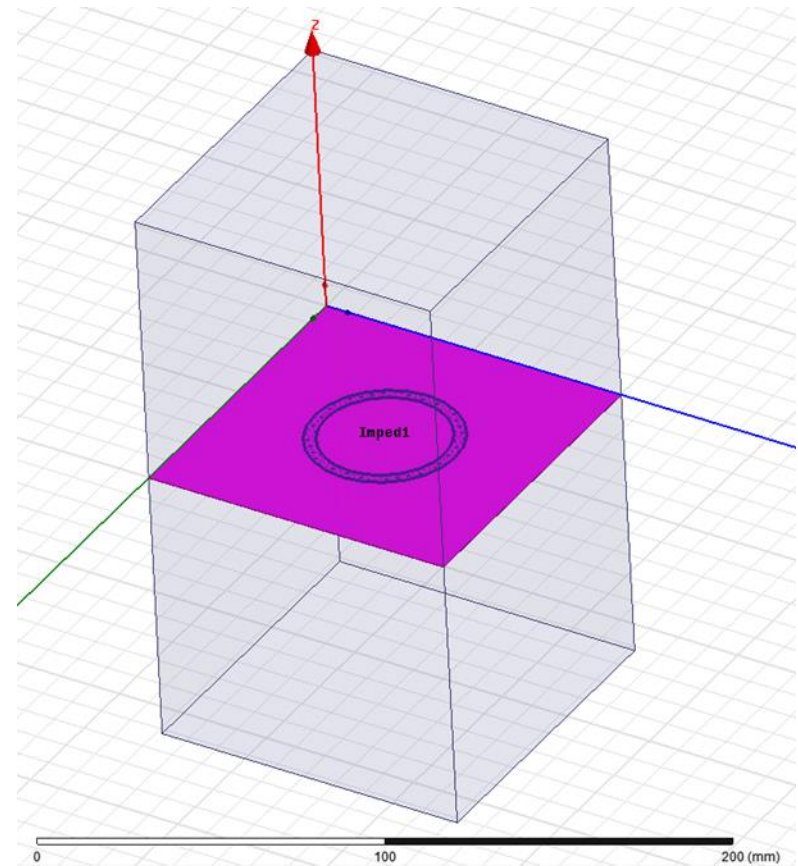
SIMETRIČNOST





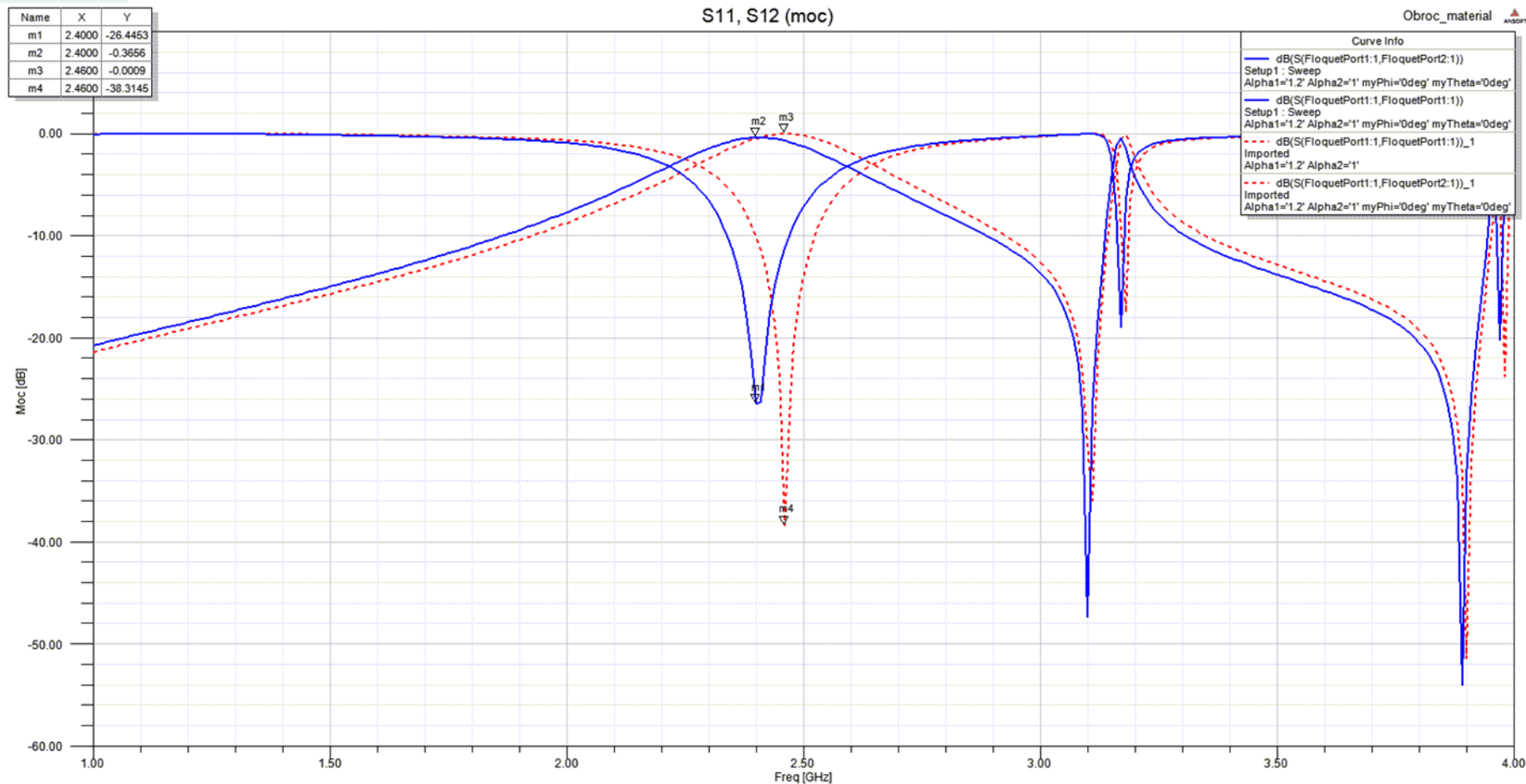
Simulacija - „obroč“ z materialom

- Končna ohmska upornost $100 \text{ m}\Omega/\square$
- Podlaga je najlon
- $D = 10 \text{ }\mu\text{m}$
- $\epsilon_r = 3,2$





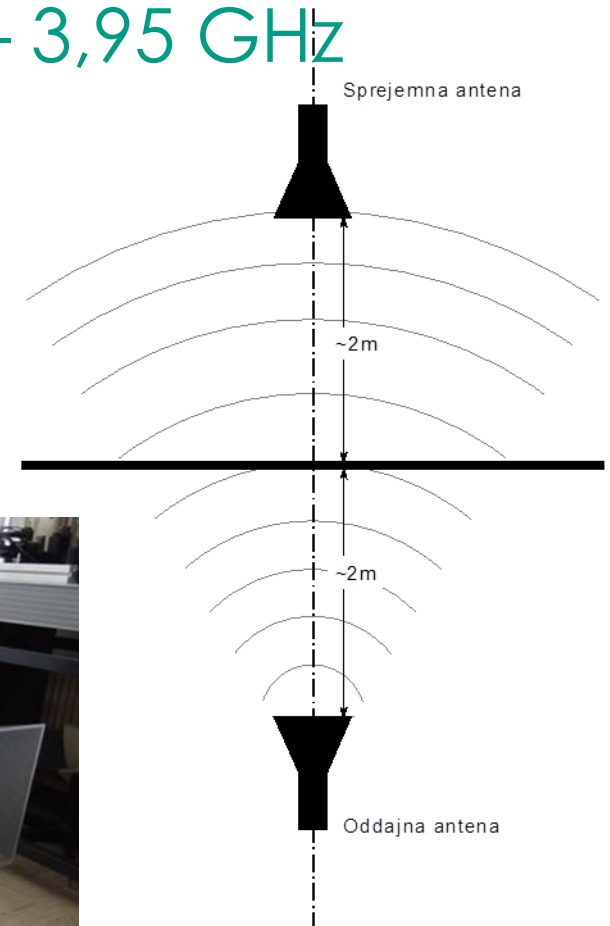
Simulacija - „obroč“ z materialom





Meritev - postavitev

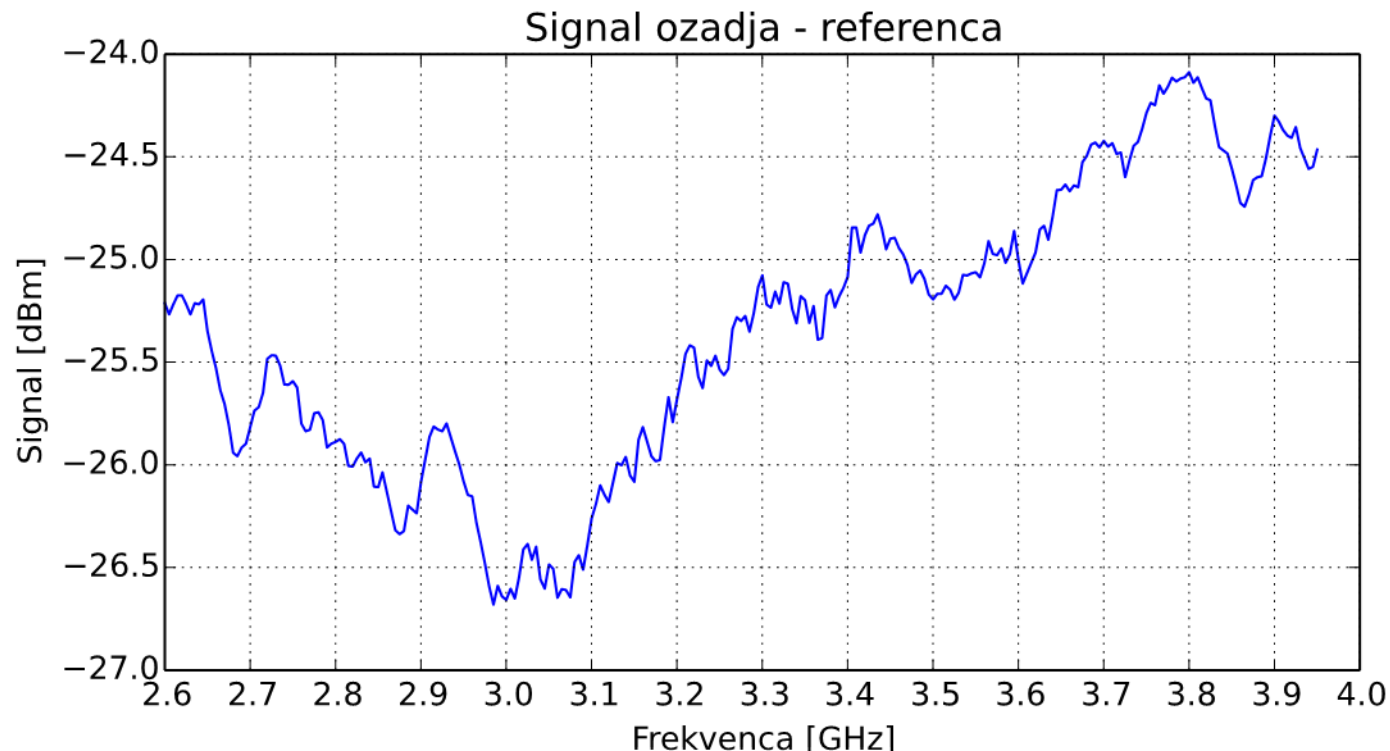
- Dve usmerjeni anteni – horn antenna
- Območje med 2,60 GHz – 3,95 GHz
- Ciljno območje ~3,0 GHz
- Avtomatizirana meritev





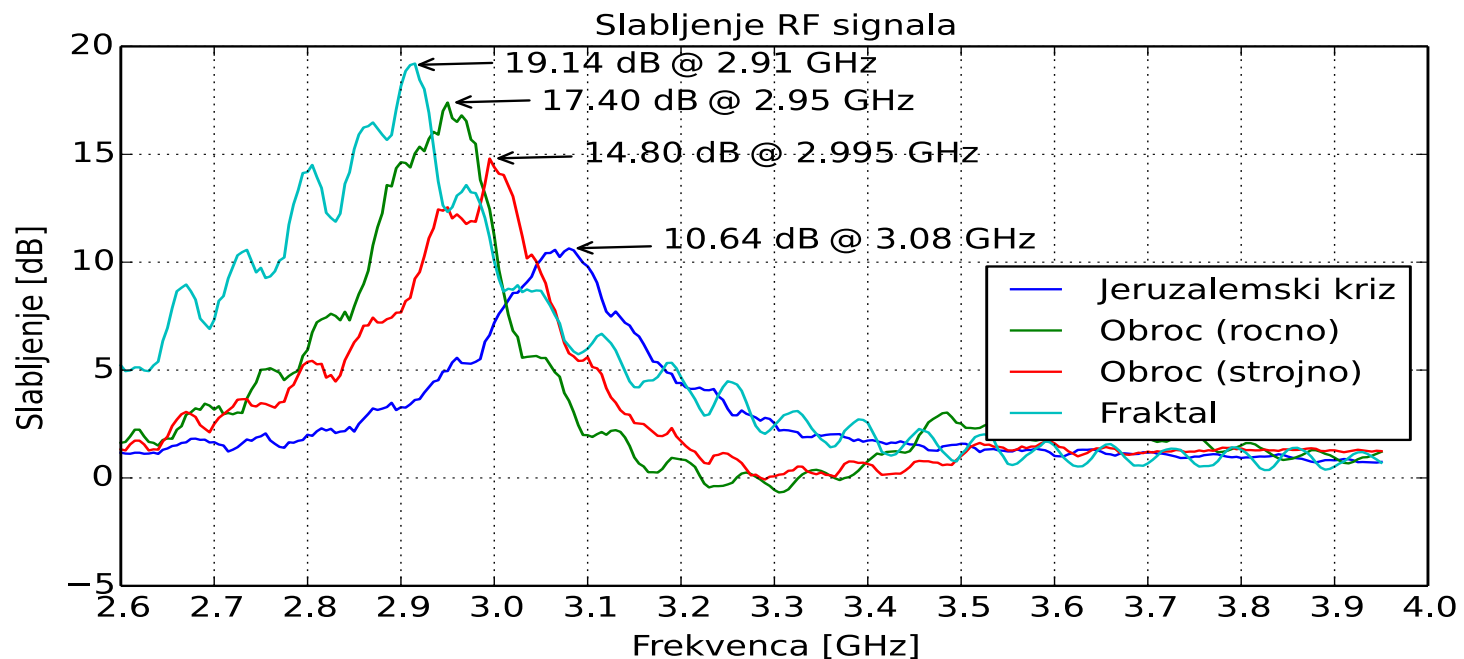
Meritev - rezultati

- Odšteti od ozadja
- Delovno območje nad 10 dB
- Cilj ~20 dB (100× slabljenje)



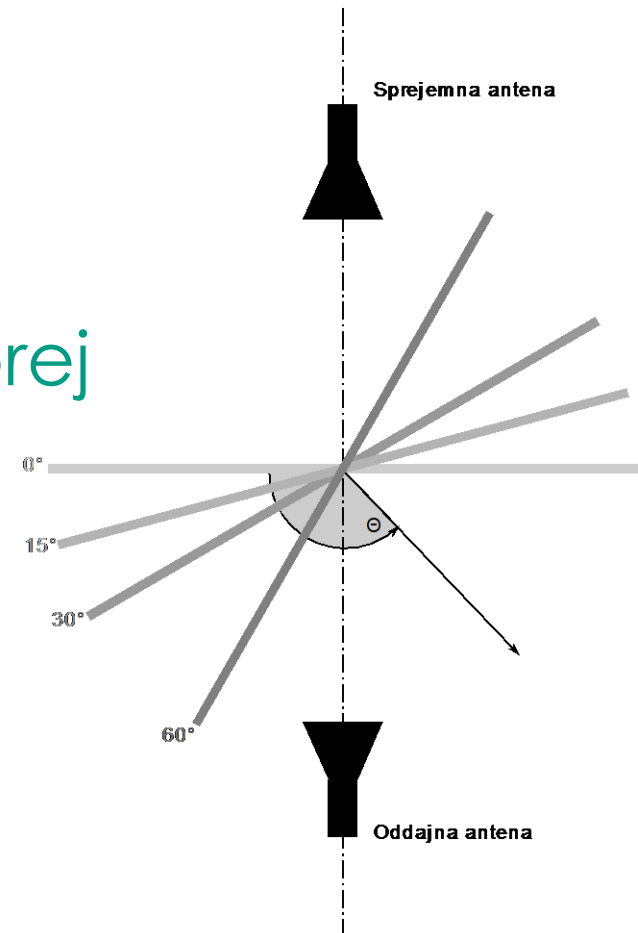
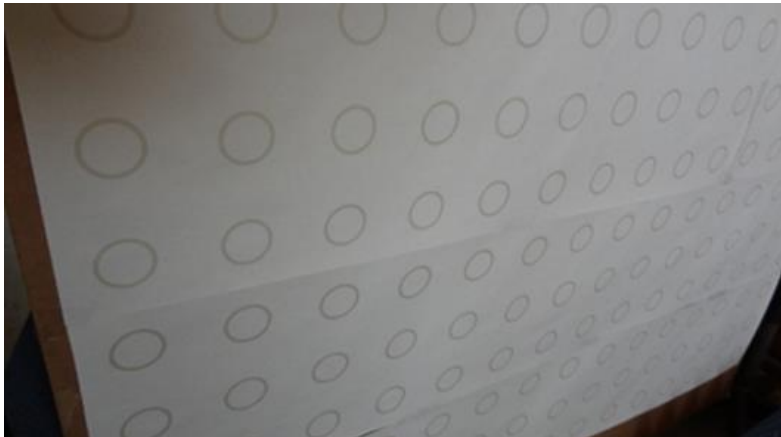
Meritev – rezultati ($\theta = 0^\circ$)

- Največje slabljenje – Fraktal 19,14 dB
- Najbolj točen resonančni vrh @ 3,0 GHz ima Obroč (strojni)
- Najslabši odziv ima Jeruzalemski križ



Meritev pri različnem kotu Θ

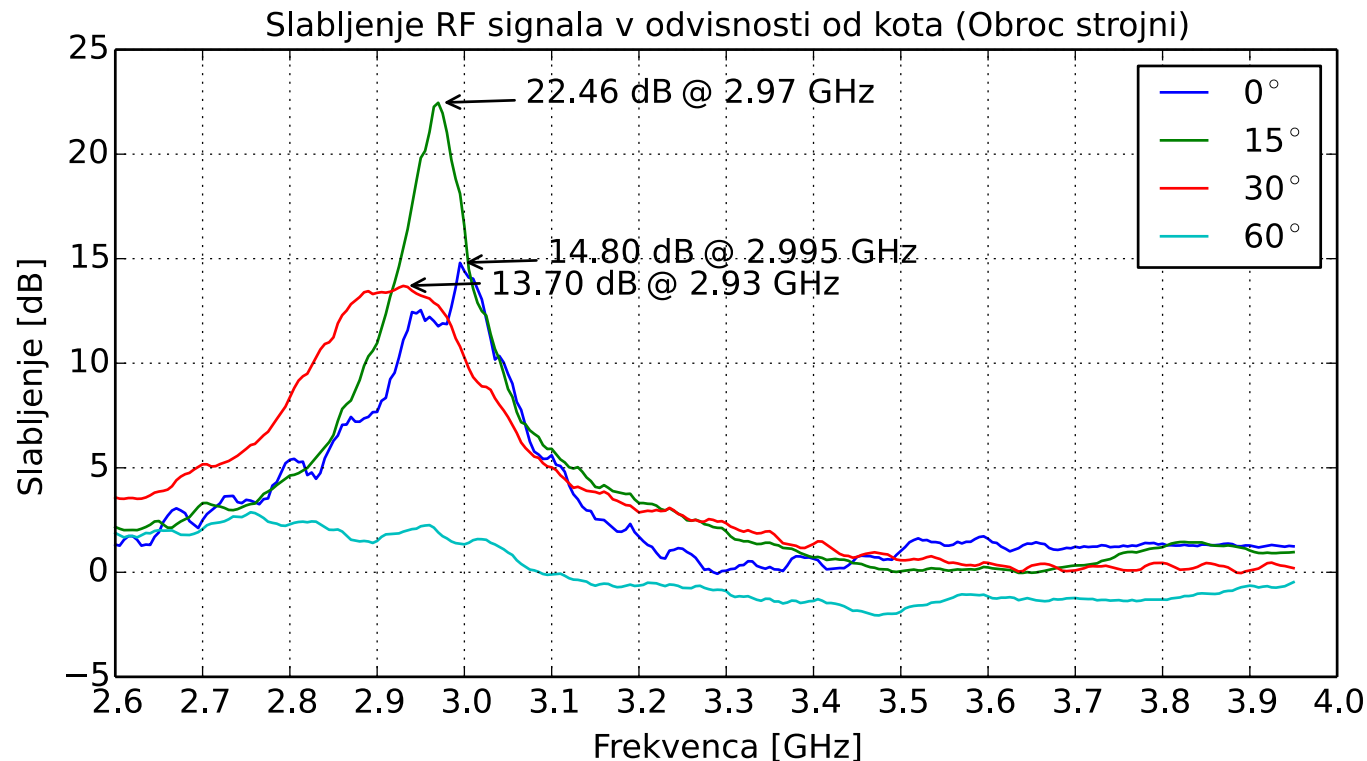
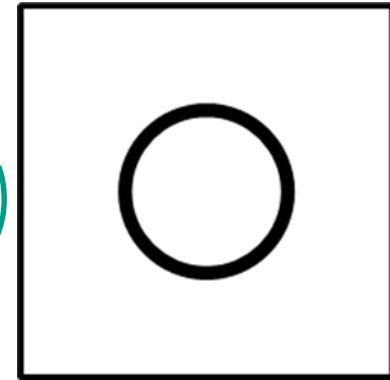
- Občutljivost na vpadni vektor EM sevanja
- Izbrani koti Θ
 - 0° , 15° , 30° , 60°
- Enaka postavitev kot prej
- Rotiranje zaslona





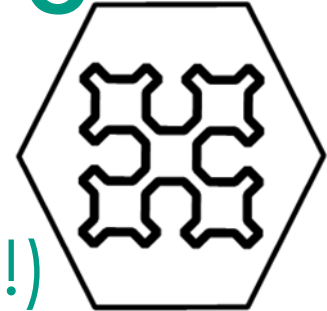
Meritve pri različnem kotu Θ (Obroč strojni)

- Pri $\Theta = 15^\circ$ boljši odziv kot pri 0° (?!)
- Odpove pri večjih kotih ($>30^\circ$)

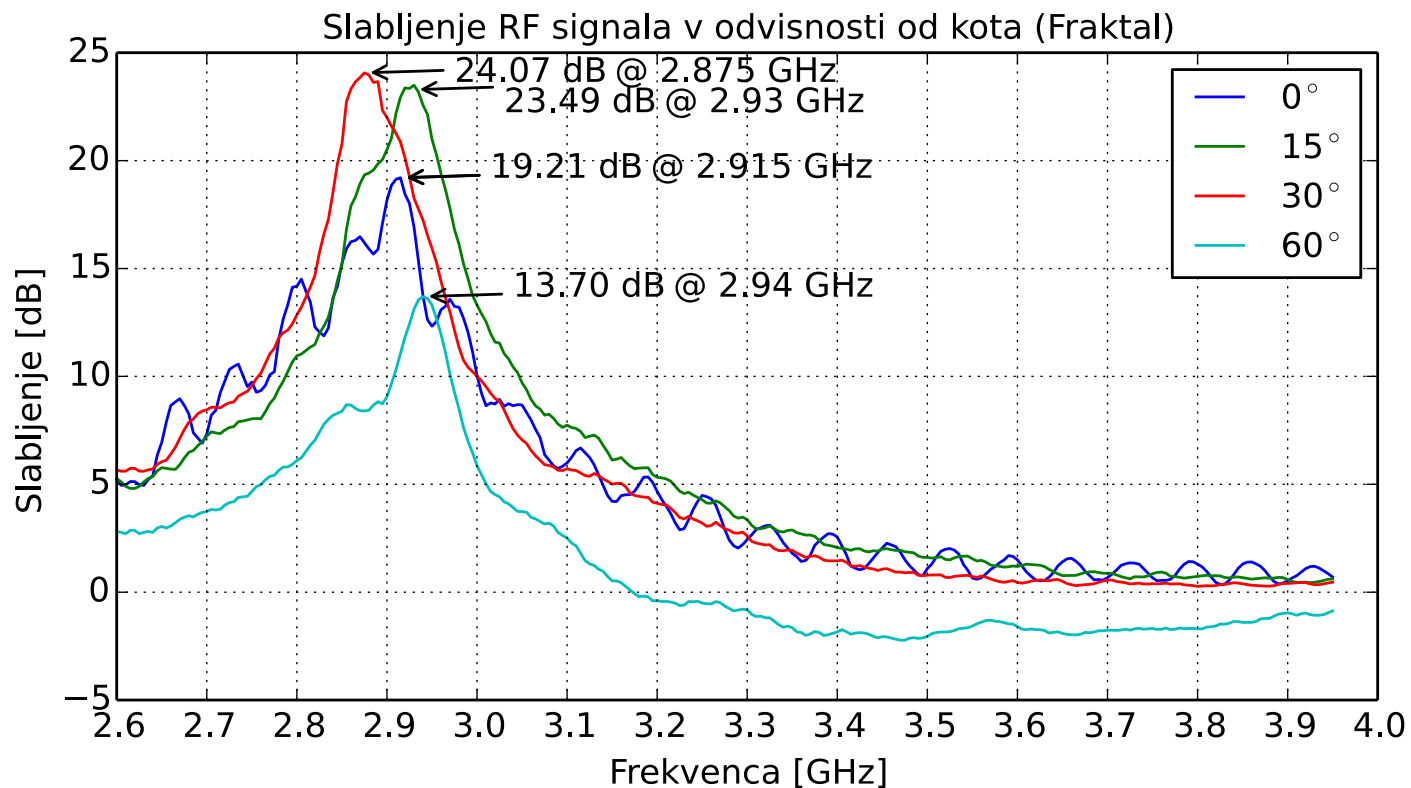




Meritve pri različnem kotu Θ (Fraktal)

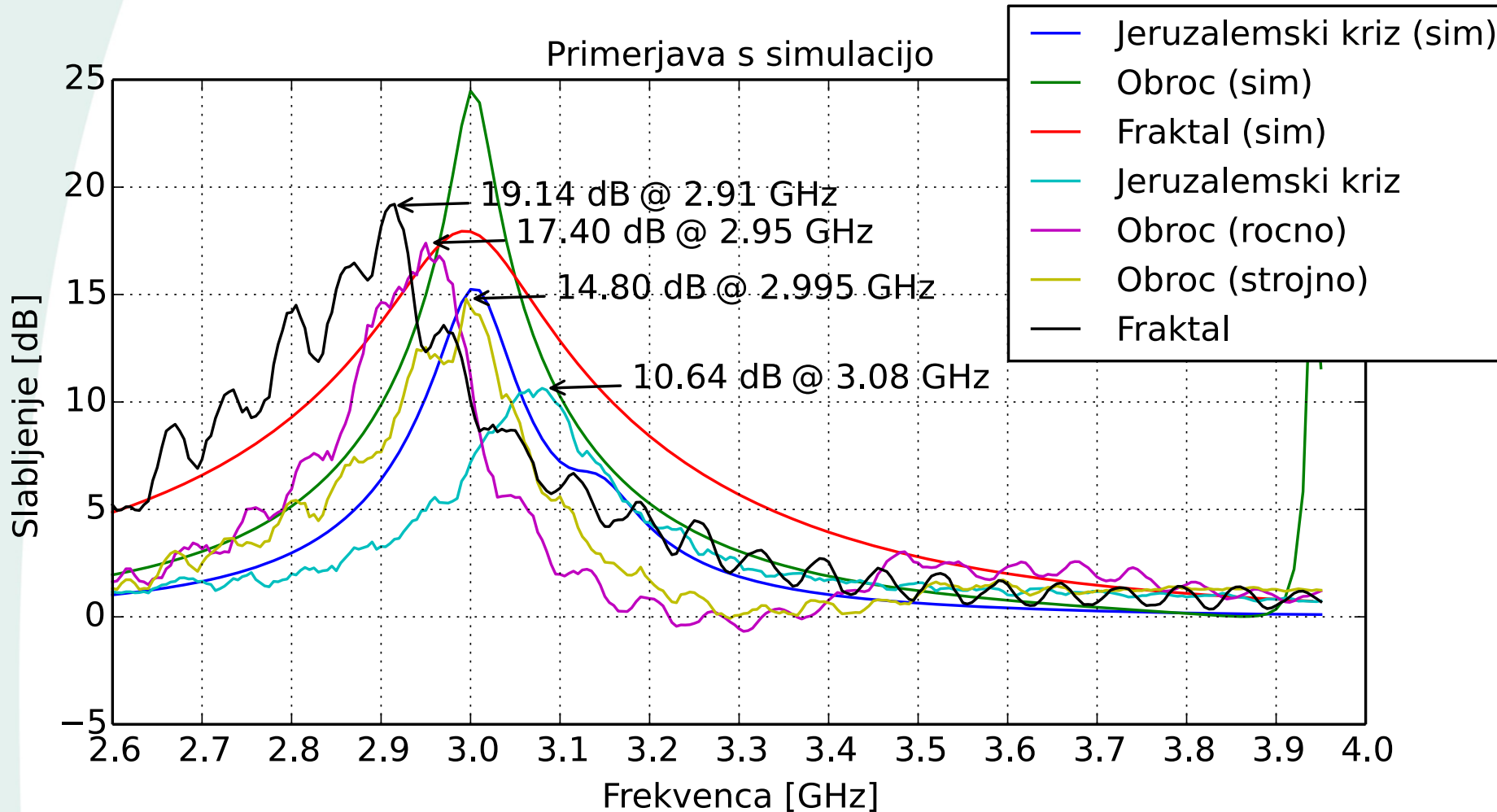


- Pri $\Theta = 15^\circ, 30^\circ$ boljši odziv kot pri 0° (!?)
- Deluje tudi pri kotu 60° (bolj kompakten)





Meritev – primerjava s simulacijo





Meta-hiška @ 2.1 GHz





Zaključek

- Meta-papir deluje
- Najbolj uporaben vzorec je Fraktal
- Dober odziv tudi pri spreminjanju kota
- Metoda sinteze meta-papirja je potrjena

Zahvala

Zahvala podjetju Vipap Videm Krško d.d., ki v celoti financira raziskave na področju meta-papirja.

