

# ANALIZA RADARSKJE POVRŠINE TROSTRANIH UGAONIH REFLEKTORA

Nikola Lekić

**Sadržaj** — Cilj ovog rada je da se prikažu rezultati analize radarske površine elementarnih tipova trostranih ugaonih radarskih reflektora dobijene elektromagnetskim modelovanjem pomoću programa WIPL.

**Ključne reči** — Radarska površina, Trostrani radarski reflektori, WIPL

## I. UVOD

Pod radarskim reflektorom podrazumeva se veštački objekat – radarski cilj, čije reflektovano elektromagnetsko polje ima neke specifične osobine. Radarski reflektor u svojoj strukturi nema aktivne izvore elektromagnetskog polja, tako da se u literaturi koristiti i izraz “pasivni radarski reflektor” [1,2].

Tipični radarski reflektori imaju jednostavne geometrijske oblike.

Ravna ploča ima radarsku površinu zavisnu od ugla pod kojim na nju pada talas iz primarnog izvora zračenja (radara). Radarska površina ploče naglo menja svoju vrednost promenom ovog ugla, što u nekim slučajevima nije poželjno. Ovaj nedostatak može se otkloniti primenom struktura koje predstavljaju kombinacije dve ili više ploča – ugaoni reflektor.

Ugaoni radarski reflektor sastoji se iz dve ili više ravnih ploča iz provodnog materijala proizvoljnog oblika međusobno postavljenim pod određenim uglom. Prema obliku ploča imamo reflektore sa pravouglim, trougaonim ili kružnim stranicama.

Tri ravne ploče pod međusobnim uglom od  $90^\circ$ , obrazuju sistem koji obezbeđuje da je reflektovani elektromagnetski talas paralelan u odnosu na incidentni talas u obe ravni – vertikalnoj i horizontalnoj. Zbog toga, za razliku od dvostranog ugaonog reflektora, trostrani ugaoni reflektor ima širok dijagram refleksije u vertikalnoj i horizontalnoj ravni.

Trostrani ugaoni reflektori imaju sledeće oblike:

- sa pravougaonim ili kvadratnim stranicama,
- sa trougaonim stranicama,
- sa kružnim stranicama.

U daljem tekstu, ove reflektore nazivaćemo elementarnim tipovima ugaonih reflektora jer se mogu naći kao element složenih (klaster struktura) radarskih reflektora.

Ugaoni reflektori imaju primenu u radarskoj tehnici kao

veštački radarski ciljevi najčešće za isticanje određenih objekata, kao što su navigacione tačke, orijentiri, aerodromske piste i uopšte objekata koji po prirodi imaju malu efektivnu - radarsku površinu a treba ih učiniti za radar vidljivim. Poseban predmet istraživanja predstavlja analiza ugaonih reflektora kao elementa konstrukcije nekog geometrijski složenog radarskog cilja i njihovog doprinosa u „radarskoj vidljivosti”.

U dostupnoj literaturi, dati su dijagrami refleksije radarskih reflektora, ali samo u glavnim presecima, u vertikalnoj i horizontalnoj ravni. U praksi, pri određivanju dimenzija radarskih reflektora koriste se izrazi za maksimalnu vrednost radarske površine dobijeni metodom fizičke optike [1,2]. Kako ugao pod kojim se osvetljava radarski reflektor može biti iz bilo koje tačke u prostoru, to je važno poznavati prostorni dijagram refleksije, radi tačnije procene mogućnosti primene radarskog reflektora za određene svrhe.

Iz gore navedenog proizilazi cilj ovog rada, odnosno upoznavanja sa prostornim karakteristikama dijagrama refleksije elementarnih tipova trostranih ugaonih radarskih reflektora.

## II. ANALIZA RADARSKJE POVRŠINE POMOĆU PROGRAMA WIPL

Interes za predviđanje karakteristika radarske površine složenih objekata, kao i zahtev da se omogući upravljanje odnosno kontrolisanje karakteristike radarske površine, doveo je do primene elektromagnetskog modelovanja u analizi dijagrama refleksije. U analizi radarske površine koriste se programi zasnovani na metodama fizičke optike, geometrijske teorije difrakcije, kao i momentne metode. Primenom odgovarajućih modela moguće je simulirati dijagram refleksije u mnogo više tačaka i za kraće vreme uz mnogo manje troškove nego što se mogu dobiti rezultati pomoću merenja. Komercijalno su dostupni programi namenjeni za tu svrhu, od kojih su najpoznatiji XPATCH, FACETS, ARTEMISIA, WIPL-D.

U analizi dijagrama refleksije ugaonih radarskih reflektora u radu je iskorišćen programski paket WIPL, odnosno WIPL-D koji omogućava elektromagnetsko modelovanje žičanih i pločastih struktura [3,4]. Polazna integralna jednačina za određivanje nepoznate raspodele struja po površini provodnika rešava se korišćenjem metode momenata. Program pored analize antena ima mogućnost analize monostatičke i bistatičke radarske površine.

Programski paket WIPL pokazao se kao veoma dobar

izbor i rezultati simulacija modelovanih dvostranih i trostranih radarskih reflektora pokazali su dobro slaganje sa eksperimentalnim rezultatima [5,6].

### III. MATERIJAL I METODE

Materijal koji ćemo koristiti u analizi biće rezultati simuliranih prostornih dijagrama elementarnih tipova reflektora dobijeni u programu WIPL. Za modelovanje koristimo elementarne ugaone reflektore maksimalne radarske površine (teorijski)  $\sigma_T=2 \text{ m}^2$  za frekvenciju 10 GHz, na osnovu koga su određene dimenzije reflektora.

Za analizu radarske površine ugaonih reflektora iskorišćen je program WIPL 3a, DOS verzija, koja dozvoljava proračun za 1000 tačaka u prostoru.

Za simulaciju prostornog dijagrama refleksije u ugaonom opsegu  $90^\circ$  po azimutu i  $90^\circ$  po elevaciji uz korak od  $0.5^\circ$  zahteva se proračun za 32761 tačku. Prevazilaženje ograničenja od 1000 tačaka rešeno je na način da je sukcesivno vršena simulacija za opseg po elevaciji od  $2.5^\circ$ , (5 redova po 181 tačka). Na taj način dobijeno je 37 datoteka koje su objedinjene u jednu datoteku u ASCII formatu, čiji su podaci mogu statistički obraditi.




### IV. REZULTATI

Polazeći od mogućnosti da se ugaoni radarski reflektori koriste na zemljištu i da će biti osmatrani sa letelice, može se proceniti na rastojanju reflektor – letelica od 500 m do 50 Km i visine 100 m do 10.000 m, da će 90% uglova po elevaciji pod kojim se osmatra reflektor biti manji od  $40^\circ$ . Zbog toga, statistička analiza urađena je u tri opsega po elevaciji i to:  $0^\circ \div 90^\circ$ ,  $0^\circ \div 45^\circ$  i  $5^\circ \div 45^\circ$ .

Analiza funkcije gustine verovatnoće i kumulativne funkcije gustine verovatnoće urađena je u 40 razreda, bez obzira na broj podataka koji se obrađuju, a koji zavise od

ugaonog opsega po elevaciji. Rezultati su dati u Tabeli 1 i slici 2.

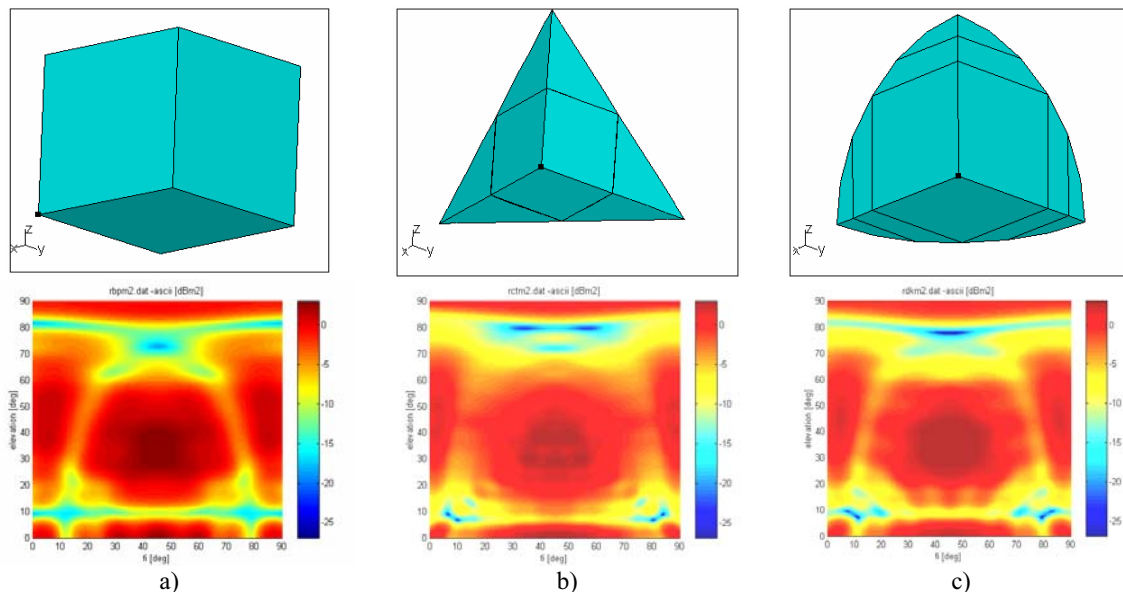
TABELA 1: STATISTIČKA ANALIZA PROSTORNOG DIJAGRAMA REFLEKSIJE.

Tip reflektora	$\bar{\sigma}$ [ $\text{m}^2$ ]	Stand. dev.	$\varepsilon$ [ $^\circ$ ]
	0.6093	0.4685	0-90
	0.7297	0.5313	0-45
	0.7345	0.5463	5-45
	0.6495	0.4754	0-90
	0.7938	0.5165	0-45
	0.7842	0.5195	5-45
	0.6489	0.5082	0-90
	0.7919	0.5712	0-45
	0.7888	0.5864	5-45

### V. ZAKLJUČAK

Zahtev za poznavanje prostornog dijagrama refleksije radarskih reflektora i u tom slučaju, eksperimentalna analiza prostornog dijagrama refleksije vezana je sa mnogim praktičnim problemima. Elektromagnetsko modelovanje može u značajnoj meri da olakša proces analize radarske površine odgovarajućeg radarskog cilja.

Primenjeni programski paket WIPL pokazao se kao veoma dobar izbor i rezultati simulacija dijagrama refleksije modelovanih tipova elementarnih ugaonih reflektora omogućuju njihovu statističku analizu.



Slika 1. Modelovani elementarni tipovi ugaonih reflektora  $\sigma_{\max}=2 \text{ m}^2$  u WIPL-u: a) trostrani sa pravougaonim stranicama, veličina stranice  $a=0.83\text{m}$ , b) trostrani sa trougaonim stranicama, veličina stranice  $a=0.144\text{m}$ , c) trostrani sa  $1/4$  kružnim stranicama, veličina stranice  $a=0.102\text{m}$

## LITERATURA

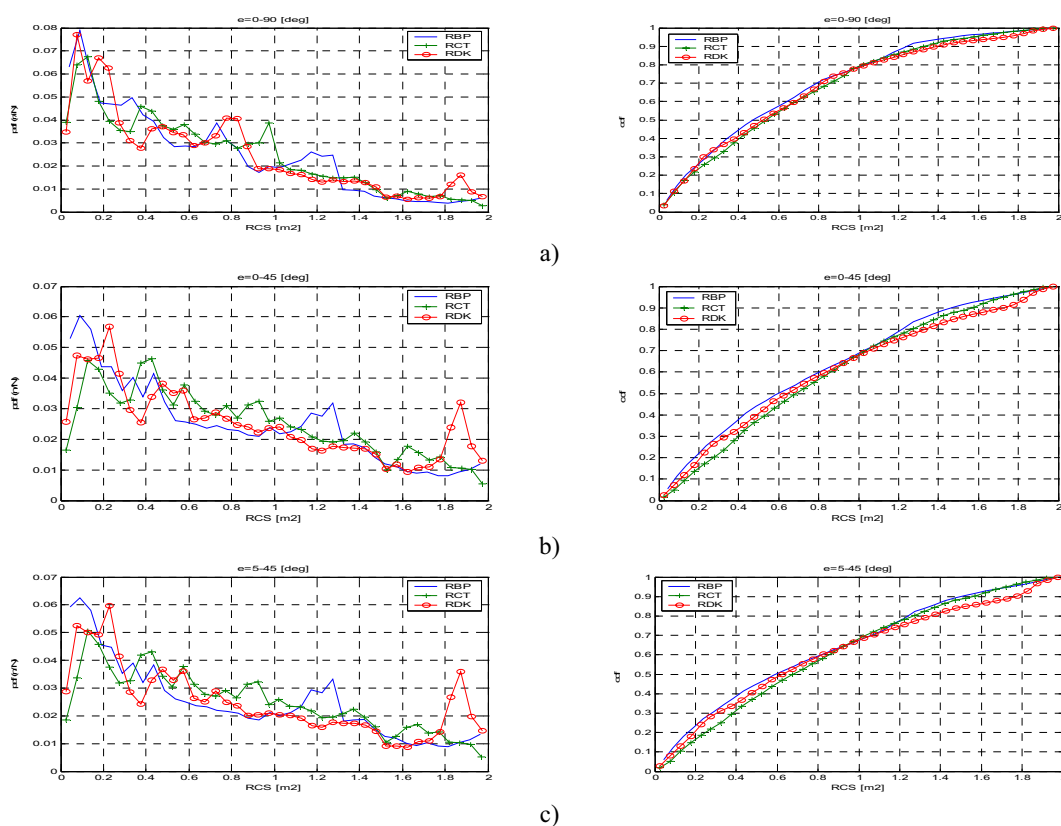
- [1] D. K. Barton, S. A. Leonov, Radar Technology Encyclopedia, Norwood: Artech House, Inc., Boston – London, 1997.
- [2] D. R. Milanović, Radilokacija, Naučna knjiga, Beograd, 1976. god.
- [3] B. M. Kolundzija, J. S. Ognjanovic, and T. K. Sarkar, WIPL – Electromagnetic Modeling of Composite Wire and Plate Structures, Software and User's Manual, Norwood: Artech House, 1995.
- [4] Kolundzija, B., Tasic, M. and Sarkar, T., "Evaluation of Radar Cross Section of Large Platforms by the Method of Moment at PC Computers," *2002 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, Vol. 2, pp. 94-97, 2002.
- [5] N. Lekić, "Analiza dijagrama refleksije dvostranog ugaonog reflektora," *TELFOR*, Beograd, 2004, p. 9.32.
- [6] N. Lekić, "Analiza radarske površine ugaonih reflektora" *OTEH*, Beograd, 2005, p. 301.

## ABSTRACT

In this paper is described backscatter analysis of trihedral corner reflectors. Modeling is performed using WIPL program for electromagnetic simulation and analysis.

## BACKSCATTER ANALYSIS OF TRIHEDRAL CORNER REFLECTORS

Nikola Lekic



Slika 2. Komparativni prikaz funkcije gustine verovatnoće i kumulativne funkcije gustine verovatnoće radarske površine elementarnih trostranih reflektora (RBP- sa pravougaonim stranicama, RCT- sa trougaonim stranicama, RDK- sa  $\frac{1}{4}$  kružnim stranicama): a)  $\varepsilon=0^\circ-90^\circ$ , b)  $\varepsilon=0^\circ-45^\circ$ , c)  $\varepsilon=5^\circ-45^\circ$