

Softverska podrška pri instaliranju satelitske prijemne offset antene

Hana Stefanović, Predrag Poljak
Elektronika i Telekomunikacije
Visoka škola elektrotehnike i računarstva
Beograd, Srbija
stefanovic.hana@yahoo.com, predrag.poljak@viser.edu.rs

Danijel Đošić, Dejan Milić
Telekomunikacije
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
danijel.djosic@pr.ac.rs, dejan.milic@elfak.ni.ac.rs

Sadržaj—U ovom radu prezentovani su analitički i numerički proračuni bitnih parametara prijemnog antenskog sistema u satelitskim komunikacijama. Procene su vršene za slučaj klasičnog paraboloidnog reflektora, kao i za slučaj offset antene, koja se često koristi u satelitskim komunikacijama, kao deo opreme za individualni ili zajednički prijem satelitskih signala. Nakon izvršene procene relevantnih parametara, za izbor konkretne korisničke lokacije i izbor konkretnih dimenzija prijemnog antenskog sistema, izvršena je procena uglova bitnih pri pozicioniranju antene u cilju prijema signala sa određenog satelita, uz korišćenje različitih softverskih alata i kalkulatora.

Ključne reči—paraboloidni reflektor, offset antena, dobitak antene, pozicioniranje antene

I. UVOD

U bežičnim komunikacijama, koje obuhvataju radio-veze koje se prostiru na površini zemlje u uslovima direktne optičke vidljivosti (LoS – *Line of Sight*), zatim veze koje koriste efekte troposferskog rasejanja, kao i veze ostvarene posredstvom satelita [1], značajan uticaj na kvalitet veze imaju parametri antenskog sistema, kao što su dijagram zračenja, polarizacija antene, dobitak (*gain*) antene, efektivna površina i dužina, kao i impedansa antene [2]. Antenski elementi, koji imaju za cilj transformaciju električnih signala u elektromagnetne talase i obrnuto, predviđeni su za rad unutar nekog frekvencijskog opsega, koji za satelitske komunikacije [3], [4] tipično ima vrednosti iznad 10 GHz (Ku-opseg, Ka-opseg, K-opseg, mada se koriste i nešto niže frekvencije iz C-opsega i L-opsega, posebno u satelitskim navigacionim sistemima).

Na ulazu u antenu definiše se snaga, a na nekom rastojanju od antene *Pointing*-ov vektor, odnosno gustina snage po jedinici površine, što utiče na stepen usmerenosti antene [5]. Antene su recipročni elementi, što znači da mogu obavljati funkciju i pradjajne i prijemne antene, a mogu biti realizovane kao pasivne i kao aktivne. Aktivne antene sadrže poluprovodničke komponente kojima se u toku rada mogu menjati karakteristike antene [5], [6], što predstavlja savremeniju, ali i skuplju realizaciju.

Podela antena na uskopojasne i širokopojasne izvršena je u zavisnosti od veličine odnosa B/f_0 , pri čemu B predstavlja širinu frekvencijskog opsega unutar kojeg su parametri koji karakterišu antenu približno konstantni [5], a f_0 predstavlja

centralnu učestanost. Kod uskopojasnih antena ovaj odnos se kreće u opsegu od 0.01 do 0.1.

U postojećim radio-relejnim vezama najzastupljenije su antene sa paraboloidnim reflektorom, zbog velikih dobitaka i dobro oblikovanog dijagrama zračenja, ali se posebno u satelitskim komunikacijama koriste i offset antene [7], u cilju eliminacije efekta senke. Kod klasičnog paraboloida primarni radijator (izvor) smešten je u fokusu paraboloida, što zbog neophodne mehaničke podrške narušava uslove prostiranja talasa koji se reflektuju o površinu paraboloida. Upotreba offset antene eliminiše ovaj problem, pošto se kod ovakvih antene kao reflektor koristi samo deo (segment) površine paraboloida koji nije zaklonjen fokusom [5]. Na taj način je postignuto da prisustvo primarnog radijatora ne degradira karakteristike celog antenskog sistema, ali je dijagram zračenja nešto lošiji nego u slučaju centralnog pobuđivanja.

U satelitskim komunikacijama, nakon izbora antene određenih karakteristika i selekcije željenog satelita sa kojeg je potrebno primiti signal, neophodno je izvršiti pozicioniranje, odnosno usmeravanje antene ka satelitu, pod određenim uglom [8]-[10]. U ovom radu prezentovana je softverska podrška pri proceni uglova bitnih pri instaliranju satelitske prijemne offset antene, uz mogućnost variranja dimenzija antene, kao i za slučaj izbora različitih satelita kao predajnika. Proračun je urađen za konkretnu korisničku lokaciju, unetu u formi geografske širine i dužine, a korisniku omogućava brzo i precizno pozicioniranje antene, bez upotrebe kompasa i uglomera.

U radu je prvo dat kratak pregled osnovnih parametara prijemnog antenskog sistema koji se najčešće sreće u satelitskim komunikacijama, kao i neki analitički proračuni. Procena nekih relevantnih parametara je, osim analitički, urađena i pomoću interaktivnog kalkulatora u okviru softverskog paketa RadioWORKS, a zatim je za izbor konkretne antene i konkretne korisničke lokacije izvršena procena uglova bitnih pri instaliranju antene, pomoću softverskog alata *Satellite Antenna Alignmet*.

II. OSNOVNI PARAMETRI SATELITSKIH PRIJEMNIH ANTENA

Prostorni dijagram zračenja antene predstavlja zakon raspodele gustine snage po površini sfere određenog poluprečnika. Za svaku usmerenu antenu u okviru dijagrama

zračenja definiše se pravac, ili osa, maksimalnog zračenja, koja predstavlja polupravu koja polazi iz centra antene i pruža se u pravcu maksimalnog zračenja. Za merenje i prikaz pogodniji su dvodimenzionalni (2D) dijagrami, koji se iz tih razloga češće koriste nego trodimenzionalni (3D), a dobijaju se presecanjem 3D dijagrama ravnima koje prolaze kroz osu maksimalnog zračenja [5]. Dijagram zračenja usmerenih antena sadrži glavni snop (*main lobe*) i više bočnih snopova ili listova (*side lobes*). Ugao širine glavnog snopa ili širina glavnog snopa predstavlja ugao koji zaklapaju poluprave koje prolaze kroz tačke na dijagramu zračenja u kojima je vrednost električnog polja $\sqrt{2}$ puta manja u odnosu na vrednost polja u pravcu maksimalnog zračenja [5], odnosno ugao odstupanja od glavne ose za koji je vrednost dobitka 3 dB manja od maksimalne vrednosti.

Dobitak (*gain*) antene definiše se kao odnos maksimalno izračene snage antene i srednje snage izotropnog radijatora, za koji je pretpostavljeno da emituje signal ravnomerno u svim pravcima. Odnos između dobitka i efektivne površine antene za slučaj antene sa paraboloidnim reflektorom prečnika D , dat je izrazom [11]:

$$G = G_{\max} = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot S_{\text{eff}} \quad (1)$$

pri čemu je λ talasna dužina, a S_{eff} efektivna površina antene koja zavisi od koeficijenta efikasnosti η :

$$S_{\text{eff}} = \eta \cdot S = \eta \frac{\pi D^2}{4} \quad (2)$$

Koeficijent efikasnosti povezuje efektivnu i stvarnu fizičku površinu antene S , uzimajući u obzir gubitke na anteni, a tipično ima vrednosti od 0.55 do 0.75. Maksimalan dobitak antene određuje se na osnovu (1) i (2) kao:

$$G = G_{\max} = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \quad (3)$$

što u slučaju tipične vrednosti koeficijenta iskorišćenja $\eta=0.55$ iznosi [1]:

$$G[\text{dB}] = 20 \log(D[\text{m}]) + 20 \log(f[\text{GHz}]) + 17.869 \quad (4)$$

Trodecibelska širina glavnog snopa zračenja se može približno izračunati na osnovu:

$$2\theta_{3\text{dB}} = 70 \frac{\lambda}{D} \quad [^\circ] \quad (5)$$

što se može koristiti za procenu dobitka antene za slučaj poznate vrednosti širine snopa, koji u slučaju vrednosti koeficijenta iskorišćenja $\eta=0.55$ iznosi:

$$G = \frac{27000}{(2\theta_{3\text{dB}})^2} \quad (6)$$

Usmerenost (ili dobitak u određenom pravcu) antene u funkciji azimuta i elevacije, određena je količnikom spektralne gustine snage antene u tom pravcu i spektralne gustine snage izotropne antene [6], pri čemu je azimut ugao u horizontalnoj ravni pod kojim se vidi antena u odnosu na referentni pravac u horizontalnoj ravni, a elevacija je ugao pod kojim se antena vidi iznad horizontalne ravni.

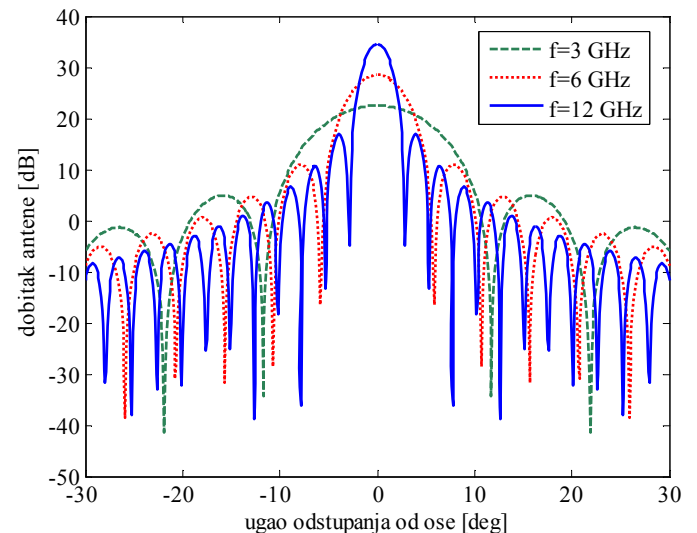
Na osnovu izloženog može se zaključiti da parabolična antena ima maksimalan dobitak duž ose parabole, i da dobitak antene opada sa udaljavanjem od ose zračenja. Zavisnost dobitka parabolične antene od ugla odstupanja od glavne ose zračenja θ određen je sa [4]:

$$G(\theta) = G_{\max} \left(\frac{2J_1(x)}{x} \right)^2 \quad (7)$$

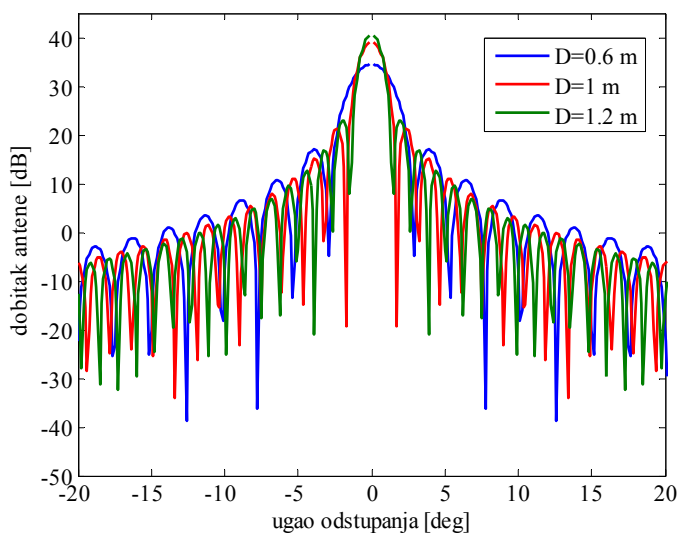
pri čemu je $J_1(\cdot)$ Bessel-ova funkcija prve vrste [12], dok je vrednost argumenta x određena je sa:

$$x = \frac{\pi D}{\lambda} \cdot \sin \theta \quad (8)$$

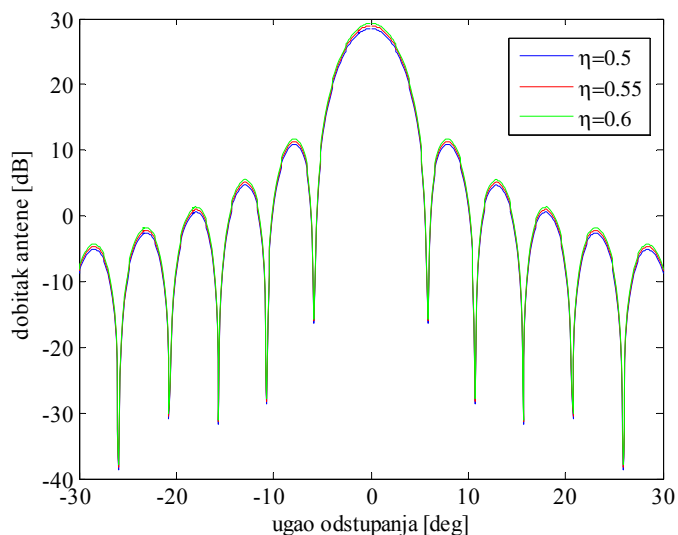
Dijagram zračenja parabolične antene u zavisnosti od ugla odstupanja od glavne ose, za slučaj parabolične antene prečnika 0.6 m, pri prijemu satelitskog signala na frekvencijama 3 GHz, 6 GHz i 12 GHz, respektivno, prikazan je na Sl. 1, pod pretpostavkom da koeficijent iskorišćenja iznosi $\eta=0.5$. Dijagram zračenja u zavisnosti od ugla odstupanja od glavne ose, za slučaj parabolične antene prečnika 0.6 m, 1 m i 1.2 m, respektivno, pri prijemu satelitskog signala na frekvenciji 12 GHz, prikazan je na Sl. 2, pod pretpostavkom da koeficijent iskorišćenja iznosi $\eta=0.5$. Dijagram zračenja parabolične antene u zavisnosti od ugla odstupanja od glavne ose, za slučaj parabolične antene prečnika 0.6 m pri prijemu satelitskog signala na frekvenciji 12 GHz, pri vrednostima koeficijenta iskorišćenja 0.5, 0.55 i 0.6, respektivno, prikazan je na Sl. 3.



Slika 1. Dijagram zračenja parabolične antene za slučaj prijema satelitskog signala na različitim frekvencijama



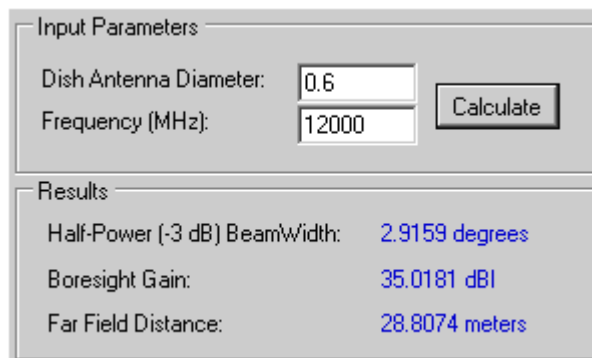
Slika 2. Dijagram zračenja parabolične antene za slučaj izbora antena različitih prečnika



Slika 3. Dijagram zračenja parabolične antene za slučaj izbora antena različitih vrednosti koeficijenta iskorišćenja

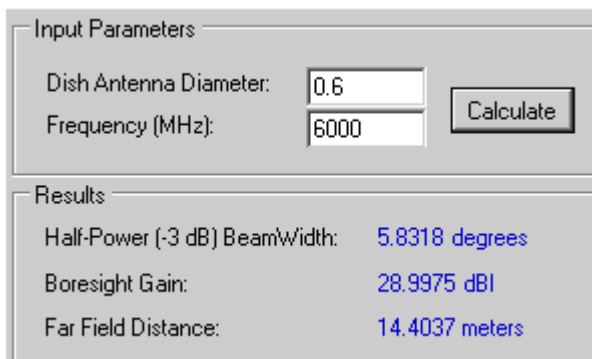
Na osnovu analitičkih izraza i numeričkih rezultata prezentovanih na Sl. 1, Sl. 2 i Sl. 3 može se zaključiti da se povoljniji oblik dijagrama zračenja ostvaruje ukoliko se koriste antene većih prečnika, sa većim koeficijentom iskorišćenja i na višim frekvencijama. Takođe se može zaključiti da prečnik antene i frekvencija imaju značajno izraženiji uticaj na oblik dijagrama zračenja, nego koeficijent iskorišćenja, kao što je prikazano na Sl.1, Sl.2 i Sl.3. Trodecibelska širina glavnog lista zračenja može se očitati sa ovih dijagrama kao vrednost (u stepenima) za koju je vrednost dobitka za 3 dB manja od maksimalne vrednosti, što za slučaj antene prečnika 0.6 m na frekvenciji 12 GHz pri koeficijentu iskorišćenja 0.55 iznosi 2.95°. Procena dobitka i trodecibelske širine glavnog snopa za antenu istih parametara u okviru softverskog paketa RadioWORKS prikazana je na Sl. 4, pri čemu je prethodno potrebno uneti prečnik antene i frekvenciju. Interaktivni kalkulator takođe ima mogućnost procene granice dalekog

polja (FFD – *Far Field Distance*), za koju se smatra da na rastojanjima većim od ove vrednosti zračenje može biti modelovano kao idealno sferično.



Slika 4. Procena parametara antenskog sistema pomoću kalkulatora RadioWORKS, za slučaj antene prečnika 0.6 m na frekvenciji 12 GHz

Za slučaj izbora antene istih parametara, pri prijemu satelitskih signala na frekvenciji 6 GHz, procenjeni parametri pomoću RadioWORKS kalkulatora prikazani su na Sl. 5, uz zaključak da se dobijeni rezultati vrlo dobro poklapaju sa vrednostima očitanim na dijagramima prikazanim na Sl. 1, Sl. 2 i Sl. 3.



Slika 5. Procena parametara antenskog sistema pomoću kalkulatora RadioWORKS, za slučaj antene prečnika 0.6 m na frekvenciji 6 GHz

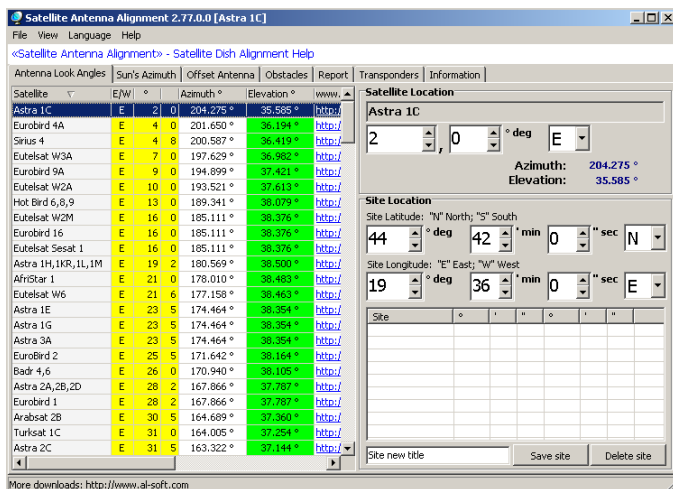
III. POZICIONIRANJE SATELITSKE PRIJEMNE ANTENE

Softverski paket *Satellite Antenna Alignment* služi za procenu uglova relevantnih pri instaliranju satelitske prijemne antene. Uključena je i mogućnost procene pozicije svih aktivnih satelita u odnosu na geografsku poziciju korisnika, što podrazumeva prethodno unošenje geografske širine i dužine korisničke lokacije. Za željene dimenzije offset antene, koje takođe unosi korisnik, dobija se procena uglova bitnih pri pozicioniranju antene, uz mogućnost procene uticaja okolnih objekata, za koje korisnik unosi dimenzije i udaljenost od antene. Svi proračuni zasnovani su na teorijskim modelima, ali pružaju korisniku mogućnost promene korekcionih faktora koji su uslovljeni karakteristikama konkretnog propagacionog okruženja, orijentacijom transpondera, vrstom polarizacije itd. Svi proračuni se mogu sačuvati (kao tekstualni fajl), štampati, kopirati ili dalje distribuirati. Takođe postoji i mogućnost formiranja liste lokacija za koje je potrebno izvršiti proračune,

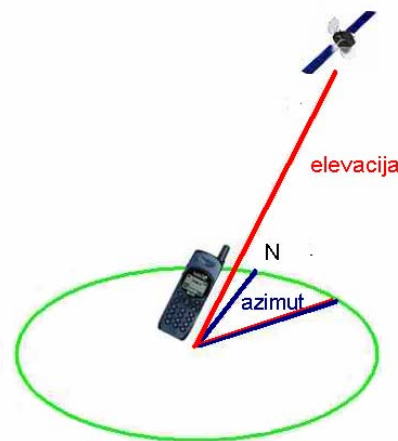
što omogućava korisniku uvid u procenjene karakteristike bez ponovnog unošenja koordinata željenih lokacija.

Za slučaj izbora korisničke lokacije na teritoriji Beograda (44 stepena i 42 minuta severne geografske širine i 19 stepeni i 36 minuta istočne geografske dužine) i selekciju satelita ASTRA 1C, procena elevacije i azimuta pomoću softverskog alata *Satellite Antenna Alignment* prikazana je na Sl. 6.

Elevacija (elevacioni ugao) predstavlja ugao kojim se u vertikalnoj ravni određuje pravac satelita u odnosu na horizontalnu ravan, kao što je prikazano na Sl. 7. Elevacija može biti i pozitivna i negativna, pri čemu su sateliti negativne elevacije ispod linije horizonta, što znači da ne postoji mogućnost prijema signala sa tih satelita. Azimut predstavlja ugao koji zaklapaju normalna projekcija na horizontalnu ravan vektora usmerenog ka satelitu i vektora usmerenog ka severu, kao što je prikazano na Sl. 7. Azimut se meri u smeru kazaljke na satu, od pravca severa, i uvek ima pozitivnu vrednost. Procenjena vrednost elevacije i azimuta (u stepenima), za slučaj izbora konkretne korisničke lokacije i konkretnog satelita, očitava se u radnom prozoru *Satellite Antenna Alignment*, kao što je prikazano na Sl. 6.



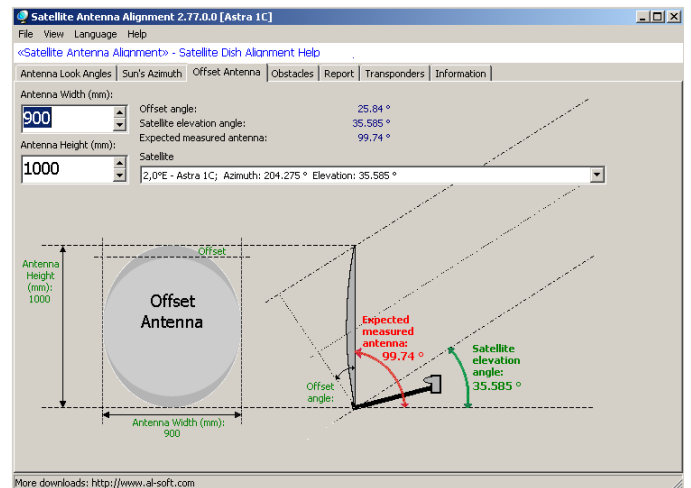
Slika 6. Procena azimuta i elevacije, za slučaj korisničke lokacije na teritoriji Beograda, pri selekciji satelita ASTRA 1C



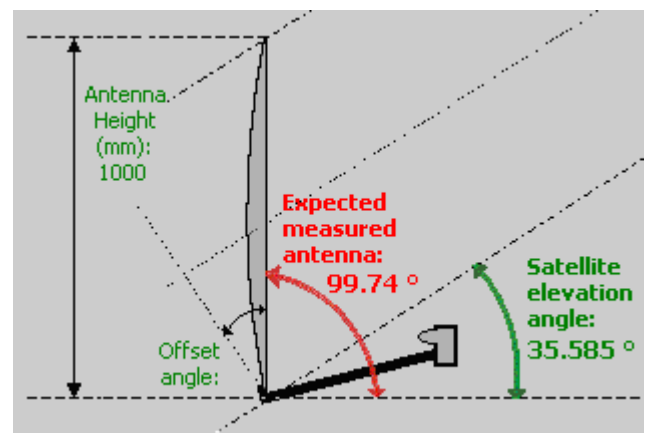
Slika 7. Određivanje ugla elevacije i azimuta

Nakon unosa dimenzija offset antene, kao što je prikazano na Sl. 8, može se očitati vrednost bitnih uglova pri pozicioniranju satelitske prijemne offset antene, što je ilustrovano na Sl. 9.

U slučaju izbora korisničke lokacije na teritoriji Beograda i selekcije satelita ASTRA 1C, pri izboru prijemne offset antene dimenzija 1 m (visina) i 0.9 m (širina), procenjena vrednost ugla iznosi 99,74 °, kao što je prikazano je na Sl. 9. Korisnik može odrediti vrednost ovog ugla za različite dimenzije antene, unosom odgovarajućih vrednosti visine i/ili širine offset prijemne antene, kao i za slučaj selekcije nekog drugog satelita kao predajnika.



Slika 8. Podešavanje parametara pri proceni uglova bitnih za pozicioniranje prijemne satelitske offset antene



Slika 9. Procena uglova bitnih za pozicioniranje prijemne satelitske offset antene pomoću softverskog alata *Satellite Antenna Alignment*

IV. ZAKLJUČAK

U ovom radu prezentovani su osnovni koncepti upotrebe različitih softverskih alata pri proceni parametara bitnih prilikom pozicioniranja satelitske prijemne antene, uz prethodno sprovedenu analizu performansi prijemnog antenskog sistema. Opisani metod je dosta fleksibilan, pošto se može koristiti sa proizvoljne lokacije, za slučaj različitih dimenzija prijemne antene, kao i za slučaj selekcije različitih

satelita kao predajnika. Takođe su urađeni i analitički i numerički proračuni parametara prijemnog satelitskog antenskog sistema, koji imaju značajan uticaj na ukupan kvalitet satelitskog linka.

LITERATURA

- [1] T. Pratt, C. Bostian, and J. Allnut, *Satellite Communications*, 2nd ed., John Wiley&Sons Inc., 2003.
- [2] W. Tranter, K. Shanmugan, T. Rappaport, and K. Kosbar, *Communication Systems Simulation with Wireless Applications*, Prentice Hall, 2004.
- [3] D. Roddy, *Satellite Communications*, 4th ed., McGraw-Hill, 2006.
- [4] B. Elbert, *Introduction to Satellite Communications*, 3rd ed., Artec House, 2008.
- [5] N. Neskovic, *Usmerene radio veze*, Akademska misao, Beograd, 2011.
- [6] M. Dukic, *Principi telekomunikacija*, Akademska misao, Beograd, 2008.
- [7] M. Kolawole, *Satellite Communication Engineering*, Marcel Dekker Inc., 2002.
- [8] J. Proakis, *Digital Communications*, 3rd ed., McGraw-Hill, 1999.
- [9] W. Y. C. Lee, *Mobile Cellular Communications*, McGraw-Hill Book Co., New York, 1989.

- [10] G. L. Stuber, *Principles of Mobile Communications*, 2nd ed, Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [11] D. Drajić, *Uvod u statističku teoriju telekomunikacija*, Akademska misao, Beograd, 2003.
- [12] M. Abramowitz, and I. Stegun, *Handbook of Mathematical Functions*, NBS, Washington, 1972.

ABSTRACT

In this paper some analytical performance measures of satellite antenna dishes are given, including the calculation of the angles necessary for installing receive dishes. The calculation is done for different values of offset antenna dish size, and different satellites which can be physically visible from the location where the dish will be installed.

USING SOFTWARE TOOLS FOR CALCULATING THE ANGLES NECESSARY FOR INSTALLING RECEIVE SATELLITE ANTENNA DISHES

Hana Stefanovic, Predrag Poljak, Danijel Djosic, and Dejan Milic