

Mr Vladimir Šepec,
mr Saša Devetak,
major
Vojna akademija,
Beograd

PARAMETRI KOJI UTIČU NA PROCENU EFIKASNOSTI RADIO-GONIOMETRIJSKIH SISTEMA U BORBI

UDC: 621.396.75

Rezime:

U radu su prikazani dominantni parametri koji utiču na procenu efikasnosti radio-goniometrijskog sistema u uslovima borbenih dejstava. Primenjena je teorija masovnog opsluživanja, linearne transcendentne jednačine i teorija verovatnoće u analizi efikasnosti radio-goniometrijskog sistema.

Ključne reči: teorija masovnog opsluživanja, efikasnost, radio-goniometrijski sistem.

PARAMETERS OF INFLUENCE FOR ESTIMATION OF EFFICIENCY OF RADIO-LOCATION SYSTEM IN COMBAT

Summary:

Important parameters for estimation efficiency of Radio-Location System in combat conditions has been presented in this article. The theory of mass servicing, linear transcendental equations and theory of probability are used in the efficiency analysis of Radio-Location System.

Key words: the theory of mass servicing, efficiency, radio-location system.

Uvod

Uloga radio-goniometrisanja u borbenim dejstvima je značajna, jer je određivanje lokacija elemenata borbenog rasporeda protivnika prioritetan zadatak. I pored najsavremenijih (optičkih i elektronskih) sistema izviđanja (u kosmosu, vazдушnom prostoru, na zemlji, moru i u vodi), radio-goniometrisanje daje veliki doprinos, posebno kada se objekat može otkriti samo u radio-spektru, a ne i u radarskom, toplotnom i vizuelnom.

Često se u proceni efikasnosti nekog sistema polazi od njegovih zvaničnih taktičko-tehničkih mogućnosti. Tako su se i radio-goniometrijski sistemi vrednovali prema broju radio-stanica koje mogu goniometrisati za jedan čas. Prema ovom kriterijumu, nekada su radio-goniometrijski sistemi mogli da goniometrišu oko 60 radio-stanica na čas, danas

oko 200, a u budućnosti i znatno više. Međutim, postavlja se pitanje – da li je to zaista osnovni kriterijum za ocenu efikasnosti radio-goniometrijskih sistema ili postoje i drugi parametri koji daju svoj doprinos proceni efikasnosti.

Treba pomenuti da su uz prethodni kriterijum, a radi što verodostojnije procene efikasnosti, isticani još i sledeći podaci: potpuna automatizacija i digitalizacija sistema, kompjuterska analiza i obrada svih podataka, veliki frekventni opseg rada, velika pokretljivost sistema (jer se sredstva montiraju na terenska vozila, transportere i vazduhoplove), mali broj poslužilaca i veoma kratko vreme spremnosti za rad, odnosno za pokret, i drugi podaci (vreme potrebno za goniometrisanje jedne radio-stanice, tačnost goniometrisanja i brzina prenosa podataka od goniometara do upravljačke stanice i obrnuto).

Ipak, sve to ne daje realnu sliku efikasnosti radio-goniometrijskog sistema u borbenim dejstvima. Zato ovaj tekst treba da ponudi drugačiji pristup proceni efikasnosti radio-goniometrijskih sistema, koji se sastoji u analizi dominantnih parametara koji utiču na efikasnost ovih sistema u borbi.

Analitički model za procenu efikasnosti radio-goniometrijskog sistema

Pretpostaviće se da se radio-izviđački sistem sastoji od prislušne kabine sa grupom VF i VVF prijemnika, upravljačke kabine, koja takođe raspolaže sa nekoliko VF i VVF prijemnika, ali i radio-uređajem za vezu sa tri radio-goniometra, te potrebnom računarskom i drugom neophodnom opremom. Sistem je potpuno automatizovan i montiran je na 5 terenskih motornih vozila.¹ Na slici 1 prikazana je šema radio-izviđačkog sistema, od koga se polazi pri analizi.

Efikasnost ovakvog radio-izviđačkog sistema, odnosno njegove goniometrijske mogućnosti procenjivaće se prema sledećim parametrima: daljini (dubini) goniometrisanja, verovatnoći goniometrisanja, srednjem broju radio-stanica koje će biti goniometrisane i tačnosti goniometrisanja.

Daljina goniometrisanja (D_g) može se poistovetiti sa daljinom izviđanja (D_i), tj. $D_g \approx D_i$. Međutim, zavisno od korišćenog antenskog sistema za goniometrisanje i niza drugih faktora nekada je daljina goniometrisanja manja od daljine izviđanja ($D_g < D_i$). Određivanje daljine izviđanja je poznato, te se ovde neće obrazlagati [1, 2, 3, 4].

¹ Kada se neki sistem naziva radio-izviđački, automatski se podrazumeva da on sadrži i goniometrijsku komponentu, za razliku od radio-prislušnog sistema koji ne sadrži ovu komponentu.

Verovatnoća goniometrisanja (p_g) od izuzetnog je značaja, jer na nju utiče protivnik, tj. od protivnika zavisi koliko će njegove radio-veze biti u eteru. Zato se verovatnoća goniometrisanja može, pre svega, poistovetiti sa verovatnoćom izviđanja (p_i). Ova verovatnoća može se proračunati na više načina, a ovde će se ilustrovati dva načina [3].

Prvi način je određivanje verovatnoće izviđanja p_i na osnovu empirijske formule, koja glasi [3]:

$$p_i = 1 - \left(\frac{\tau_p}{\tau_p + \tau_s} \right)^{nk} \cdot e^{-nk \frac{\lambda}{\tau_p}} \quad (1)$$

gde je:

τ_s – srednja vrednost ili matematičko očekivanje dužine trajanja veze (srednje vreme prisustva signala),

τ_p – srednja vrednost ili matematičko očekivanje dužine trajanja pauze u radu (vreme odsustva signala),

n – broj izviđačkih prijemnika,

k – broj pretraživanja frekventnog opsega.

Promenljiva λ je složena promenljiva koja zavisi od frekventnih karakteristika radio-signalu i osobina izviđačkog prijemnika, a određena je izrazom:

$$\lambda = \frac{\Delta F_s + \Delta F_{pr}}{\frac{\Delta F}{T_p}} \quad (2)$$

gde je:

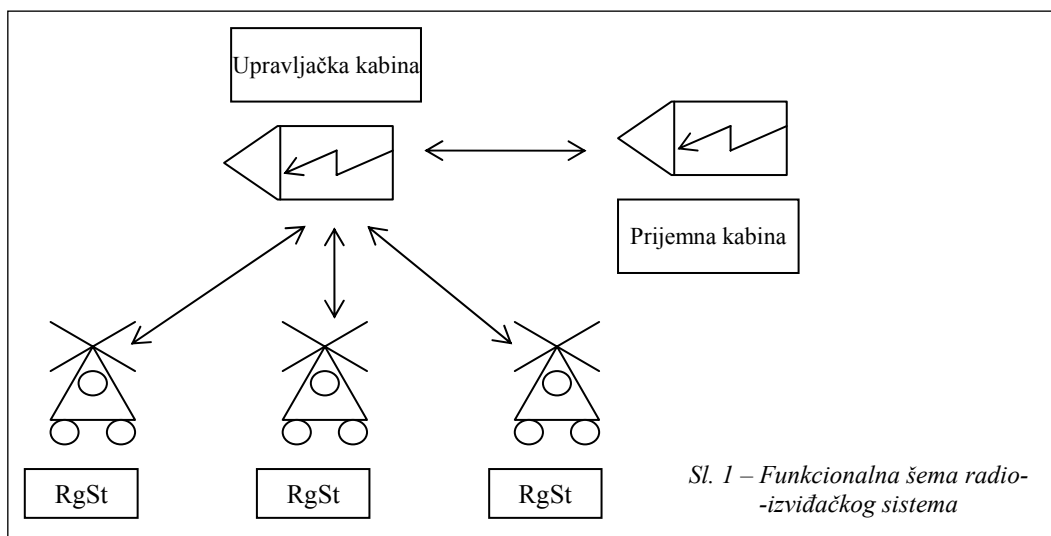
ΔF_s – širina spektra korisnog signala,

ΔF_{pr} – propusni opseg prijemnika,

ΔF – širina opsega pretraživanja,

T_p – vreme pretraživanja,

$\Delta F/T_p$ – brzina pretraživanja.



Sl. 1 – Funkcionalna šema radio-izviđačkog sistema

Na osnovu datog obrasca očigledno je da dominantan uticaj na verovatnoću izviđanja ima prisutnost signala u eteru, odnosno odnos između τ_p i τ_s (intenzitet saobraćaja veze), koji će se označiti promenljivom ρ ($\rho = \tau_p / \tau_s$).

Kod frekventno agilnih predajnika promenljiva λ može se definisati i kao:²

$$\lambda = \frac{k_z}{k_{pd} \cdot k_{pm} \cdot T_d} \quad (3)$$

gde je:

k_z – broj kanala koji su zajednički opsegu skakanja i pretraživanja,

k_{pd} – broj kanala sa frekventnim skakanjem,

k_{pm} – broj kanala pretraživanja,

T_d – vreme detekcije signala.

Mogućnosti otkrivanja i goniometriisanja frekventno agilnih predajnika prikazane su dijagramom na slici 2.

² Na osnovu dela formule za izračunavanje verovatnoće goniometriisanja frekventno agilnih predajnika [4].

Verovatnoća izviđanja izračunava se na drugi način primenom teorije masovnog opsluživanja, kada se verovatnoća stanja sistema određuje prema formuli Erlanga, pa je [3]:

$$P_i = 1 - p_n = 1 - \frac{\rho^n}{n!} \quad (4)$$

$$\sum_{m=0}^n \frac{\rho^m}{m!}$$

gde je:

p_n – verovatnoća da veza neće biti otkrivena,

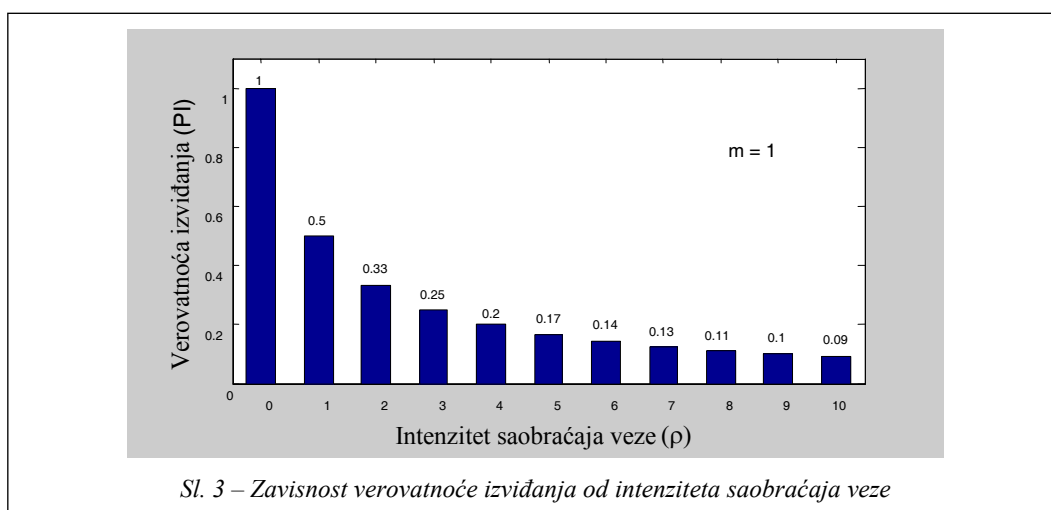
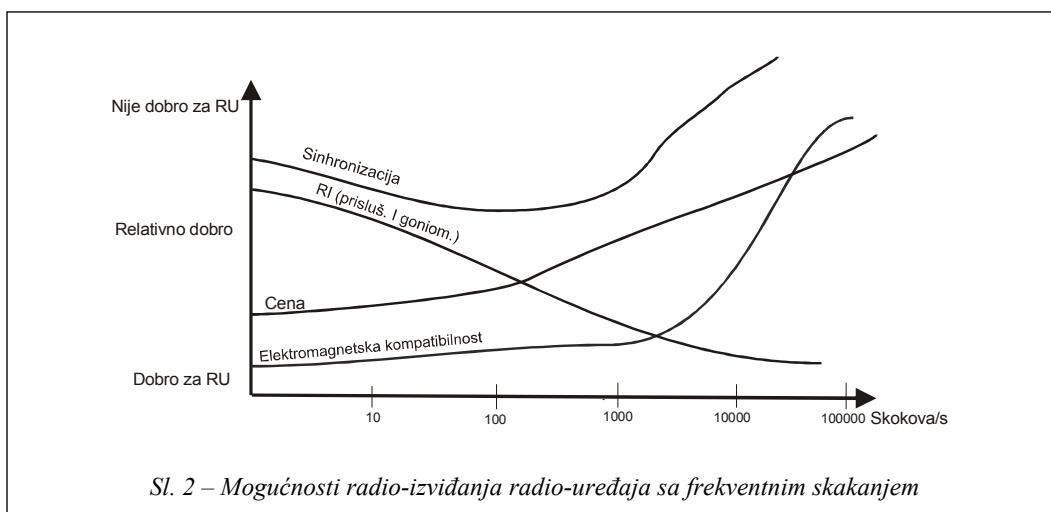
n – ukupan broj kanala opsluživanja, odnosno broj izviđačkih prijemnika,

m – broj aktivnih kanala opsluživanja,

ρ – intenzitet saobraćaja veze ($\rho = t_p / t_s$),

t_p – srednja vrednost ili matematičko očekivanje dužine trajanja pauze u radu (vreme odsustva signala),

t_s – srednja vrednost ili matematičko očekivanje dužine trajanja veze (srednje vreme prisustva signala).



Na slici 3 prikazana je zavisnost verovatnoće izviđanja u funkciji intenziteta saobraćaja veze, odnosno prisutnosti signala u eteru, kada je broj izviđačkih prijemnika $m = 1$.

Za simulaciju zavisnosti verovatnoće izviđanja od intenziteta saobraćaja veze urađen je program u programskom paketu Matlab 6.5 R13.

Na kraju elaboracije ovog parametra može se postaviti pitanje – da li je uvek verovatnoća izviđanja jednaka verovatno-

ći goniometrisanja. Najčešće se verovatnoća goniometrisanja može aproksimirati sledećim empirijskim izrazom [3]:³

$$p_g = p_i^g \quad (5)$$

gde je g korekcionni faktor za goniometrijsku mrežu, jer neće uvek uspeti da se goniometrišu sve stanice u radio-vezi (mreži). Ovaj faktor zavisi od frekventnog op-

³ Obrazac je proistekao iz ličnog empirijskog iskustva, kao i veličina korekcionnog faktora g i obrazac za broj radio-stanica koje će biti goniometrisane N_g .

sega i vrste rada emisije, organizacije radio-veze koja se goniometriše, od načina goniometrisanja (manuelno ili automatsko), borbenih i zemljišnih uslova i drugo. Do veličine ovog korekcionog faktora može se doći statističkim putem. Orijentirno se pri proceni za goniometrijsku mrežu VF opsega može koristiti da je $g = 1,5$, a za mrežu VVF opsega $g = 2$.

U daljem postupku analitički model zahteva i procenu srednjeg broja radio-stanica koje će biti goniometrisane (N_g), a može se izračunati putem izraza [3]:

$$N_g = N_i \cdot N_s \cdot p_g \quad (6)$$

gde je:

N_i – srednji broj radio-veza koje će biti izviđane,

N_s – srednji broj radio-stanica u radio-mrežama,

p_g – verovatnoća goniometrisanja.

Pošto je u prethodnom izrazu ostalo nepoznato kako se izračunava srednji broj izviđanih radio-veza, nužno je i to objasniti. Srednji broj radio-veza koje će biti izviđane N_i može se izračunati prema sledećem obrascu [3]:

$$N_i = N \left[1 - \left(1 - p_t \cdot p_i \cdot e^{-\frac{m_i}{m}} \right)^{\frac{m}{N+L}} \right] \quad (7)$$

gde je:

N – ukupan broj radio-veza koje treba izviđati,

p_t – pouzdanost izviđačkih prijemnika,

p_i – verovatnoća izviđanja,

m – broj izviđačkih prijemnika kojima se istovremeno vrši izviđanje,

m_i – broj izviđačkih prijemnika koji neće moći vršiti izviđanje, iz bilo kojih razloga (uništeno, premešta se, itd.),

L – broj ostalih radio-veza (lažne, drugih imalaca sistema veze).

Za analitički model procene efikasnosti goniometrisanja treba istaći najznačajniji parametar – tačnost goniometrisanja. U velikom broju slučajeva ovaj podatak (lokacija radio-stanice) biće osnovni obavestajni podatak, posebno u uslovima kada su informacije kriptološki zaštićene; odnosno, od tačnosti lokacije moći će se po tim elementima sistema veza dejstvovati različitim ubojnim sredstvima. Međutim, precizna procena tačnosti goniometrisanja izuzetno je složena i zavisi od: daljine goniometrisanja, tačnosti goniometra, talasne dužine i uslova prostiranja, uticaja okoline goniometra i primenjene metode, tačnosti očitavanja pravca, obučenosti posluge, razmere karte i slično. Sistematične greške su poznate i mogu se dodati, odnosno oduzeti od izmerene vrednosti i time njihov uticaj smanjiti. Slučajne greške su posledica različitih uticaja i deluju sa različitim predznakom na izmerenu vrednost. Njihov uticaj se smanjuje ako se pravac dobije iz srednje vrednosti više uzastopnih merenja pravca. Najveću grešku u određivanju pravca, a time i lokacije izvora elektromagnetskog zračenja, prouzrokuje širina antenskog snopa goniometra (ili njegova tačnost) i raspored goniometara na zemljištu u odnosu na izvor zračenja. U većini slučajeva u borbenim uslovima konfiguracija zemljišta, raspored jedinica i raspoloživo vreme neće dozvoljavati da se goniometri postave na optimalan način (kako tehnički, tako i taktički).

Određivanje tačnosti goniometrisanja, u zavisnosti od njegove daljine, može se predstaviti izrazom [5]:

$$\Delta L = 0,0175 \cdot D_g \cdot \Delta\theta \quad (8)$$

gde je:

ΔL – linijska greška [km],

D_g – rastojanje između goniometra i predajnika radio-stanice [km],

$\Delta\theta$ – srednja ugaona greška [°].

Primenom prezentovanog izraza dobijaju se odstupanja prema tabeli:

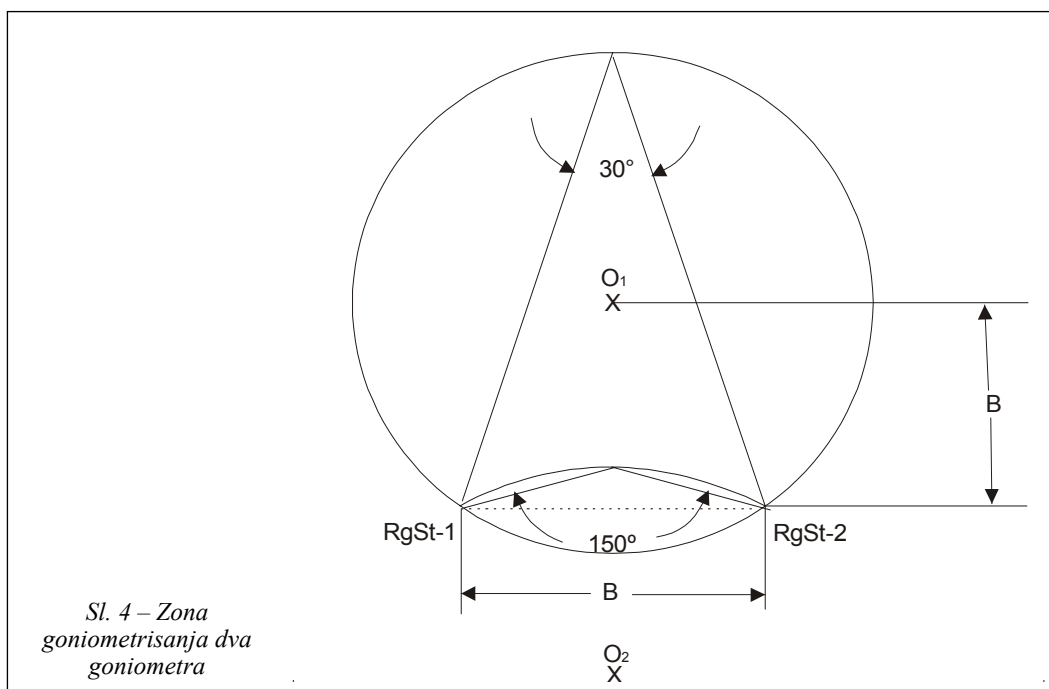
$D_g \backslash \Delta\theta$	$\pm 1^\circ$	$\pm 2^\circ$	$\pm 3^\circ$
1 km	17,5 m	35 m	52,5 m
10 km	175 m	350 m	525 m
30 km	525 m	1150 m	1575 m
50 km	875 m	1750 m	2625 m
100 km	1750 m	3500 m	5250 m
300 km	5250 m	11 500 m	15 750 m
500 km	8750 m	17 500 m	26 250 m

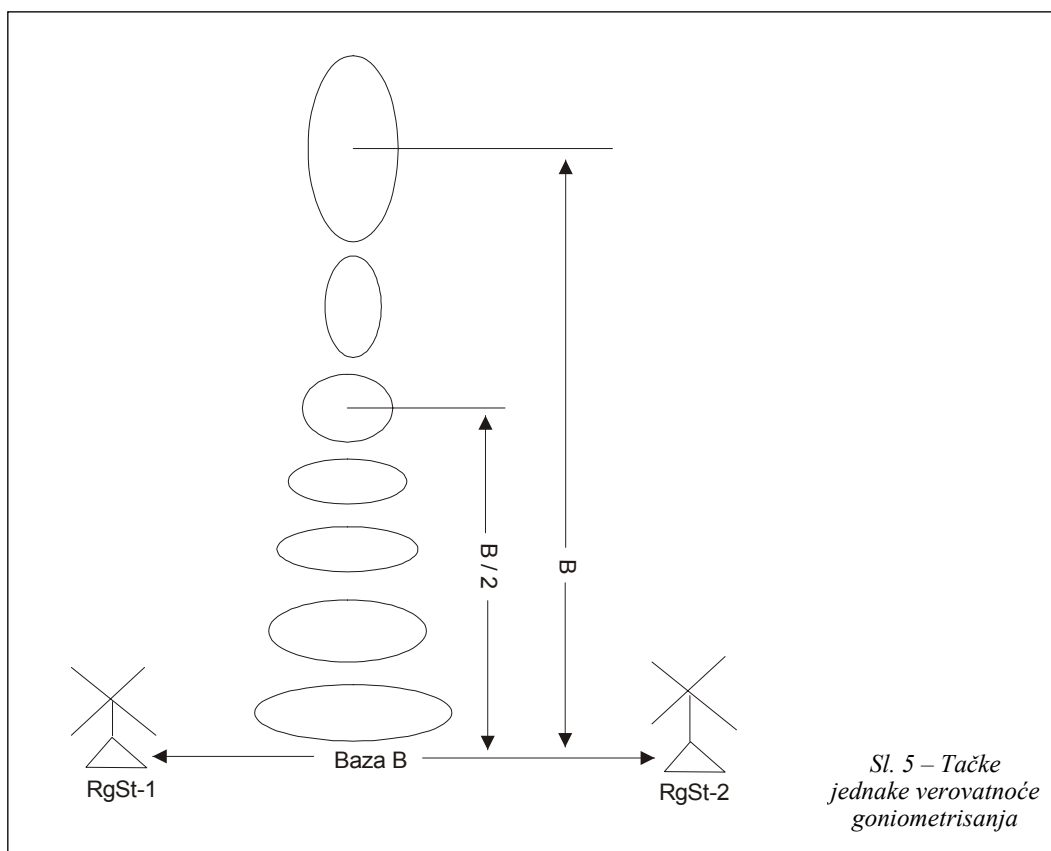
Ovakva tačnost može da zadovolji samo potrebe određivanja lokacije obje-

kata pri proceni borbene situacije, ali ne može da zadovolji potrebe kada se želi uništenje objekata. U slučajevima kada potrebe goniometrisanja treba da zadovolje dva goniometra (u praksi čest slučaj), konstruisaćemo (grafički) zonu goniometrisanja u kojoj se pravci seku pod uglom od 30° do 150° , a to je područje zadovoljavajuće tačnosti. Zona goniometrisanja prikazana je na slici 4, gde je B goniometrijska osnovica (rastojanje između radio-goniometrijskih stanica), a O_1 i O_2 centri opisanih kružnica.

U prikazanom slučaju, greška određivanja lokacije na pojedinim tačkama, prikazana je elipsama greške, koje obuhvataju sve tačke jednake verovatnoće (slika 5) [1, 2, 4, 5].

Slike 4 i 5 pokazuju da se najveća tačnost goniometrisanja postiže kada su uglovi presecanja oko 90° , tj. ova tačnost se postiže na daljinama $B/2$, gde je B ra-





Sl. 5 – Tačke
jednake verovatnoće
goniometrisanja

stojanje između goniometara, odnosno ovo rastojanje nazivamo bazom ili osnovicom goniometrisanja. Navedeni primeri procene tačnosti goniometrisanja samo delimično ukazuju na složenost ove problematike. Ipak, može se zaključiti da savremeni radio-goniometrijski sistemi mogu u najvećem delu i goniometrisati otkrivene radio-stanice, na kopnu sa tačnošću od 1° – 3° , zavisno od dela zone goniometrisanja u kojem se nalaze.

Ilustrativni primer

Pretpostaviće se da je zona radio-izviđanja, odnosno goniometrisanja, teritorija 20×40 km (manevarsko zemljište) u kojoj se nalazi 20 VF i 60 VVF radio-ve-

za (mreža). Daljina goniometrisanja D_g za VF radio-veze je celokupna zona, dok bi za VVF radio-veze iznosila oko polovine zone. Radio-izviđanjem je otkriveno 12 VF i 34 VVF radio-veza ($N = 20$, a $N_i = 12$ za VF i $N = 60$, a $N_i = 34$ za VVF radio-veze). U VF radio-vezama nalazi se prosečno 4 učesnika ($N_s = 4$), a u VVF 6 ($N_s = 6$). To znači da treba goniometrisati u VF opsegu 48, a u VVF opsegu 204 radio-stanice. Pretpostavimo da radio-veze VF opsega rade kratko, tj. pauze su im tri puta duže od vremena rada ($3t_p = t_s$, pa je $\rho = 3$), dok radio-veze VVF opsega rade dva puta duže od pauza ($t_p = 2t_s$, pa je $\rho = 0,5$). Tada je $p_i = 0,25$ za VF radio-veze, odnosno za VVF $p_i = 0,667$ (vidi sliku 3).

Može se zaključiti da je broj goniometrisanih radio-stanica u VF opsegu, kada je korekcionni faktor $g = 1,5$:

$N_g = N_i \cdot N_s \cdot p_g = 12 \cdot 4 \cdot 0,12 = 6$ stanica dok bi broj goniometrisanih stanica u VVF opsegu sa korekcionnim faktorom $g = 2$, iznosio:

$N_g = N_i \cdot N_s \cdot p_g = 34 \cdot 6 \cdot 0,44 \approx 90$ stanica.

Za razliku od nominalnih mogućnosti, kakva su ranije bila prikazana, korišćenjem ovog matematičkog modela dolazi se do realnih mogućnosti, tj. do procene efikasnosti radio-goniometrijskog sistema u borbenim uslovima. S obzirom na širinu i dubinu zone goniometrisanja može se očekivati tačnost goniometrisanja od $\pm 1^\circ$ u centralnom delu zone.

Na osnovu iskustvenih činjenica istaknimo još neke podatke značajne za procenu efikasnosti goniometrijskih sistema. Ako sa „č“ označimo početak borbenih dejstava, može se očekivati da će u „č+10s“ radio-veza biti detektovana i da će biti preneti komanda (telekomanda) da se radio-stanice u vezi (pravcu ili mreži) goniometrišu. U „č+25s“ radio-stanice u vezi biće goniometrisane i njihova lokacija obrađena i ustanovljena. Do „č+60s“ podaci su razmenjeni i upoređeni sa prikupljenim podacima drugim načinima izviđanja i predlaže se odluka o daljem postupku. U periodu od „č+60s“ do „č+90s“ uslediće naredba za ometanje (osim kada

su poznate frekvencije rada pojedinih radio-veza, pa se unapred izvrši programiranje ometača za njihovo ometanje) ili vatreno dejstvo po otkrivenim lokacijama radio-stanica. Nakon „č+90“ treba očekivati vatrena dejstva po goniometrisanim ciljevima. Može se očekivati da se u budućnosti ova vremena (orijentirno procenjena) još više skraćuju.

Zaključak

U radu je prikazan poseban pristup u proceni parametara koji utiču na efikasnost radio-goniometrijskog sistema. Za razliku od zvaničnih taktičko-tehničkih mogućnosti radio-goniometrijskih sistema predstavljeni parametri daju realniju procenu efikasnosti sistema u borbenim uslovima, jer uzimaju u obzir i protivnika, odnosno rad njegovih radio-veza kao osnovnog preduslova za realizaciju goniometrisanja stanica veze. Analitički model može se primeniti u proceni situacije i odlučivanju o upotrebi snaga u borbenim dejstvima.

Literatura:

- [1] Palij, I. A.: Radio-elektronska borba (prevod sa ruskog), VIZ, Split, 1982.
- [2] Razingar, A.: Protivelektronska dejstva (drugo prošireno izdanje), VIZ, Beograd, 1982.
- [3] Šepec, V. V.: Procena efikasnosti sistema veza u borbi (privatno izdanje), Beograd, 2004.
- [4] Šunjevarić, M. M.: Radio-goniometrija, VINC, Beograd, 1991.
- [5] Osnovi elektronike, fizički principi radio-lokacije i radio-goniometrije (prevod sa ruskog), DSNO, Beograd, 1971.