

ORIJENTACIJA RADARA 3MK7 ASTRONOMSKOM METODOM

Orientation of a 3MK7 radar by astronomic method

SREČKO BANDALO

Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Zagreb
Primljeno 07. veljače 1989., u konačnom obliku 13. lipnja 1989.

Sažetak: U radu je izložena astronomska metoda za provjeru točnosti orijentacije ka sjeveru meteorološkog radara 3MK7, koji se u SR Hrvatskoj koristi u obrani od tuče. Postupak je izveden uz pretpostavku paralelnosti optičkih osi nišanskog durbina i primopredajnika radara. Uvažena je utjecaj rotacije i revolucije Zemlje. Izloženi proračunati položaji Sjevernjače u tražilu nišanskog durbina odnose se na koordinate $\varphi=45^{\circ},217411$ i $\lambda=17^{\circ},299019$, i bez posebnog prilagođavanja se mogu koristiti za provjeru orijentacije radara u panonskom dijelu Hrvatske.

Ključne riječi: Obrana od tuče; Polaris ili zvijezda Sjevernjača; Rotacija; Revolucija.

Grafocentar (rasprave)

RN-834 :f 2,3,8,105: Flopy-9 BT-53

Abstract: This article discusses an astronomic method of testing the exactness of radar orientation. It is related to a meteorological radar 3MK7, used in hail suppression activities in Croatia.

The procedure is defined on the supposition that the radar finder and the transceiver axis are parallel. The method also considers earth revolution and rotation. Polaris positions treated by telescope are related to the following coordinates: $\varphi=45^{\circ},217411$ i $\lambda=17^{\circ},299019$. These positions can be used for testing the radar orientation exactness on other locations in northern Croatia, without further corrections.

Key words: Hail suppression, Polaris, Earth rotation, Earth revolution.

1. UVOD

1.1. Općenito

U obrani od tuče u Sr Hrvatskoj u upotrebi su protivavionski nišanski radari 3MK7 prilagođeni za meteorološku primjenu.

Ovi radari su mobilnog tipa, no u primjeni u obrani od tuče (OT) su stacionirani. Kod većine nije izvršena propisna stabilizacija terena na kojem su stacionirani. Zbog toga je svake godine nužno niveliranje i orijentacija ka sjeveru svih uređaja.

Iz toga proizlazi da je obaveza ekipa radarskih centara (RC) da barem dva puta u toku sezone OT izvrše provjeru orijentacije radara, te na osnovi uočenih neispravnosti traže intervenciju službe za održavanje radara. Zadatak je definirati što točniju a ujedno što jednostavniju metodu za provjeru točnosti orijentacije radara 3MK7. Kao rješenje ovako postavljenog zadatka nametnula se astronomska metoda kao najtočnija a ujedno i relativno jednostavna.

Zadatak dakle možemo preformulirati: metoda za provjeru točnosti orijentacije radara 3MK7 pomoću zvijezde Polaris ili Sjevernjača (što je kod nas uobičajen naziv).

1.2. Početni uvjeti

Osnovni uvjet koji treba ispuniti da bi govorili o orijentaciji radara je da optička os »nišanskog durbina« bude paralelna sa optičkom osi antenskog primopredajnika.

Općenito, kada je riječ o orijentaciji radara, poželjna je što veća točnost. Ipak, ne ulazeći ovom prilikom u obrazlaganje, možemo biti zadovoljni ako radar orijentiramo tako da se sjeverni pol nalazi u krugu radiusa $0,^{\circ}25$, to jest $15'$ oko optičke osi nišanskog durbina (radara). Onog momenta kada taj uvjet nije ispunjen, treba pristupiti ponovnoj nivelaciji i orijentaciji radara.

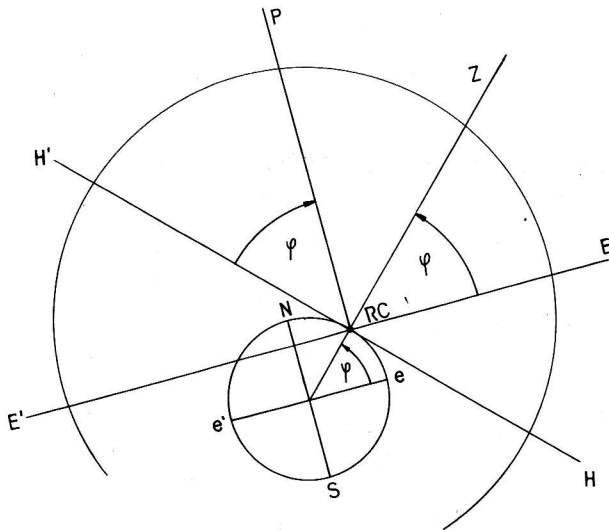
2. ISHODIŠTA METODE

2.1. Veza između geografskih i nebeskih koordinata

Promotrimo utjecaj geografske širine lokacije radarskog centra (RC) na odnos RC i nebeske sfere pod uvjetom da je radar smješten u ishodište horizontskog koordinatnog sustava.

Iz Sl.1. vidimo sljedeće:

Ako antenu radara podignemo na elevaciju koja je po iznosu jednaka geografskoj širini (» φ «) lokacije RC i zatim je po azimutu usmjerimo ka sjeveru, ako je radar dobro



Sl. 1. Geografska širina i horizonski kordinatni sustav. (N) sjeverni pol, (S) južni pol, (φ) geografska širina, (P) nebeski pol, (Z) zenit, e'-e ekvator, E'-E nebeski ekvator, H'-H horizont.

Fig. 1. Latitude and horizon coordinates.

- (N) - North Pole
- (S) - South Pole
- (φ) - latitude
- (P) - celestial pole
- (Z) - zenith
- e'-e - equator
- E'-E - celestial equator
- H'-H - horizon

orijentiran, u tražilu niškanskog durbina bi trebao biti sjeverni pol sa okolnim zvijezdama. Geografska dužina lokacije RC je od značaja za mjerenje vremena, to jest za definiranje lokacije nebeskih objekata u odnosu na RC.

2.2. Astronomsko mjerenje vremena

U astronomiji se, ovisno o karakteru problema koji se rješava, srećemo sa više različitih definicija vremena, pa tako imamo zvjezdano vrijeme, sunčevo vrijeme, mjesno, zonsko, svjetsko i efemeridsko vrijeme. Za potrebe ove metode treba znati slijedeće.

Svjetsko vrijeme predstavlja srednje sunčevo griničko vrijeme računato od griničke ponoći. Označava se sa UT. Do nedavno se koristilo u astronomskim tablicama (do 1960). Od tada se uvodi efemeridsko vrijeme koje omogućava veću točnost. Odstupanje UT od efemeridskog vremena je 1971.g. iznosilo $+39^s,0$ što je za naše potrebe bez značenja. Mjesno vrijeme je funkcija geografske dužine i isto je samo za posmatrača na istom meridijanu.

Zonsko vrijeme je uvedeno radi pojednostavljenja. Po površini Zemlje su formirane zone širine 15° oko meridijana: $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, \dots$ Razlika u vremenu između ovih zona iznosi 1 h. Početna zona je oko griničkog meridijana.

Vrijeme u našoj zemlji se formira oko meridijana 15° i zove se srednjeevropsko vrijeme (SEV). U odnosu na svjetsko vrijeme naši satovi pokazuju jedan sat više.

Uvođenjem »ljetnog« vremena u periodu od 27. 03. do 25. 09. naši satovi pokazuju dva sata više od svjetskog vremena. Eksperimentalni rezultati iznjeti u ovom radu odnose se na službeno ljetno vrijeme.

2.3. Rotacija i revolucija

Okretanje Zemlje oko polarne osi zove se rotacija. Rotacija uzrokuje prividno kretanje nebeske sfere pri čemu objekti, za svaki sat vremena, pređu, od istoka ka zapadu, put od 15° .

Kruženje Zemlje oko Sunca zove se revolucija.

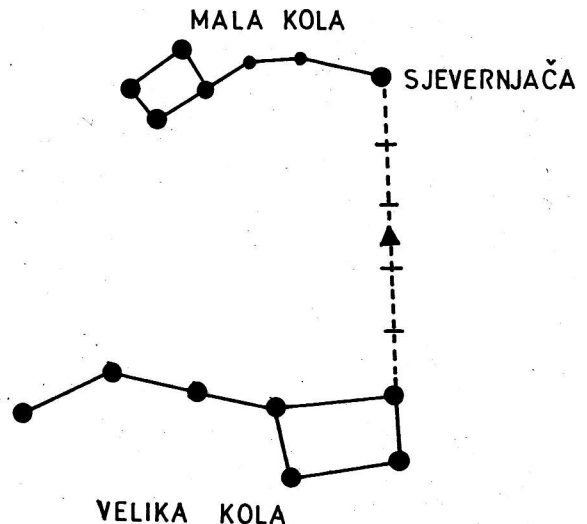
Revolucija, također, uzrokuje prividno gibanje nebeske sfere oko zemaljske osi. Budući da Zemlja za godinu dana napravi jedan puni krug oko Sunca, uslijed revolucije, nebeska sfera se za jedan dan zakrene za 365. dio punog kruga. Možemo uzeti da se svaki dan nebeska sfera, uslijed revolucije, zakrene približno za 1° od istoka ka zapadu.

Orijentacija na zvjezdanom nebu

Za orijentaciju na zvjezdanom nebu i pronalaženju Sjevernjače značajno je uočiti dva sazvežđa: Veliki medvjed (ili Velika kola) i Mali medvjed (ili Mala kola).

Oba sazvežđa se sa naših geografskih širina vide tokom cijele godine.

Velika kola jesu sazvežđe koje se lako uočava zbog sedam osnovnih zvijezda podjednake prividne veličine. Sjevernjaču nalazimo tako da spojnicu posljednje dvije zvijezde u Velikim kolima produžimo pet puta, kako to prikazuje Sl. 2.



Sl. 2. Skica postupka za pronalaženje Sjevernjače pomoću sazvežđa Velika kola.

Fig. 2. Procedure scheme for locating the Polaris (orientation by Ursa Mayor)

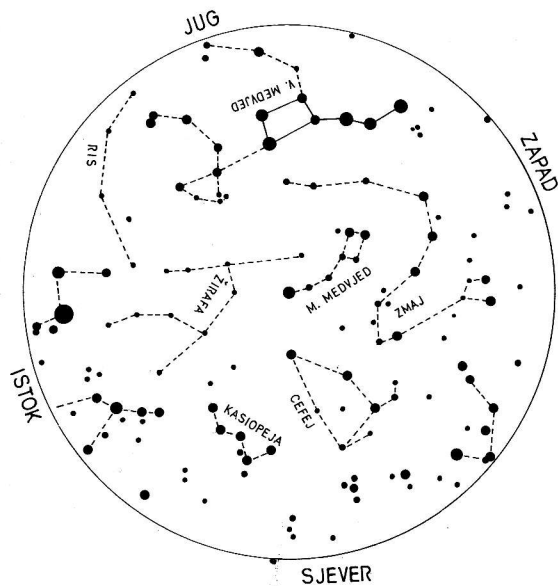
Za orijentaciju može poslužiti i karta koja prikazuje noćno nebo oko 21 h (službenog ljetnog vremena) krajem travnja.

2.5. Niškanski durbini

Ne ulazeći u optička svojstva niškanskog durbina, na osnovi službenih podataka, nitni krst (orijentaciona mrežica) u durbinu izgleda kao na Sl. 4.

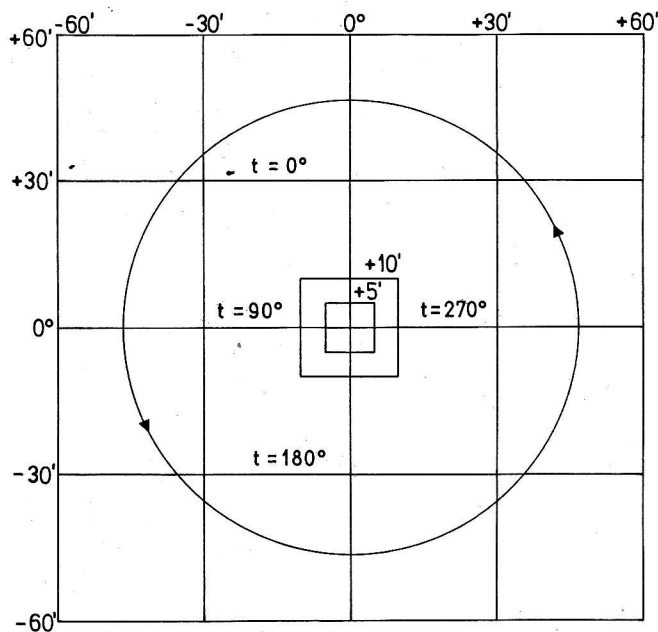
Kružnica na slici predstavlja trajektoriju gibanja Sjevernjače, gledano kroz durbini, kada je radar ispravno orijentiran.

Usljed rotacije Sjevernjače se po trajektoriji giba kutnom brzinom od $0^{\circ},9973$ na dan u smjeru strelica.



Sl. 3 Situaciona karta zvjezdanog neba oko 21 h ljetnog vremena krajem travnja.

Fig. 3. Map of North Celestial Pole area (9pm civil time, end of April). Ursa Mayor is close to zenith.



Sl. 4. Orijeatcijska mreža u nišanskom durbinu radara 3MK7 sa trajektorijom Sjevernjače u slučaju kada je radar idealno orijentiran.

Fig. 4. Finder screen of leveled 3MK7 with Polaris trajectory in case radar is oriented correctly.

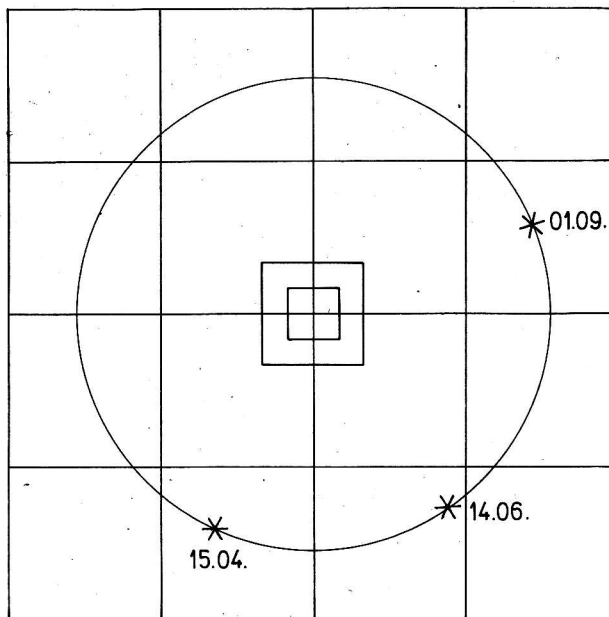
3. RAZRADA METODE

Metoda se temelji na definiranju položaja Sjevernjače na trajektoriji s obzirom na utjecaj rotacije i revolucije.

Do ovog položaja se dolazi eksperimentalno i proračunavanjem utjecaja rotacije i revolucije, na osnovi rečenog u prethodnom poglavlju.

Slika 5.

Slika 5. ujedno je sugestija da se provjere orijentacije radara vrše naznačenih datuma sa dozvoljenim odstupa-



Sl. 5. Položaj Sjevernjače, gledano kroz nišanski durbin, idealno orijentiranim radarom, za tri različita datuma u 00 h 00 min. službenog ljetnog vremena.

Fig. 5. Polaris position, seen through a finder of correctly oriented radar. Three dates, 00.00 o'clock civil time.

njem od jednog dana.

Za veće odstupanje od predloženih datuma treba proračunati položaj Sjevernjače uzimajući u obzir utjecaj revolucije.

Nakon što izvršimo lokaciju Sjevernjače za određeni datum, pristupimo proračunu položaja s obzirom na rotaciju za noćni dio tog dana.

Zgodno je odabrati točke presjeka trajektorije i orijentacione mreže te u njima izračunati aktualno očekivano vrijeme.

Nakon toga se može pristupiti provjeri predviđenog položaja Sjevernjače i stvarnog položaja opaženog u odgovarajućem trenutku, nišanskim durbinom.

Rezultat osmatranja udovoljava početnim uvjetima sve dok se Sjevernjača nalazi u šrafiranom području prikazanom na Sl. 6.

Slika 6.

Za predložene datume izvršen je proračun očekivanih vremena-položaja Sjevernjače i prikazan na slikama 7,8 i 9.

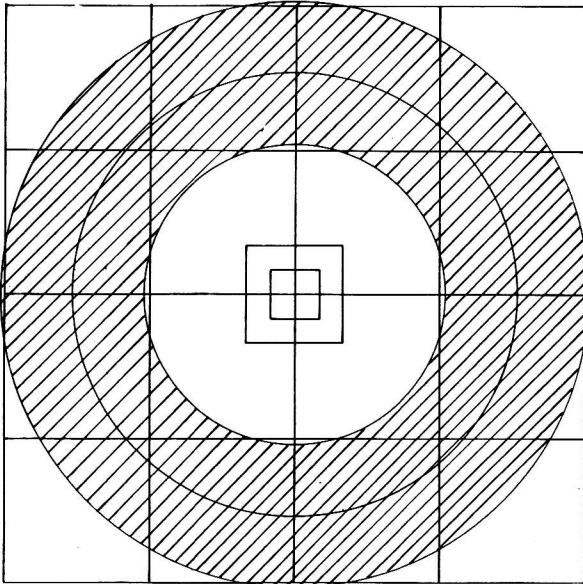
4. OPIS POSTUPKA

Ulazni podatak je geografska širina RC.

U prvim večernjim satima radar se upali, podesi elevacija tako da po iznosu bude jednaka geografskoj širini, azimut podesi na 0°.

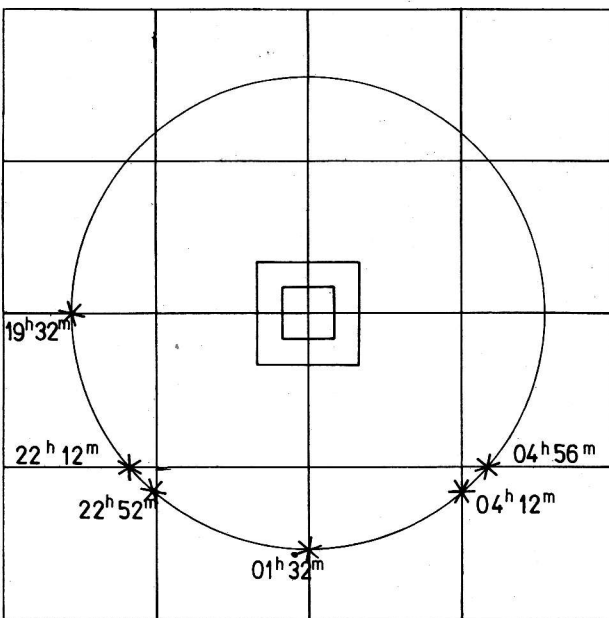
Radar se ugasi.

Anteni radara pristupi se pažljivo da je se ne pomjeri. Ukoliko se radi o jednom od predloženih datuma za provjeru orijentacije radara, pripremi se odgovarajuća slika (7, 8. ili 9) očekivanog položaja Sjevernjače. U protivnom se načini slična slika, ali za odabrani datum.



Sl. 6. Područje dozvoljenog odstupanja opaženog položaja Sjevernjače u odnosu na predviđeni. (max $\pm 15'$).

Fig. 6. Area of tolerated deviation of a found Polaris position related to a reference position. Tolerance is max. $\pm 15'$.



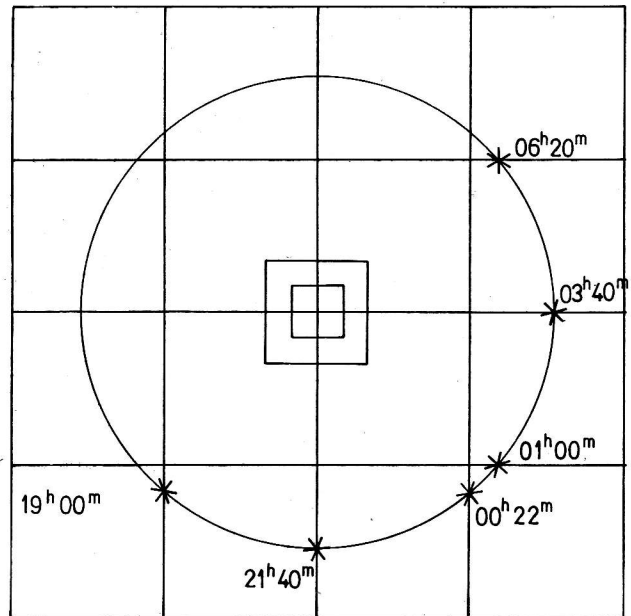
Sl. 7. Očekivani položaji Sjevernjače u orijentacijskoj mreži nišanskog durbina radara 3MK7 na dan 15.04.

Fig. 7. Expected Polaris positions in 3MK7 finder screen on 15th April.

U trenutku koji je naznačen na odgovarajućoj slici izvršimo stvarnjanje predviđenog položaja Sjevernjače sa njenim stvarnim položajem.

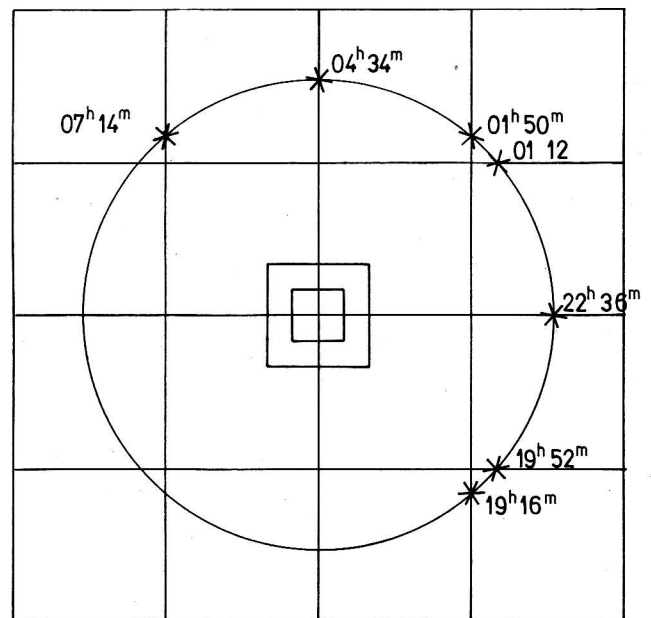
Ako opaženi položaj Sjevernjače odstupa od predviđenog više nego to dopušta »prsten tolerancije« (Sl.6), orijentacija radara ne zadovoljava.

5. RAČUNANJE POLOŽAJA SJEVERNJAČE NA TRAJEKTORIJI POMOĆU ZVJEZDANIH TABLICA (EFEMERIDA)



Sl. 8 Očekivani položaji Sjevernjače u orijentacijskoj mreži nišanskog durbina radara 3MK7 na dan 14.06.

Fig. 8. Expected Polaris positions in 3MK7 finder screen on 14th June.



Sl. 9. Očekivani položaji Sjevernjače u orijentacijskoj mreži nišanskog durbina radara 3MK7 na dan 01.09.

Fig. 9. Expected Polaris positions in 3MK7 finder screen on 01st September.

Za značajnija odstupanja datuma provjere orijentacije radara od predloženih datuma treba pristupiti izračunavanju satnog kuta radi lokacije Sjevernjače na trajektoriji (Sl. 4). Satni kut raste od 0° u smjeru strelica na slici (protusatno).

Polazne veličine su datum, geografska dužina RC i rektascenzija Sjevernjače za dotični datum.

Položaj se računa za 0^h službenog ljetnog vremena. Ono se prevodi u svjetsko vrijeme (UT), množenjem sa koeficijentom $k=1.00273791$ prelazi se na svjetsko zvje-

zdano vrijeme (UT*). Na osnovi tako dobivenog vremena u tablicama zvjezdanog vremena interpoliramo zvjezdanog vrijeme (S₀). Zbrajanjem svjetskog zvjezdanog vremena i zvjezdanog vremena dobijamo zvjezdanog griničko vrijeme (S_g), njemu pribrojimo geografsku dužinu RC (λ) i dobijemo mjesno zvjezdanog vrijeme (S_m). Oduzimanjem od mjesnog zvjezdanog vremena odgovarajuće rektascenzije Sjevernjače (α) dobijamo satni kut (t). Ucrtavanjem satnog kuta na trajektoriju Sjevernjače, kao što je učinjeno na Sl. 5, dobijamo očekivani položaj Sjevernjače u tražilu durbina u 0^h službenog ljetnog vremena dotičnog datuma.

Primjer: Računanjem satnog kuta locirati očekivani položaj Sjevernjače u tražilu nišanskog durbina radara 3MK7 na dan 14.06. u 0^h0^m službenog ljetnog vremena.

$$\lambda = 17^{\circ},299019 \Rightarrow 17^{\circ},299019 \times \frac{60}{15} = \Rightarrow \lambda = 1^{\text{h}} 09^{\text{m}}$$

$$\alpha = 2^{\text{h}} 19^{\text{m}} \quad k = 1,00273791$$

$$T = 0^{\text{h}} 0^{\text{m}}$$

$$UT = T - 2^{\text{h}} \quad UT = 22^{\text{h}} 00^{\text{m}}$$

$$UT^* = UT * k \quad UT^* = 22^{\text{h}} 04^{\text{m}} \rightarrow \text{iz tablica zvjezdanog vremena za 13.06. oko } 22^{\text{h}} \text{ interpolacijom slijedi } S_0 = 17^{\text{h}} 28^{\text{m}}$$

$$S_g = UT^* + S_0 \quad S_g = 15^{\text{h}} 32^{\text{m}}$$

Tabela 2. Zvjezdanog vrijeme (S₀) u zavisnosti o svjetskom zvjezdanom vremenu (UT*) za period od 15. 04. do 15. 10.

UT*	S ₀ h m	UT*	S ₀ h m	UT*	S ₀ h m	UT*	S ₀ h m	UT*	S ₀ h m	UT*	S ₀ h m	UT*	S ₀ h m
04. 15.	13 33	05. 01.	14 36	06. 01.	16 38	07. 01.	18 36	08. 01.	20 38	09. 01.	22 41	10. 01.	00 39
16.	36	02.	40	02.	42	02.	40	02.	42	02.	44	02.	43
17.	40	03.	43	03.	46	03.	44	03.	46	03.	48	03.	47
18.	44	04.	47	04.	50	04.	48	04.	50	04.	52	04.	51
19.	48	05.	51	05.	54	05.	52	05.	54	05.	56	05.	55
20.	52	06.	55	06.	58	06.	56	06.	58	06.	23 00	06.	59
21.	56	07.	59	07.	17 01	07.	19 00	07.	21 02	07.	04	07.	01 02
22.	14 00	08.	15 03	08.	05	08.	04	08.	06	08.	08	08.	06
23.	04	09.	07	09.	09	09.	08	09.	10	09.	12	09.	10
24.	08	10.	11	10.	13	10.	12	10.	14	10.	16	10.	14
25.	12	11.	15	11.	17	11.	16	11.	18	11.	20	11.	18
26.	16	12.	19	12.	21	12.	19	12.	22	12.	24	12.	22
27.	20	13.	23	13.	25	13.	23	13.	26	13.	28	13.	26
28.	24	14.	27	14.	29	14.	27	14.	30	14.	32	14.	30
29.	28	15.	31	15.	33	15.	31	15.	34	15.	36	15.	34
30.	32	16.	35	16.	37	16.	35	16.	37	16.	40		
		17.	39	17.	41	17.	39	17.	41	17.	44		
		18.	43	18.	45	18.	43	18.	45	18.	48		
		19.	47	19.	49	19.	47	19.	49	19.	51		
		20.	50	20.	53	20.	51	20.	53	20.	55		
		21.	54	21.	57	21.	55	21.	57	21.	59		
		22.	58	22.	18 01	22.	59	22.	22 01	22.	00 03		
		23.	16 02	23.	05	23.	20 03	23.	05	23.	07		
		24.	06	24.	09	24.	07	24.	09	24.	11		
		25.	10	25.	12	25.	11	25.	13	25.	15		
		26.	14	26.	16	26.	15	26.	17	26.	19		
		27.	18	27.	20	27.	19	27.	21	27.	23		
		28.	22	28.	24	28.	23	28.	25	28.	27		
		29.	26	29.	28	29.	27	29.	29	29.	31		
		30.	30	30.	32	30.	30	30.	33	30.	35		
		31.	34	31.	34	31.	34	31.	37				

$$S_m = S_g + \lambda \quad S_m = 16^{\text{h}} 41^{\text{m}}$$

$$t = S_m - \alpha \quad t = 14^{\text{h}} 22^{\text{m}}$$

$$t(^{\circ}) = t(\text{h}) * 15^{\circ}/\text{h} \Rightarrow t = 215^{\circ} 45'$$

Usporedbom na Sl. 5. vidimo nivo poklapanja eksperimentalnih i računskih rezultata.

5. PRILAGODENE ZVJEZDANE TABLICE

Tabela 1. Vrijednosti rektascenzije Sjevernjače (α) u zavisnosti o datumu za period od 15.04. do 15.10.

Table 1. Right Ascension values (α) for Polaris in dependence of date for the period Apr. 15. to Oct. 10.

Period	Rektascenzija
15. 04. – 22. 06.	2 ^h 19 ^m
23. 06. – 28. 07.	2 ^h 20 ^m
29. 07. – 04. 09.	2 ^h 21 ^m
05. 09. – 15. 10.	2 ^h 22 ^m

ZAKLJUČAK

U višegodišnjoj praksi upotrebe radara 3MK7 za potrebe obrane od tuče uobičajen je postupak za orijentaciju

Table 2. Sidereal Time (S₀) in dependence of Universal Time (UT*) for the period Apr. 15 to Oct. 15.

radara na bazi topografskih karata, orijentira i magnet-skog polja. Ova metoda je izložena nizu pogrešaka koje kao krajnju posljedicu mogu imati značajnu netočnost u orijentaciji radara.

Sporadično, radari su orijentirani prema sjeveru pomoću Sjevernjače, pri čemu se nije vodilo računa o činjenici da je ona u blizini sjevernog pola, a ne točno u njemu. Time je pogreška orijentacije bila u granicama $\pm 52'$.

Metoda koja je izložena u ovom radu omogućava orijentaciju radara sa točnošću većom od $\pm 15'$. Uz nešto pažnje i ustrajnosti metoda omogućava gotovo apsolutno točnu orijentaciju.

Obrana od tuče je specifična i kompleksna djelatnost. Kompleksnost se ogleda u činjenici da svaki od činilaca u lancu aktivnosti unosi određenu pogrešku. Te su pogreške kumulativnog karaktera.

Značaj ovog rada je u smanjenju kumulativne pogreške svodenjem pogreške orijentacije radara na minimum.

Manjkavost ove metode jeste osnovna pretpostavka pod kojom je ona izvedena, a to je paralelnost optičke osi nišanskog durbina i optičke osi radarskog snopa. Rečeno upućuje na zaključak da ovim metodom nije u potpunosti isključena mogućnost pogreške u orijentaciji radara.

LITERATURA

- Muminović, M. Stupar, M. Mulaomerović, J. 1982: Astronomski kalendar za 1982.g., Astronomska opservatorija Sarajevo, Sarajevo.
- Muminović, M i Stupar, M. 1979: Zvezdani atlas, Astronomska opservatorija Sarajevo, Sarajevo.
- Muminović, M. 1976: Astronomija, Akademsko astronomsko društvo, Sarajevo.
- Pravilo: 1962: Protivavionski nišanski radar 3MK7, Štamparija KRV, Zemun.
- Simovljević, J, L. 1977: Osnove teorijske astronomije, Izdavačko preduzeće građevinska knjiga, Beograd.
- Vršnak, B. 1982: Astronomika mjerenja 1, Školska knjiga, Zagreb.
- Cingar. 1928: Kurs astronomije (praktički deo), Beograd.
- Astronomičeskij ježegodnik 1989. SSSR

SUMMARY

This paper was directly inspired by hail suppression activities in the SR of Croatia, Yugoslavia. Analyses of hail suppression activities showed differences between radar locations of Cb clouds and locations of hail on the ground. One of possible causes of these situations is incorrect orientation of the radar. Radar orientation methods used up until now were indirect, by means of direction guides, topographical maps and compasses.

In this paper, a relatively simple method of radar orientation and radar orientation exactness testing, by means of Polaris position, for 3MK7 radars, which are used in hail suppression in the SR of Croatia, is discussed. This method is simpler, more exact and more accurate than the previous. The essential requirement for using this method is parallelism of optical axes of the radar finder and the axis of maximum radiation of the antenna.

In the first part we present experimental results of determining the Polaris location on a cross in the radar finder, relating to dates and times of scanning. Detailed illustrations are also presented.

In the second part we present a procedure of Polaris location calculation from the data of Ephemerida. The Ephemerida data are given in the tables. These data are simplified, but they allow the necessary exactness for use in radar orientation.

The method allows orientation exactness of max. $\pm 15'$, exact enough for use in hail suppression activities. The above mentioned essential requirement is also the only factor that restricts the use of the method. For this reason, the next step in improving the exactness of 3MK7 radar orientation is to define a method of testing the parallelism of optical axes of the radar finder and axis of maximum radiation of the antenna. This could lead to eliminating the differences between radar defined locations and real locations of Cb clouds.