# Sekundarni radar za kontrolu zračnog prometa

**Micelli, Katarina**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:175470

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-29**



*Repository / Repozitorij:*

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository









Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

**ZAVRŠNI RAD**

# SEKUNDARNI RADAR ZA KONTROLU ZRAČNOG PROMETA

# SECONDARY SURVEILLANCE RADAR FOR AIR TRAFFIC CONTROL

Mentor: izv. prof. dr. sc. Mario Muštra

Studentica: Katarina Micelli

JMBAG: 2405165536

Zagreb, 2021.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 18. kolovoza 2021.

Zavod: **Zavod za zračni promet**
Predmet: **Komunikacijski, navigacijski i nadzorni sustavi**

# ZAVRŠNI ZADATAK br. 6098

Pristupnik: **Katarina Micelli (2405165536)**
Studij: Promet
Smjer: Zračni promet

Zadatak: **Sekundarni radar za kontrolu zračnog prometa**

Opis zadatka:

Detaljno opisati značajke radarske tehnike i svojstva radara. Navesti i objasniti općenita svojstva i namjenu sekundarnog radara za nadzor zračnog prometa. Analizirati operativne karakteristike i modove sekundarnog radara. Objasniti razlučivost sekundarnog radara po azimutu i opisati načine povećanja razlučivosti. Navesti sustave sekundarnih radara u Republici Hrvatskoj za nadzor zračnog prostora i navesti njihove specifičnosti.

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Mario Muštra

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

# SEKUNDARNI RADAR ZA KONTROLU ZRAČNOG PROMETA


## SAŽETAK

Najvažniji faktor za sigurno održavanje zračne plovidbe je primjena radara u kontroli zračnog prometa. Nadzor zračnog prometa obavlja se korištenjem različitih nadzornih tehnologija, što uključuje radarske sustave (primarni i sekundarni), sustav multilateracije i ADS-B (*Automatic Dependent Surveillance-Broadcast*). Sustav za nadzor koji je poznat kao sekundarni radar, SSR (*Secondary Surveillance Radar*), razvijen je radi lakše i pouzdanije identifikacije zrakoplova. U ovom radu fokus je upravo na sekundarnom nadzornom radaru, te je objašnjen njegov princip rada, prednosti i nedostatci. Također je objašnjena razlučivost sekundarnog radara po azimutu, te su spomenuti sustavi sekundarnih radara koji se koriste u Hrvatskoj za nadzor zračnog prostora.



KLJUČNE RIJEČI: radar; antena; transponder; sekundarni nadzorni radar


# SECONDARY SURVEILLANCE RADAR FOR AIR TRAFFIC CONTROL


## SUMMARY

The most important factor for a safe maintenance of the air traffic flow is the use of radars in air traffic control. The air traffic control is performed using various surveillance technologies, which include radar systems (primary and secondary), a multilateration system, and ADS-B (*Automatic Dependent Surveillance-Broadcast*). A surveillance system known as Secondary Surveillance Radar (SSR) was developed to make aircraft identification easier and more reliable. In this paper, the focus is on the secondary surveillance radar system, where its working principle, advantages and disadvantages are explained. Also, resolution of the secondary radar in azimuth plain is explained, as well as the secondary surveillance radar system used in Croatia for surveillance of the airspace.



KEYWORDS: radar; antenna; transponder; secondary surveillance radar

# SADRŽAJ


**1. UVOD** ..... 1

**2. ZNAČAJKE RADARSKE TEHNIKE I SVOJSTVA RADARA** ..... 2

2.1. Osnovni dijelovi radara ..... 3

2.2. Princip rada radara ..... 4

**3. OPĆENITA SVOJSTVA I NAMJENA SEKUNDARNOG RADARA** ..... 5

3.1. Princip rada sekundarnog nadzornog radara ..... 5

3.2. Prednosti sekundarnog radara ..... 6

3.3. Nedostatci sekundarnog radara ..... 7

**4. OPERATIVNE KARAKTERISTIKE I MODOVI SEKUNDARNOG RADARA** ..... 8

4.1. Vrste SSR antena ..... 8

4.1.1. Prorezna antena ..... 8

4.1.2. Antena s ravnom pločom ..... 9

4.1.3. Ravni antenski niz ..... 10

4.2. Antena s elektroničkom rotacijom dijagrama zračenja ..... 10

4.3. Horizontalni dijagram zračenja ..... 12

4.4. Refleksija ..... 13

4.5. Vertikalni dijagram zračenja ..... 14

4.6. Antena transpondera ..... 15

4.7. SSR modovi ..... 16

4.7.1. Mod A ..... 17

4.7.2. Mod C ..... 18

4.7.3. Mod S ..... 18

**5. RAZLUČIVOST SEKUNDARNOG RADARA PO AZIMUTU I METODE POVEĆANJA RAZLUČIVOSTI** ..... 20

5.1. Sliding window ..... 20

5.2. Monopulsni sustav ..... 21

**6. SUSTAVI SEKUNDARNIH RADARA U HRVATSKOJ ZA NADZOR ZRAČNOG PROSTORA** ..... 24

6.1. Opis i namjena Sekundarnog radara thales RSM 970S CIRUS ..... 25

6.2. Opis i namjena sekundarnog nadzornog radara Indra IRS-20MP/S ..... 25

6.3. Opis i namjena sekundarnog nadzornog radara Indra IRS-20MP/S Digital ..... 25
6.4. Opis i namjena multilateracijakog i ADS-B sustava Saab Sensis CSS ..... 26
**7. ZAKLJUČAK** ..... 27
**LITERATURA** ..... 28
**POPIS SLIKA** ..... 30
**POPIS KRATICA** ..... 31

# 1. UVOD

Danas kada govorimo o sigurnosti odvijanja zračnog prometa, jednu od najvažnijih uloga ima razvoj tehnologija za nadzor zračnog prometa. Postoje različite nadzorne tehnologije u zrakoplovstvu koje se koriste u kontroli letenja: primarni i sekundarni radari, multilateracijski sustav za nadzor zračnog prometa te (*Automatic Dependent Durveillance – Broadcast* - ADS-B). Te sustave možemo podijeliti u radarske i navigacijske sustave za nadzor zračnog prometa. Radarski sustavi su primarni (*Primary Surveillance Radar* – PSR) i sekundarni nadzorni radar (*Secondary Surveillance* Radar – SSR). Riječ radar je nastala od engleske kratice *„Radio Detection And Ranging“*. Razvoj radara je nastao zbog vojnih potreba, a ubrzo je postao primarno sredstvo u kontroli zračnog prostora za kontinuirani nadzor nad zračnim prometom. Precizno poznavanje položaja zrakoplova u veliko je smanjilo procedure razdvajanja i omogućilo povećanje prometa i njegove sigurnosti. Prvo je nastao primarni radar koji osvjetljava veliki dio prostora elektromagnetskim valovima i prima odbijene valove natrag od ciljeva. Prednost primarnog radara je što nije potrebna nikakva oprema u zrakoplovu za otkrivanje cilja, njegov nedostatak za potrebe kontrole letenja je što može otkriti položaj bilo kojeg cilja što je u njegovom dometu (npr. zrakoplov, ptica, planine itd.) i što ne može identificirati visinu cilja. Zbog povećanja gustoće zračnog prometa i njegove sigurnosti razvijen je sekundarni radar koji pruža puno više informacija kontroloru leta o zrakoplovu (visina, brzina, tip zrakoplova…). SSR je radar s aktivnim odjekom, što znači da se ne oslanja na refleksiju elektromagnetskih valova od zrakoplova da bi ga detektirao. Stanica na zemlji šalje kodirane upite putem interogatora (zemaljskog pitača) koje prima i na koje odgovara transponder (odgovarač na zrakoplovu). Razvili su se različiti modovi rada uz čiju su se pomoć greške i kvarovi smanjili. U civilnom zrakoplovstvu koriste se dva glavna moda, modovi A/C i mod S. Postoje modovi koji se koriste u vojnom zrakoplovstvu, no oni su odvojeni od civilne upotrebe.

Rad je podijeljen u 7 poglavlja. U uvodu rada je ukratko opisana tema rada. U drugom poglavlju detaljnije su opisane značajke radarske tehnike i osnovna svojstva radara. U trećem poglavlju su opisana općenita svojstva i namjena sekundarnog radara, dok su u četvrtom poglavlju opisane operativne karakteristike i modovi SSR-a. U petom poglavlju opisana je razlučivost sekundarnog radara po azimutu i metode povećanja razlučivosti. Postoje dvije metode „Sliding window“ i „Monopulsni sustav“. „Sliding window“ se koristi od 1950. godine i bio je preteča današnjem monopulsnom sustavu, koji je propisan kao standard za nadzor zračnog prostora. U šestom poglavlju su opisani sustavi sekundarnih radara u Hrvatskoj za nadzor zračnog prostora. Hrvatska kontrola zračne plovidbe u svom sustavu ima pet suvremena mod S radarska sustava (Pleso, Kozjak, Psunj, Monte Kope i Konavle). Sedmo poglavlje donosi zaključne osvrte na rad.

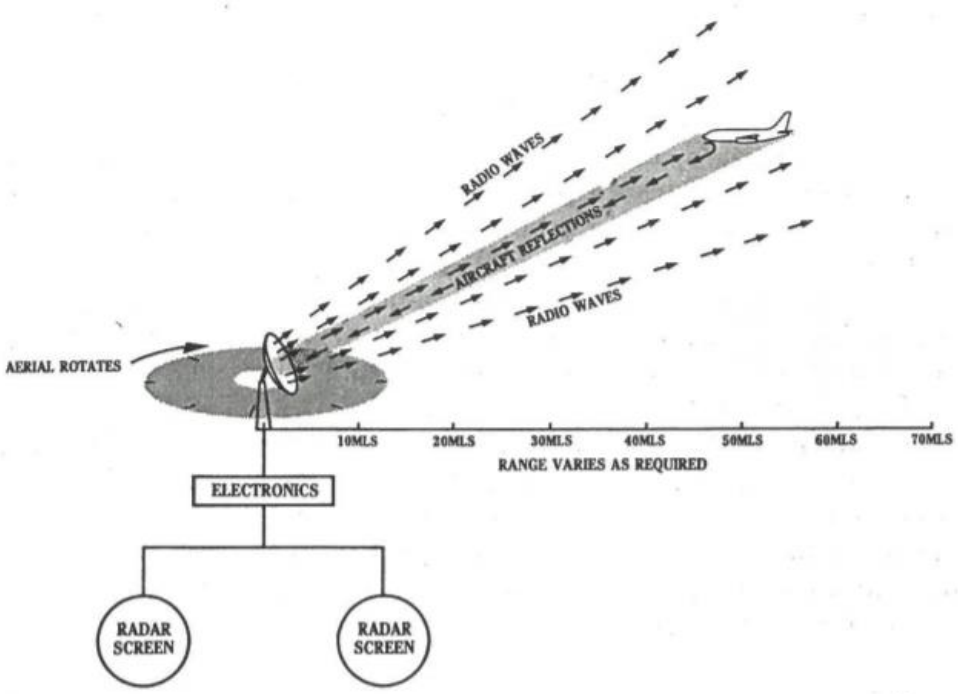
# 2. ZNAČAJKE RADARSKE TEHNIKE I SVOJSTVA RADARA

Prije postojanja radara, sva kontrola zračnog prometa temeljila se na razdvajanju zrakoplova po vremenu i udaljenosti. To je postignuto kombinacijom stalnih pilotskih izvještaja i kad god je to bilo moguće vizualnih promatranja od strane kontrolora. To je značilo da su i piloti i kontrolori morali održavati mentalnu sliku o tome gdje su zrakoplovi i gdje će biti u bliskoj budućnosti. [1]

Riječ radar od engleske kratice ***Radio Detection And Ranging***, se može prevesti kao otkrivanje ciljeva i mjerenje udaljenosti elektromagnetskim valovima ili kao električni uređaj za otkrivanje objekata na kopnu, moru i u zraku. Elektromagnetski val se, kao što sama riječ kaže, sastoji od električne (E) i magnetske (H) komponente koje su sinusnog oblika i međusobno okomite. Osnovna podjela radarskih sustava, koji se koriste u zrakoplovstvu, je na: primarni radar i sekundarni radar. [2]

Radar omogućuje kontroloru da vidi zrakoplov na tamnom zaslonu, a radarski tehničari mogu prikazati stvari poput karata obalnih linija ili određenog zračnog prostora, tako da kontrolor može točno locirati poziciju zrakoplova i prema tome može izdati različite instrukcije (okretati, penjati, spuštati u određenom trenutku) kako bi razdvojio zrakoplove. U prošlosti su zrakoplovi pomoću radara bili razdvojeni ili vremenom ili visinom, ali su svejedno omogućili kontrolorima da ubrzaju sustav bez gubitka sigurnosti.

Radarski sustavi obično sadrže veliku paraboličku antenu za odašiljanje/prijam, koja se rotira oko nekoliko puta u minuti. Odašiljač i prijamnik rade naizmjenično u vrlo kratkim vremenskim intervalima, obično tisućinkama sekunde, dok se antena okreće. Odašiljač odašilje radiovalove koji se kreću brzinom svjetlosti ($3\times10^8$ m/s), a prijamnik prima odraz radio vala koji se odbija od predmeta na putu (slika 1). [1]




***Slika 1.*** *Princip rada radara [1]*

## 2.1. Osnovni dijelovi radara

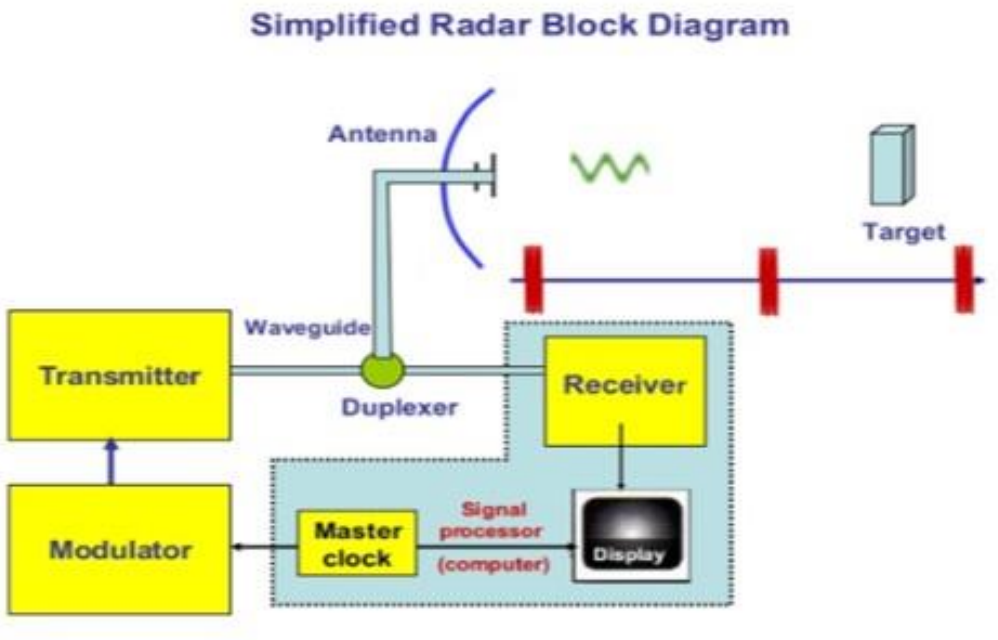
Radarski uređaj se sastoji, ovisno o vrsti i namjeni, od manjeg ili većeg broja cjelina koji predstavljaju autonomne elektroničke aparate, a funkcioniraju kao jedinstveni složeni sustav. Osnovni dijelovi svakog radara su: *antena, odašiljač, prijamnik i pokazivač.*

*Antena* i valovod okreću se u jednoj ravnini ili periodično u području prostora, preko mehanizma za pokretanje antene. Na nekim vrstama radara, snop se može zaustaviti na otkrivenom objektu po želji operatora ili automatski. Oblik antenskog snopa ovisi o namjeni radara, a tip antenskog sustava uglavnom o obliku snopa. Radarske antene zrače primarni, tj. željeni snop elektromagnetskih valova, ali i neizbježne bočne snopove (latice) u raznim smjerovima pa čak i unatrag.

*Odašiljač* – proizvodi električne oscilacije, potrebne frekvencije i snage, kojima se antena napaja radi pretvaranja u elektromagnetske valove i zračenja.

*Prijamnik* – radarski prijamnik prima, pojačava i izdvaja signale koji dolaze reflektiranim valovima, kako bi se mogli prikazati na pokazivaču. Priključuju se na radarsku antenu preko predajno - prijamne skretnice ili neposredno, ako postoji posebna prijamna antena. Glavni parametri prijamnika su: faktor šuma, osjetljivost, selektivnost i ukupno pojačanje. Radarski prijamnici su najčešće superheterodinskog tipa, s mješačem, oscilatorom, međufrekvencijskim pojačalom, detektorom i videopojačalom, kao glavnim stupnjevima.

*Pokazivač* – komponenta cjelokupnog radarskog sustava čija je namjena izlazne podatke učiniti vidljivim ili čujnim. [2]




***Slika 2.*** *Blok dijagram radara [3]*

## 2.2. Princip rada radara

Dio energije elektromagnetskih valova koje emitira predajnik radara reflektira se od, obično metalnog objekta, na sve strane. Neznatni dio te reflektirane energije prima i registrira osjetljivi radarski prijamnik. Na temelju pravca iz kojeg elektromagnetski valovi dolaze, moguće je odrediti polarne koordinate cilja – pravac (azimut) i kut (elevaciju). Udaljenost od radara do cilja se određuje preko proteklog vremena od trenutka emitiranja impulsa elektromagnetskog vala do povratka reflektiranog vala ili preko razlike frekvencije emitiranog i reflektiranog elektromagnetskog vala (kada je zračenje neprekidno i periodično te promjenjive frekvencije). U radarskim sustavima rabe se elektromagnetski valovi različitih frekvencija i to od vrlo kratkih do ekstremno kratkih valova, (tj. razni opsezi u frekvencijskom području od 100 do 300.000 MHz). [2]

# 3. OPĆENITA SVOJSTVA I NAMJENA SEKUNDARNOG RADARA

Prije nekoliko desetljeća razvijen je Sekundarni nadzorni radar ili SSR – *Secondary Surveillance Radar*, odnosno radar s aktivnim odjekom koji se koristi u kontroli zračnog prometa i ne djeluje na načelu jednostavnog odraza elektromagnetskog vala od zrakoplova, nego se temelji na komunikaciji posebnog uređaja u zrakoplovu, koji šalje povratne impulse kada se pobudi impulsima sa zemaljskog radara i omogućuje prijenos dodatnih informacija (npr. identifikacije zrakoplova).

Sekundarni radar razvijen je za vojne potrebe, s namjerom da se omogući razlikovanje vlastitih od neprijateljskih zrakoplova, a danas je on značajna podrška kontroli civilnog zračnog prometa. [4] Sekundarni radarski sustav sposoban je za daljnji razvoj kako bi automatski prenio mnogo više informacija, a to će smanjiti vrijeme razgovora i omogućiti više vremena za razmišljanje kontrolorima. [5]

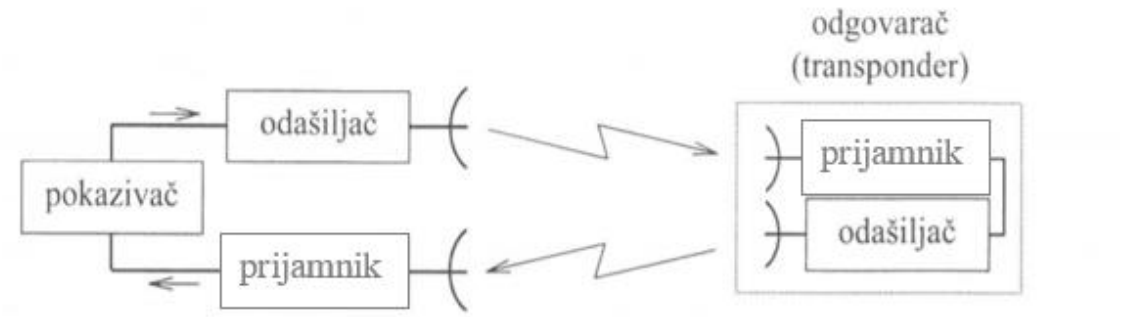
Hrvatska kontrola zračne plovidbe koristi četiri vlastita mod S radarska sustava: Kozjak, Pleso, Monte Kope i Psunj. [6]

## 3.1. Princip rada sekundarnog nadzornog radara

Kod sekundarnih radarskih sustava nadzor zrakoplova jedino je moguć ako je zrakoplov opremljen transponderom, te ako se nalazi unutar dometa antene ispitivača. Ispitivač na zemlji šalje kodirani signal sa različitim modovima, svaki mod predstavlja drugačiji upit. Za konvencionalne SSR radare (osim moda S) izbor pitanja je vrlo jednostavan, kontrolor leta (*Air Traffic Controller* – ATC) želi znati lokaciju i visinu zrakoplova. Radar daje dvodimenzionalnu poziciju zrakoplova, ali kontrola zračnog prometa je orijentirana na trodimenzionalni proces, odnosno na kojoj se visini nalazi zrakoplov. Ta različita pitanja određuju mod operacije. Transponder zrakoplova odgovara sa kodom. [7]

Riječ je o tehničkom sustavu kojeg čine primopredajnici (Tx/Rx-*Transmiter*/*Receiver*) u avionu i primopredajnici na zemlji. Zemaljski par Tx/Rx naziva se Interogatorom i njega čine Tx koji radi na 1030 MHz, te Rx koji radi na 1090 MHz. Predajnik-Tx sa zemlje komunicira sa prijamnikom-Rx u avionu na frekvenciji od 1030 MHz, dok predajnik-Tx iz aviona komunicira sa prijamnikom-Rx na zemlji na frekvenciji od 1090 MHz. Par Tx/Rx u avionu naziva se Transponderom. Interogator šalje u eter dvije vrste interogacija/upita (mod A – identifikacija i mod C – visina) koji se sastoje od dva impulsa čija međusobna udaljenost definira o kojem se upitu radi. Zrakoplov odgovara na određeni upit/interogaciju ako je opremljen transponderom i uspješno dekodira upit interogatora (udaljenost između P1 i P3 impulsa) kojemu odgovara sa svojim odgovorom koji je uvijek jednake duljine (omeđen je F1 i F2 impulsima, unutar kojih pozicija ostalih impulsa definira oktalni iznos) i prenosi oktalni broj koji interogator

dešifrira kao visinu zrakoplova ili identifikaciju zrakoplova, ovisno o dobivenom odgovoru na postavljeni upit.




***Slika 3.*** *Princip rada sekundarnog radara [9]*

## 3.2. Prednosti sekundarnog radara

Radar s aktivnim odjekom, odnosno sekundarni radar, radi zajedno (sinkrono) s primarnim radarom te sadrži neke prednosti pred primarnim radarom. Prednosti su slijedeće:

- aktivni signal odjeka (sadrži podatke o cilju)
- ima jači odjek, neovisan o radarskoj površini cilja
- signali upita i odgovora su različitih frekvencija [10]
- manje osjetljiviji na smetnje za razliku od primarnog radara
- mod S uvodi podatkovnu vezu zrak - zemlja [11]
- mogućnost postavljanja kodova na transponderu koji su vidljivi na kontrolorskom ekranu (otmica, gubitak radio veze ili neki oblik hitne situacije zbog kojih bi zrakoplov trebao dobiti prioritet).

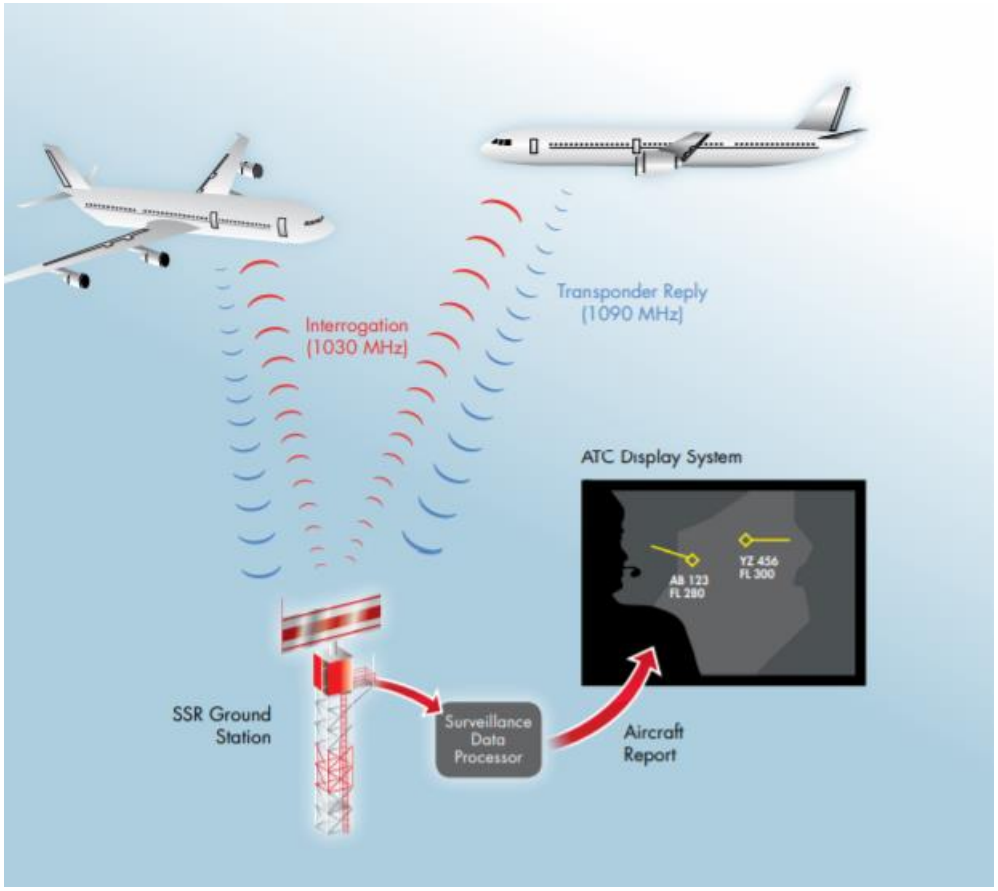
Kao posljedica uspješne komunikacije zemaljskih i zrakoplovnih sustava, sekundarni radar omogućuje sigurno održavanje propisanih normi razdvajanja i pozitivnu identifikaciju zrakoplova. Sekundarnim radarom uspješno su zamijenjeni svi nedostaci primarnog radara i izvršena je uspješna koordinacija sa postojećim sustavima što omogućuje da zračni promet ostane najsigurniji način putovanja. [3]

### 3.3. Nedostatci sekundarnog radara

Nedostatak sekundarnog radara leži u tome što može raditi samo sa zrakoplovima koji imaju ugrađen transponder, što znači da mnogi zrakoplovi koji nemaju ugrađen transponder, nažalost ne mogu biti viđeni na sekundarnom radaru.

Nedostatci su slijedeći:

- over - inetrrogation - prevelik broj upita – opterećenje transpondera
- u modu A raspoloživo je samo 4096 kodova za identifikaciju zrakoplova zbog oktalnog brojevnog sustava koji se koristi [10]
- fruiting – nastaje kada zrakoplov prima upite od najmanje dva ili više interogatora. Odgovor koji se kodira je netočan jer se vremenski preklapaju dva odgovora
- garbling – smetnje zbog preklapanja odgovora iz dva ili više transpondera
- problemi smetnje vezani uz upotrebu radara moda A/C
- visoka latencija i niska brzina ažuriranja [11]
- potrebna instalacija dodatne opreme u zrakoplov (transponder)
- pojava detekcije nepostojećih zrakoplova zbog refleksije signala od prepreke ili visokog terena.




***Slika 4.*** *Sekundarni radar [11]*

# 4. OPERATIVNE KARAKTERISTIKE I MODOVI SEKUNDARNOG RADARA

## 4.1. Vrste SSR antena

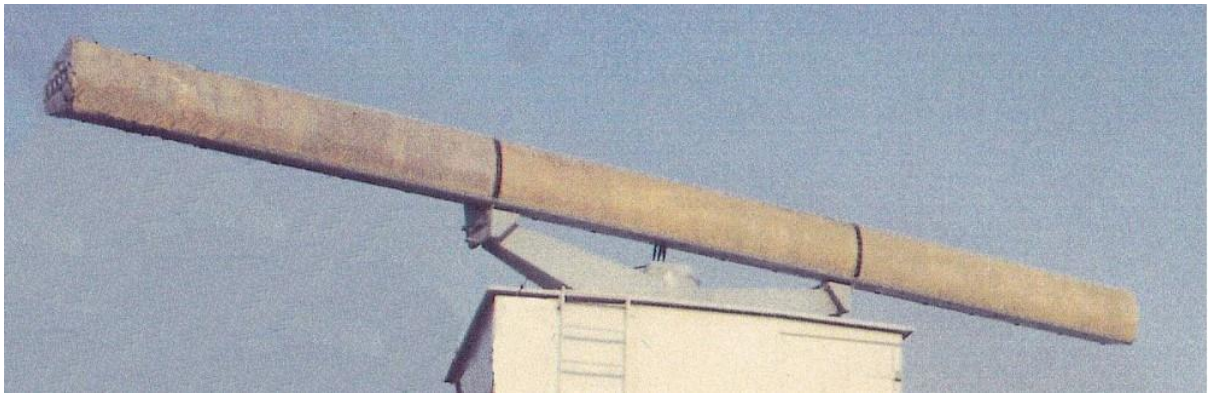
Tri su uobičajene vrste SSR antena:

- Prorezna antena
- Antena s ravnom pločom
- Ravni antenski niz.

### 4.1.1. Prorezna antena

Prorezna antena – starija (jednostavnija) SSR antena ima veliku vodoravnu dimenziju za stvaranje uske vodoravne zrake i malu vertikalnu dimenziju za pokrivanje od blizine horizonta do točke zenita. Dva problema su s ovom antenom. Prvo gotovo polovica energije usmjerena je na tlo, koja se reflektira natrag i ometa energiju prema gore, koja uzrokuje duboke propade signala zbog destruktivne (protufazne) refleksije pod određenim kutovima nadmorske visine i gubitak kontakta sa zrakoplovom. Drugi problem je ako je okolno tlo nagnuto, tada se reflektirana energija djelomično izravnava, iskrivljujući oblik snopa i indicirani položaj zrakoplova. [12]

Problem kod svih starijih vrsta radara (ne samo kod radara prorezne antene) je taj što su sustavi dizajnirani da se nose s količinom prometa, npr. od maksimalno 300 zrakoplova. Pitanje je da li je isplativo poboljšati performanse (kapacitet) starijih radara. Moderni (Mod S) radari dizajnirani su da mogu detektirati do 1400 zrakoplova. [13]



***Slika 5.*** *Prorezna antena [14]*

### 4.1.2. Antena s ravnom pločom

Antena s ravnom pločom rjeđe se koristi, ali ima prednosti u veličini, težini i prenosivosti. Antena s ravnom pločom je obično mnogo manja od prorezne antene. Također je puno lakša od antene s ravnim nizom, što je čini lakše prenosivim rješenjem (npr. 50 kg). Kao što bi se moglo očekivati, izvedba antene s ravnom pločom ipak nije toliko učinkovita kao kod antene s ravnim nizom. Širina snopa, vertikalni i horizontalni dijagram zračenja razlikuju se, kako je prikazano na slikama 9 i 11. Širina azimutnog snopa antene s ravnom pločom često je u području od 5° (to znači povećani fruit i garbling efekt). Optimalno vertikalno oblikovanje je teže postići s ovim tipom antena. Ovaj sustav se često upotrebljava kao rezervni sustav (backup) u slučaju kvara glavnog sustava ili kod zamjene radarskog postrojenja. [13]



***Slika 6.*** *Prikaz antene s ravnom pločom [15]*

### 4.1.3. Ravni antenski niz

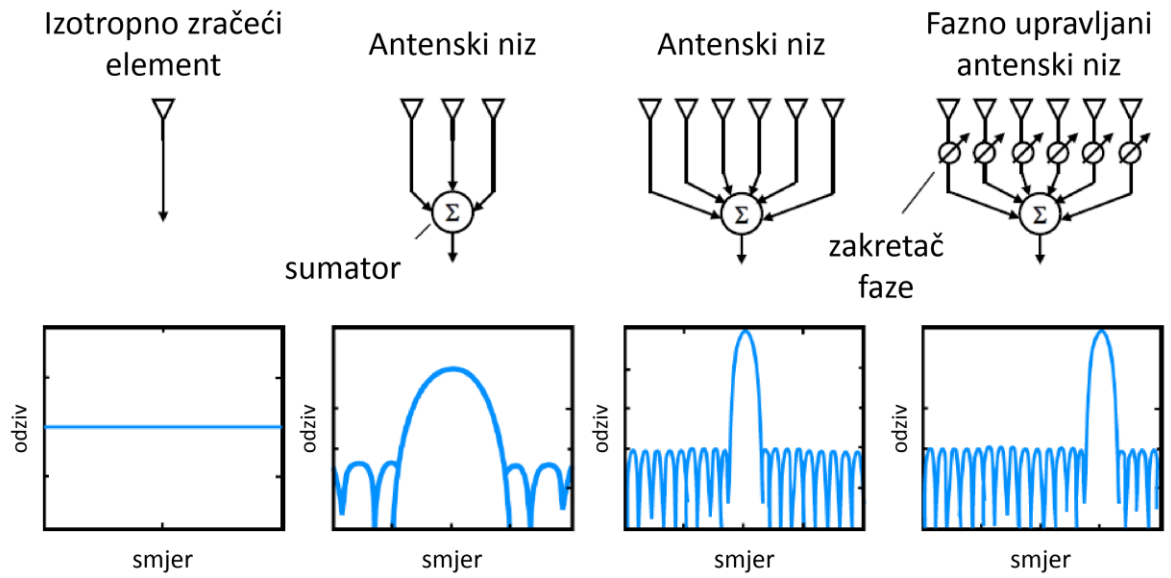
Ravni antenski niz je najčešći tip SSR antene, te je pogodan za upotrebu u terminalnim i oblasnim SSR primjenama. Niz dipolnih stupaca postavljenih vertikalno u nizu (tipičan primjer bio bi ravninski niz s 27 stupaca, iako su dostupna komercijalna rješenja s 35 stupaca). Dimenzije ravnog antenskog niza su oko 8 m u dužinu i malo manje od 2 m u visinu, iako se to razlikuje od proizvođača. Takva antena teži između 300 i 500 kg, a širina azimutnog snopa obično je oko 2,4°. Ravni antenski nizovi stabilni su i pouzdani tipovi antena u vjetrovitim i oštrim uvjetima okoliša. [13]



***Slika 7.*** *Ravni antenski niz [16]*

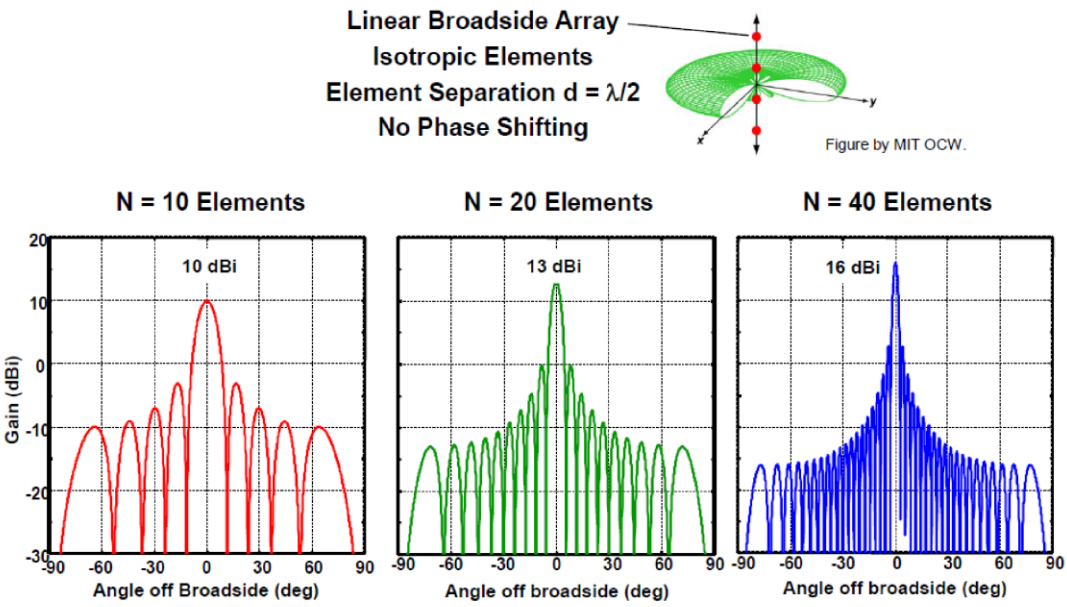
## 4.2. Antena s elektroničkom rotacijom dijagrama zračenja

Antena s elektroničkom rotacijom dijagrama zračenja ili E – SCAN je skraćenica od elektronički skenirano i odnosi se na radar koji usmjerava glavni snop zračenja pomoću elektroničkih sustava umjesto mehaničkom rotacijom. Spadaju u skupinu modernijih radarskih antena i ovakvi antenski sustavi izvode se u obliku antenskih nizova, koji mogu biti jednodimenzionalni i dvodimenzionalni. Ovisno o signalu je priveden svakom elementu niza, ukupno zračenje mijenja smjer glavne latice i na takav način se obavlja rotacija dijagrama zračenja (skeniranje). Oblikovanje dijagrama zračenja omogućava veću preciznost radara i bolju iskoristivost pri određenom zahtjevu.




***Slika 8.*** *Upravljanje smjerova glavnih latica kod antenskog niza [10]*

Za fazno upravljane antenske nizove kakve koristimo u radarskoj tehnici možemo reći kako im se dobitak (usmjerenost) udvostručuje s udvostručenjem elemenata kao što je prikazano na slici 9. [10]




***Slika 9.*** *Fazno upravljanje antenskim nizom [10]*

Ovaj tip SSR sustava može biti skup za dugotrajno održavanje, unatoč tome što nema pokretnih dijelova. Međutim postoji visoka izvedena azimutna točnost ili velika

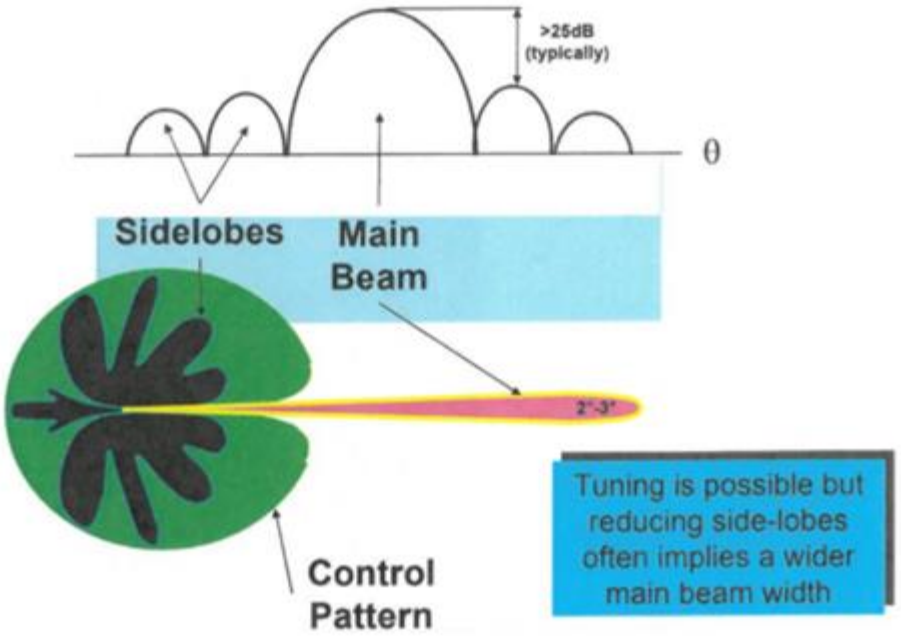
brzina ažuriranja (podesiv 4 do 5 puta brže od rotirajućeg SSR-a), što omogućuje precizne pristupe, posebno kod paralelnih USS-a. Jedan od takvih primjera (*Precision Runway Monitoring* – PRM) koji proizvodi Raytheon Systems Limited (izvorno ga je razvila tvrtka Hazeltine Corporation). [13]



***Slika 10.*** *E - SCAN [13]*

## 4.3. Horizontalni dijagram zračenja

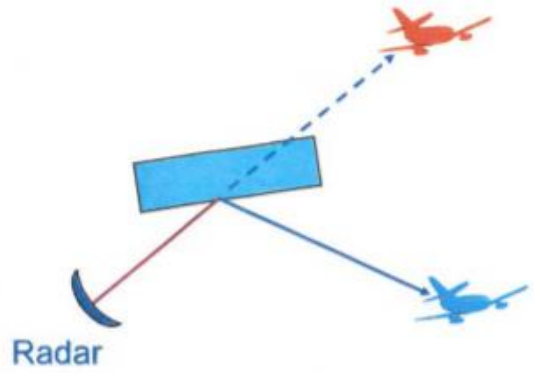
Na slici 11 prikazan je dijagram zračenja u horizontalnoj ravnini koji emitira glavni snop SSR antene. Glavni snop ili glavna latica je fokusirano zračenje prijenos koje se šalje s određenog odašiljača. Brojne latice (bočne latice) se generiraju u drugim azimutnim kutovima, obično s ograničenim dometom (npr. do 20 NM). Usmjerenost horizontalnog zračenja ovisit će o duljini niza i o raspodjeli snage duž duljine antenskog niza. Većina SSR antena koje se koriste za civilni nadzor kontrole leta obično su dugačke oko 8 m. Time se obično dobiva dobitak glavnog antenskog snopa od 23 do 29 dBi, gdje je razina bočnih latica oko 25 dB manja od glavnog snopa. Širina glavnog snopa biti će optimalno oko 2,4°, ali što je još značajnije, efektivna širina snopa ispitivanja biti će oko 6° (to se određuje kasnijim karakteristikama potiskivanja bočnih latica). [13]




***Slika 11.*** *Horizontalni dijagram zračenja [13]*

## 4.4. Refleksija

SSR radari na zračnim lukama često se nalaze u blizini zgrada koje imaju reflektirajuće površine (hangari, zgrade terminala, hoteli, itd.). Upiti iz SSR mogu se odbiti od površine s dovoljnom snagom da transponder omogući prijem i obradu ispitivanja i može generirati odgovor. Odgovori se mogu odraziti natrag na zemaljski prijemnik SSR-a, stoga će ispitivač SSR-a formirati lažni cilj, kao što je prikazano na slici 12, na potpuno drugačijem položaju od stvarnog zrakoplova. Kad se antena ispitivača usmjeri u smjeru pravog zrakoplova detektirat će se stvarna meta, stoga bi to bio dvostruki trag. Druga verzija ovog problema može biti slučaj kada cilj vidljiv refleksijom nije vidljiv izravno s pozicije radara, ovaj slučaj je tipičan za planinska područja. Neki su slučajevi zabilježeni u Europi, gdje su se lažni tragovi (koji možda nisu ni u radarskom pokrivanju) pojavili u vrlo operativno osjetljivim područjima zračnog prostora. Prvi korak za izbjegavanje refleksije je postavljanje SSR antene dalje od reflektirajućih površina, ali to nije uvijek moguće na mjestima poput zračnih luka. Zgrade mogu biti manje reflektirajuće premazane upijajućim materijalom, međutim to je skupo i nije često izvedivo. [13]




***Slika 12.*** *Refleksija [13]*

## 4.5. Vertikalni dijagram zračenja

Prve izvedbe antene za sekundarni radar bile su malih izmjera i nisu omogućavale veće usmjeravanje dijagrama zračenja u vertikalnoj ravnini. Za takve antene maksimum je blizu smjera u kojem se nalaze najudaljeniji zrakoplov. Zbog širokog dijagrama zračenja imaju dobro pokrivanje i pod velikim kutovima elevacije. [9]

Ekvivalent vertikalnog dijagrama zračenja koju emitira glavni snop SSR antene prikazan je na slici 13 za dvije različite antene:

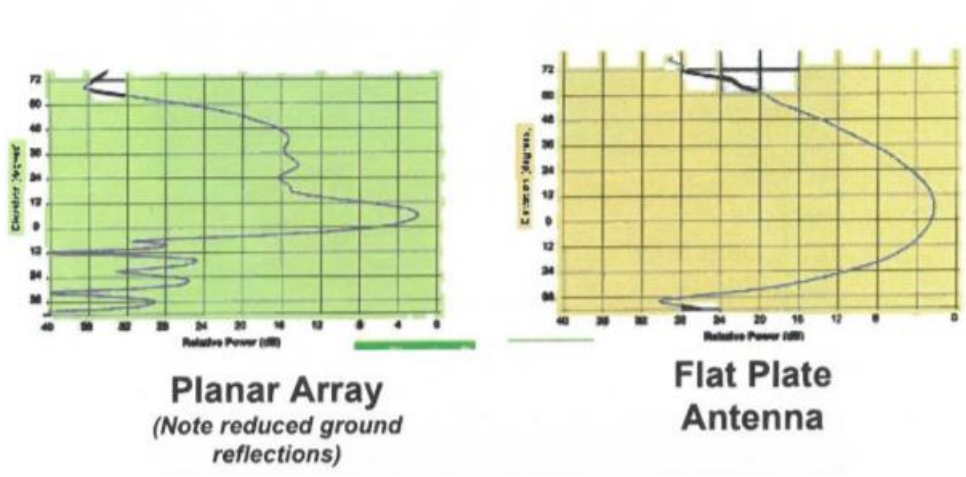
- Ravni antenski niz
- Antena s ravnom pločom.

Dijagrami na slici 13 prikazuju vertikalno zračenje s ciljem objašnjenja prednosti pojedine vrsta antena.

Dijagram zračenja antene planarnog niza pod nižim kutovima elevacije pokazuje smanjeni dobitak antene, što će značajno smanjiti refleksije od tla. Kut nagiba antene se konfigurira na samoj stanici specifično za određenu lokaciju.

Dijagram zračenja antena s ravnom pločom ima glađi izgled, ali je antena manje učinkovita i ima veću širinu snopa. Obje su dizajnirane kako bi umanjile učinke refleksije od tla na nižim visinama antena.
Graf na slici 13 prikazuje:

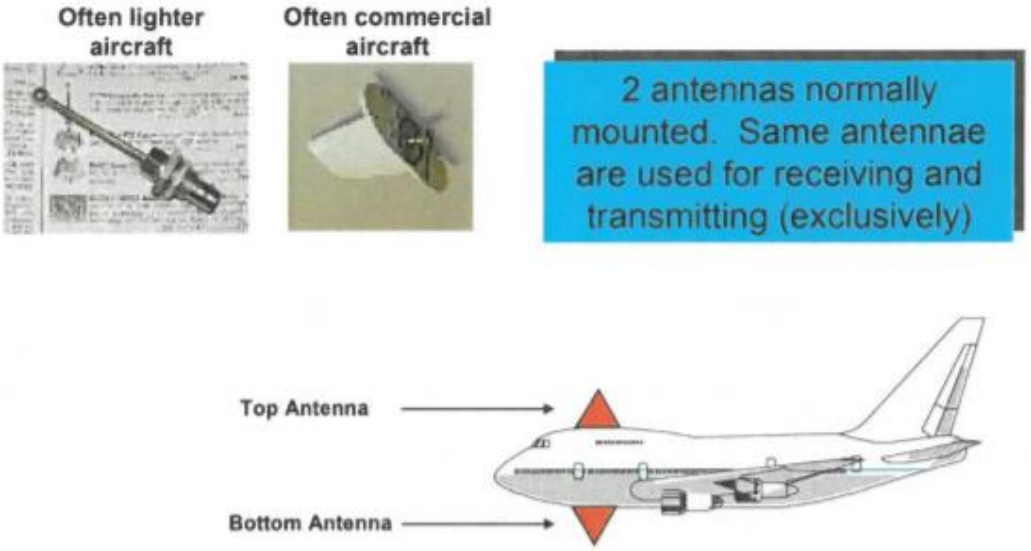
- Domet u odnosu na razinu leta
- Gornja i donja visinska ograničenja. [13]




***Slika 13.*** *Vertikalni dijagram zračenja [13]*

## 4.6. Antena transpondera

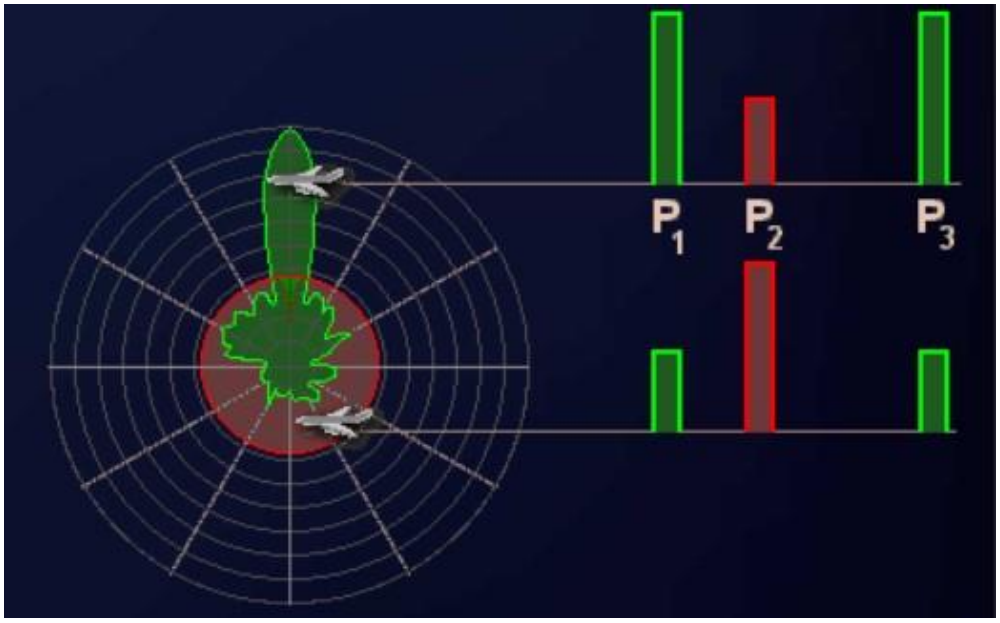
Uobičajeno su dvije vanjske antene transpondera postavljene na trup zrakoplova, jedna na vrhu, a druga na dnu zrakoplova (slika 12). U normalnom letu jedna antena (ili iznimno obje) mogu biti „zaštićene“ od izravnog smjera glavnog radarskog snopa. To će ovisit o položaju i smjeru zrakoplova u odnosu na antenu. Npr. rep ili čak podvozje može zakloniti izravan pogled antene transpondera od cilja koji putuje izravno prema ispitivaču ili od njega. Antena na kojoj je ispitivanje zaprimljeno s najvećom snagom koristit će se za prijenos odgovora. Iste antene transpondera koriste se za primanje i prijenos uzastopnih ispitivanja i odgovora. Fizički položaji antena na zrakoplovu nisu propisani standardima. Obično su postavljene prema prednjoj strani zrakoplova, odmah iza kokpita. Položaj zrakoplova se mjeri iz ove točke (tj. raspon nagiba se mjeri do antene koja je poslala signal). Ako su instalirani (*Traffic Collision Avoidance System* – TCAS) i MOD S, postojat će dvije vanjske antene transpondera i dvije TCAS antene. [13]




***Slika 14.*** *Transponder [13]*

## 4.7. SSR modovi

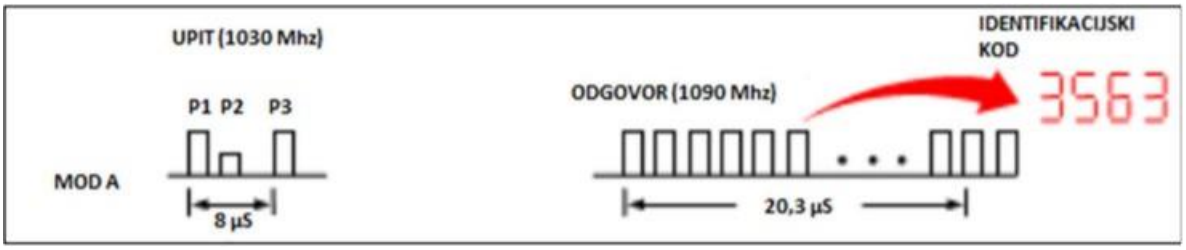
Modovi rada koji se koriste u zrakoplovstvu za nadzor su mod A, mod C te mod S. Signal kojeg odašilje interogator definira mod rada. Signal upita (mod) sastoji se od tri impulsa P1, P2 i P3. [9] Razmak P1 i P3 impulsa definira mod upita (A ili C) i njihova razina je ista i odašilju se po Σ - sum kanalu. Impuls P2 se odašilje uvijek u vremenu na istoj udaljenosti od P1 impulsa, ali na Ω – omni kanalu. Zbog različitog oblika dijagrama zračenja suma i omni kanala, omni kanal „prekriva“ sekundarne latice suma kanala, ali ne i glavnu laticu. Ovisno gdje je zrakoplov u trenutku kada je radar poslao impuls, ako se nalazi u glavnom snopu suma kanala, P1 i P3 biti će veći od P2 primljenog impulsa i prepoznati će da treba dati odgovor. U slučaju da se nalazi izvan glavnog snopa suma kanala, razina na prijamniku zrakoplova P2 impulsa će biti veća od P1 i P3 impulsa. Postoji zona u međusobnim odnosima P2 i P1/P3, gdje će zrakoplov uvijek odgovarati, zatim zona gdje može i ne mora odgovarati, te zona gdje sigurno neće odgovarati (slika 15). [17]




***Slika 155.*** *Prikaz međusobnih razina signala [17]*

### 4.7.1. Mod A

Mod A omogućava kontroli leta identifikaciju zrakoplova te se koristi u civilne i vojne svrhe. Udaljenost između impulsa P1 i P3 je 8 µs ± 0,1 µs. Koristi oktalni brojevni sustav. Mod A ukupno ima 12 impulsa (3 x 4) i omogućava 4096 različitih kodova odgovora, ukazujući na identifikacijski broj povezan s tim zrakoplovom. [9]

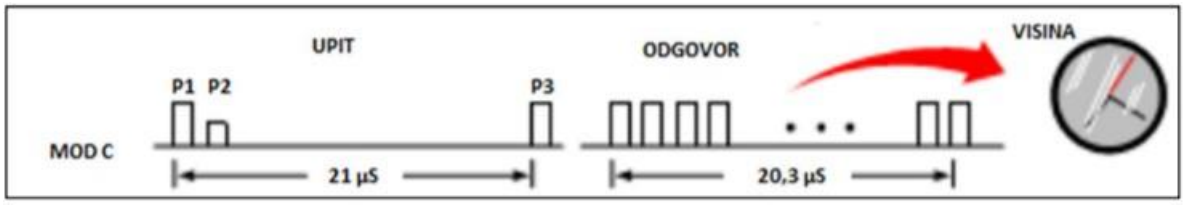



***Slika 16.*** *Princip rada moda A [18]*

### 4.7.2. Mod C

Mod C se koristi u suradnji s modom A i prvi je put uveden u Australiji kasnih osamdesetih godina prošlog stoljeća, zajedno sa akvizicijom zemaljskih nadzornih sustava koji su sposobni procesirati informacije. [19]

Odgovor na ovaj upit (mod C) vraća podatak o visini zrakoplova koju pokazuje visinomjer. Odgovor na mod C koristi 11 impulsa, te je moguće 2048 odgovora koji su dovoljni za indikaciju visine u rasponu od 1000 ft do 121 000 ft u koracima od 100 ft. [9] Udaljenost između signala iznosi 21 µs (± 0,2 µs).




***Slika 177.*** *Princip rada moda C [18]*

### 4.7.3. Mod S

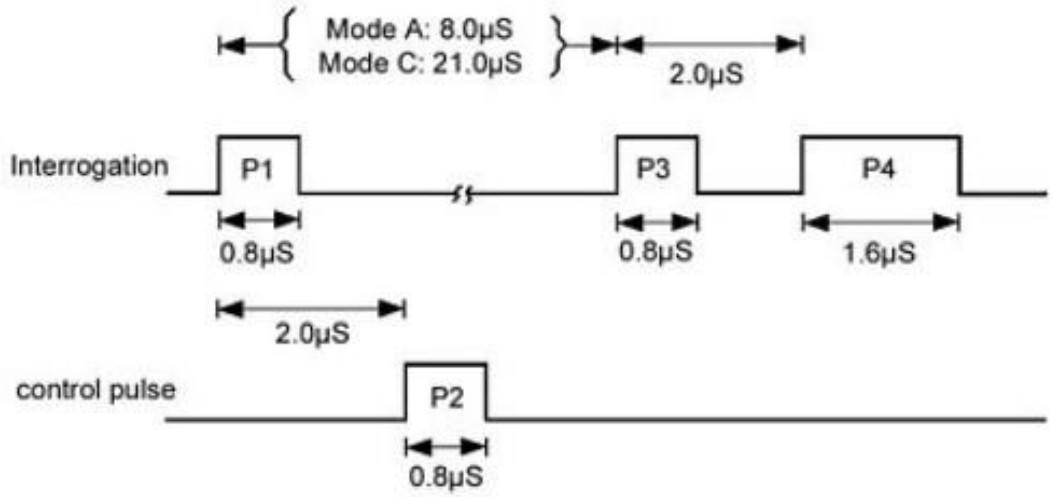
Mod S odnosno Mod Select svoj razvoj započinje u Velikoj Britaniji i SAD-u, radi znatnog povećanja gustoće zračnog prometa, koja uzrokuje pojavljivanje sve više nesinkronih i iskrivljenih odgovora. [9]

Mod S ima preko 17 milijuna jedinstvenih 24-bitnih kodova koji se koriste za dodjelu zrakoplovnih adresa. Pružaju se podaci o visini po tlaku za svakih 25 stopa i koristi se način selektivnog slanja upitnog signala. [18] Za razliku od postojećih stanica sekundarnog nadzornog radara koji primaju odgovore svih zrakoplova u blizini i tada odabire odgovarajući signal, mod S pruža selektivniji pristup koji omogućava slanje impulsa upita određenom zrakoplovu i primanje samo njegovog povratnog odgovora.

Mod S sastavlja impulse P1 i P2 iz glavnog snopa antene, kako bi se osiguralo da transponderi ne odgovore u modovima A i C, na taj način smanjuje problem miješanja signala, te također osigurava širi spektar podataka. [19] Prva dva impulsa P1 i P2 traju 0,8 µs, a razmaknuti su 2,0 µs i tako se simulira potiskivanje sekundarnih latica za modove A i C, stari odgovarači su blokirani i ne odgovaraju na upit, jer izgleda da upit dolazi iz smjera sekundarne latice. Prijenos ostalih podataka moda S odvija se u vremenu u kojem su stari odgovarači blokirani. Nakon impulsa P2 slijedi dugi impuls P6 (traje 16,25 µs ili 30,25 µs), u impulsu P6 prenosi se 56 ili 112 bitova podataka, svaki bit kodirani je promjenom faze. Prva promjena faze unutar impulsa P6 zbiva se 1,25 µs nakon prednjeg brida i služi za sinkronizaciju takta u odgovaraču, tako odgovarač može ispravno dekodirati podatke iz upita. Udaljenost zrakoplova mjeri se

pomoću vremena prošlog između odašiljanja prve promjene faze za sinkronizaciju i prijema prvog impulsa odgovora. [9]

U jednom načinu rada „All-call“ izgleda poput uobičajenog ispitivanja načina moda A ili C, a transponder će započeti postupak odgovaranja po primanju impulsa P3. Međutim, mod S transponder će prekinuti ovaj postupak nakon otkrivanja impulsa P4 i umjesto toga odgovoriti kratkim odgovorom mod S koji sadrži njegovu 24 - bitnu adresu. Ovaj oblik ispitivanja na sve pozive sada se ne koristi previše, jer će i dalje dobivati odgovore od već poznatih zrakoplova i stvarati nepotrebne smetnje. Alternativni oblik All-call koristi kratko ispitivanje moda S s podatkovnim blokom od 16.125 μs. To može uključivati naznaku ispitivača koji prenosi All-call sa zahtjevom da, ako je zrakoplov već odgovorio ovom ispitivaču, ne odgovara više, jer je zrakoplov već poznat i odgovor je nepotreban. [12]




***Slika 18.*** *Način rada "All-call" [12]*

# 5. RAZLUČIVOST SEKUNDARNOG RADARA PO AZIMUTU I METODE POVEĆANJA RAZLUČIVOSTI

Na današnjem tržištu uglavnom su dostupni SSR radari sa monopulsnom tehnologijom, iako još postoji nekoliko „Sliding window“ ispitivača, pogotovo u nerazvijenim zemljama. Neki mobilni ispitivači pogotovo na brodovima (uglavnom vojnim) rade na principu „Sliding window“ tehnologije. Trošak i kompleksnost implementiranja monopulsa na mobilne platforme dosta je zahtjevan postupak.

## 5.1. Sliding window

„Sliding window“ tehnologija se koristila se od 1950 g. kada je uveden SSR za civilne potrebe. U današnjem okruženju ova tehnologija više nije dostupna, međutim i danas postoji još mnogo sustava koji koriste ovu obradu u operativnoj upotrebi.

Za mode A/C, ispitivanje se više puta prenosi dok se antena okreće i frekvencija učestalog ispitivača može biti vrlo visoka od 200 Hz do 400 Hz. Strategija frekvencije i točnog vremena za ispitivanje ispitivača lokalni je problem i ovisiti će o operativnim zahtjevima za izlaz iz radara i utjecaj okoline na frekvenciju.

Vjerojatno je da će cilj generirati nekoliko mod A ili mod C odgovora dok ostaje u glavnom snopu ispitivača. Budući da ispitivanja u modu A/C nisu selektivna, generirat će odgovor na svako ispitivanje uspješno dok je u glavnom snopu radara (npr. veličina glavnog snopa normalna je između 2 i 3°).

„Sliding window“ sustavi izvode cilj azimuta s točnošću od 0.1° do 0.2°. Ovo može dovesti do pogreške za ciljeve na velikoj udaljenosti od ispitivača.

Tehničko načelo mjerenja azimuta „Sliding window“ tehnologijom je jednostavno. Ispituju se svi odgovori pravilno zaprimljeni iz zrakoplova koji su dekodirani za vrijeme dok se nalaze u glavnom snopu antene. Azimut cilja izveden je iz središnjeg odgovora. Na procjenu azimuta metodom „Sliding window“ utječu propušteni odgovori na rubovima snopa (gdje su signali gornje i donje veze također najslabiji) kao i fruit i grabling na rubovima snopa.

Odgovori se mogu propustiti i zbog zauzetosti transpondera ili zbog neuspjeha njihovog otkrivanja u prisutnosti drugih preklapajućih odgovora. Neki zrakoplovi možda neće biti opremljeni za odgovaranje za neke tražene načine (modove). Neki su vojni zrakoplovi možda promijenili gornju i donju antenu (prebacuje se svakih 12 ms), što može imati učinak prepoloviti propuštene odgovore zbog zasjenjivanja antene ako zrakoplov radi manevar.

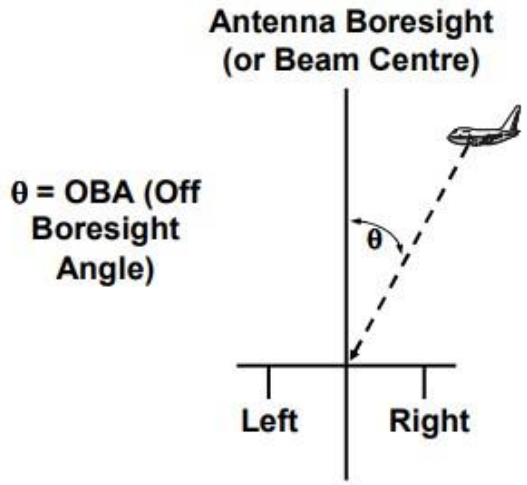
Preciznost azimuta u određivanju prednjeg i zadnjeg ruba ovisit će o promjeni azimuta između ispitivanja, stoga je potrebna velika brzina ispitivanja u sustavima „Sliding window“ sustavima (ispitivanje na najmanje svakih 0.2° rotacije).

## 5.2. Monopulsni sustav

Mjerenje azimuta tehnologijom „Sliding window“ odavno je preuzeo Monopulsni sustav i koristi se od 1980-ih g. Eurocontrol je propisao standard da za nadzor zračnog prostora se moraju koristit Monopulsni SSR radari i da imaju mogućnost nadogradnje na mod S.

Princip Monopulsnog izvođenja azimuta koristi se za dobivanje točnog kuta zrakoplova unutar glavnog snopa iz svakog odgovora na 1090 MHz. Princip sustava „Sliding window“ ima očite slabosti zahtijevajući da se središnji odgovor iz više odgovora koristi za dobivanje azimuta. S druge strane Monopuls koristi tehnologiju za dobivanje pouzdanijeg i preciznijeg ciljanog azimuta iz jednog odgovora, zapravo iz jednog impulsa u odgovoru, otkud i dolazi izraz Monopuls.

Monopulsna metoda primila je signal podijeljen na dvije polovice, lijevu i desnu, kao što je prikazano na slici 19. Usporedbom signala primljenog na svakoj polovici može se izvesti azimut cilja.




***Slika 19.*** *OBA (Off- Boresight angle) [13]*

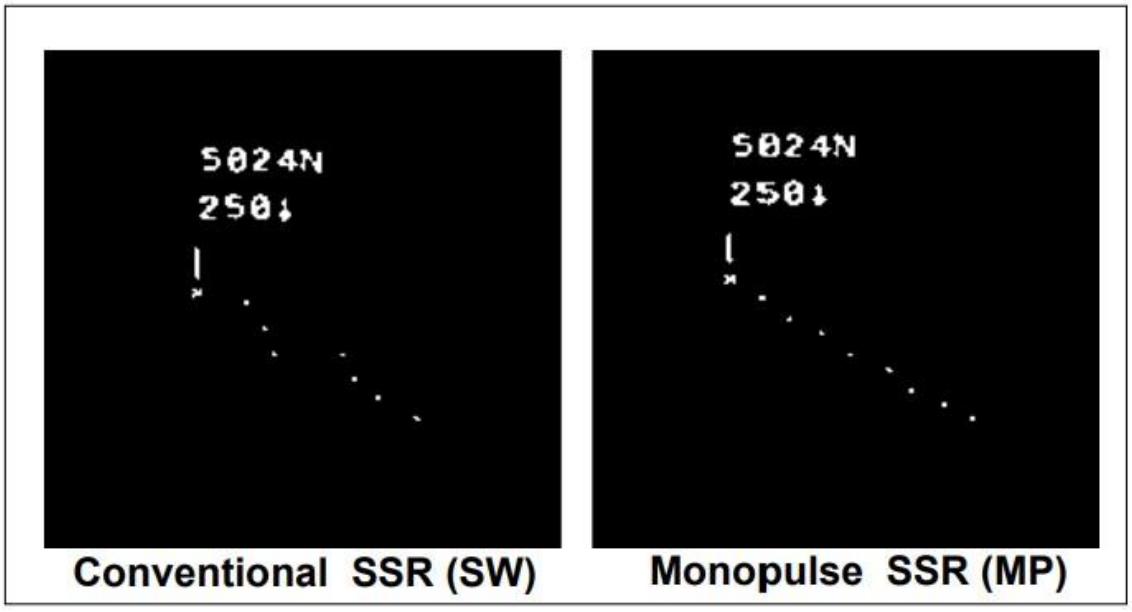
Prednosti monopulsa za radarsko frekvencijsko okruženje su očite, potrebno je generirati manje ispitivanja, a time i manje odgovora. Slika 19. prikazuje OBA (*Off-Boresight angle* - kut izvan promatranja) koji je izveden Monopulsnom tehnologijom. Ovo je kut između središta snopa i stvarnog cilja azimuta unutar glavnog snopa.

Tipična širina snopa za SSR je oko 2,4°, što bi moglo dovesti do prilično velikih pogrešaka u procjeni položaja.

To je posebno slučaj za ciljeve na većim dometima od radara. Tamo gdje širina snopa postaje veća (npr. 5°), monopuls postaje još važniji.

Monopulsna tehnologija pruža sljedeće prednosti u odnosu na ranija tehnološka rješenja:

- točnije mjerenja azimuta
- može se postići 0,03° do 0,07° točnosti azimuta („Sliding window“ točnost je od 0,1° do 0,2°)
- niža stopa ispitivanja (učestalost ispitivanja) jer je potrebno manje odgovora u obradi na zemaljskoj stanici, a time ima pozitivnu korist za radarsko frekvencijsko okruženje SSR_a
- stopa ponavljanja prijenosa tipična je oko 1/3 od sustava „Sliding window“. Niža stopa ispitivanja smanjuje zauzetost transpondera i fruit u korist svih sustava koji rade u istom okruženju
- monopulsni sustav koji koristi širinu snopa od 2,4° može koristiti PRF od oko 120 MHz
- poboljšana obrada kao vrijednost OBA dostupna je za svaki impuls povrh informacija o amplitudi i vremenu.




***Slika 20.*** *Monopulsni naspram Sliding window sustava [13]*

Slika 20. prikazuje komparativno poboljšanje koje monopulsni SSR može pružiti kvaliteti radarske slike.

Usporedni prikaz na slici 20. prikazuje isti zrakoplov snimljen s dvije različite tehnologije:

- konvencijalnim SSR sustavom koji koristi tehniku „Sliding window“
- monopulsnim SSR sustavom.

Sasvim je jasno da je monopulsni sustav sposoban isporučivati prikaz sa znatno boljom procjenom položaja (više izravnan put (track) može se precizno izvesti kroz monopulsni SSR). Ovo poboljšanje uglavnom je posljedica poboljšanja u procjeni točnosti azimuta koje podržava monopulsni SSR. [13]

# 6. SUSTAVI SEKUNDARNIH RADARA U HRVATSKOJ ZA NADZOR ZRAČNOG PROSTORA

U Hrvatskoj postoje pet suvremena mod S radarska sustava (Pleso, Kozjak, Psunj, Monte Kope i Konavle), čiji podatci zajedno s podatcima vojnih radara (Sljeme, Učka i Rota) osiguravaju višestruko pokrivanje područja odgovornosti, kako rutnih tako i terminalnih područja RH.

Mod S funkcija, koja je funkcionalna značajka svih sekundarnih radarskih sustava, trenutno integriranih u (*Air Traffic Management* – ATM) sustav (Hrvatske kontrole zračne plovidbe – HKZP-a), omogućuje vrlo široki spektar dostupnih informacija, čime se izravno doprinosi manjem opterećenju u govornoj komunikaciji zemlja-zrak, te poboljšava efikasnost sigurnosnog djela ATM sustava (*Safety Nets*). [20]



***Slika 21.*** *Radarska postaja Konavle [20]*

## 6.1. Opis i namjena Sekundarnog radara thales RSM 970S CIRUS

RSM 970S CIRUS je jednoimpulsni sekundarni radar s mod S značajkama. Trenutno HKZP u svom sustavu ima tri takva radar i to na radarskim postajama Pleso, Kozjak i Psunj. Glavnina sva tri radarska sustava jest jednaka, no postoje određene lokalne specifičnosti uzrokovane promjenama u proizvodnom procesu, konfiguracijom te zadržavanjem pojedinih komponenti ranije instaliranih sustava. Na radarskoj postaji [20]Pleso radar je kolociran s primarnim radarom s kojim dijeli zajednički podsustav antenskog pogona s rotirajućom spojnicom, a u podsustavu obrade dodatno se još obavlja korelacija i kombinacija primarnog i sekundarnog radarskog plota.

Na radarskoj postaji Kozjak zadržan je pogonski sustav radarskog sustava RSM 970, te s tim u svezi prilagođen podsustav upravljanja antenskim pogonom. Maksimalni domet ovog tipa radar je 256 NM, no trenutno je na sva tri radara podešen optimalniji operativni domet od 200 NM. [20]

## 6.2. Opis i namjena sekundarnog nadzornog radara Indra IRS-20MP/S

IRS-20MP/S je jednoimpulsni sekundarni nadzorni radar s mod S značajkama čija je osnovna namjena dobivanje nadzornih informacija o zrakoplovima radi učinkovitog odvijanja zračnog prometa u čitavom području (*Flight Information Region* – FIR) Zagreb, kao i područjima susjednih država izvan FIR Zagreb. Maksimalni domet radara je 256 NM (trenutačno podešen optimalniji operativni domet od 200 NM). [20]

## 6.3. Opis i namjena sekundarnog nadzornog radara Indra IRS-20MP/S Digital

IRS-20MP/S Digital je jednoimpulsni sekundarni radar s mod S značajkom. Maksimalni domet radar je 256 NM (trenutačno podešeni domet je 200 NM). Specifičnost ovog sustava naspram ostalih mod S radarskih sustava jest što ima integriranu dodatnu nezavisnu ADS-B prijemnu funkciju koja potpomaže mehanizme radarske detekcije (rana detekcija, redukcija konusa tišine, poboljšanje performansi internog, lokalnog trekiranja, poboljšanje efikasnosti antirefleksijskog algoritma). [20]

## 6.4. Opis i namjena multilateracijakog i ADS-B sustava Saab Sensis CSS

Multilateracijski i ADS-B sustav - (*Cooperative Surveillance System* – CSS) detektira zrakoplove u prilazu, te zrakoplove i vozila na manevarskim površinama Međunarodne zračne luke Zagreb. Sustav podržava dualnu tehnologiju detekcije: metodom multilateracije, te ekstrakcijom (*Global Navigation Satellite System* – GNSS) pozicije iz ADS-B poruka. Sustav je integriran u (*Advanced Surface Movement Guidance And Control System* - A-SMGCS) sustav u kojem zajedno sa (*Surface Movement Radar* – SMR) radarom osigurava funkciju nadzora. CSS sustav omogućuje višestruko definiranje područja detekcije i trekiranje s različitim parametrima, te stoga podržava jednostavno proširenje područja detekcije i dodavanje novih servisa. [20]

# 7. ZAKLJUČAK

Kako bi se povećala sigurnost zračnog prometa i poboljšala komunikacija između kontrolora leta i pilota, istraživali su se načini poboljšanja nadzora zračnog prometa. Napretkom tehnologije kontrolori leta sve više i više dobivaju određene informacije o zrakoplovu i sve se više smanjuje trajanje komunikacije između kontrolora i pilota. Nadzor zračnog prometa obavlja se korištenjem različitih nadzornih tehnologija (kooperativnih i nekooperativnih). Primjena radarskih sustava u kontroli zračnog prometa u današnje vrijeme je najbitniji faktor za sigurno odvijanje zračnog prometa.

Fokus ovog rada je sekundarni radar, koji uspješno zamjenjuje sve nedostatke primarnog radara. Princip rada sekundarnog nadzornog sustava uvelike olakšava regulaciju zračnog prometa većeg broja zrakoplova. Za razliku od primarnog radara, koji omogućava precizno pozicioniranje zrakoplova, sekundarni radar omogućava dopunske informacije o zrakoplovu (identitet, tip zrakoplova, visinu, brzinu…), što smanjuje opterećenje rada kontrolora leta i mogućnost većeg broja zrakoplova koje kontrolor nadzire. Zahvaljujući konstantnim napretkom tehnologije, razvijale su se i verzije sekundarnog radara od Moda A koji daje identifikaciju zrakoplova, da bi mu se nakon nekog vremena pridružio Mod C koji daje podatak o visini, a zbog povećanja gustoće prometa zbog kojeg je dolazilo do pogrešaka u odgovoru, došlo je do razvoja Moda S, koji je danas standard u nadzoru zračnog prostora. Razvojem tehnologije dolazi do razvoja novih sustava za nadzor zračnog prometa koji su precizniji i jeftiniji za implementaciju i održavanje, stoga se predviđa da će u budućnosti radarski sustavi polako nestajati.

# LITERATURA


[1] M. Brenlove, The Air Traffic System: A Commonsense Guide, Iowa State: Iowa State Pr, 1987.

[2] https://hrvatski-vojnik.hr/radarska-tehnika/ [Pristupljeno: siječanj 2021].

[3] https://prezi.com/p/2zaj-adfab5q/primarni-i-sekundarni-radar/ [Pristupljeno: ožujak 2021].

[4] https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=51409, [Pristupljeno: siječanj 2021].

[5] Air Traffic Control Training Manual, London: Civil Aviation Authority, 1981.

[6] https://www.crocontrol.hr/usluge/tehnicke-usluge/ [Pristupljeno: siječanj 2021].

[7] https://www.radartutorial.eu/druck/Book2.pdf, [Pristupljeno: siječanj 2021].

[8] https://sisiczijad.wordpress.com/2014/04/03/91/, [Pristupljeno: veljača 2021].

[9] E. Zentner i D. Bonefačić, Radarska tehnika, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2001.

[10] d. d. s. M. Muštra, *Nastavni materijali iz kolegija Komunikacijski i navigacijski sustavi,* Zagreb: Fakultet prometnih Znanosti, 2021.

[11] https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2014/ADSBIMP/ADSBIMPP12.pdf [Pristupljeno: siječanj 2021].

[12] https://www.wikiwand.com/en/Secondary_surveillance_radar [Pristupljeno: svibanj 2021].

[13] IANS, *ATM Training Unit,* 2008.

[14] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Antenna_(hogtrough).jpg [Pristupljeno: sljećanj 2021].

[15] https://www.aeroexpo.online/prod/easat-antennas-ltd/product-171040-64698.html [Pristupljeno: srpanj 2021]

[16] https://en.wikipedia.org/wiki/Secondary_surveillance_radar [Pristupljeno: ožujak 2021].

[17] https://www.radartutorial.eu/13.ssr/sr10.en.html [Pristupljeno: svibanj 2021].

[18] https://prezi.com/p/2zaj-adfab5q/primarni-i-sekundarni-radar/ [Pristupljeno: veljača 2021].

[19] https://prezi.com/p/2zaj-adfab5q/primarni-i-sekundarni-radar/ [Pristupljeno: veljača 2021].

[20] *Program održavanja sustava SUR domene,* Hrvatska kontrola zračne plovidbe, 2021.

[21] https://www.google.com/search?q=antena+s+ravnom+plo%C4%8Dom+za+radare&rlz&bih=1036 [Pristupljeno: ožujak 2021].

## POPIS SLIKA

**Slika 1.** Princip rada radara [1] ..... 3
**Slika 2.** Blok dijagram radara [3] ..... 4
**Slika 3.** Princip rada sekundarnog radara [9] ..... 6
**Slika 4.** Sekundarni radar [11] ..... 7
**Slika 5.** Prorezna antena [14] ..... 8
**Slika 6.** Prikaz antene s ravnom pločom [15] ..... 9
**Slika 7.** Ravni antenski niz [16] ..... 10
**Slika 8.** Upravljanje smjerova glavnih latica kod antenskog niza [10] ..... 11
**Slika 9.** Fazno upravljanje antenskim nizom [10] ..... 11
**Slika 10.** E - SCAN [13] ..... 12
**Slika 11.** Horizontalni dijagram zračenja [13] ..... 13
**Slika 12.** Refleksija [13] ..... 14
**Slika 13.** Vertikalni dijagram zračenja [13] ..... 15
**Slika 14.** Transponder [13] ..... 16
**Slika 15.** Prikaz međusobnih razina signala [17] ..... 17
**Slika 16.** Princip rada moda A [18] ..... 17
**Slika 17.** Princip rada moda C [18] ..... 18
**Slika 18.** Način rada "All-call" [12] ..... 19
**Slika 19.** OBA (Off- Boresight angle) [13] ..... 21
**Slika 20.** Monopulsni naspram Sliding window sustava [13] ..... 22
**Slika 21.** Radarska postaja Konavle [20] ..... 24

## POPIS KRATICA

ADS-B – *Automatic Dependent Surveillance* – Broadcast

A-SMGCS – *Advanced Surface Movement Guidance And Control System* (hrv. sustav nadzora prometa i vođenje zrakoplova na aerodromskim manevarskim površinama)

ATC – *Air Traffic Control* (hrv. kontrola zračnog prometa)

ATM – *Air Traffic Management* (hrv. upravljanje zračnim prometom)

CSS – *Cooperative Surveillance System*

FIR – *Flight Information Region* (hrv. regija informacija o letu)

GNSS – *Global Navigation Satellite System* (hrv. globalni navigacijski satelitski sustavi)

OBA – *Off Boresight angle* (hrv. kut izvan promatranja)

PRM – *Precision Runway Monitoring* (hrv. precizno praćenje prilaza pisti)

PSR – *Primary Surveillance Radar* (hrv. primarni nadzorni radar)

RADAR – *Radio Detection And Ranging* (hrv. radio detekcija i određivanje udaljenosti)

SSR – *Secondary Surveillance Radar* (hrv. sekundarni nadzorni radar)

TCAS – *Traffic Collision Avoidance System* (hrv. sustav za izbjegavanje sudara u prometu)

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

# IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog rada pod naslovom **Sekundarni radar za kontrolu zračnog prometa**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 15.7.2021

Student/ica:

Katarina Ružičić

*(potpis)*