

# Multilateracijski sustavi za nadzor zračnih luka

---

Martinović, Lea

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:779609>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-26**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -  
Institutional Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Lea Martinović**

**MULTILATERACIJSKI SUSTAVI ZA NADZOR**  
**ZRAČNIH LUKA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2020.**

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **ZAVRŠNI RAD**

### **MULTILATERACIJSKI SUSTAVI ZA NADZOR ZRAČNIH LUKA**

### **MULTILATERATION AIRPORT SURVEILLANCE SYSTEMS**

Mentor: doc.dr.sc. Mario Muštra

Studentica: Lea Martinović

JMBAG: 0135248183

Zagreb, rujan 2020.

Zagreb, 31. ožujka 2020.

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

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 5860

Pristupnik: **Lea Martinović (0135248183)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Zračni promet**

Zadatak: **Multilateracijski sustavi za nadzor zračnih luka**

Opis zadatka:

Navesti i objasniti tehnologije koje se koriste za oblasni i aerodromski nadzor zračnog prometa. Analizirati princip rada hiperbolnih navigacijskih sustava i primjenu tog koncepta na sustave multilateracije (MLAT). Objasniti multilateraciju širokog područja (WAM) i multilateracijske sustave koji se koriste za nadzor prostora zračnih luka. Opisati sustav A-SMGCS implementiran na Međunarodnoj zračnoj luci Zagreb.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

doc. dr. sc. Mario Muštra

# MULTILATERACIJSKI SUSTAVI ZA NADZOR ZRAČNIH LUKA

## SAŽETAK

Nadzor zrakoplova jedna je od ključnih stavki za siguran zračni promet, učinkovitije vođenje zrakoplova i veću protočnost zrakoplova u okolici zračnih luka. Za nadzor zrakoplova mogu se koristiti radarski sustavi kao što su primarni i sekundarni radar ili navigacijski sustavi kao što su ADS sustavi i multilateracijski sustavi. Multilateracija u nadzoru zračnog prometa podrazumijeva istovremenu uporabu više zemaljskih stanica koje omogućavaju precizno lociranje zrakoplova. Na zračnim lukama se multilateracijski sustav može instalirati u sklopu A-SMGCS koji služi za nadzor površinskog kretanja na zračnim lukama.

**KLJUČNE RIJEČI:** nadzor, radar, multilateracija, zračna luka

# **MULTILATERATION AIRPORT SURVEILLANCE SYSTEMS**

## **SUMMARY**

Surveillance of an aircraft is one of the key elements for safe air traffic, efficient air traffic management and greater air flow near airports. Radar systems such as primary and secondary radar or navigation systems such as ADS systems and multilateral systems can be used for aircraft surveillance. Multilateration in air traffic surveillance involves the simultaneous use of multiple ground stations that allow precise locating of aircraft. At airports, a multilateral system can be installed as part of the A-SMGCS, which serves to monitor surface movement at airports.

**KEYWORDS:** surveillance, radar, multilateration, airport

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. SUSTAVI ZA NADZOR U ZRAKOPLOVSTVU .....	2
2.1. Primarni radar (PSR) .....	2
2.2. Sekundarni radar (SSR) .....	4
2.3. ADS (Automatic dependent surveillance) .....	6
2.3.1. ADS – B .....	7
2.3.2. ADS – C .....	9
2.4. Razlika između radarskih i navigacijskih nadzornih sustava.....	11
3. MULTILATERACIJSKI SUSTAV (MLAT) .....	12
3.1. Princip rada.....	14
3.2. Matematičko određivanje pozicije .....	15
3.3. Prednosti multilateracije.....	17
3.4. Nedostaci multilateracije.....	18
3.5. Poboljšanja za kontrolu zračnog prometa .....	18
3.6. Korisnici MLAT-a .....	19
3.6.1. Kontrola zračnog prometa na zemlji.....	19
3.6.2. Aerodromska kontrola zračnog prometa .....	20
3.6.3. Kontrola zračnog prometa u prilazu .....	20
4. ŠIROKOPOJASNI MULTILATERACIJSKI SUSTAV (WAM).....	21
4.1. Način rada širokopojasne multilateracije .....	21
4.2. Aktivni i pasivni WAM sustavi .....	23
4.2.1 Pasivni WAM sustavi.....	23
4.2.2. Aktivni WAM sustavi.....	23
5. SUSTAV A-SMGCS NA ZRAČNOJ LUCI ZAGREB.....	25
5.1. ICAO standardi .....	26
5.2. A-SMGCS na Zračnoj luci Zagreb .....	27
6. ZAKLJUČAK .....	29
POPIS TABLICA .....	31

# 1. UVOD

Kada se govori o zračnom prometu jedna od najvažnijih stvari jest sigurnost zračnog prometa. Sigurnost predstavlja smanjenje rizika na najmanju moguću razinu. Da bi se rizici u zračnom prometu smanjili na najmanju moguću razinu, konstantno se radi na razvijanju novih tehnologija koje mogu učiniti zračni promet što je moguće sigurnijim. Jedna vrsta takvih tehnologija služi za nadzor zračnog prostora, utvrđivanja pozicija zrakoplova i svih ostalih mogućih potrebitih podataka. U ovome radu opisani su sustavi za nadzor s naglaskom na multilateracijske sustave za nadzor.

Rad je podijeljen u 6 poglavlja. U uvodu ukratko je opisana tema rada te su opisani sustavi za nadzor. U drugom poglavlju detaljnije su opisani neki od najpoznatijih sustava za nadzor u zračnom prometu. Te sustave možemo podijeliti u radarske i navigacijske sustave za nadzor. Najvažniji radarski sustavi su primarni i sekundarni nadzorni radar. Kod navigacijskih nadzornih sustava imamo ADS (*Automatic dependent surveillance*). Kod ADS-a razlikujemo dvije vrste sustava: ADS-B i ADS-C. U trećem poglavlju opisan je multilateracijski sustav (MLAT) koji služi za poboljšani nadzor zrakoplova u okolini zračnih luka. Multilateracija (MLAT) u nadzoru zračnog prometa podrazumijeva istovremenu uporabu više zemaljskih stanica koje omogućavaju precizno lociranje zrakoplova. U četvrtom poglavlju opisan je sustav širokopojasne multilateracije (WAM) koji služi za nadzor zrakoplova na ruti. Širokopojasna multilateracija radi na istom principu kao i lokalna multilateracija na zračnim lukama ali uz veće međusobne razmake između stanica. Udaljenosti između stanica su oko 100 kilometara. U šestom poglavlju opisan je sustav A-SMGCS koji služi za nadzor prometa i vođenje zrakoplova na manevarskim površinama zračne luke. A-SMGCS je također prije dvije godine instaliran na Zračnoj luci Zagreb. U sedmom poglavlju nalazi se zaključak.



## 2. SUSTAVI ZA NADZOR U ZRAKOPLOVSTVU

Nadzor je ključna funkcija kontrole zračnog prometa. Sustavi nadzora određuju poziciju zrakoplova i šalju detaljne informacije u sustav kontrole zračnog prometa koji kontrolorima zračnog prometa omogućuju sigurno upravljanje zračnim prometom. Kontrola zračnog prometa nije moguća bez sustava nadzora, osobito u visoko gustim područjima zračnog prometa. Nadzor najčešće pružaju primarni i sekundarni radari. Međutim, nove tehnologije za nadzor, kao što su ADS sustavi, multilateracija i navigacijski sustavi kao GPS, postupno se primjenjuju.

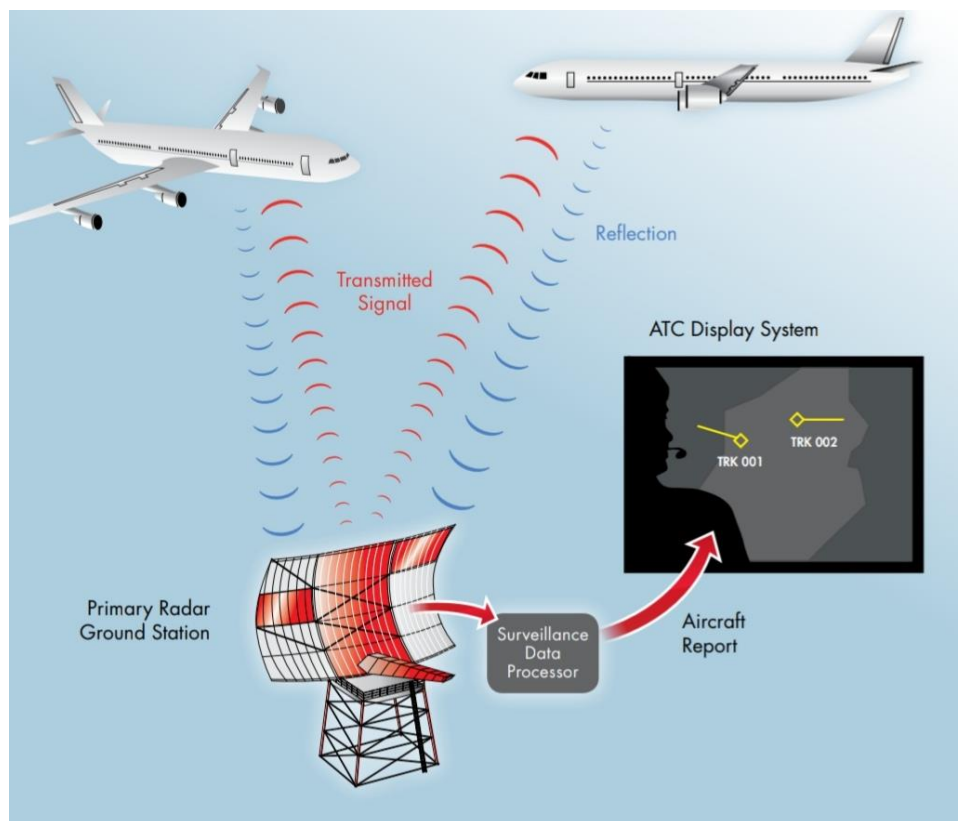
Sustavi za nadzor zračnog prometa bitna su karika u lancu koja omogućuje sigurno i djelotvorno pružanje operativne usluge u zračnom prometu (*Air Traffic Services – ATS*). Pouzdano i točno određivanje pozicije zrakoplova u prostoru omogućuju suvremeni radarski sustavi koji su u stanju pratiti zahtjeve koje postavlja važeća europska regulativa uz preporuke Eurocontrol-a, a sve u cilju uspostave Jedinog europskog neba. [1]

### 2.1. Primarni radar (PSR)

Primarni radar je sustav u kojem zemaljska antena odašilje radarski impuls, a zatim osluškuje malu količinu povratne energije koja se reflektira iz zrakoplova. Udaljenost zrakoplova od radara određuje se na temelju vremena potrebnoga da EM val prijeđe put od radara do objekta i natrag. [2]

Primarni radar se uglavnom koristi kod faze prilaza zrakoplova, ali se isto tako koristi i za nadzor na ruti i otkrivanje pozicije zrakoplova. Opremljen je antenom koja se stalno okreće, a zrake odašilje odašiljač. Kada ta zraka udari u zrakoplov, odbija se prema radaru, poput odjeka. Mjereći vrijeme potrebno da se zraka odbije natrag i smjer iz kojeg dolazi odraz, primarni nadzorni radar može odrediti udaljenost zrakoplova. Osim udaljenosti od zemaljske stanice, informacije dobivene PSR-om uključuju azimut u odnosu na poziciju zemaljske stanice. Udaljenost zrakoplova se šalje u sustav za kontrolu zračnog prometa gdje se prikazuje kontroloru zračnog prometa kao radarski pravac. Na taj način može se odrediti samo položaj zrakoplova dok sam zrakoplov nije identificiran. Koristi se uglavnom oko zračnih luka, ali i kao

nadzor na ruti u određenim zemljama. Prednost PSR-a je ta što otkriva sve zrakoplove u dometu bez obzira na opremu u zrakoplovu. To se naziva nezavisnim nadzorom, što znači da nijedan zrakoplov ne može ostati nevidljiv kontrolorima zračnog prometa. Ovo je jedina vrsta tehnologije koja danas nudi ovu razinu sigurnosti.



**Slika 1.** Primarni radar. [3]

Prednosti:

- za otkrivanje pozicije nije potrebna dodatna oprema u zrakoplovu
- može se koristiti za nadzor na zemlji
- visoka razina integriteta podataka
- niski troškovi infrastrukture, ugradnja samo jedne stranice
- podaci o vremenu.

Nedostaci:

- zrakoplovi nisu identificirani
- ograničeni domet

- niska stopa ažuriranja
- planinska područja koja treba izbjegavati. [3]

## 2.2. Sekundarni radar (SSR)

U kontroli zračnoga prometa koristi se i radar s aktivnim odjekom (sekundarni radar), koji ne djeluje na načelu jednostavnog odraza EM vala od zrakoplova, nego se primjenjuje odgovarač na zrakoplovu (transponder), koji šalje povratne impulse kada se pobudi impulsima sa zemaljskoga pitača (interogatora). Transponder predstavlja važan dio u identifikaciji i praćenju zrakoplova. Osigurava ključnu vezu između zrakoplova i uređaja kontrole zračnog prometa na zemlji zbog čega je od velike važnosti da je transponder ispravan i da daje točne podatke. [1]

Suprotno PSR-u, SSR zahtijeva da zrakoplovi budu opremljeni transponderom. Sa svojom kontinuirano rotirajućom antenom, SSR će poslati zrake koje će ispitivati zrakoplove. Kada zraka pogodi zrakoplov, kodirani odgovor bit će poslan natrag prema radaru. Taj odgovor sadrži identifikaciju zrakoplova, njegovu visinu i dodatne informacije, ovisno o vrsti transpondera. Međutim, SSR se ne oslanja na transponder za položaj zrakoplova nego to određuje mjerenjem vremena koje je potrebno da se zraka odbije do radara iz smjera iz kojeg se refleksija vraća. SSR zatim sve ove informacije odašilje u sustav kontrole zračnog prometa. [2]

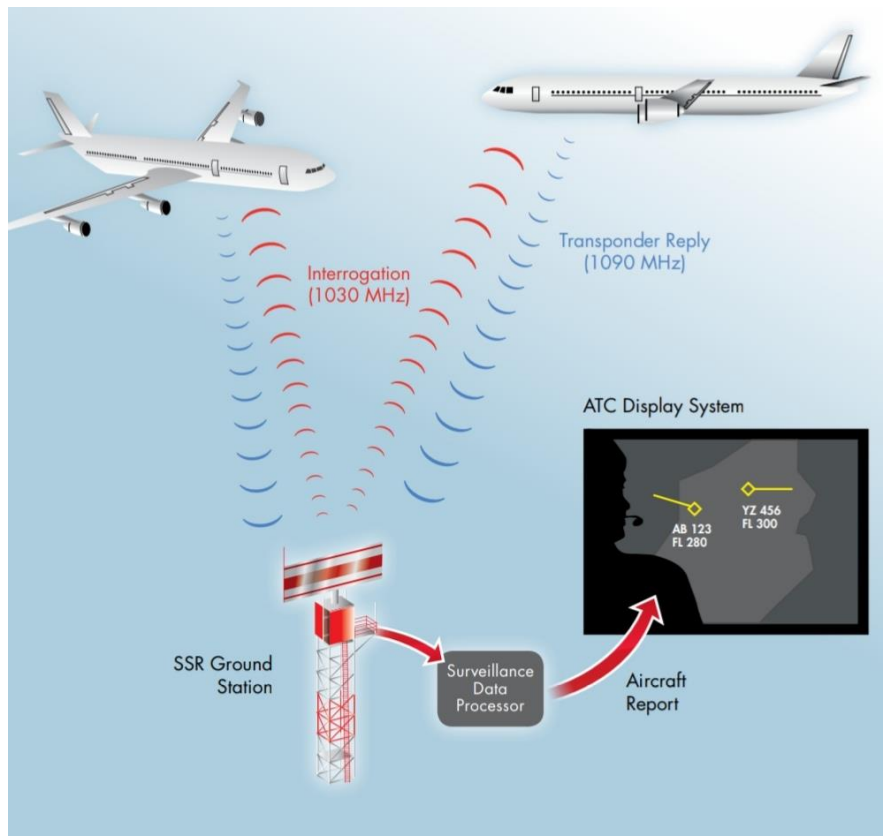
Sekundarni nadzorni radar koji se koristi u civilnom zračnom prometu radi na dvije frekvencije. Zemaljski uređaj odašilje signale na 1030 MHz prema zračnom prijammniku, tj. uređaju u zrakoplovu. Uređaj u zrakoplovu se sastoji od prijammnika i predajnika koji se jednim imenom nazivaju transponder. Nakon što transponder primi signal upita sa zemaljske postaje na frekvenciji od 1030 MHz obrađuje ga, kodira i vraća signal odgovora prema zemaljskoj postaji na frekvenciji od 1090 MHz.

### PREDNOSTI:

- daje podatke o poziciji i identifikaciji, te rasponu
- manje osjetljiv na smetnje od primarnog radara
- pokriva veći domet od primarnog radara
- mod S uvodi podatkovnu vezu zrak-zemlja
- srednja razina integriteta podataka.

## NEDOSTACI:

- ne radi za nadzor tla
- problemi u vezi s korištenjem načina rada A/C
- visoka latencija i niska brzina ažuriranja. [3]



**Slika 2.** Sekundarni radar. [3]

U civilnom zrakoplovstvu koriste se tri glavna moda, modovi A/C i mod S. Postoje također modovi koji se koriste u vojnom zrakoplovstvu, no oni su odvojeni od civilne upotrebe.

Osnovni civilni način je Mod A. U tom načinu transponder zrakoplova pruža pozitivnu identifikaciju zrakoplova odašiljajući četveroznamenkasti kod zemaljskoj stanici. Sustav kodova je oktalni što znači da svaka od znamenki kodova može biti bilo koji od brojeva 0-7. Tako postoji 4096 mogućih četveroznamenkastih kodova (npr. 3472).

Drugi glavni način SSR-a je mod C. U ovom se načinu visina zrakoplova, izvedena iz plovidbenih instrumenata, prenosi na zemaljsku stanicu. Uporaba moda C uvedena je krajem 1980-ih s nabavom zemaljskih sustava sposobnih za obradu podataka.

Mod S odnosno Mod Select ima kodove koji se koriste za dodjelu zrakoplovnih adresa. Zrakoplovi opremljeni transponderima koji podržavaju ovaj način rada dobivaju trajnu identifikaciju koja se selektivno može obratiti zemaljskim radarima. Mod S također nudi širi spektar podataka za prijenos, uključujući potencijalno uzlaznu vezu podataka od zemaljske stanice do zrakoplova. [4]

Podaci koje zrakoplovi šalju ovise o transponderu u zrakoplovu. Ako zrakoplov ima mod A/C, kodirani odgovor sadrži identifikaciju zrakoplova i njegovu visinu. S modom A/C, kada radar pošalje upit, svi zrakoplovi u dometu odgovaraju. Zbog toga je uveden režim S koji svakom zrakoplovu daje vlastitu jedinstvenu adresu (24-bitna adresa zrakoplova) za selektivno ispitivanje i stjecanje identificirane zrakoplovne veze (obično se naziva ID leta). Taj se temeljni koncept naziva mod S Elementarni nadzor (ELS). Način S također omogućuje zrakoplovima gotovo sve podatke iz plana leta. Novija koncepcija za mod S je Poboljšani nadzor moda S (EHS). [3]

SSR kodovi spadaju u dvije skupine; diskretni i ne-diskretni. Ovaj način grupiranja je funkcija sustava za obradu podataka zemaljskog radara / leta, a ne samog SSR sustava.

Nediskretni kod je bilo koji kod koji završava s '00' (*npr.* 2000). Ne-diskretne kodove može koristiti više od jednog zrakoplova istodobno, a neki ne-diskretni kodovi dodijeljeni su kao opći kodovi određenim operacijama. Na primjer, standardni SSR kod za VFR zrakoplove je 1200. Neki se ne-diskretni kodovi dodjeljuju i za slučajevne opasnosti; na primjer, 7700 označava 'Mayday'.

Za razliku od ne-diskretnih kodova, diskretni kod je onaj koji se istovremeno može dodijeliti samo jednom zrakoplovu (kodovi se mogu ponovno upotrijebiti ako izvorni korisnik to više ne zahtijeva). Svaki kod koji ne završava s '00' smatra se diskretnim. Moderni sustavi za obradu podataka o letu zapravo mogu omogućiti istodobnu upotrebu istog diskretnog koda u određenim okolnostima. [4]

### **2.3. ADS (Automatic dependent surveillance)**

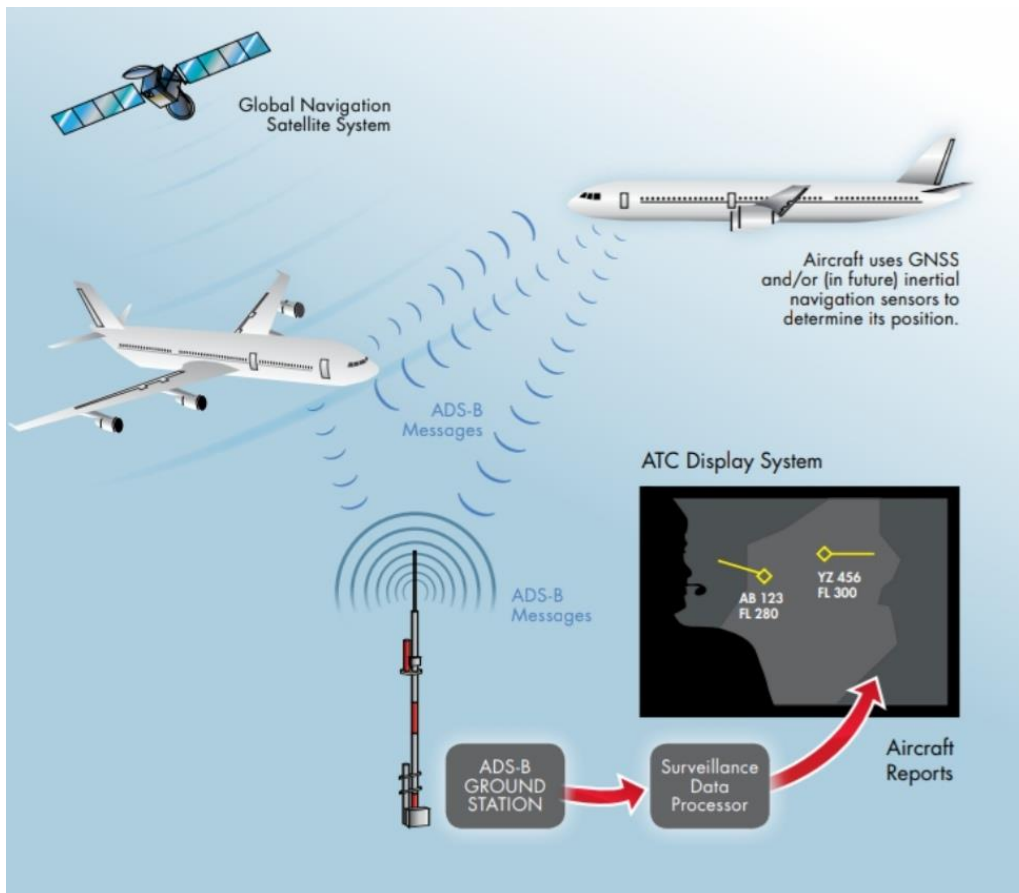
Automatic Dependent Surveillance (ADS) je nadzorna tehnologija čiji se rad temelji na automatskom slanju podataka sa zrakoplova, putem podatkovne veze, koji su dobiveni s navigacijskih uređaja na samom zrakoplovu i sustava za određivanje pozicije, uključujući identifikaciju zrakoplova, trodimenzionalnu poziciju zrakoplova, i

ostale informacije koje su potrebne. Razlikujemo dvije vrste ADS-a: Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B) i Automatic Dependent Surveillance – Contract (ADS-C). Temeljna razlika između te dvije vrste ADS-a je u načinu odašiljanja podataka tj. razlogu odašiljanja. ADS-B automatski odašilje podatke, bez zahtjeva od zemaljske stanice ili drugog zrakoplova. ADS-C odašilje podatke na zahtjev zemaljske stanice i sadržaj tih informacija određuje također zemaljska stanica. [1]

### **2.3.1. ADS – B**

ADS-B je sredstvo kojim zrakoplovi, aerodromska vozila i drugi objekti mogu automatski emitirati ili primiti podatke poput identifikacije, položaja i dodatnih podataka u emitiranom načinu putem podatkovne veze. Zrakoplov, koji je opremljen ADS-B odašiljačkom opremom koja je u skladu s odobrenom konfiguracijom opreme, mora neprekidno upravljati opremom tijekom leta u svim zračnim prostorima na svim visinama. Za poboljšanje točnosti podataka, tj. da zrakoplovi “budu praćeni” koristi se dodatni ADS-B prijatelj. [2]

Zrakoplov koristi Globalne navigacijske satelitske sustave (GNSS) za određivanje svog položaja, koji zajedno s ostalim informacijama emitira prema zemaljskim stanicama. Zemaljske stanice obrađuju i šalju te podatke sustavu kontrole zračnog prometa koji zatim prikazuje zrakoplov na ekranima kontrolora zračnog prometa. Zrakoplovi opremljeni ADS-B-om emitiraju jedanput u sekundi svoj položaj i druge informacije bez ikakve intervencije zemaljskih sustava. Kao i njihov položaj, zrakoplovi emitiraju visinu, brzinu, identitet zrakoplova i druge informacije dobivene iz sustava. Nakon što ih zemaljske stanice dobiju, informacije se obrađuju i šalju u Centar za kontrolu zračnog prometa radi prikaza na zaslonima kontrolora. ADS-B može primiti i obraditi bilo koja prijateljska jedinica, što znači da se ADS-B može koristiti i za zemaljske i za zračne aplikacije za nadzor zračnog prometa. [3]



**Slika 3.** Automatic Dependent Surveillance – Broadcast. [3]

#### PREDNOSTI:

- trošak nabave i instalacije najniži je za ADS-B u odnosu na druge nadzorne sustave
- minimalni infrastrukturni zahtjevi, zemaljska stanica može se instalirati na postojeću infrastrukturu kao što su navigacijski dodatci, radar ili VHF radio postaja
- koristi se u zemaljskom i zračnom nadzoru
- visoka brzina osvježavanja (1 sekunda)
- povezanost između zemlje i zraka
- mala latencija
- visoka brzina ažuriranja (1 sekunda)
- visoka točnost (gps preciznost)
- vrlo niski troškovi

- dostupni za posebne namjere
- svako izvješće o položaju prenosi se s naznakom integriteta povezanog s podacima - korisnici mogu odrediti koje aplikacije podaci mogu podržati.

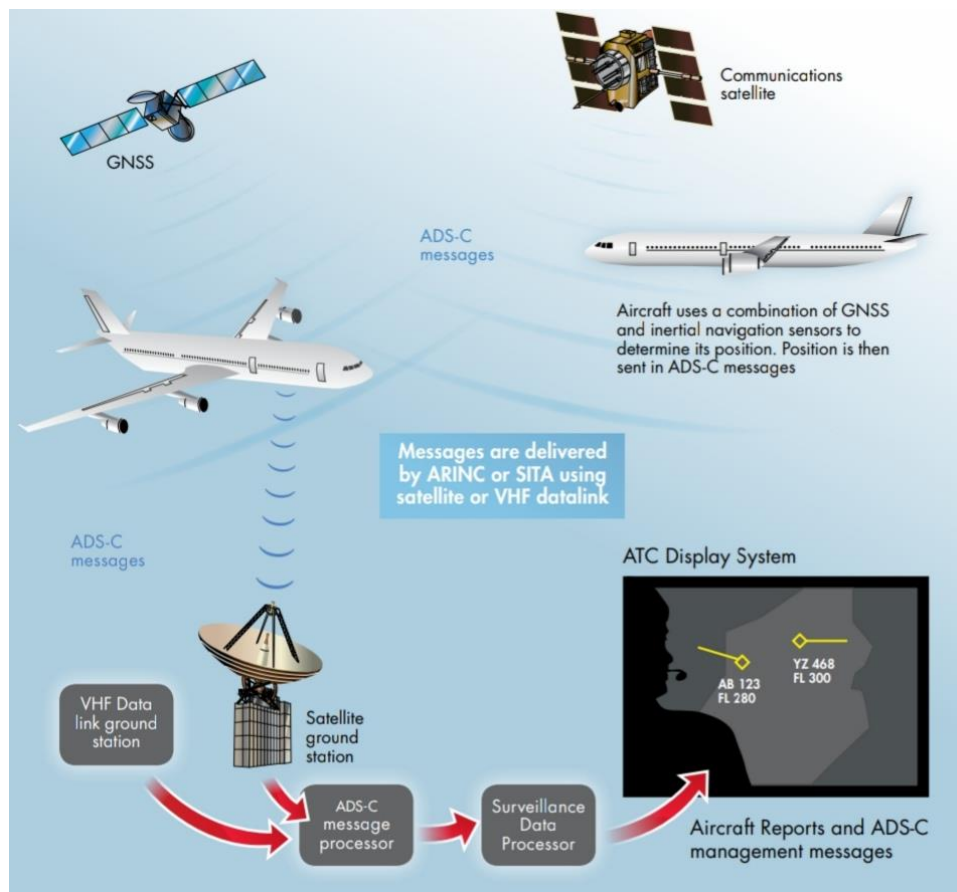
#### NEDOSTACI:

- zahtijeva da svi zrakoplovi budu opremljeni i modom S, jer se komunikacija sa zemaljskim stanicama vrši na frekvenciji transpondera moda S
- položaj i brzina oslanja se isključivo na globalni navigacijski satelitski sustav (GNSS)
- položaj zrakoplova određuje se u zrakoplovu bez provjere sustava
- ionosferični efekti oko ekvatora utječu na GNSS. [3]

#### 2.3.2. ADS – C

Zrakoplov koristi Globalni navigacijski satelitski sustav (GNSS) ili sustave u zrakoplovu kako bi odredio svoj položaj i druge informacije. Centar za kontrolu zračnog prometa (Air traffic control – ATC) uspostavlja kontakt sa zrakoplovom tražeći da te podatke pruža u redovitim intervalima. Zrakoplov će podatke poslati u zemaljsku stanicu koja će ih obraditi i poslati u ATC centar radi prikaza na ekranima kontrolora zračnog prometa. Opremljeni zrakoplovi šalju svoje položaje i druge informacije u intervalima koje traži centar ATC-a komunikacijom od točke do točke na zemaljsku stanicu. To znači da će informacije dobiti samo ATC centar koji je uspostavio kontakt sa zrakoplovom. Zrakoplovi će uz svoj položaj poslati i svoju brzinu, meteorološke podatke i očekivanu rutu. ADS-C pruža nadzor u područjima gdje su druga sredstva nadzora nepraktična ili nemoguća, poput oceanskih i pustinjskih područja. [3]





**Slika 4.** Automatic Dependent Surveillance – Contract. [3]

#### PREDNOSTI:

- nadzorna pokrivenost za područja koja su nepraktična ili nemoguća za druge sustave nadzora, kao što su oceanska ili pustinska područja
- dostupne informacije na očekivanom putu
- povezanost između zemlje i zraka.

#### NEDOSTACI:

- zahtijeva dodatnu opremu zrakoplovu
- informacije se zemaljskim stanicama dostavljaju od pružatelja usluga što uzrokuje troškove
- dijelom se oslanja na GNSS kako bi odredio položaj i brzina zrakoplova pa može imati prekide
- aplikacije za nadzor zrakoplova nisu podržane jer informacije nisu izravno dostupne drugim zrakoplovima
- učinkovitost nadzora određuje se komunikacijom

- položaj zrakoplova ažurira se rjeđe nego kod ostalih nadzornih sustava
- pogreške globalnog satelitskog navigacijskog sustava
- ADS-C ne podržava norme razdvajanja od 3 nautičke milje ili 5 nautičkih milja.

[3]

## 2.4. Razlika između radarskih i navigacijskih nadzornih sustava

**Tablica 1.** Razlika između radarskih i navigacijskih sustava za nadzor. [3]

	RADARSKI SUSTAVI ZA NADZOR		NAVIGACIJSKI SUSTAVI ZA NADZOR	
	PRIMARNI RADAR	SEKUNDARNI RADAR	ADS-B	ADS-C
Određivanje pozicije	Na zemlji	Na zemlji	U zraku (zrakoplov)	U zraku (zrakoplov)
Dodatna oprema u zrakoplovu	Bez dodatne opreme	Potrebna dodatna oprema	Potrebna dodatna oprema	Potrebna dodatna oprema
Uloga bez tranpondera	Određivanje pozicije	-	-	-
Mod A	Određivanje pozicije	Određivanje pozicije i identifikacija	-	-
Mod C	Određivanje pozicije	Određivanje pozicije i identifikacija	-	-
Mod S	Određivanje pozicije	Određivanje pozicije i identifikacija	-	-
ADS-B	Određivanje pozicije	-	Određivanje pozicije i identifikacija.	Određivanje pozicije i identifikacija
Najveća prednost	Ne zahtjeva dodatnu opremu, obavlja nadzor na zemlji	Identifikaciju i poziciju zrakoplova, udaljenost i azimut.	Koristi se za kontrolu zračnog prometa, visoka brzina ažuriranja	Nadzor na mjestima koja nisu pokrivena radarima
Najveći nedostatak	Zrakoplov ne može biti identificiran	Ne obavlja nadzor na zemlji	Ovisi o opremi u zrakoplovu i podacima koje zrakoplov šalje	Ovisi o opremi u zrakoplovu i podacima koje zrakoplov šalje

### 3. MULTILATERACIJSKI SUSTAV (MLAT)

Tradicionalno se većina nadzora zračnog prometa civilnog zrakoplovstva provodi pomoću kombinacije primarnog i sekundarnog radara za nadzor. Međutim, u posljednjem desetljeću pojavila se konkurentna tehnologija, poznata kao multilateracija, koja osporava radarsku dominaciju. Multilateracija je proces lociranja objekta izračunavanjem vremenske razlike dolaska signala koji se emitira iz tog objekta na tri ili više prijamnika ili senzora. Multilateracija je u početku razvijana u vojne svrhe, ali je kao i većina ostalih radarskih sustava preuzeta i u civilnom zrakoplovstvu. Krajem 1980-ih, multilateraciju su smatrali skupom i prekomplikiranom, jer se oslanjala na naprednu elektroniku kako bi se postiglo potrebno točno vrijeme. Također, sustavi su zahtijevali veliki broj prijamnika i pronalaženje udaljenih mjesta kako bi ih locirali, što se smatralo skupim i nepraktičnim. Međutim, kako je multilateracija sazrijevala i počela se komercijalno koristiti, ove su negativne percepcije velikim dijelom zamijenjene širokim potvrđivanjem prednosti takve tehnologije. Današnji pružatelji usluga u zračnoj plovidbi i zračne luke iza sebe imaju u zadnjih dvadesetak godina imaju veliki broj uspješnih implementacija multilateracijskih sustava. [5]

Potreba za nadogradnjom postojećeg nadzornog radarskog sustava došla je zbog mana koje se odnose na:

- ograničen ili nekonvencionalan nadzor – uključuje niske visine, nekontinentalna područja, prostore bez opreme za nadzor i dr.
- nedostupnost podataka dobivenih iz radara – osim visine i identifikacije zrakoplova
- nedostatak mod A kodova – zahtjeva se često mijenjanje kodova ili korištenje duplih što izaziva nejasnoće
- elektromehanička rotacija klasične radarske antene – potreba za velikom snagom i visokom frekvencijom
- nehomogene operacije - uzrokovane trenutnim postojanjem različitih sistema sa drugačijim mogućnostima i performansama

- manjak sposobnosti da se održi svijet o budućim situacijama u zraku i nadzor nad aerodromskim površinama – budući da podaci o nadzoru nisu dostupni posadi zrakoplova. [1]

Učinkovit nadzor doprinosi povećanju sigurnosti, kapaciteta i učinkovitosti zračnog prostora. Nažalost, sam tradicionalni radar ne daje performanse potrebne za postizanje tih prednosti. Multilateracija nudi dokazano rješenje ovog problema, odnosno precizan nadzor i identifikaciju svih zrakoplova opremljenih transponderom u zraku i na zračnoj površini. Omogućuje visoko pouzdane podatke za daljnju obradu na zaslonima kontrole zračnog prometa, napredne sustave za upravljanje i vođenje kretanja na površini (A-SMGCS), alate za podršku u odlučivanju, sustave upravljanja protokom i aplikacije zrakoplovnih i aerodromskih operacija. Minimalni zahtjevi za rad su opremljenost transponderom moda A ili C. Mod S ili ADS-B samo poboljšavaju djelotvornost sustava i služe za potencijalno potpuno otklanjanje potrebe za upitima. [6]

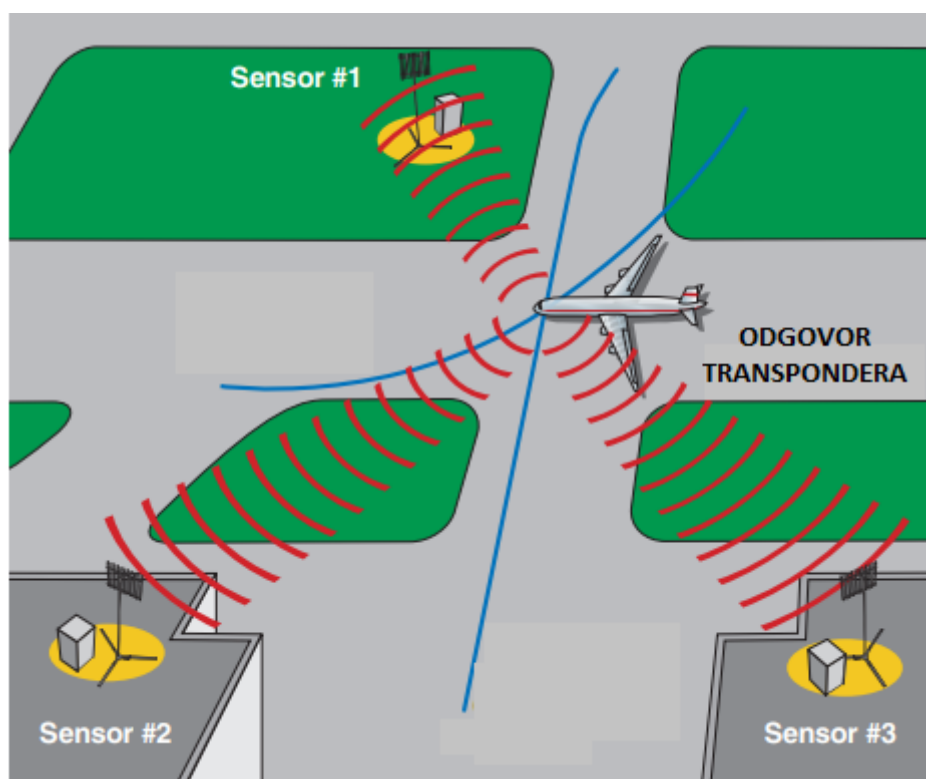
MLAT sustav sastoji se od sljedećih komponenti:

- podsustav za odašiljanje koji uključuje generiranje poruka i funkciju prijenosa poruka
- postupak inteligentnog ispitivanja koji određuje je li potrebno ispitivanje MLAT-a (na području koje ispituju TCAS i SSR sustavi)
- prijamni antenski niz antena koji prima prijenose od zrakoplova te
- središnji procesor koji izračunava i proizvodi zapise za MLAT (i ADS B). [7]

MLAT je tehnologija koja će poboljšati pružanje zrakoplovnih usluga u raznim aplikacijama, od svrhe upravljanja zračnim prometom poput „radara“ do poboljšane situacijske svijesti o kretanju na površini. MLAT nudi najviše prednosti u situacijama kada ostali sustavi za nadzor (npr. Radar) nisu dostupni. Također se može kombinirati s drugim nadzornim sustavima, poput radara i ADS-B, kako bi se poboljšala ukupna nadzorna slika. MLAT aplikacije imat će izravan učinak na aerodromske operacije, sinkronizaciju prometa, operacije korisnika zračnog prostora i upravljanje konfliktnim situacijama. Ti će učinci utjecati na prirodu organizacije i upravljanja zračnim prostorom, uravnoteženje potražnje i kapaciteta, te upravljanje pružanjem usluga ATM-a. [6]

### 3.1. Princip rada

Lokalni multilateracijski sustav sastoji se od antena koje se postavljaju na zemaljske stanice smještene na strateškim lokacijama oko zračne luke, terminalnog prostora ili na širem području koje pokriva neki zračni prostor. Antene primaju signale sa zrakoplova te na temelju dobivenih informacija koristeći napredne algoritme računalo analizira dobivene informacije i proračunava točnu poziciju zrakoplova. Kako će svaki zrakoplov biti na različitoj udaljenosti od pojedinih zemaljskih stanica, tako će se i vremena njihovih odgovora razlikovati. Sustav radi na principu izrade proračuna razlike u vremenu dolaska zrakoplova mjereno sa različitih antena te je poželjno što više antena u dometu da se odredi točnija pozicija zrakoplova. Kad se potencijalne točke ucrtaju na kartu daju hiperbolu. Multilateracija se oslanja na višestruka mjerenja kako bi se pronašla točna lokacija na hiperboli. Druga hiperbola dobiva se od drugog para stanica, te ona siječe prvu hiperbolu. Kada se krivulje usporede dobiva se mali broj mogućih lokacija odnosno fiksna točka.

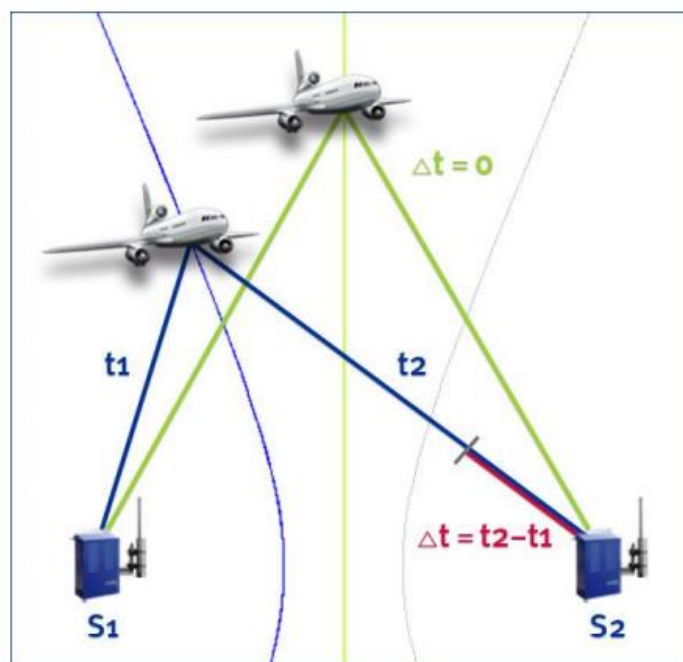


**Slika 5.** Određivanje pozicije multilateracijom. [6]

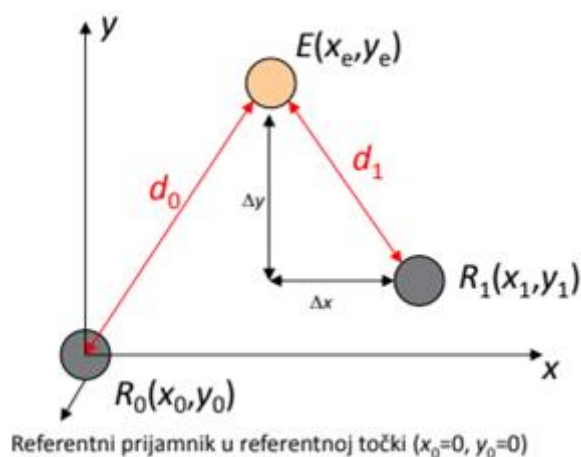
U slučaju kada 4 antene detektiraju signal zrakoplova moguće je procijeniti točnu trodimenzionalnu poziciju zrakoplova određenim izračunima kojima se dobije presjecište pozicije. U slučaju kada više od 4 antene detektiraju signal zrakoplova, dobivene informacije mogu se iskoristiti za dodatne provjere podataka dobivenih od ostalih antena ili se može izračunati prosječna pozicija zrakoplova koja pruža manja odstupanja od stvarne vrijednosti. U slučaju samo 3 raspoložive antene za detektiranje nije moguće točno odrediti trodimenzionalnu poziciju zrakoplova preko sustava multilateracije, pa je potrebna komunikacija sa drugim sustavima nadzora kako bi još jedna komponenta bila poznata, npr. visina. Takav način detekcije naziva se dvodimenzionalno rješenje. [1]

### 3.2. Matematičko određivanje pozicije

Određivanje pozicije temelji se na razlici između vremena dolazaka signala (TDOA – *Time Difference Of Arrival*). Objekt se može nalaziti na bilo kojem mjestu na hiperboli pa za određivanje točne pozicije nije dovoljno imati samo dvije zemaljske postaje. Za određivanje lokacije objekta u dvodimenzijском prostoru potrebno je imati barem tri prijarnika. [8]



**Slika 6.** Određivanje pozicije na temelju TDOA. [8]



**Slika 7.** Grafički prikaz razmaka između dvije točke

$$d_i = |R_i - E| = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (1)$$

$$d_i = |R_i - E| = \sqrt{(x_i - x_e)^2 + (y_i - y_e)^2} \quad (2)$$

$$d_0 = |R_0 - E| = \sqrt{(x_0 - x_e)^2 + (y_0 - y_e)^2} \quad (3)$$

$$d_1 = |R_1 - E| = \sqrt{(x_1 - x_e)^2 + (y_1 - y_e)^2} \quad (4)$$

$$\Delta d_{10} = |d_0 - d_1| = \left| \sqrt{(x_0 - x_e)^2 + (y_0 - y_e)^2} - \sqrt{(x_1 - x_e)^2 + (y_1 - y_e)^2} \right| \quad (5)$$

$R_i$  – referentni prijamnik u referentnoj točki ( $x_i, y_i$ )

$R_0$  – referentni prijamnik u referentnoj točki ( $x_0 = 0; y_0 = 0$ )

$R_1$  – referentni prijamnik u referentnoj točki ( $x_1 = 1; y_1 = 1$ )

$d_i$  – duljina puta

$d_0$  – duljina puta između prijamnika  $R_0$  i odašiljača

$d_1$  – duljina puta između prijamnika  $R_1$  i odašiljača

$\Delta x$  – horizontalna udaljenost od prijamnika

$\Delta y$  – vertikalna udaljenost od prijamnika

$E$  – odašiljač u referentnoj točki ( $x_e, y_e$ ).

Razliku u vremenima dolaska možemo izračunati kao:

$$\Delta TOA = TDOA = \frac{\Delta d}{v} \quad (6)$$

$\Delta TOA$  – *Time Of Arrival*

TDOA – *Time Difference Of Arrival*

$\Delta d$  – ukupna udaljenost

$v$  – brzina signala.

### 3.3. Prednosti multilateracije

Upotreba multilateracijskog sustava donosi značajna poboljšanja vezana za operacijska djelovanja koja se odnose na limitirajuća svojstva tradicionalnih radarskih nadzornih sustava. Također, optimizira radno opterećenje kontrolora te povećava pozitivne aspekte kapaciteta, sigurnosti i zaštite okoliša u skladu sa zahtjevima upravljanja protokom zračnog prometa. MLAT sustav ne zahtjeva nikakve dodatne uređaje i sustave u zrakoplovima, budući da koristi već poznate modove A/C, a omogućava lakše prepoznavanje zrakoplova zbog bržeg osvježavanja podataka. To je razlika u odnosu na radarski sustav gdje je za svaki okret antene potrebno 4 – 12 sekundi što rezultira nešto sporijim pomicanjem pokazivača na ekranu, tj. povremenim.

Navedena poboljšanja odnose se na:

1. niske financijske troškove implementacije na niskim visinama gdje tradicionalni radari nemaju svrhu ili na mjesta gdje nema radarske pokrivenosti, što vodi boljoj iskoristivosti zračnog prostora
2. povećanje sigurnosti i kapaciteta zračne luke u slučajevima loše vidljivosti te zaštita od sudara zrakoplova i vozila na manevarskim površinama
3. mogućnosti nadzora i kontrole kretanja na manevarskim površinama uključujući vojne operacije i generalnu avijaciju
4. smanjenje infrastrukturnih troškova u slučajevima gdje je prisutno više nadzornih radarskih sustava odabirom kombinacije koja je najisplativija i najbolja



5. iskorištavanje dobivenih podataka u više nadzornih sustava kako bi se spriječili konflikti
6. dugoročnu financijsku uštedu zbog implementacije sustava obzirom na cijenu potrebnih nadogradnji i popravaka postojećih radarskih sustava. [1]

### **3.4. Nedostaci multilateracije**

Iako multilateracija ima brojne prednosti vezane uz upravljanje i kontrolu zračnog prometa, također postoje još mnoga pitanja na koja treba dati odgovor. Najveći nedostatak multilateracijskog sustava je financijska strana implementacije odnosno pitanje isplativosti sustava. Ono što dovodi do povećanja troškova je postavljanje dodatnih uređaja u cilju što veće kontrole i točnosti za MLAT sustav. Ovaj nedostatak najviše se manifestira na implementaciji u većim područjima djelovanja. Nadalje, drugi aspekt odnosi se na kontrolu rada i održavanje infrastrukture te osiguravanje dovoljnih izvora energije za napajanje. Također je potreban složen sustav za kontrolu rada i komunikaciju sa ostalim sustavima kontrole zračnog prometa, prilagodba sustava na nepredviđene situacije poput zatvaranja zračnog prostora zbog vojnih operacija i kontrole granica pojedinih država, te uvijek prisutan učinak ljudskog čimbenika. [1]

### **3.5. Poboljšanja za kontrolu zračnog prometa**

Očekuje se da će MLAT aplikacije, posebno u kombinaciji s ADS-B, pružiti važna operativna poboljšanja rješavanjem nekih ograničenja tradicionalnog sustava radarskog nadzora, optimizirati radno opterećenje regulatora i osigurati prednosti u područjima sigurnosti, kapaciteta, učinkovitosti i utjecaja na okoliš. i na taj način pridonosi općim ciljevima CNS / ATM-a.

Te pogodnosti uključuju sljedeće:

- a) nisko proširenje pokrivenosti nadzora nad malim visinama (ispod postojeće radarske pokrivenosti) i područja na kojima trenutno ne postoji radarska pokrivenost, što dovodi do učinkovitijeg korištenja zračnog prostora

- b) omogućavanje zračnim lukama da dobiju površinski i lokalni nadzor, uključujući opće zrakoplovne i vojne operacije
- c) upotreba podataka dobivenih iz zrakoplova u raznim sustavima, npr. uzbuna na osnovi sukoba, upozorenje o minimalnoj sigurnoj visini, upozorenje o blizini opasnosti, automatizirani alati za podršku, obrada i distribucija podataka o nadzoru
- d) povećanje sigurnosti i kapaciteta aerodroma, posebno u uvjetima slabe vidljivosti, pružanjem nadzora nad zračnim lukama i istovremeno zaštitom od upada na pistu zrakoplovima i vozilima
- e) promjene u sektorizaciji zračnog prostora i strukture ruta koje proizlaze iz poboljšanog nadzora trebale bi osigurati učinkovitije usmjeravanje
- f) smanjeni infrastrukturni troškovi u zračnom prostoru u kojem je osigurana pokrivenost MLAT-om. Možda je moguće isključiti neku radarsku opremu. Ako je trenutno potrebno višestruko nadzorno pokrivanje, optimizaciju nadzorne infrastrukture trebalo bi postići primjenom najučinkovitije kombinacije radarskih senzora, MLAT-a i ADS-B te
- g) ušteda troškova ostvarena primjenom MLAT i ADS-B sustava nadzora, a ne troškovi životnog ciklusa povezani s instaliranjem, održavanjem i proširivanjem postojećih radarskih sustava nadzora.

### **3.6. Korisnici MLAT-a**

Korisnici MLAT-a su uglavnom korisnici koji pružaju uslugu kontrole zračnog prometa.

#### **3.6.1. Kontrola zračnog prometa na zemlji**

Kontrolori površinskog kretanja koristit će MLAT za nadzor nad površinom zrakoplova i vozila na stajanci i manevarskim površinama. Ovaj način korištenja MLAT-a posebno je učinkovit kada je raspored aerodroma složen (procjenjuje se konfiguracijom zgrada, brojem pista i staza) i kada su zračne luke sposobne obavljati operacije izvan vizualnog dometa nadležnog kontrolora zračnog prometa.

### **3.6.2. Aerodromska kontrola zračnog prometa**

Aerodromski kontrolori upotrijebit će nadzor radi pomoći pri korištenju uzletno-sletne staze i potvrditi da promet slijedi upute za ulaz na uzletno-sletnu stazu i izlaz sa uzletno-sletne staze. Nadzor prilaza zrakoplova, pomoću dostupnog visokog ažuriranja sustava MLAT, omogućuje preciznije otkrivanje da li se zrakoplov slijeće na pogrešnu pistu, te automatski upozorava o takvoj situaciji. Za letove u odlasku u kojem se primjenjuju odlasci koji je odobrila aerodromska kontrola, visoka brzina ažuriranja omogućit će blaže i brže skretanje zrakoplova, što je promatrano na zaslonu, i tako smanjiti vrijeme čekanja za sljedeći polazak.

### **3.6.3. Kontrola zračnog prometa u prilazu**

MLAT za kontrolu prilaza bit će korišten u softveru ATM sustava za ublažavanje zavoja prikazanih putanja, a može se koristiti za nadzor terminalne zone umjesto SSR-a ili kao rezerva za SSR. [7]

## **4. ŠIROKOPOJASNI MULTILATERACIJSKI SUSTAV (WAM)**

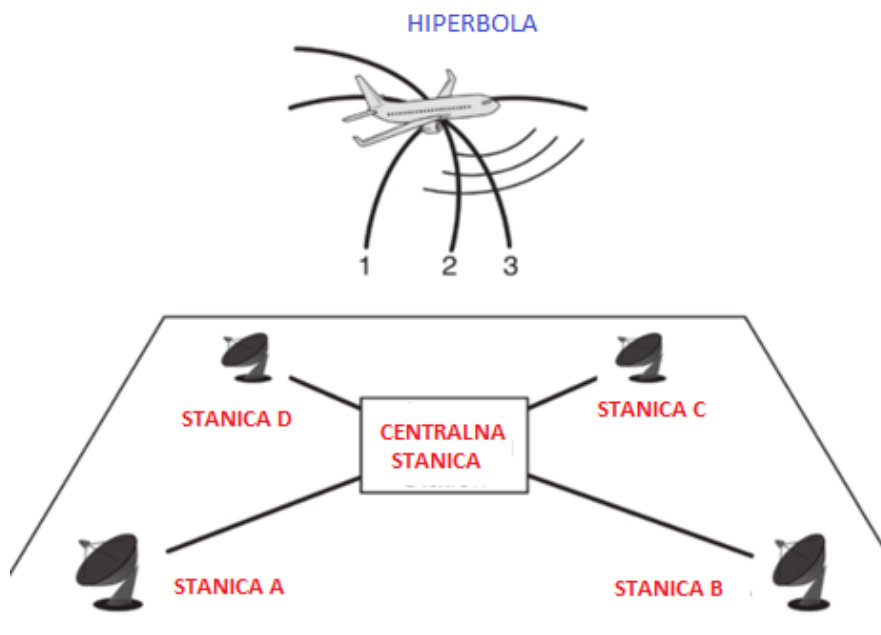
Tehnike multilateracije uspješno se primjenjuju za nadzor aerodroma već duže vrijeme. Danas se iste tehnike koriste za veća područja poput ruta ili prilaznih područja. Takvi sustavi nazivaju se sustavima širokopojasne multilateracije (WAM).

Širokopojasna multilateracija (WAM) je tehnologija nadzora zrakoplova koja se temelji na principu razlike u vremenu dolaska signala. WAM je tehnologija u kojoj nekoliko zemaljskih prijamnih stanica prima signale koji se prenose iz zrakoplova. Zatim se položaj zrakoplova matematički izračunava, obično u tri dimenzije, pri čemu se određuje pozicija zrakoplova. Položaj zrakoplova, nadmorska visina i drugi podaci u konačnici se putem sustava za automatizaciju zračnog prometa šalju na ekrane koje kontrolori zračnog prometa koriste za razdvajanje zrakoplova. Može se povezati sa sustavima vođenja zrakoplova na zračnom putu. WAM dobiva položaj zrakoplova izračunavanjem vremenske razlike dolaska signala zrakoplova iz 3 ili više zemaljskih antena. WAM je prizemni nadzorni sustav koji se može instalirati na područjima gdje je radar ograničen ili nije moguć. Prednosti su što pruža nadzor izvan radarske pokrivenosti, poboljšava sigurnost, učinkovitost i kapacitet, smanjuje kašnjenje letova, otkaze i preusmjeravanje na druge zračne luke, smanjuje potrošnju goriva i troškove. WAM se sastoji od mreže relativno malih senzora koji se mogu primijeniti na područjima koja su problematična za radarske instalacije. Mogućnosti WAM-a mogu se kombinirati unutar skupa zemaljskih stanica ADS-B. Najveća prednost WAM-a je njegova sposobnost pružanja vrlo preciznog nadzora zrakoplova bez potrebe za dodatnom zrakoplovnom opremom. WAM koristi Mod A/C i Mod S stoga nije potrebna dodatna zrakoplovna oprema. Njegov osnovni nedostatak je taj što zahtjeva najmanje 3 do 4 puta više zemaljskih stanica da bi pokrili isto područje kao ADS-B. [9]

### **4.1. Način rada širokopojasne multilateracije**

WAM pruža performanse koje se mogu usporediti sa sekundarnim nadzornim radarima (SSR) u pogledu točnosti, vjerojatnosti otkrivanja, brzine ažuriranja i pouzdanosti. Performanse se razlikuju ovisno o položaju zrakoplova u odnosu na senzore na tlu.

WAM sustav sastoji se od broja antena koje primaju signal iz zrakoplova i središnje procesne jedinice koja izračunava položaj zrakoplova od vremenske razlike dolaska (TDOA) signala na različitim antenama. TDOA između dviju antena, matematički gledano, odgovara hiperboloidu (u 3D) na kojem se zrakoplov nalazi. Kad četiri antene detektiraju signal zrakoplova, moguće je procijeniti 3D položaj zrakoplova računanjem sjecišta nastalih hiperbola. Ako su dostupne samo tri antene, 3D položaj se ne može izravno procijeniti, ali ako je ciljna visina poznata iz drugog izvora (npr. iz moda C ili A-SMGCS-a), tada se pozicija može izračunati. To se obično naziva 2D rješenje. Treba napomenuti da uporaba barometrijske nadmorske visine (Mod C) može dovesti do manje točne procjene položaja cilja, jer se barometrijska visina može značajno razlikovati od geometrijske visine. S više od četiri antene, dodatne informacije mogu se koristiti za provjeru ispravnosti ostalih mjerenja ili za izračunavanje prosječnog položaja svih mjerenja koja bi trebala imati ukupnu manju pogrešku. [10]



**Slika 8.** Određivanje pozicije pomoću širokopoljasne multilateracije. [10]

## 4.2. Aktivni i pasivni WAM sustavi

Širokopojasni multilateracijski sustavi mogu biti pasivni ili aktivni. Pasivni sustavi su sustavi koji se oslanjaju na prijenose transpondera iz zrakoplova koji su umreženi s drugom opremom u zrakoplovu. Aktivni WAM sustavi obavljaju sve iste funkcije kao i pasivni sustavi, a osim toga mogu tražiti i povratne informacije iz zrakoplova.

### 4.2.1 Pasivni WAM sustavi

Općenito, pasivni WAM sustavi ispituju zrakoplove unutar dosega sustava ako je zrakoplov opremljen:

- transponderom moda S
- transponderom A / C i unutar dometa jednog ili više zemaljskih pitača (interrogatora)
- transponderom A / C i unutar dometa jednog ili više zrakoplova opremljenih ACAS-om.

To znači da su pasivni WAM sustavi najbolje prilagođeni za zauzeta područja s velikim prometom opremljenim ACAS-om, područja s postojećom nadzornom infrastrukturom SSR-a te područja u kojima je uporaba moda S obvezna. Općenito, pasivni WAM sustavi neće funkcionirati dobro sa zrakoplovima opremljenim modom A / C, samo na maloj nadmorskoj visini, jer će biti manje A-C ispitivača za otkrivanje zrakoplova.

### 4.2.2. Aktivni WAM sustavi

Aktivni WAM sustavi obavljaju sve iste funkcije kao i pasivni sustavi, a osim toga mogu tražiti povratne informacije iz zrakoplova. WAM ispitivač mnogo je jednostavniji od SSR ispitivača. Rotirajuća antena nije potrebna, a umjesto toga koristi se svesmjerna (*omni-directional*) ili usmjerena antena. Uz to se razina snage ispitivanja može ograničiti kako bi se dobio kraći raspon nego za SSR-a. Jedan od scenarija koji može zahtijevati upotrebu aktivnog WAM sustava je za nadzor terminalne zone. Pasivne tehnike mogu se koristiti za uočavanje zrakoplova u okolini koji su unutar raspona postojećih SSR sustava. Ispitivač kratkog dometa može se koristiti za uočavanje zrakoplova na niskim razinama leta u prilazu koji su ispod

pokrivenosti postojećih MSSR sustava. U modu S zrakoplov dugog dometa može se uočiti iz predajnika "squitter". Za primjenu u području terminalne zone zrakoplovi u prilazu mogli bi imati koristi od veće brzine ažuriranja, jer to poboljšava točnost i vjerojatnost otkrivanja. Zbog toga se pojedini zrakoplovi mogu češće selektivno ispitivati. Aktivni WAM sustavi se također mogu koristiti za izračunavanje doleta do cilja na isti način na koji to rade SSR i ACAS sustavi. [10]

## 5. SUSTAV A-SMGCS NA ZRAČNOJ LUCI ZAGREB

A-SMGCS (*Advanced Surface Movement Guidance & Control System*) je sustav koji omogućuje usmjeravanje, vođenje i nadzor za kontrolu zrakoplova i vozila kako bi se održala deklarirana brzina površinskog kretanja u svim vremenskim uvjetima unutar operativne razine vidljivosti aerodroma uz održavanje potrebne razine sigurnosti.

Sustav A-SMGCS uključuje mnogo različitih funkcija koje doprinose potpori sigurnom i pravilnom kretanju zrakoplova i vozila na aerodromima. Također uzima u obzir okolnosti s obzirom na gustoću prometa, složenost aerodroma i traženi kapacitet u različitim uvjetima vidljivosti, neovisno o vidnoj interakciji između kontrolora i zrakoplova odnosno vozila. Uključuje radne postupke na nižim razinama te ima za cilj pružiti jasniju situaciju kontrolorima zračnog prometa. Na višim razinama primjene, sustav ima za cilj osigurati sigurnosne mreže kako bi se spriječilo da neposredne ili stvarne opasne situacije prerastu u velike incidente ili čak nesreće. A-SMGCS sustav također uključuje otkrivanje i rješavanje konfliktnih situacija između zrakoplova, informacije o planiranju i usmjeravanju za pilote, kao i kontrolora, te otkrivanje i ukazivanje potencijalnih opasnosti.

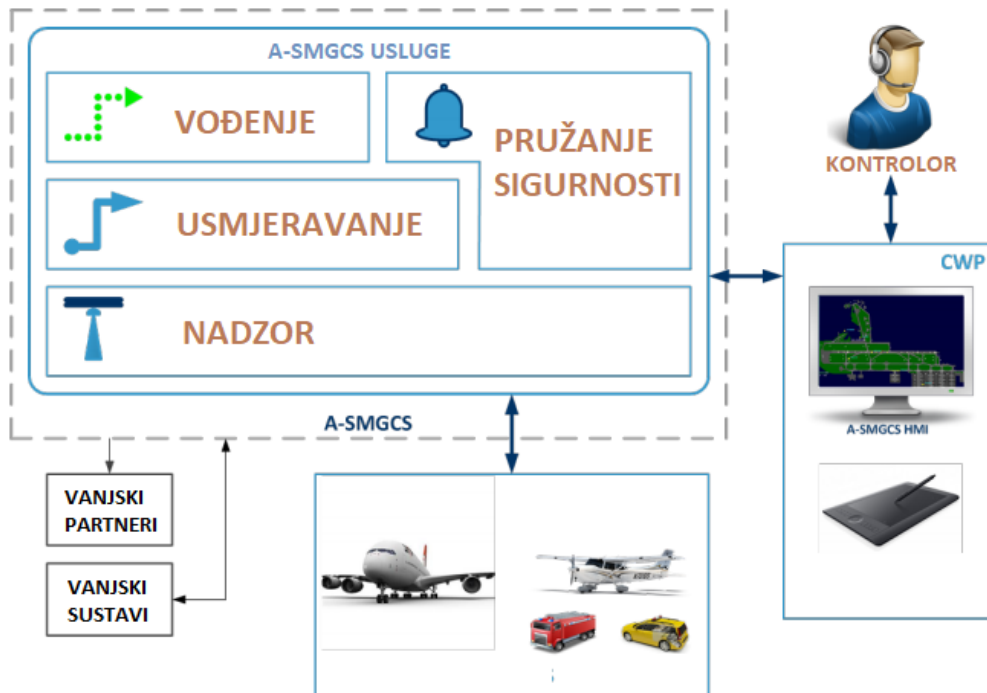
Glavne prednosti A-SMGCS-a su:

- smanjenje nesreća
- smanjenje vremena taksiranja
- povećanje propusnosti
- smanjenje vremenskih kašnjenja
- poboljšana svijest o situacijama.

Koncept A-SMGCS razvijen je radi poboljšanja postojećih sustava, postupaka i praksi u pogledu povećanja razine prometa, složenosti aerodroma i potrebe za održavanjem najviše razine usluge u svakom trenutku. A-SMGCS se sastoji od četiri osnovne funkcije:

- nadzor svih zrakoplova
- kontroliranje zrakoplova
- usmjeravanje (rutiranje)
- vođenje. [11]





**Slika 9.** Prikaz rada sustava A-SMGCS. [12]

## 5.1. ICAO standardi

Standardi ICAO-a definiraju 4 stupnja implementacije za A-SMGCS temeljen na složenosti i gustoći prometa:

1. A-SMGCS Razina 1 (Poboljšani nadzor) - koristi poboljšani nadzor i postupke koji pokrivaju manevarsko područje vozila i područje kretanja zrakoplova. Postupci se odnose na identifikaciju i izdavanje ATC uputstava i odobrenja. Kontrolorima se daju informacije o položaju u prometu i identitetu.
2. A-SMGCS Razina 2 (Nadzor + sigurnosne mreže) – na ovoj razini dodaju se daljnji sigurnosni sustavi koji su dizajnirani kako bi štitili USS-e i određena područja zajedno sa pripadajućim postupcima. Prilagođena su upozorenja za kontrolore u slučaju bilo kakvih sukoba između vozila na USS-i i upada zrakoplova u ograničene zone.
3. A-SMGCS Razina 3 (Otkrivanje konflikata između zrakoplova) - Unutar ove razine uključeno je otkrivanje svih sukoba na području kretanja, kao i poboljšano usmjeravanje i planiranje od strane kontrolora.

4. A-SMGCS Razina 4 (Rješavanje konflikata, automatsko planiranje i usmjeravanje) - nudi rješenja za sve konflikte između zrakoplova, automatsko planiranje i automatsko navođenje za pilote i kontrolore. [11]

## **5.2. A-SMGCS na Zračnoj luci Zagreb**

Hrvatska kontrola zračne plovidbe pustila je u operativni rad sustav za nadzor prometa i vođenje zrakoplova na manevarskim površinama na Zračnoj luci Zagreb. A-SMGCS vrijedan je 4,4 milijuna eura, od čega je za 85 % troškova odobreno sufinanciranje iz Instrumenta za povezivanje Europe (CEF-ov fond). A-SMGCS posebno je značajan za uvjete smanjene vidljivosti koji su na području Zračne luke Zagreb učestali i u kojima se aerodromski kontrolor zračnog prometa oslanja na prikaz prometne situacije na ekranima sustava A-SMGCS.

Ako se uzme u obzir nedavno proširenje aerodroma i novi prometni tokovi, stalan porast prometa, složenost aerodromskih operacija te istovremeno odvijanje vojnog i civilnog prometa, sustav ima veliku ulogu u podizanju situacijske svjesnosti kontrolora zračnog prometa kako bi se osigurala tražena razina sigurnosti na zagrebačkoj zračnoj luci u svim meteorološkim uvjetima. Provedba projekta trajala je oko tri godine i uključivala je operativnu i tehničku implementaciju sustava, licenciranje i školovanje osoblja, izgradnju infrastrukture te komercijalne i pravne aktivnosti za trajanja projekta. Sustav je isporučila tvrtka Saab koja je ujedno i njegov proizvođač. Isporučeni sustav predstavlja suvremeno i tehnološki napredno rješenje koje omogućuje funkcije nadzora i kontrole prometa na manevarskim površinama Zračne luke Zagreb. Senzorski dio sustava sastoji se od primarnog radara (PSR) i multilateracijskog sustava (MLAT). PSR je radar relativno male snage i kraćeg dometa, namijenjen za detekciju svih zrakoplova, vozila i ostalih objekata na manevarskim površinama. Ima važnu sigurnosnu ulogu jer detektira sav promet, bez obzira na opremljenost transponderima ili njihovu operativnu ispravnost. S druge strane, sustav MLAT ovisi o opremljenosti zrakoplova i vozila transponderima, a time i o njihovoj ispravnosti i pravilnom korištenju. Za razliku od SMR-a, sustav MLAT dodatno pruža informaciju o prepoznavanju zrakoplova koja je sadržana u odaslanom signalu transpondera. Taj se sustav sastoji od više prijamnika koji su prostorno razmješteni u krugu uzletno-sletne staze i primaju signale koji se odašilju

sa zrakoplova. Na temelju tih signala i razlike u vremenu prijama sustav obrade podataka računa točnu poziciju zrakoplova.

Sustav će osigurati nadzor prometa korištenjem ukupno 14 multilateracijskih senzora najnovije generacije te primarnog radara SR-3. Saabov sustav A-SMGCS spojiti će podatke o nadzoru iz multilateracijskih senzora i SR-3 radara kako bi detektirao i identificirao sve zrakoplove na manevarskim površinama zračne luke. Podaci o nadzoru bit će integrirani sa Saabovim algoritmima za otkrivanje potencijalno opasnih kolizija u prometu i funkcijom alarma kako bi se kontrolorima zračnog prometa pružila vizualna i zvučna upozorenja o potencijalnim upadima na uzletno-sletnu stazu. Saabova rješenja u Zračnoj luci Zagreb poboljšat će preglednost, sigurnost piste i kapacitet te će pridonijeti projektu modernizacije. [13]



**Slika 10.** Prikaz novoinstalirane antene A-SMGCS-a na Zračnoj luci Zagreb. [14]

## 6. ZAKLJUČAK

Zračni promet uvijek traži načine poboljšanja svih sustava koji su uključeni u zračni promet. Isto tako konstantno su se istraživali načini poboljšanja nadzora zrakoplova, kako bi se još više povećala sigurnost zračnog prometa i olakšao posao kontrolorima i pilotima prilikom vođenja zrakoplova, komunikacijom između njih te povećala ukupna učinkovitost zračnog prometa. Primjenom unapređenijih nadzornih sustava zračni promet pruža sve veće kapacitete, pogotovo na najzagušenijim mjestima, a to su zračne luke.

Multilateracija pruža veliku učinkovitost i nadzora i ukupnu pokrivenost. Multilateracija pruža izvrsnu i isplativu alternativu za radarske sustave. Kako tehnologija sazrijeva, cijena multilateracije opada i postaje pristupačnija za mnoge zračne luke. Multilateracija svojim preciznim praćenjem zrakoplova omogućava da povećaju svoje kapacitete i efikasnije upravljaju zračnim prometom.

Isto tako nadzorom kretanjem zrakoplova na tlu može se pojednostaviti kompleksnost na većim zračnim lukama i smanjiti opasnosti od potencijalnih konfliktnih situacija na zemlji i kašnjenja boljom organizacijom dolaska i odlaska zrakoplova.

## LITERATURA

- [1] Kovačević, V. (2017). *Komparativna analiza neovisnih kooperativnih tehnologija nadzora zračnog prometa* (Završni rad). Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:112965>
- [2] <https://vfrg.casa.gov.au/general/radar-transponders/primary-and-secondary-radar/>, (svibanj 2020.)
- [3] *A guide to global surveillance* (2014).  
URL: <https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2014/ADSBIMP/ADSBIMPP12.pdf> (lipanj 2020.)
- [4] <http://www.airwaysmuseum.com/Surveillance.htm>, (svibanj 2020.)
- [5] <https://www.yumpu.com/en/document/read/39760476/multilateration-and-the-future-of-air-traffic-surveillance-roke-manor->, (lipanj 2020.)
- [6] *Multilateration* (2019).  
URL: <https://saab.com/globalassets/regional-websites/latin-america/f-air-col2019/brochures-pdf/multilateration-brochure-hr-a4-4-14.pdf>, (lipanj 2020.)
- [7] *Multilateration (MLAT) Concept of use* (2007).  
URL: [https://www.icao.int/APAC/Documents/edocs/mlat\\_concept.pdf](https://www.icao.int/APAC/Documents/edocs/mlat_concept.pdf), (srpanj 2020.)
- [8] Muštra M. - Multilateracijski sustav nadzora zračnog prometa – autorizirana predavanja Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2020.
- [9] *Eurocontrol Promoting Wide Area Multilateration Surveillance*, Flt Tech Online, (2007.), (kolovoz 2020.)
- [10] *Wide Area Multilateration* (2005.)  
URL: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-05/surveillance-report-wide-area-multilateration-200508.pdf>, (kolovoz 2020.)
- [11] [https://ww.skybrary.aero/index.php/Advanced\\_Surface\\_Movement\\_Guidance\\_and\\_Control\\_System\\_\(A-SMGCS\)](https://ww.skybrary.aero/index.php/Advanced_Surface_Movement_Guidance_and_Control_System_(A-SMGCS)), (rujan 2020.)
- [12] *EUROCONTROL Specification for Advanced-Surface Movement Guidance and Control System (A-SMGCS) Services* (2020.)  
URL: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2020-04/eurocontrol-specification-a-smgcs-v-2-0.pdf>, (rujan 2020.)
- [13] <https://www.crocontrol.hr/default.aspx?ID=3879>, (rujan 2020.)
- [14] <https://www.crocontrol.hr/en/media/news/a-smgcs-commissioned-at-zagreb-airport/>, (rujan 2020.)

## POPIS SLIKA

<b>Slika 1.</b> Primarni radar .....	3
<b>Slika 2.</b> Sekundarni radar .....	5
<b>Slika 3.</b> Automatic Dependent Surveillance – Broadcast .....	8
<b>Slika 4.</b> Automatic Dependent Surveillance – Contract.....	10
<b>Slika 5.</b> Određivanje pozicije multilateracijom .....	14
<b>Slika 6.</b> Određivanje pozicije na temelju TDOA .....	15
<b>Slika 7.</b> Grafički prikaz razmaka između dvije točke .....	16
<b>Slika 8.</b> Određivanje pozicije pomoću širokopojasne multilateracije .....	22
<b>Slika 9.</b> Prikaz rada sustava A-SMGCS .....	26
<b>Slika 10.</b> Prikaz novoinstalirane antene A-SMGCS-a na Zračnoj luci Zagreb .....	28

## POPIS TABLICA

<b>Tablica 1.</b> Razlika između radarskih i navigacijskih sustava za nadzor .....	11
--	----

## POPIS KRATICA

ACAS – *Airborne Collision Avoidance System* (hrv. sustav za izbjegavanje sudara u zraku)

ADS-B – *Automatic Dependent Surveillance – Broadcast*

ADS-C – *Automatic Dependent Surveillance – Contract*

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)

ATS – *Air Traffic Services* (hrv. usluge u zračnom prometu)

CNS – *Communications, Navigation And Surveillance* (hrv. komunikacija, navigacija nadzor)

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

MLAT – *Multilateration* (hrv. multilateracija)

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)

TDOA – *Time Difference of Arrival* (hrv. razlika u vremenu dolaska)

WAM – *Wide Area Multilateration* (hrv. širokoprostorna multilateracija)



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 **Multilateracijski sustavi za nadzor zračnih luka**

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

U Zagrebu, \_\_\_\_\_ 8.9.2020. \_\_\_\_\_

Studentica:

*Lea Jabarić*

(potpis)