

Nadzor lokalnog zračnog prometa prijemnikom ADS-B

Crnički, Goran

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

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:119:651889>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-20**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Goran Crnički

NADZOR LOKALNOG ZRAČNOG PROMETA PRIJEMNIKOM ADS-B

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2016.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

NADZOR LOKALNOG ZRAČNOG PROMETA PRIJEMNIKOM ADS-B

LOCAL AIR TRAFFIC SURVEILLANCE USING AN ADS-B RECEIVER

Mentor: dr. sc. Tomislav Radišić

Student: Goran Crnički

JMBAG: 0135223609

Zagreb, rujan 2016.

SAŽETAK

„Automatic dependent surveillance – broadcast“ je nadzorna tehnologija koja odašilje informacije o zrakoplovu, te omogućuje kontroli leta praćenje zrakoplova. ADS-B je obavezan za sve nove avione od 2015. godine, a također se mora ugraditi u postojeće avione do 2017. godine u Europi. Objašnjene su tehničke karakteristike ADS-B prijemnika AirNav RadarBox koji je korišten za praktični dio rada, generalni princip rada sustava, poruke sustava, prikazan domet antenskog sustava te analiza praćenja prometa tijekom 48 sati.

KLJUČNE RIJEČI: Nadzor prometa; ADS-B; poruke; antena; domet; AirNav RadarBox

SUMMARY

„Automatic dependent surveillance – broadcast“ is surveillance technology which transmits aircraft information and allows Air traffic control to track certain aircraft. ADS-B is mandatory for new aircraft since 2015 and will be installed in older aircraft due to year 2017 in Europe. Technical characteristics of AirNav RadarBox system are explained, along with general working principle, messages, range of antenna and analysis of surveillance monitoring in duration of 48 hours.

KEYWORDS: Traffic surveillance; ADS-B; messages; antenna; range; AirNav RadarBox

SADRŽAJ

1.	UVOD.....	1
2.	PRINCIP RADA	2
3.	TEHNIČKE KARAKTERISTIKE.....	4
3.1	Općenito o sustavu	4
3.2	Antena.....	5
3.3	Maksimalni domet antene.....	7
4.	PORUKE ADS-B SUSTAVA	9
4.1	Tipovi poruka	10
4.2	Identifikacija zrakoplova	11
4.3	Pozicija zrakoplova.....	12
4.4	Parna i neparna poruka	13
4.5	„Compact Position Reporting“ za informaciju pozicije zrakoplova	13
4.5.1	Broj zona	13
4.5.2	„Floor“	13
4.5.3	Mod (x,y)	14
4.5.4	Broj zemljopisnih širina	14
4.5.5	Kalkulacija zemljopisne širine i dužine	14
4.5.6	Indeks zemljopisne širine	15
4.5.7	Zemljopisna širina	16
4.5.8	Provjera	17
4.5.9	Zemljopisna dužina	17
4.6	Visina.....	18
4.7	Brzina zrakoplova.....	19
4.7.1	Horizontalna brzina	20
4.7.2	Vertikalna brzina	22
4.8	Pravac leta zrakoplova	22
4.9	Preciznost sustava	23
5.	REZULTATI MJERENJA	25
6.	ZAPIS I PORUKE	26

7. OBRADA PODATAKA	28
8. ZAKLJUČAK	33
LITERATURA.....	34
POPIS SLIKA	35
POPIS TABLICA.....	36
POPIS KRATICA	37

1. UVOD

Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B) je nadzorna tehnologija koja se bazira na prijenosu podataka putem satelita. Sustav koristi globalni navigacijski satelitski sustav (eng. Global navigation satellite system - GNSS) kako bi odredio preciznu poziciju zrakoplova, zatim tu informaciju prenosi stanicama na tlu (eng. Ground stations) [1]. Mreže stanica na tlu prenose sve informacije o zrakoplovu kontroli leta. Ukoliko je zrakoplov opremljen, može dobivati podatke o vremenu na zaslonu i podatke o obližnjem zračnom prometu. Informacija o obližnjem prometu je vrlo korisna za razdvajanje zrakoplova jer povećava sigurnost, piloti imaju bolju preglednost prometa, time smanjujući mogućnost pogreške i olakšavaju posao kontrolora i pilota. Razmatra se opcija da ADS-B zamijeni sekundarni radar (eng. Secondary surveillance radar - SSR) koji se danas koristi za nadzor civilnog zračnog prometa.

Prednosti ADS-B sustava su efikasnija podjela zračnog prostora, odnosno direktnije rute prema odredištu što donosi bolju efikasnost potrošnje goriva i skraćivanje trajanja leta. Koristeći kombinaciju satelita i transpondera omogućava se bolja pokrivenost od konvencionalnih radara i veća preciznost. Domet je još jedna prednost, prosječni domet zrak-zrak između dva aviona može biti 270-320 km, dok zrak-zemlja oko 290 km. Na domet utječu visina antene na zemlji, teren između aviona i stanice, te visina aviona. Još jedna prednost sustava je što podiže svjesnost pilota o okolini, odnosno prometu. Sustav ADS-B se može na neki način ponašati kao sustav za izbjegavanje prometa (eng. Traffic collision avoidance system - TCAS) jer upozorava pilota na obližnji promet te posada može na vrijeme reagirati [2].

Svojstva sustava iza imena ADS-B:

Automatic (Automatski) - uvijek i bez uplitanja posade odašilje podatke o letu i poziciji.

Dependent (Ovisan) – Informacije koje zrakoplov svojevrijem odašilje kontroli leta ovise o GNSS, odnosno o preciznom određivanju pozicije putem satelita.

Surveillance (Nadzor) - omogućuje kontroli zračne plovidbe vizualizaciju i podatke o prometu.

Broadcast (Emitiranje) - bez prestanka emitira podatke i svoju poziciju stanicama na zemlji i ostalim zrakoplovima.

2. PRINCIP RADA

Za rad „Automatic Dependent Surveillance – Broadcast“ sustava potrebna je suradnja više komponenti: infrastrukture na zemlji, sustava u zrakoplovu te globalnog satelitskog sustava. Potrebno je naglasiti da zrakoplov svojevrijeme odašilje podatke o letu. U sustavu zrakoplova i stanice na zemlji, postoje podsustavi koji omogućuju generiranje i odašiljanje podataka i poruka. Analogno tome, zrakoplov i stanica moraju biti također opremljeni sustavom za čitanje i primanje podataka, odnosno poruka koje su primljene. Komunikacija između zrakoplova i stanice na tlu se odvija preko VHF (Very high frequency) i to na jedan od dva načina: preko takozvanog UAT (eng. Universal Access Transceiver) na frekvenciji od 978 MHz ili preko frekvencije moda „S“ transpondera na 1090 MHz ES (eng. Extended squitter).

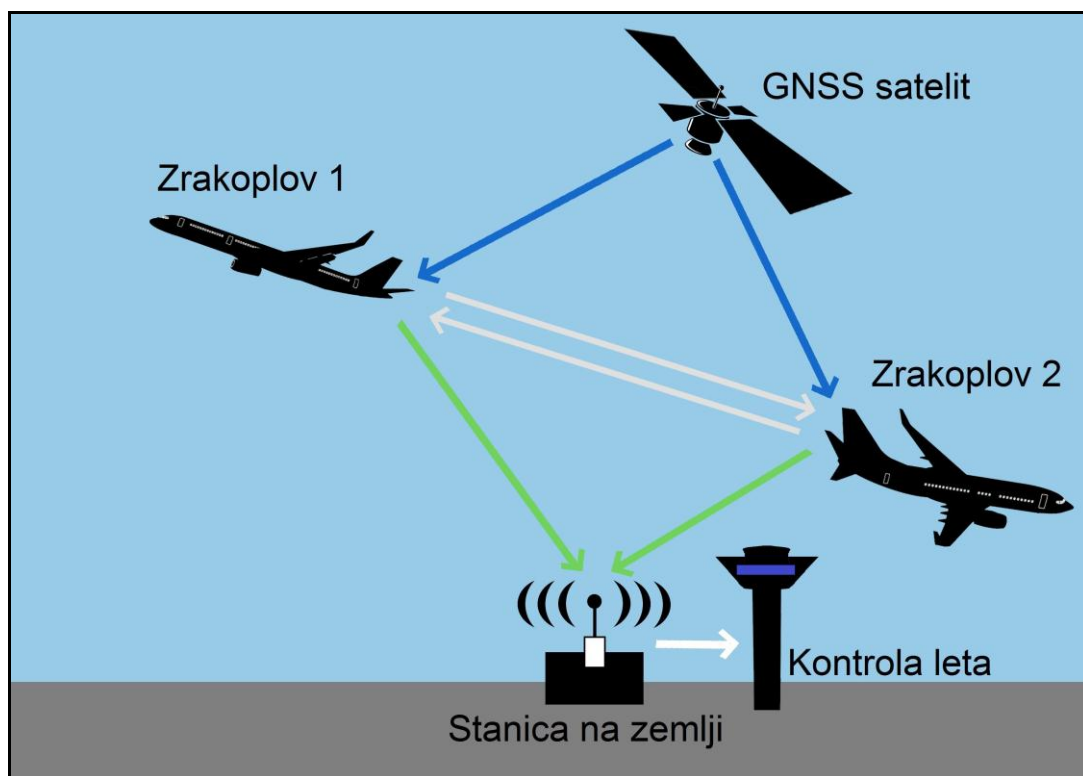
Komunikacija preko UAT 978 MHz je većinom zastupljena u Sjedinjenim Američkim Državama. UAT je pronašao najveću uporabu u generalnoj avijaciji [4]. Glavna prednost UAT je što osim ADS-B podržava i usluge prometnog informiranja (eng. Traffic information service – broadcast – TIS-B) i usluge informacije u letu (eng. Flight information services – broadcast – FIS-B). TIS-B je sustav koji omogućuje pilotu da nadzire promet. Trenutno se koristi za vizualnu separaciju u vizualnim meteorološkim uvjetima (eng. Visual meteorological conditions - VMC) i kao potpora radaru u instrumentalnim meteorološkim uvjetima (eng. Instrument meteorological conditions - IMC). FIS-B je sustav koji prenosi zrakoplovu informacije o vremenu, NOTAM (Notification to Airmen), ATIS (Automatic Terminal Information Service) i slične informacije. FIS-B usluge se pružaju preko UAT usluge gdje infrastruktura na zemlji to podržava. Korisna značajka FIS-B sustava je da zrakoplov može odašiljati zemaljskim stanicama podatke o vremenu, temperature zraka i ostale meteorološke uvjete [2].

U studenom 2012. godine Europska agencija za sigurnost zračnog prometa (eng. European Aviation Safety Agency - EASA) je donijela odluku da će se u Europi komunikacija ADS-B i zemaljskih stanica vršiti preko frekvencije 1090 MHz ES. ES (Extended squitter) je format koji odašilje dodatne informacije o zrakoplovu. Glavne informacije koje zrakoplov odašilje su: pozicija, brzina, predviđeno vrijeme dolaska na točke i planirana ruta leta. ADS-B sustav koji koristi frekvenciju 1090 MHz podržava TIS-B sustav za nadzor prometa, ali ne i FIS-B sustav što mu je trenutno nedostatak u usporedbi sa UAT 978 MHz prijenosom.

Prednosti prijenosa podataka preko 1090 MHz ES je u tome što je kompatibilan s TCAS-om, te je velik broj zrakoplova već opremljen transponderima koji rade u „modu S“. Stoga je inicijalna cijena nešto manja jer ne zahtjeva velike modifikacije. Nedostatci 1090 MHz su to što tu frekvenciju za prijenos podataka koriste i transponderi moda „A“, „C“ i „S“ i već spomenuti TCAS. U blizini velikih aerodroma i prometnih zrakoplovnih ruta dolazi do zagušenja. Još jedan nedostatak je ovisnost o satelitskom navigacijskom sustavu, tako u slučaju problema navigacijskog sustava ADS-B sustav također nailazi na probleme preciznosti ili rada općenito. 1090 MHz „Extended squitter“ poruka ima dužinu 112 bitova, što je dvostruko od obične poruke odgovora na 1090 MHz, pa može biti potrebno i do pet

prijenosa da bi se poruka poslala. Prijenos poruke se vrši u jednom smjeru i to zrak-zemlja. Vremensko trajanje poruke je 120 μ s.

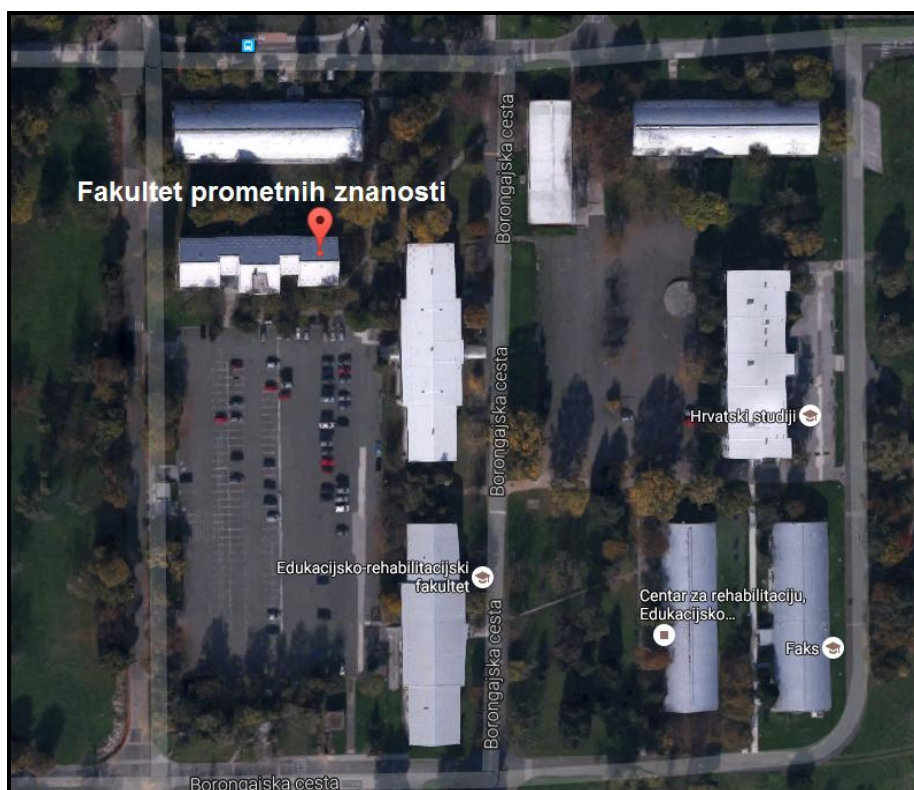
Za razliku od 1090 MHz, UAT koristi frekvenciju od 978 MHz za prijenos podataka. Sustav na ovaj način pilotu može prenositi FIS-B podatke o vremenu, NOTAM i slične dodatne opcije. UAT radi dvosmjerno, što znači da je moguć prijenos podataka između dva zrakoplova. Komunikacija sustava između dva zrakoplova omogućuje vrlo važnu funkciju upozoravanja pilota na sudar s drugim zrakoplovom putem TIS-B sustava. Nedostatak sustava koji koristi UAT za prijenos podataka je što je inicijalno skuplji jer zahtjeva modifikacije avionike zrakoplova. Prijenos poruke je dvosmjeran, vrši se u smjeru zrak-zrak i zrak-zemlja [8].



Slika 1. Prikaz principa rada sustava ADS-B [1]

3. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE

U svrhu izrade statistike i završnog rada, korišten je uređaj AirNav RadarBox. Uređaj je bio postavljen u srpnju 2015. godine na „Znanstveno učilišnom kampusu Borongaj“ u Zagrebu na zgradi Fakulteta prometnih znanosti (geografske koordinate 45.812691N, 16.041836E) i vršeno je motrenje zračnog prometa u trajanju od 48 sati.



Slika 2. Prikaz lokacije antene [9]

3.1 Općenito o sustavu

Sustav RadarBox se sastoji od prijemnika, antene i pripadajućeg programa. Prikaz se vrši na osobnom računalu na koji se sustav priključi. Dekodirajući ADS-B poruke i transmisije zrakoplova koji su opremljeni potrebnim sustavom, uređaj iscrtava kartu i pozicije zrakoplova na zaslon računala. RadarBox je samostalni sustav koji ne mora biti nužno spojen na internet. Bez internetske veze sustav RadarBox daje informacije o broju leta, registraciji zrakoplova, tipu zrakoplova, visini, smjeru leta, brzini, te trenutnoj namjeri zrakoplova: penjanju, spuštanju ili zadržavanju visine leta. Sa sustavom dolazi i karta na kojoj su obilježeni aerodromi, radionavigacijski uređaju poput *VOR* (VHF omnidirectional range) i *NDB* (Non-directional beacon), navigacijske točke (eng. Fixes), gradovi, ceste i visinski podaci za teren. Ukoliko se sustav RadarBox spoji na internet, omogućava se dijeljenje podataka s ostalim korisnicima. Time se dobiva veća pokrivenost i umrežavanje sustava [3].



Slika 3. Prijemnik AirNav RadarBox [3]

3.2 Antena

Uz navedeni ADS-B sustav dolazi standardna svesmjerna antena, koja je vidljiva na slici 3. Za potrebu praktičnog dijela rada, izrađena je dodatna antena s većim dometom signala. Novoizrađena antena je postavljena na visini od 12 metara, kolinearnog tipa i također je svesmjerna.

Prvi korak pri izradi antene je odrediti valnu duljinu signala. Prijemnik AirNav RadarBox radi na frekvenciji od 1090 MHz [3]. S tim podatkom računamo valnu duljinu signala, koji se označava grčkim slovom lambda λ prema sljedećoj formuli (1):

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ [mm]} \quad (1)$$

Gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- λ = valna duljina
- c = brzina svjetlosti u iznosu od 299 792 458 m/s
- f = 1090 MHz

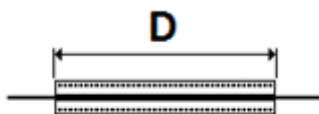
U formuli „c“ je konstanta brzine svjetlosti u vakuumu i iznosi 299 792 458 m/s, dok je „f“ frekvencija na kojoj prijemnik radi, a iznosi 1090 MHz. Rezultat daje valnu duljinu od 275 mm [7].

Drugi korak u izradi antene je određivanje duljine segmenata antene. Segmenti antene se slažu kolinearno u dužini od 2m. Dužina jednog segmenta antene računa se prema formuli (2):

$$D = 0,5 \times \lambda \times F \text{ [mm]} \quad (2)$$

Gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- D = dužina jednog segmenta antene [mm]
- λ = valna duljina [mm]
- F = faktor brzine ovisno o materijalu



Slika 4. Segment antene [7]

Faktor brzine ovisi o materijalu. Val se ne širi u svakom mediju istom brzinom, zato moramo u obzir uzeti faktor brzine širenja vala. U slučaju materijala od kojeg je načinjena antena, vrijednost faktora brzine je 0.85. Ova vrijednost pokazuje da je brzina širenja vala u dotičnom materijalu za 15% sporija nego u vakuumu. Ubacivanjem vrijednosti λ u iznosu od 275 mm i faktora brzine od 0.85 dobivamo iznos od 116.8 mm. Vrijednost „D“ je dužina jednog segmenta koji nam je potreban za izradu antene. Prikaz jednog segmenta se vidi na slici 4. Elementi su spojeni izmjenično na vanjske i unutarnje vodiče. Na krajevima su otpornici u vrijednosti od 50 ili 75 om-a. Otpor se uzima prema potrebi da se VSWR (eng. Voltage standing wave ratio) zadrži u vrijednosti oko 1. VSWR je odnos maksimalne i minimalne amplitude u prijenosu, u ovom slučaju napona [7]. Ohm je jedinica za otpor i označava se grčkim slovom omega Ω . Otpor „R“ se računa dijeljenjem napona „U“ sa jačinom struje „I“ prema sljedećoj formuli (3):

$$R = \frac{U}{I} [\Omega] \quad (3)$$

Gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- R = otpor u om-ima [Ω]
- U = Napon u voltima [V]
- I = Jačina struje u amperima [A]



Slika 5. Presjek antene [7]

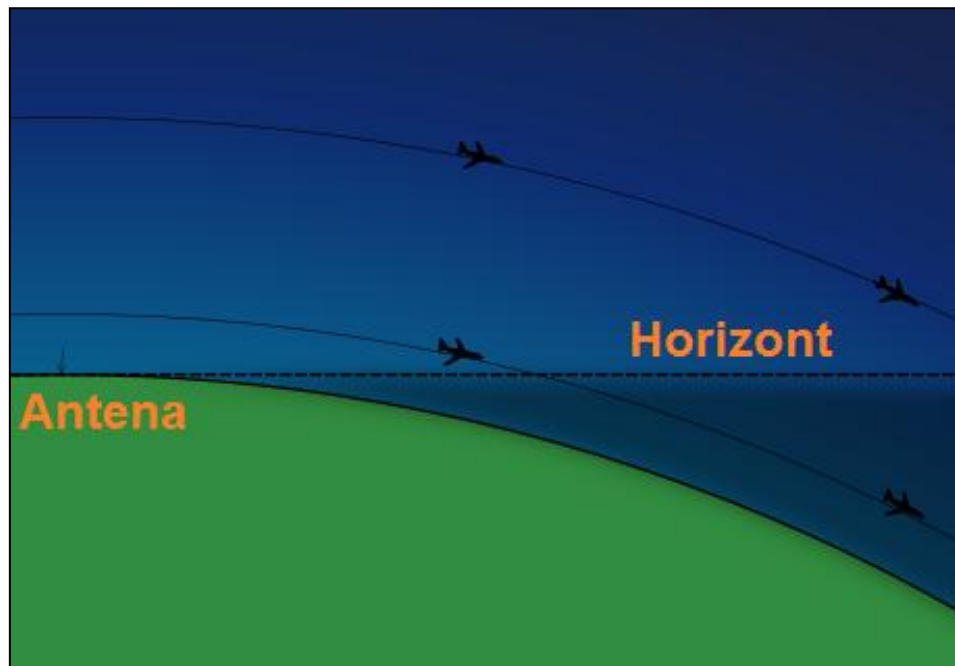
3.3 Maksimalni domet antene

Domet uvelike zavisi o poziciji antene, visini same antene i preprekama. Prepreke mogu biti zgrade i objekti, ali i prirodne u obliku reljefa ili planina. Radiovalovi imaju svojstvo refrakcije unutar Zemljine atmosfere, što u praksi znači da imaju za oko 15% veći domet nego dvije antene u optičkoj udaljenosti. Pod pojmom „vizualna“ distanca se podrazumijeva da dvije antene možemo pravocrtno spojiti, bez presijecanja reljefa odnosno zakrivljenosti zemlje. ADS-B antena na zemlji ima bolji učinak hvatanja signala ukoliko se zrakoplov nalazi na velikoj visini, tada signal nadilazi prepreke i duže je vrijeme potrebno zrakoplovu da zađe ispod horizonta. Teoretski maksimalni doseg signala „R“ računa se prema formuli (4), u kojoj je visina zrakoplova „h“ izražena u metrima. Antena je u ovom slučaju na zemlji [11].

$$R = \sqrt{2 \times r \times h} \text{ [m]} \quad (4)$$

Gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- R = Maksimalni doseg signala [m]
- r = radijus Zemlje [m] = 6371000 m
- h = visina zrakoplova [m]



Slika 6. Utjecaj visine i zakrivljenosti zemlje na domet [10]

U slučaju da je antena na nekoj visini, zgradi ili objektu, uzima se druga formula (5) koja uračunava i visinu antene. Visine antene i objekta „H1“ i „H2“ su izražene u stopama, a krajnji rezultat je u nautičkim miljama. Važno je napomenuti kako uslijed refrakcije valova signala zrakoplov i antena prijemnika ne moraju nužno biti u optičkoj udaljenosti.

$$R = 1,23 \times (\sqrt{H1} + \sqrt{H2}) \text{ [Nm]} \quad (5)$$

Gdje oznake imaju sljedeće značenje:

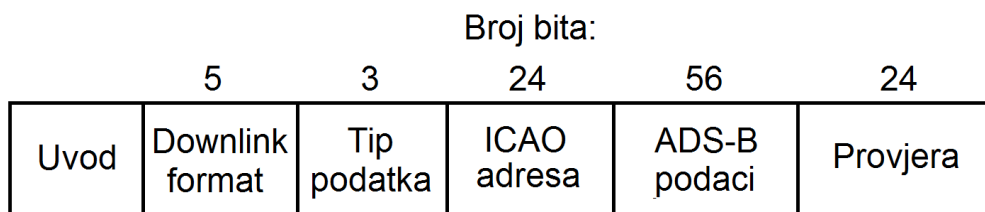
- R = maksimalni doseg signala [Nm]
- H1 = visina antene [stope]
- H2 = visina objekta ili zrakoplova [stope]



Slika 7. Utjecaj visine zrakoplova i refrakcija signala

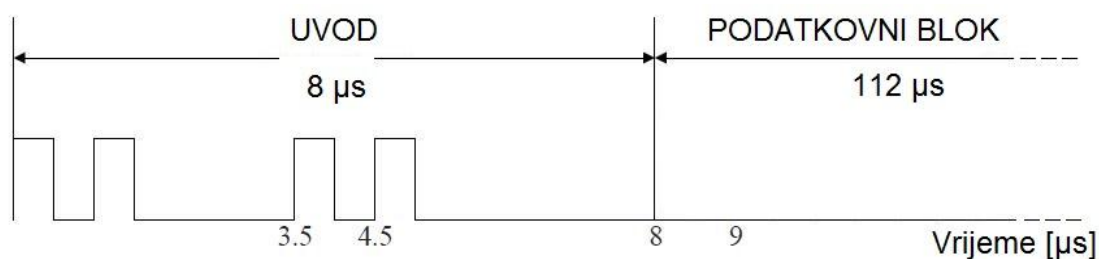
4. PORUKE ADS-B SUSTAVA

Prijenos poruka između zrakoplova i stanice na zemlji se odvija jednom svake sekunde, odnosno u iznosu od 1Hz. Podatkovni blok koji sadrži informacije poslane od strane ADS-B moduliran je „Pulse - position“ metodom (eng. Pulse-Position Modulation - PPM). Format podataka ADS-B poruke je u decimalnom zapisu 17 (eng. Downlink format – DF), dok u binarnom 10001.



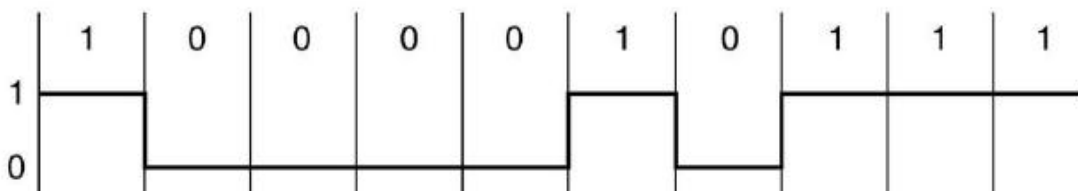
Slika 8. Konstrukcija ADS-B poruke [5]

Prije same poruke i prijenosa podataka ADS-B odašilje uvod (eng. Preamble), odnosno signal u dužini od 8 milisekundi. Taj signal služi prijemniku da detektira i da se sinkronizira vremenski sa odašiljačem u zrakoplovu. Uvod sadrži 4 pulsa dužine 0,5 μ s [5].



Slika 9. Primjer uvoda ADS-B poruke [5]

Odašilje se nasumično odabrana kombinacija od 16 bitova kombiniranih od „1“ ili „0“, po kojem prijemnik identificira ADS-B. Jedinica simbolizira „High pulse“ skok na grafu, dok nula simbolizira „Low pulse“ bez skoka na grafu.



Slika 10. Ilustracija „High“ i „Low“ pulsa

Dužina poruke je 112 bitova. Prvih pet bitova je već spomenuti „Downlink format“ (DF) koji se u binarnom kodu piše kao „10001“. Sljedeća tri bita opisuju koji tip podataka sadrži poruka, ovo područje se naziva „*Capability*“ (CA), a za testove se koristi binarni „101“. Sljedeće polje je u dužini od 24 bita, a rezervirano je za identifikaciju zrakoplova po ICAO standardu. Nakon identifikacije zrakoplova, dolazi područje podataka koje ADS-B odašilje, takozvani „*Data block*“ u dužini od 56 bitova. Ovo područje sadrži najvažnije podatke i parametre o letu, poput informacije visini i poziciji leta. Pozicija se izražava u zemljopisnoj dužini i širini. Unutar bloka s podacima, odnosno na njegovom početku kodiran je „*Type code*“ u dužini od 5 bitova, koji govori što sadrži pripadajući blok s podacima. Zadnji dio poruke služi za detektiranje pogreške i naziva se „*Parity information*“, „*Parity check*“ ili „*CRC*“ (Eng. Cyclic redundancy check). Dužina zadnjeg dijela provjere poruke je 24 bita [5].

Tablica 1. Podjela ADS-B poruke, kratice i funkcija

Byte (8 bitova)	1	2,3,4	5,6,7,8,9,10,11	12,13,14
Funkcija segmenta	DF + CA	ICAO	ADS-B podaci	Provjera

Početni bit	Završni bit	Kratice	Ime funkcije
1	5	DF	Downlink Format
6	8	CA	Capability
9	32	ICAO24	ICAO identifikacija zrakoplova
33	88	DATA	Data Frame ili Data block
89	112	PC ili PI	Parity information ili Parity check

Izvor: [5]

4.1 Tipovi poruka

Unutar poruke koju odašilje ADS-B može se očitati koji podaci će biti sadržani u podatkovnom bloku koji slijedi. Za različite vrste poruka, pojavljuju se različite konfiguracije bitova u podatkovnom bloku. „*Downlink format*“ na početku poruke uvijek iznosi 17, no na početku podatkovnog bloka mijenja se „*Type code*“. Prema vrijednosti „*Type code*“ sustav prepoznaje koja će informacija biti sadržana u podatkovnom bloku koji slijedi. Iznosi i vrijednosti koje predstavlja pojedini iznos „*Type code*“ objašnjeni su u tablici 2.

Tablica 2. Vrijednosti „Type code“ i značenja

Downlink format	Type code	Sadržaj podatkovnog bloka
17	1 do 4	Identifikacija zrakoplova
17	5 do 8	Pozicija s obzirom na tlo
17	9 do 18	Pozicija u zraku (Visina po tlaku)
17	19	Zračna brzina
17	20 do 22	Pozicija u zraku (Prema GNSS)
17	23	Test poruka
17	24	Status sustava na tlu
17	25 do 27	Rezervirano
17	28	Status ES (extended squitter)
17	29	Status stanja
17	30	Rezervirano
17	31	Operativni status zrakoplova

Izvor: [5]

4.2 Identifikacija zrakoplova

Ukoliko poruka koja slijedi sadrži podatke o ICAO identifikaciji zrakoplova, sadrži spomenuti „Downlink format“ 17 i „Type code“ u vrijednosti od 1 do 4.

Primjer poruke u heksadecimalnom numeričkom sustavu:

DF + CA	ICAO identifikacija zrakoplova	Podatkovni blok	Provjera
8D	4840D6	202CC371C32CE0	576098

Ista poruka prevedena u binarni numerički sustav:

DF	CA	ICAO identifikacija zrakoplova	Type code		Podatkovni blok	Provjera
10001	101	010010000100000011 010110	00100	000	0010110011000011011 1000111000011001011 0011100000	0101011101 1000001001 1000

Iz prikaza potvrđujemo da se radi o poruci identifikacije zrakoplova, prema „Downlink format“ 10001 što iz binarnog numeričkog sustava u decimalni daje vrijednost 17, te iz „Type code“ sa početka podatkovnog bloka u vrijednosti od 0010 u binarnom sustavu, što prevedeno u decimalni daje 4. Sljedeće na red dolazi dešifriranje podatkovnog bloka radi informacije o identifikaciji zrakoplova [5].

Podatkovni blok u heksadecimalnom numeričkom sustavu:

„202CC371C32CE0“

Prebacivanje iz heksadecimalnog sustava u binarni, a potom u decimalni. Iz decimalnog sustava se dobiju brojevi i slova. Decimalni broj predstavlja redni broj znaka ili slova koji se očitava iz sljedećeg niza, s lijeva na desno. Iz niza se vidi da primjerice decimalna vrijednost 11 znači jedanaesto mjesto očitano s lijeva na desno u nizu, što u ovom slučaju daje slovo K.

#ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ#####_#####0123456789#####

Tablica 3. Postupak očitavanja identifikacije zrakoplova

Heksadecimalni sustav	202CC371C32CE0									
Binarni sustav	001 00	00 0	0010 11	0011 00	0011 01	1100 01	1100 00	1100 10	1100 11	1000 00
Decimalni sustav	-	-	11	12	13	49	48	50	51	32
Slovo ili broj	-	-	K	L	M	1	0	2	3	-

Izvor: [5]

Identifikacija zrakoplova u ovom primjeru se očitava u zadnjem redu i glasi KLM 1023.

4.3 Pozicija zrakoplova

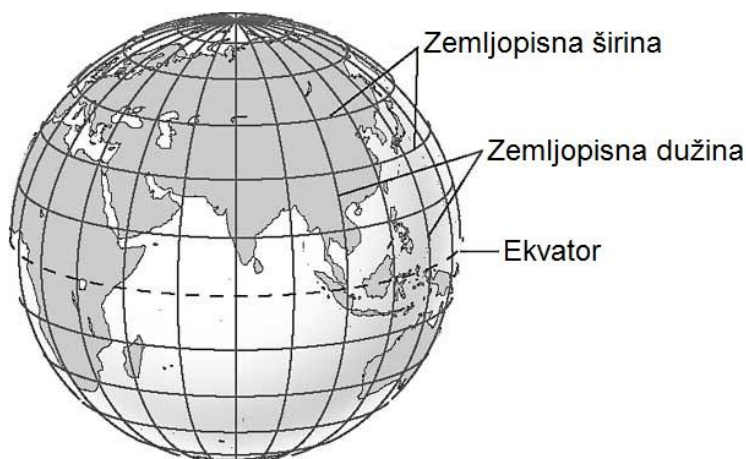
Poruka koja u sebi sadrži informacije o poziciji zrakoplova ima „*Downlink format*“ u vrijednosti 17 i „*Type code*“ u vrijednosti od 9 do 18. Sastav poruke po bitovima dijeli se prema sljedećem rasporedu:

Tablica 4. Značenje bitova u poruci pozicije

Bit	Broj bitova	Skraćenica	Sadržaj informacije
1-5	5	DF	<i>Downlink format</i>
33-37	5	TC	<i>Type code</i>
38-39	2	SS	<i>Surveillance status</i>
40	1	NICsb	<i>NIC supplement B</i>
41-52	12	ALT	<i>Altitude</i>
53	1	T	<i>Time</i>
54	1	F	<i>CPR odd/even frame flag</i>
55-71	17	LAT-CPR	<i>Latitude in CPR format</i>
72-88	17	LON-CPR	<i>Longitude in CPR format</i>

Izvor: [5]

Postoje dvije različite poruke za poziciju, takozvani „*odd frame*“ i „*even frame*“. Obje poruke su potrebne za dešifriranje pozicije poruke po zemljopisnoj širini i dužini. Pozicija zrakoplova se određuje prema zemljopisnoj dužini (eng. Longitude - LON) i zemljopisnoj širini (eng. Latitude - LAT). Postoji *CPR* format (Compact Position Reporting) koji omogućuje da se koristi manje bitova za šifriranje pozicije zrakoplova. Negativna strana je u tome što je proces očitavanja kompleksniji.



Slika 11. Zemljopisna dužina i širina

4.4 Parna i neparna poruka

Za svaki blok poruke 54-ti bit određuje parnost, odnosno neparnost poruke. Ukoliko je 54-ti bit 0 poruka je parna, ako je bit 1 poruka je neparna.

4.5 „*Compact Position Reporting*“ za informaciju pozicije zrakoplova

4.5.1 Broj zona

Broj zemljopisnih širina odnosno zona koje se prostiru između polova i ekvatora je 15. Za transpodner moda „S“ tako vrijednost broja zona zemljopisnih širina (eng. Number of latitude zones - NZ) iznosi 15.

4.5.2 „*Floor*“

Funkcija „*Floor*“ je definirana kao najveća vrijednost veličine K , sve dok je $k \leq x$. Primjerice za vrijednost $\text{floor}(5,6)$ rješenje je 5, dok za $\text{floor}(-5,6)$ rješenje je -6. Funkcija zaokružuje broj na najmanju vrijednost dominantne decimale.

4.5.3 Mod (x,y)

Funkcija mod (x,y) ima vrijednost:

$$x - y \times \text{floor} \left(\frac{x}{y} \right)$$

4.5.4 Broj zemljopisnih širina

Broj zona zemljopisnih dužina (eng. Number of longitude zones - NL) ovisi o stupnju zemljopisne širine (eng. Latitude - Lat) i uvijek iznosi između 1 i 59. Računa se prema sljedećoj formuli (6):

$$NL(lat) = \text{floor} \left(\frac{2\pi}{\arccos \left(1 - \frac{1 - \cos \left(\frac{\pi}{2 * NZ} \right)}{\cos^2 \left(\frac{\pi}{180} * lat \right)} \right)} \right) \quad (6)$$

Gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- NL = broja zona zemljopisnih dužina
- NZ = broja zona zemljopisnih širina

Za sljedeće vrijednosti zemljopisne širine rezultati iznose:

Tablica 5. Broj zona zemljopisnih dužina s obzirom na iznos zemljopisne širine

Zemljopisne širine	NL (broj zona zemljopisnih dužina)
0	59
Do +87	2
Do -87	2
Više od 87	1
Niže od -87	1

Izvor: [5]

4.5.5 Kalkulacija zemljopisne širine i dužine

Poruke se pojavljuju kao parne i neparne, potrebne su obje da bi se izračunala pozicija. Zemljopisna širina i dužina kodirane su u 17 bita. Najveća vrijednost je 131072. Rezultati se prikazuju u postotcima od maksimalne vrijednosti [5].

Tablica 6. Postupak računanja pozicije CPR metodom

Tip	F	CPR zemljopisna širina	CPR zemljopisna dužina
Parna	0	10110101101001000	01100100010101100
Neparna	1	10010000110101110	01100010000010010

Prvi korak se sastoji od pretvorbe binarne poruke u decimalni oblik:

Binarni	Decimalni	Podjela	Rezultat (postotak)
10110101101001000	93000	93000 / 131072	0,7095
01100100010101100	51372	51372 / 131072	0,3919
10010000110101110	74158	74158 / 131072	0,5658
01100010000010010	50194	50194 / 131072	0,3829

Prema sljedećim rezultatima dobivamo rezultate za:

Parne poruke		Neparne poruke	
Zemljopisna širina	LAT_CPR_EVEN = 0,7095	Zemljopisna širina	LAT_CPR_ODD = 0,5658
Zemljopisna dužina	LON_CPR_EVEN = 0,3919	Zemljopisna dužina	LON_CPR_ODD = 0,3829

Izvor: [5]

4.5.6 Indeks zemljopisne širine

Drugi korak se sastoji od izračuna indeksa zemljopisne širine koji se označava slovom „j“. Indeks se računa prema sljedećoj formuli (7):

$$j = \text{floor} (59 \times Lat_{cprEven} - 60 \times Lat_{cprOdd} + 0,5) \quad (7)$$

Gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- j = indeksa zemljopisne širine
- $Lat_{cprEven}$ = vrijednost zemljopisne širine za parnu poruku
- Lat_{cprOdd} = vrijednost zemljopisne širine za neparnu poruku

U ovom primjeru rezultat j iznosi 8.

4.5.7 Zemljopisna širina

U trećem koraku se računa zemljopisna širina a koriste se dvije formule, zavisno o parnoj ili neparnoj poruci.

$$Lat_{Even} = DLat_{Even} \times (mod(j, 60) + Lat_{cprEven}) \quad (8)$$

$$Lat_{Odd} = DLat_{Odd} \times (mod(j, 59) + Lat_{cprOdd}) \quad (9)$$

Gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- j = indeksa zemljopisne širine
- $Lat_{cprEven}$ = vrijednost zemljopisne širine za parnu poruku
- Lat_{cprOdd} = vrijednost zemljopisne širine za neparnu poruku
- $DLat_{Even}$ = konstanta (a)
- $DLat_{Odd}$ = konstanta (b)

U formuli se pojavljuju dvije konstante $DLat_{Even}$ i $DLat_{Odd}$. Njihove vrijednosti su sljedeće:

$$DLat_{Even} = \frac{360}{4 \times NZ} = \frac{360}{60} \quad (a)$$

$$DLat_{Odd} = \frac{360}{4 \times NZ - 1} = \frac{360}{59} \quad (b)$$

Za južnu hemisferu rezultati vrijednosti su između 270 i 360 stupnjeva, ali vrijednosti moraju biti u vrijednostima od -90 do +90. Korekcije se vrše sljedećim vrijednostima:

Ukoliko vrijednosti Lat_{Even} prelaze 270: $Lat_{Even} = Lat_{Even} - 360$

Ukoliko vrijednosti Lat_{Odd} prelaze 270: $Lat_{Odd} = Lat_{Odd} - 360$

U pretposljednem koraku odabire se konačna zemljopisna širina. Izabire se prema vremenskom kriteriju, odnosno najnovija poruka. Rezultat se može izraziti i u obliku formule:

$$Lat = Lat_{Even} \text{ if } (T_{Even} > T_{Odd}) \quad (10)$$

$$Lat = Lat_{Odd} \text{ if } (T_{Odd} > T_{Even}) \quad (11)$$

Gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- Lat = zemljopisna širina
- Lat_{Even} = zemljopisna širina parne poruke
- Lat_{Odd} = zemljopisna širina neparne poruke
- T_{Even} = vrijeme dolaska parne poruke
- T_{Odd} = vrijeme dolaska neparne poruke

U sljedećem primjeru odabrana je parna poruka, jer je po kriteriju došla vremenski zadnja:

$$\text{Lat_EVEN} = 52,25720214843750$$

$$\text{Lat_ODD} = 52,26578017412606$$

$$\text{Lat} = \text{Lat_EVEN} = 52,25720$$

Rezultat je **52,25720** stupnjeva sjeverne zemljopisne širine.

4.5.8 Provjera

U posljednjem koraku se vrši provjera točnosti podataka odnosno poruke. U proračunu se provjerava ako su parna NL (Lat_E) i neparna NL (Lat_O) jednake. Ukoliko nisu jednake, dvije pozicije su u različitim zonama zemljopisne širine. U tom slučaju nije moguće izračunati točnu zemljopisnu širinu na kojoj se nalazi zrakoplov, sustav izlazi iz izračuna i čeka nove poruke o poziciji. Ukoliko su dvije vrijednosti parne NL (Lat_E) i neparne NL (Lat_O) jednake, sustav izračunava zemljopisnu širinu na kojoj se nalazi zrakoplov i nastavlja na sljedeći izračun. Nakon računanja zemljopisne širine sustav počinje s izračunom zemljopisne dužine na kojoj se zrakoplov nalazi [5].

4.5.9 Zemljopisna dužina

Sustav u prvom koraku izračuna zemljopisne dužine provjerava vremenski kriterij, odnosno kojim redom su poruke došle. Može biti samo dva slučaja, kada parna dođe zadnja i kada neparna dođe zadnja [5].

Ukoliko je slučaj da parna poruka dođe zadnja:

$$T_EVEN > T_ODD$$

$$ni = \max(NL(\text{Lat}_{Even}), 1)$$

$$DLon = \frac{360}{ni}$$

$$m = \text{floor} (\text{Lat}_{cprEven} \times [NL(\text{Lat}_{Even}) - 1] - \text{Lat}_{cprOdd} \times NL(\text{Lat}_{cprEven}) + 0,5)$$

$$Lon = DLon \times (\text{mod}(m, ni) + \text{Lat}_{cprEven}) \quad (12)$$

Ukoliko je slučaj da neparna poruka dođe zadnja:

$$T_EVEN < T_ODD$$

$$ni = \max(NL(Lat_{odd}) - 1, 1)$$

$$DLon = \frac{360}{ni}$$

$$m = \text{floor} (Lat_{cprEven} \times [NL(Lat_{odd}) - 1] - Lat_{cprOdd} \times NL(Lat_{cprOdd}) + 0,5)$$

$$Lon = DLon \times (\text{mod}(m, ni) + Lat_{cprOdd}) \quad (13)$$

U slučaju da je rezultat veći od 180 stupnjeva, vrši se korekcija:

$$Lon = Lon - 360$$

Za ovaj primjer uzet je rezultat **3,91937** stupnjeva istočne zemljopisne dužine.

4.6 Visina

Visina zrakoplova se očitava iz podatkovnog bloka. Unutar poruke postoji takozvani „Q-bit“ koji je 48. bit po redu. Taj bit nam govori u kojoj je veličini kodirana visina. Ukoliko je „Q-bit“ iznosa 1, iznos množimo sa 25 stopa. U slučaju da je iznos bita 0, visinu množimo sa 100 stopa. Sadržaj podatkovnog bloka je u obliku 1100001 1 1000, iz kojeg se očitava 1 koji je „Q-bit“. Uslijed toga, podatak o visini se očitava na sljedeći način:

Korak	Podatak	Objašnjenje postupka
1	1100001 1 1000	Lociramo „Q-bit“
2	X = 1100001 1000 (Binarno) = 1560 (Decimalno)	Zanemarimo „Q-Bit“ i pretvorimo vrijednost iz binarne u decimalnu
3	Visina = X * 25 – 1000 stopa	Q-bit je vrijednosti 1, pa množimo s 25 stopa
4	1560 * 25 – 1000 = 38 000 stopa	Vrijednost visine varira do 25 stopa kad je Q-bit vrijednosti 1. Maksimalni raspon visina je od 1000 stopa do 50 175 stopa.

Rezultat ovog primjera je 38 000 stopa, odnosno visina leta zrakoplova iznosi 38 000 stopa.

Konačna pozicija zrakoplova je:

52° 15' 26 " sjeverne zemljopisne širine.

3° 55' 9.7314" istočne zemljopisne dužine.

Visina 38 000 ft = 11582,4m

4.7 Brzina zrakoplova

Poruka koja sadrži informaciju o brzini zrakoplova ima „*Downlink format*“ u vrijednosti 17 i „*Type code*“ u vrijednosti 19. Postoji četiri podtipa poruke. Podtip poruke 1 i 2 sadrže informaciju o brzini zrakoplova s obzirom na zemlju, dok podtip 3 i 4 sadrže zračnu brzinu zrakoplova. Statistički najučestalije su poruke tipa 1, dok se tip 3 i 4 upotrebljava u svega 0.3% poruka. Podtip poruke se očitava iz 38., 39. i 40. bita.

Podtip poruke 1 se upotrebljava za podzvučne brzine, dok se podtip 2 upotrebljava za nadzvučne brzine. Podatak o brzini sadrži informacije o brzini i pravcu zrakoplova. Brzina i pravac leta zrakoplova su izraženi u komponentama sjever-jug i istok-zapad.

Podjela informacija u poruci po bitovima je sljedeća:

Tablica 7. Podjela informacija u podatkovnom bloku visine

Bit	Broj bitova	Kratika	Sadržaj
33-37	5	TC	<i>Type code</i>
38-40	3	ST	<i>Subtype</i>
41	1	IC	<i>Intent change flag</i>
42	1	RESV_A	<i>Reserved – A</i>
43-45	3	NAC	<i>Velocity uncertainty (NAC)</i>
46	1	S-WE	<i>East-West velocity sign</i>
47-56	10	V-WE	<i>East-West velocity</i>
57	1	S-NS	<i>North-South velocity sign</i>
58-67	10	V-NS	<i>North-South velocity</i>
68	1	VrSrc	<i>Vertical rate source</i>
69	1	S-Vr	<i>Vertical rate sign</i>
70-78	9	Vr	<i>Vertical rate</i>
79-80	2	RESV_B	<i>Reserved-B</i>
81	1	S-Dif	<i>Diff from baro alt, sign</i>
82-88	7	Dif	<i>Diff from baro alt</i>

Izvor: [5]

Za očitavanje pretvaramo dobivenu poruku u heksadecimalnom numeričkom sustavu u binarni numerički sustav, potom očitamo podatke. Za lakše razumijevanje tablice 8, pojedinih izraza iz poruke, izrazi su pojašnjeni u tablici 7.

Tablica 8. Podjela primljene poruke

DF + CA	ICAO identifikacija zrakoplova	Podaci	CRC
8D	A05F21	9B06B6AF189400	CBC33F

Pretvorbom u binarni numerički sustav:

Header			Data				
DF	CA	ICAO Identifikacija	TC	ST	IC	RESV_A	NAC
10001	101	101000000101111100100001	10011	011	0	0	000

Data (Nastavak prijašnje poruke)						
H-s	Hdg	AS-t	AS	VrSrc	S-Vr	Vr
1	1010110110	1	0101111000	1	1	000100101

Data (Nastavak prijašnje poruke)			CRC
RESV_B	S-Dif	Dif	CRC
00	0	0000000	110010111100001100111111

Izvor: [5]

4.7.1 Horizontalna brzina

Za računanje horizontalne brzine zrakoplova potrebne su četiri vrijednosti. Prva od njih je istok-zapad brzina $V(ew)$, znak istok-zapad $S(ew)$, sjever-jug brzina $V(ns)$ i znak sjever-jug brzine $S(ns)$. Znak za istok-zapad i sjever-jug nam govori o smjeru leta zrakoplova. Prema vrijednosti u poruci, smjer leta zrakoplova je sljedeći:

S(ns)	Vrijednost 1	Zrakoplov leti od sjevera prema jugu
	Vrijednost 0	Zrakoplov leti od juga prema sjeveru
S(ew)	Vrijednost 1	Zrakoplov leti od istoka prema zapadu
	Vrijednost 0	Zrakoplov leti od zapada prema istoku

U matematičkom smislu brzina „V“ (eng. Velocity) i pravac leta „h“ (eng. Heading) se računaju po sljedećim formulama:

Za vrijednost brzine istok-zapad:

Ukoliko je vrijednost $s(ew) = 1$ računamo sa sljedećom formulom: $V(we) = -1 \times [V(ew) - 1]$

Ukoliko je vrijednost $s(ew) = 0$ računamo sa sljedećom formulom: $V(we) = V(ew) - 1$

Za vrijednost brzine sjever-jug:

Ukoliko je vrijednost $s(ns) = 1$ računamo sa sljedećom formulom: $V(sn) = -1 \times [V(ns) - 1]$

Ukoliko je vrijednost $s(ns) = 0$ računamo sa: $V(ns) - 1$

Konačna rezultatna brzina:

$$V = \sqrt{V_{we}^2 + V_{sn}^2} \quad (14)$$

Gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- V = brzina [čvorovi]
- V_{we} = komponenta brzine istok-zapad
- V_{sn} = komponenta brzine sjever-jug

Konačni pravac leta „h“ (eng. heading) = $\arctan\left(\frac{V_{we}}{V_{sn}}\right) \times \frac{360}{2\pi}$ i izražen je u stupnjevima.

Ukoliko je vrijednost stupnjeva negativna vrijednost, dodaje se 360 stupnjeva. Prema sljedećoj korekciji:

$$h = h + 360^\circ$$

U kodiranju poruke koja sadrži brzinu zrakoplova postoje dvije mogućnosti prikazivanja. Postoji kodiranje u indiciranoj brzini *IAS* (eng. Indicated airspeed) odnosno brzini koju pokazuje brzinomjer u zrakoplovu i *TAS* (eng. True airspeed) odnosno prava brzina kojom zrakoplov leti s obzirom na okolni zrak. *TAS* i *IAS* se mijenjaju s visinom ovisno o

gustoći zraka. TAS pokazuje točno na velikim visinama i iz toga razloga se koristi za prikaz brzine zrakoplova. IAS opada s visinom i postaje neprecizan, te se više koristi u informativne svrhe. Informaciju o kojoj se brzini radi, potražimo u „AS-t“ rubrici. Vrijednost 0 nam govori da se radi od indiciranoj brzini IAS, dok nam vrijednost 1 govori da se radi o pravoj zračnoj brzini TAS. Brzine se pretvaraju iz binarnog numeričkog sustava u decimalni i vrijednost je u čvorovima (prijeđenih nautičkih milja po satu).

U primjeru se pojavljuje broj 1 u rubrici „AS-t“ što znači da je vrijednost u sljedećoj rubrici govori o pravoj zračnoj brzini TAS. Sljedeća rubrika „AS“ što je skraćenica od engleskog „*Airspeed*“ sadrži broj 0101111000 što prebacivanjem iz binarnog sustava u decimalni daje 376 čvorova. Dakle zaključak je da zrakoplov leti pravom zračnom brzinom TAS u iznosu od 376 čvorova.

4.7.2 Vertikalna brzina

Vertikalna brzina zrakoplova daje informaciju dobiva li zrakoplov visinu ili je gubi. U polju *S (Vr)* pojavljuju se dvije vrijednosti. Ukoliko je vrijednost 0 zrakoplov penje odnosno dobiva na visini, ako je vrijednost 1 tada zrakoplov gubi visinu odnosno spušta se. Ta informacija se nalazi na mjestu 69-og bita.

Informacija koju sljedeće očitavamo je u polju „Vr“. Vrijednost iz „Vr“ polja prebacimo iz binarnog numeričkog sustava u decimalni. Vrijednost koju dobijemo pokazuje vertikalnu brzinu izraženu u stopama po minuti (eng. Feet/minute)

U prijenosu informacija postoji i polje naziva „VrSrc“ što predstavlja „Vertical Rate Source“. Vrijednost u tom polju može biti 1 ili 0. Nula predstavlja mjerenje prema barometarskoj visini, dok jedinica predstavlja geometrijsku promjenu visine.

4.8 Pravac leta zrakoplova

U tablici se očitava u rubrici „Hdg“ što je skraćenica od engleskog „*Heading*“. Podatak je u binarnom obliku. Prije očitavanja smjera leta, predstoji rubrika „H-s“ u kojoj su vrijednosti od 0 do 1. Ukoliko je vrijednost 0 podatak o smjeru leta zrakoplova ne postoji, ako je 1 informacija slijedi u sljedećoj rubrici [5]. Smjer leta se računa po sljedećoj formuli:

$$\text{Heading} = \text{Decimal (hdg)} \div 1024 \times 360^\circ$$

Primjerice binarno 1010110110 je u decimalnom vrijednost 694.

$$\text{Heading} = 694 \div 1024 \times 360^\circ = 243,98^\circ$$

4.9 Preciznost sustava

Sustav ADS-B zavisi o preciznosti podataka koje dobiva od satelitskog navigacijskog sustava. Postoje kategorije preciznosti koje određuju točnost podataka, odnosno eventualno odstupanje u preciznosti pozicije. Postoje četiri kategorije preciznosti koje opisuju preciznost, cjelovitost podataka i izvora, te eventualnu neodređenost podataka.

Tablica 9. Podjela kategorija preciznosti

Katica	Engleski naziv	Hrvatski naziv
NIC	Navigation Integrity Category	Kategorija navigacijske cjelokupnosti podataka
NUC	Navigation Uncertainty Category	Kategorija neodređenosti navigacijskog podatka
NAC	Navigation Accuracy Category	Kategorija navigacijske preciznosti
SIL	Surveillance/Source Integrity Level	Kategorija cjelokupnosti podataka od strane izvora

Izvor: [6]

Najvažniji podaci za određivanje pozicije je *NICp* (eng. Navigation Integrity Category – Position), dok je za određivanje brzine najvažniji podatak *NACv* (eng. Navigation Accuracy Category – Velocity). Iz *NICp* vrijednosti se dobije vrijednost radijusa preciznost „*Rc*“ (Horizontal Containment Radius limit), dok se iz *NACv* očitava vrijednost „*HFOM*“ (eng. Horizontal Figure of Merit). *NICp* je kodiran u 4 bita, decimalne vrijednosti od 0 do 11. *NACv* predstavlja kategoriju vrijednosti u kojoj sustav zadržava 95% preciznosti za nominiranu brzinu te kategorije. Kategorije *NACv* su od 0 do 4. Postoji još i geometrijska vertikalna preciznost (eng. GVA - Geometric Vertical Accuracy) koja je kodirana u 2 bita, vrijednosti od 0 do 2. Vrijednosti kategorija *NACv*, *NACp* i GVA su prikazane u sljedećim tablicama:

Tablica 10. *NACv* kategorije i preciznost

NACv kategorija	Greška horizontalne brzine [m/s]
0	≥ 10 m/s ili nepoznato
1	< 10 m/s
2	< 3 m/s
3	< 1 m/s
4	< 0,3 m/s

Izvor: [6]

Tablica 11. GVA kategorija i preciznost

GVA kategorija	Preciznost [m]
0	>150 m ili nepoznato
1	≤ 150 m
2	≤ 45 m

Izvor: [6]

Tablica 12. NACp kategorija i efektivni radijus

NACp kategorija	Radijus 95% točnosti [Nautička milja] i [m]
0	≥ 10 NM
1	< 10 NM
2	< 4 NM
3	< 2 NM
4	< 1 NM
5	$< 0,5$ NM
6	$< 0,3$ NM
7	$< 0,1$ NM
8	$< 0,05$ NM
9	< 30 m
10	< 10 m
11	< 3 m

Izvor: [6]

U očitavanju poruke i podataka, pomoću „Type code“ i „Sbnic“ (NIC dodatka B [eng. NIC supplement B]) dobije se vrijednost „NIC“ (Navigation Integrity Category). Veza između „Type code“, NIC dodatka B i kategorije „NIC“ određuje horizontalnu odnosno lateralnu preciznost pozicije „Rc“ (eng. Horizontal Containment Radius limit) prema tablici 13:

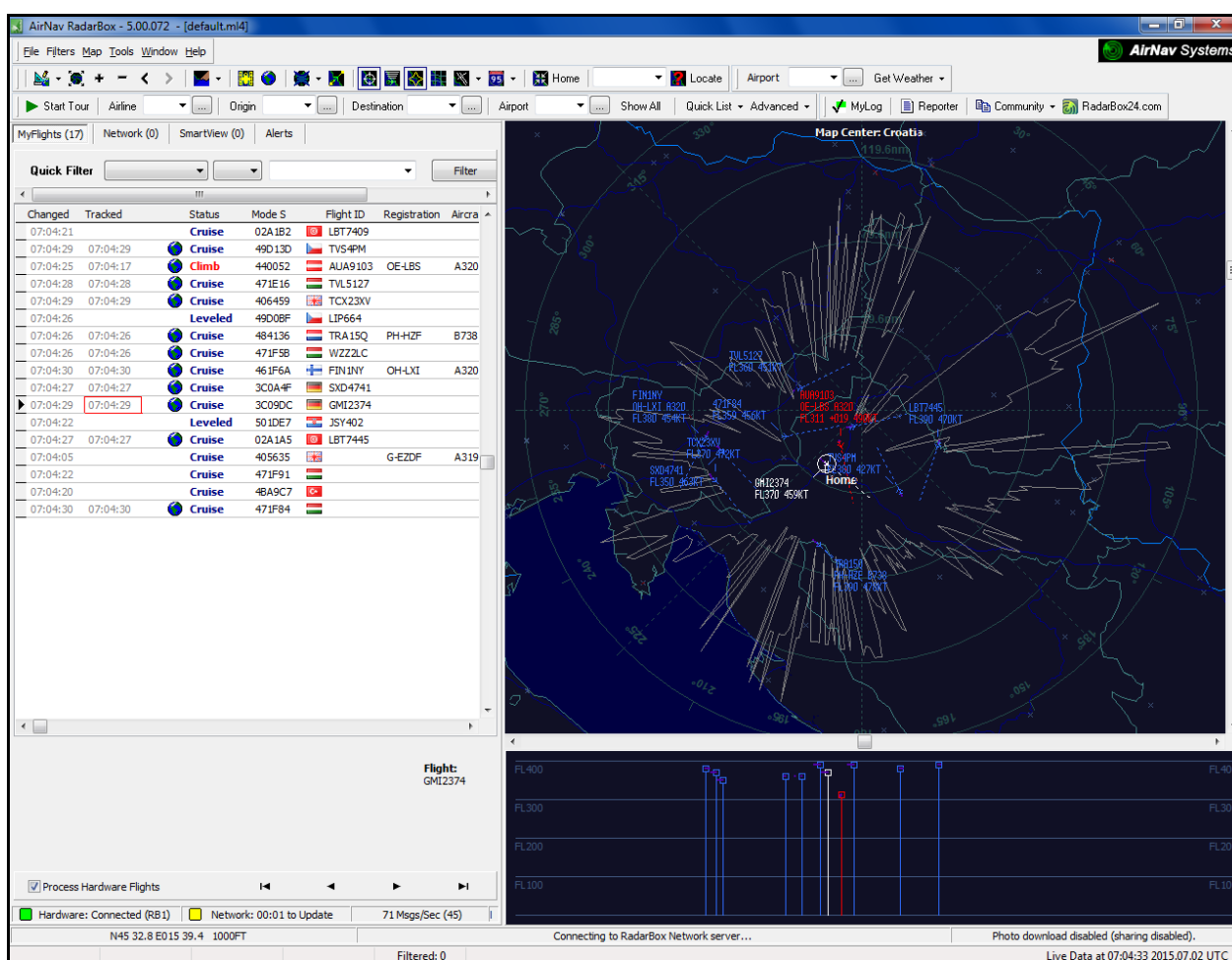
Tablica 13. Kombinacija kategorija preciznosti sustava

TC	Sbnic	NIC	Rc
9	0	11	$< 7,5$ m
10	0	10	< 25 m
11	1	9	< 74 m
	0	8	$< 0,1$ NM
12	0	7	$< 0,2$ NM
13	1 (ako je Sanic = 0)	6	$< 0,3$ NM
	0		$< 0,5$ NM
	1 (ako je Sanic = 1)		$< 0,6$ NM
14	0	5	$< 1,0$ NM
15	0	4	< 2 NM
16	1	3	< 4 NM
	0	2	< 8 NM
17	0	1	< 20 NM
18	0	0	> 20 NM ili nepoznato

Izvor: [5]

5. REZULTATI MJERENJA

Praktični dio završnog rada je obuhvaćao nadziranje zračnog prometa sustavom AirNav RadarBox u trajanju od 48 sati. Snimanje se odvijalo aktivno u tri navrata po 8 sati. kroz kojih je zabilježeno 2571 zrakoplova u preletu, prilazu za slijetanje ili odletu nakon polijetanja. Antena je bila postavljena na krovu zgrade Fakulteta prometnih znanosti i sa slike 11. je vidljivo da u nekim segmentima nije ostvaren najveći mogući doseg antene. Maksimalni doseg antene smanjen je najvećim udjelom okolnom vegetacijom i posebno objektom na sjeverno-istočnoj strani. Unatoč preprekama, doseg antene je od 200 do 325 km. Djelomično su obuhvaćene susjedne zemlje Slovenija, Italija, Austrija, Bosna i Hercegovina, Mađarska i Srbija.



Slika 12. Sučelje programa AirNav RadarBox

6. ZAPIS I PORUKE

Sustav prije prikazivanja pristiglih informacija na zaslon dobiva podatke u neobrađenom obliku. Podaci koji su sadržani u poruci mogu biti cjelokupni ili podijeljeni u više prijenosa. U prijenosu se nalazi jedna ili više informacija, te prijenos poruke uvijek započinje sa „\$PTA“ ukoliko je poruka pristigla preko moda „S“ transpondera, odnosno sekundarnog radara. Pristigli podaci se odnose na jedan od sljedećih podataka:

- Pozivni znak zrakoplova
- Tip zrakoplova
- Identifikacija leta/broj leta
- Broj transpondera moda „S“ u heksadecimalnom zapisu
- Visina zrakoplova izražena u stopama
- Brzina leta zrakoplova s obzirom na zemlju
- Pravac kretanja zrakoplova
- Zemljopisna dužina
- Zemljopisna širina
- Vertikalna brzina zrakoplova izražena u stopama po minuti

Primjer neobrađene poruke:

\$PTA,501D1D ,CTN82W,2575,166.9,46.5,-768,,45.6440,15.9187,4615

Tablica 11. Podjela značenja neobrađene poruke

Uvod	Broj transpondera	ICAO24 identifikacija	Visina u stopama	Brzina leta [čvorovi]
\$PTA	501D1D	CTN82W	2575	166,9

Smjer leta[°]	Vertikalna brzina [stope po minuti]	Zemljopisna širina [°]	Zemljopisna dužina [°]	Squawk kod na transponderu
46,5	-768	45,6440	15,9187	4615

Nakon podjele poruke na segmente prema tablici, vidljivo je da je poruka pristigla frekvencijom 1090 MHz moda „S“ transpondera, koji ima identifikacijski broj „501D1D“ i podešen squawk kod 4615 koji je dobiven od strane kontrole leta. Pozivni znak zrakoplova je „CTN82W“ što ukazuje da je operater Croatia Airlines. Zrakoplov je u procesu slijetanja, što se vidi iz podataka o poziciji. Podatak o poziciji ukazuje da se zrakoplov nalazi na 15,9 stupnjeva istočne zemljopisne dužine i 45,6 stupnjeva sjeverne zemljopisne širine, na visini

od 2575 stopa. Brzina zrakoplova je 166 čvorova, spušta se brzinom od 768 stopa u minuti i leti u pravcu 046,5 stupnjeva od pravog sjevera.

Sustav AirNav RadarBox dopušta korisniku uvid u prikupljene podatke o zrakoplovima na tri načina. Prvi način je uvid u neobrađenu poruku kao što je prikazano i razjašnjeno u tablici 11. Drugi način je pohrana zapisa u tekstualnom obliku, u kojem program uvelike olakša korisniku pregled svrstavanjem u stupce poznatih podataka, kao što je vidljivo sa slike 13. Treći način je primaran i odnosi se na prikaz svih informacija za pojedini zrakoplov unutar samog programa na zaslonu korisničkog računala, što je vidljivo na slici 12.

Report generated by AirNav RadarBox - 5.00.072							
Advanced Real-time Radar Decoder							
http://www.airnavsystems.com							
Log Author: Fpz							
Location: Zagreb							
Country: Croatia							
Generated at 2015.07.01 16:23:46 UTC							
Valid for 2015.07.01							
570 Flights Logged							
Mode S	Flight	Route	Regist	Airc	Airline	Date and Time	
* 600804	AHY036		4K-AZ04	A319	Azerbaijan Airlines	2015/07/01	09:59:11
* 773700	ALK564		4R-ALC	A332	Srilankan Airline...	2015/07/01	15:21:48
* 738073			4X-ECC	B772	El Al Israel Airl...	2015/07/01	10:30:18
* 738065	ELY358		4X-EKC	B738	El Al Israel Airl...	2015/07/01	10:14:28
* 738065	ELY358		4X-EKC	B738	El Al Israel Airl...	2015/07/01	14:20:33
* 738069			4X-EKO	B738	El Al Israel Airl...	2015/07/01	10:19:50
* 738045	ELY358		4X-ELS	B744	Untitled (El Al I...	2015/07/01	10:05:27
* 738045	ELY358		4X-ELS	B744	Untitled (El Al I...	2015/07/01	14:20:33
* 738045	ELY338		4X-ELS	B744	Untitled (El Al I...	2015/07/01	15:14:50
* 501D7D	TDR9277		9A-BTE	F100	Sun Adria	2015/07/01	14:20:27
* 501D18	CTN422		9A-CTG	A319	Croatia Airlines	2015/07/01	14:55:20
* 501D1D	CTN82W		9A-CTH	A319	Croatia Airlines	2015/07/01	14:34:07
* 501D1F	CTN9HR		9A-CTJ	A320	Croatia Airlines	2015/07/01	09:53:24
* 501D21			9A-CTL	A319	Croatia Airlines	2015/07/01	09:57:53
* 4D2022	AMC538		9H-AEL	A319	Air Malta	2015/07/01	16:08:54
* 4D2024	AMC376		9H-AEN	A320	Excel Airways (Ai...	2015/07/01	15:21:44
* 89613D	ETD88		A6-EYH	A332	Etihad Airways	2015/07/01	10:11:05
* 89613D	ETD88		A6-EYH	A332	Etihad Airways	2015/07/01	14:20:33
* 06A041	QTR130		A7-AEG	A333	Qatar Airways	2015/07/01	14:21:45

Slika 13. Tekstualni način prikaza podataka

7. OBRADA PODATAKA

Tijekom nadziranja prometa sustavom AirNav RadarBox zaprimljeno je nešto više od 500 000 poruka zrakoplova, koje su sadržavale informacije o pozivnom znaku, horizontalnoj i vertikalnoj brzini, visini, zemljopisnoj širini i dužini, smjeru leta, identifikaciji transpondera i postavljenom „squawk“ kodu. Temeljem poznate lokacije antene i primljene pozicije zrakoplova u obliku zemljopisne dužine i širine određuje se udaljenost zrakoplova od antene u trenutku primljene poruke. Uobičajeno je da se zemljopisna širina označava grčkim slovom ϕ , dok se zemljopisna dužina označava grčkim slovom λ . Udaljenost se računa prema formuli (15) koja slijedi, a rezultat je izražen u metrima:

$$D = \cos^{-1} \left[\sin \left(\phi_1 \times \frac{\pi}{180} \right) \times \sin \left(\phi_2 \times \frac{\pi}{180} \right) + \cos \left(\phi_1 \times \frac{\pi}{180} \right) \times \cos \left(\phi_2 \times \frac{\pi}{180} \right) \times \cos \left(\lambda_2 \times \frac{\pi}{180} - \lambda_1 \times \frac{\pi}{180} \right) \right] \times R \quad (15)$$

R (Radijus Zemlje) = 6371000 metara

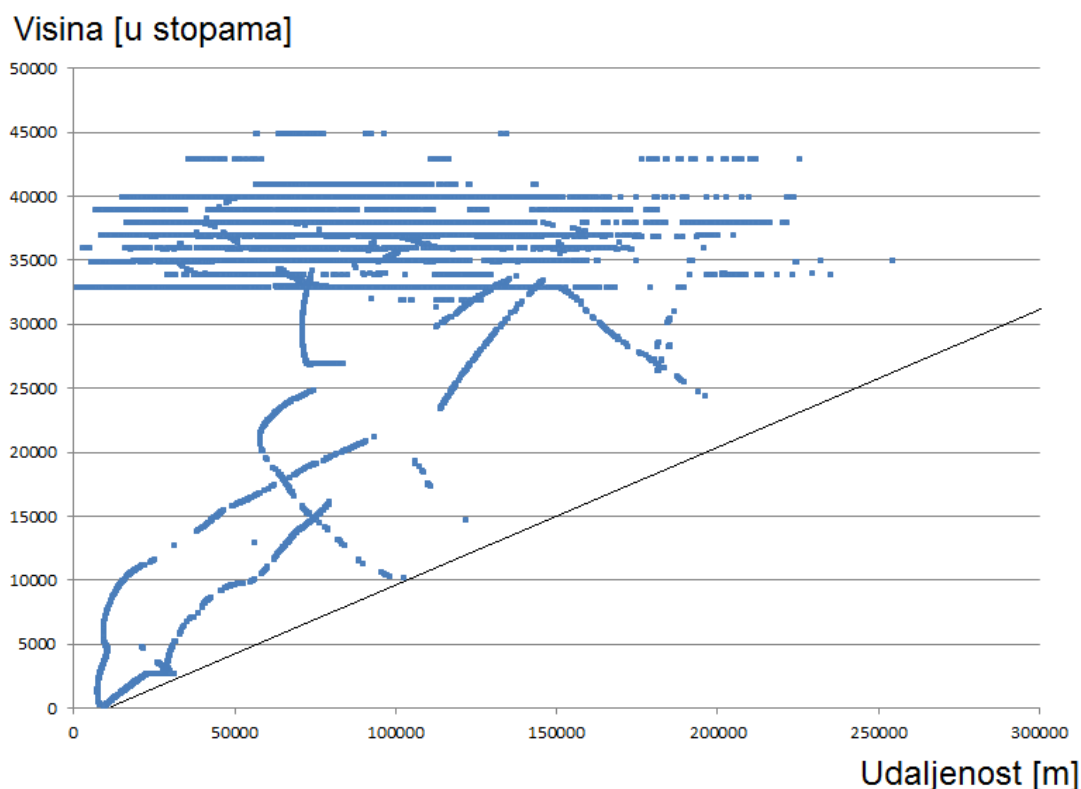
ϕ_1 – zemljopisna širina na kojoj se nalazi zrakoplov [°]

ϕ_2 – zemljopisna širina na kojoj se nalazi antena [°]

λ_1 – zemljopisna dužina na kojoj se nalazi zrakoplov [°]

λ_2 – zemljopisna dužina na kojoj se nalazi antena [°]

Nakon proračuna udaljenosti zrakoplova od antene, uzima se u obzir visina na kojoj se zrakoplov nalazio u trenutku odašiljanja poruke. Kombinacijom visine i udaljenosti na kojima se zrakoplov nalazio u trenutku poruke, napravljena je analiza u obliku grafa. Graf pokazuje kako udaljenost od antene utječe na primanje poruka. Uvidom u graf na slici 14 vidljivo je da se s povećanjem udaljenosti povećava i minimalna visina na kojoj antena prima signale. Razlog tome su prepreke poput objekata, vegetacije, reljefa ali i zakrivljenost zemlje na većim udaljenostima.



Slika 14. Analiza dometa antene s obzirom na visinu i udaljenost

Uslijed velikog broja zaprimljenih poruka, koje ne sadrže uvijek cjelokupne podatke potrebne za statistiku, uzeto je 5% ukupnih poruka. Statistika se temelji na 20 000 zaprimljenih poruka, 140 avioprijevoznika i 800 jedinstvenih zrakoplova koji su odašiljali neki tip poruke.

Statistički gledano, 91% poruka u doseg antene su odašiljali zrakoplovi koji nisu mijenjali razinu leta, odnosno koji su bili u režimu *krstarenja*. Zrakoplovi koji su prelijetali držali su ili neznatno mijenjali razinu leta koja im je dodijeljena, što je vidljivo na slici 13. Da su se zrakoplovi držali razine leta govori podatak o vertikalnoj brzini koja je bila nula, što bilježi i program AirNav RadarBox na korisničkom zaslonu. Na slici 15 vidljiv je stupac „Status“ koji pokazuje u kojoj fazi leta je zrakoplov. Ukoliko zrakoplov zadržava visinu leta u stupcu „Status“ se pojavljuje poruka „Leveled“ što znači da je zrakoplov dosegao zadanu visinu i poravnao zrakoplov ili „Cruise“ što znači da je zrakoplov u režimu *krstarenja*.

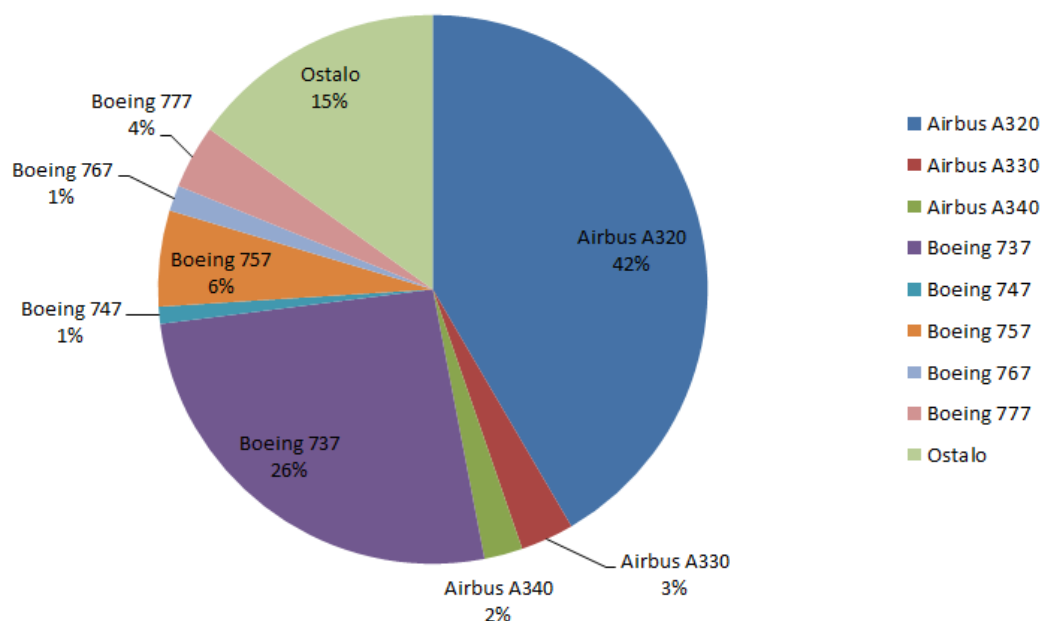
Zrakoplovi koji su znatnije mijenjali visinu su bili u procesu polijetanja ili slijetanja. U procesu polijetanja ili slijetanja je bilo 9% zrakoplova od cjelokupnog prometa. U segmentu leta polijetanja ili slijetanja jasno je povećanje promjene vertikalne brzine. Pozitivna promjena vertikalne brzine ukazuje da zrakoplov povećava visinu, dok negativna promjena ukazuje da avion smanjuje visinu. Za zrakoplove u polijetanju u stupcu „Status“ se pojavljuju poruke „Departure“ što znači da je zrakoplov u odletu od aerodroma ili „Climb“ što znači da

je zrakoplov u penjanju prema zadanoj visini. U slučaju zrakoplova koji su u procesu slijetanja ili prilaza, prikazuju se poruke „Descend“ što znači da zrakoplov smanjuje visinu i započinje prilaz prema aerodromu. Ukoliko je zrakoplov u procesu prilaza prema aerodromu destinacije pojavljuje se poruka „Approach“, na samom kraju prilaza i poruka „Landing“ što ukazuje da zrakoplov slijeće na aerodrom.

Changed	Tracked	Status	Mode S	Flight ID	Registration	Aircraft
19:33:56	19:33:53	 Levelled	405D13	 EZY93GX	G-EZDZ	A319
19:34:00	19:33:56	 Departure	471F51	 WZZ529	HA-LWJ	A320
19:33:46		 Cruise	3421D7		EC-HCF	E120
19:33:32	19:33:11	 Timeout	400877		G-EUPG	A319
19:34:02	19:34:02	 Approach	4CA4EA	 RYR8NW	EI-DPF	B738
19:33:56	19:32:22	 Approach	406674	 BAW705	G-EUYN	A320
19:34:02	19:34:02	 Approach	405A46	 SHT9Y	G-EUUX	A320
19:33:44	19:33:44	 Departure	4CA2DA	 RYR2CM	EI-DLN	B738
19:34:02	19:33:56	 Approach	405EE1	 BAW41HA	G-EUYD	A320
19:34:02	19:33:49	 Departure	47836A	 SAS1524	LN-RCZ	B738
19:33:56	19:33:56	 Departure	471EA9	 WZZ954	HA-LPX	A320
19:34:00	19:34:00	 Departure	867F68	 JAL44	JA731J	B77W
19:34:00		 Landing	A54A89		N44ZF	GLF4
19:34:00		 Climb	405D10		G-EZDW	A319
19:33:56	19:33:56	 Departure	4CA33D	 RYR59MQ	EI-FEH	B738

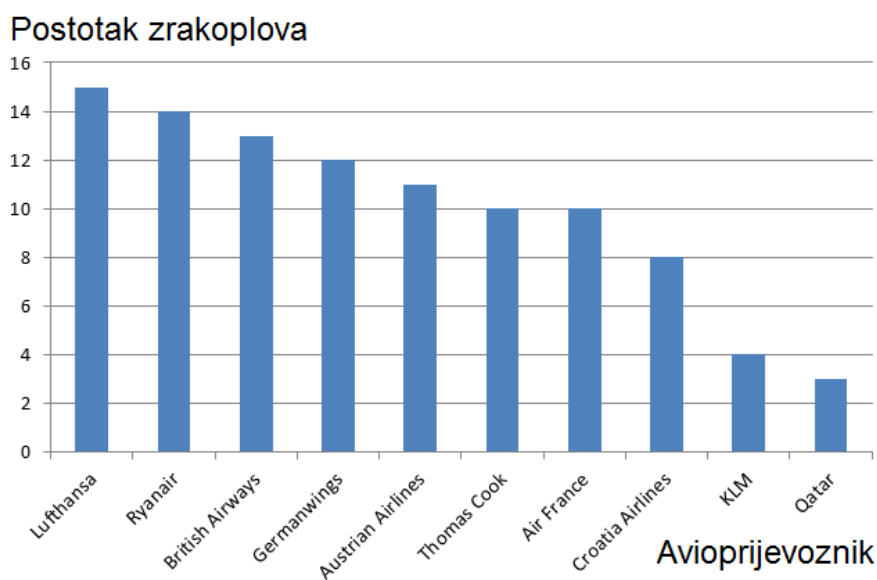
Slika 15. Prikaz AirNav RadarBox na korisnički zaslon

Tipovi zrakoplova koji su odašiljali ADS-B podatke većinom su bili civilni za prijevoz putnika, ali u manjoj mjeri i za prijevoz tereta. Tijekom praćenja su zaprimljene poruke i od nekoliko vojnih zrakoplova, koji su u vlasništvu Sjedinjenih Američkih Država, Austrije i Nizozemske. Prema statistici tipa zrakoplova koji su bili u dometu antene, najviše prevladavaju civilni zrakoplovi srednjeg dometa. Zrakoplovi koji su činili najviše prometa bili su tipa Airbus A320 i Boeing 737 raznih avioprijevoznika i namjena što je vidljivo iz statistike na slici 16. Velik udjel od 15% imaju ostali avioni, razlog tome je što ima puno tipova zrakoplova koji se pojavljuju jednom, bez obzira bili vojni ili civilni. Kada se u statistici pojavi mali udjel jednog tipa zrakoplova, nije reprezentativno za izradu grafova jer je postotak jednostavno premalen za prikaz.



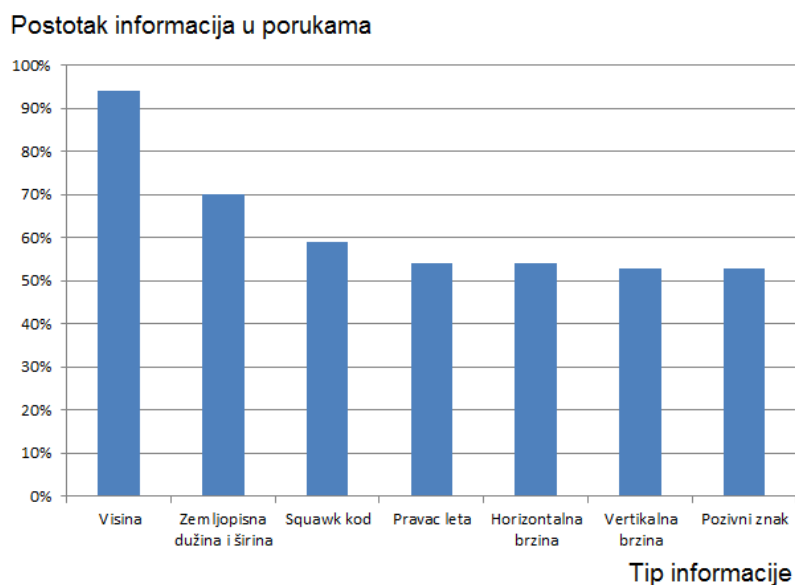
Slika 16. Podjela prometa prema tipu zrakoplova

Uzevši u obzir najčešći tip zrakoplova, napravljena je daljnja podjela zrakoplova prema operatorima. Prema slici 17 vidljivo je da je najveći postotak ADS-B poruka pristigao od strane zrakoplova koji su u vlasništvu Lufthanse, Ryanaira i British Airwaysa.

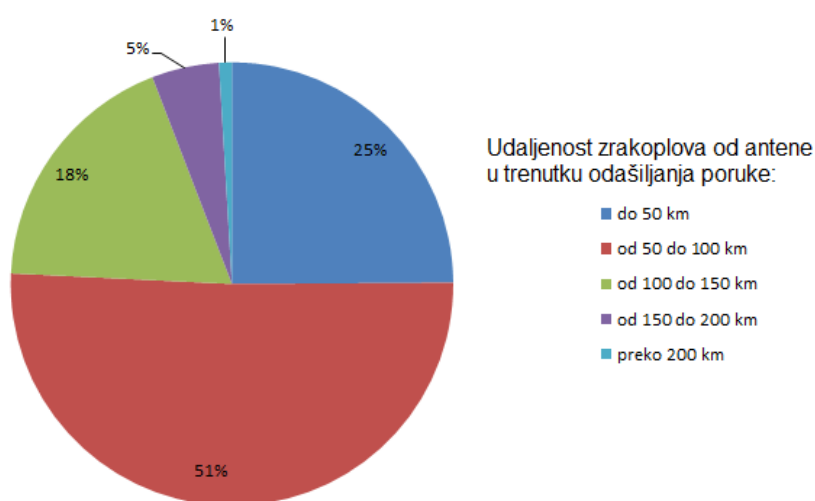


Slika 17. Podjela prometa prema avioprijevozniku

Poruke koje sustav prima ne moraju nužno sadržavati sve informacije. Ukoliko je slučaj da u jednoj poruci nisu sadržane sve informacije, zrakoplov koji odašilje informacije će poslati više poruka za redom. Jedine informacije koje su uvijek poznate su vrijeme dolaska poruke i identifikacijski broj transpondera. Postotak preostalih informacija koje se pojavljuju u porukama su prikazane na slici 18. Na temelju pozicije zrakoplova u trenutku odašiljanja poruke izrađen je statistički graf na slici 19 koji jasno pokazuje da najveći broj poruka dolazi sa udaljenosti od 50 do 100 km. Statistika je izrađena na temelju 30 000 poruka.



Slika 18. Postotak informacija koje su sadržane u porukama



Slika 19. Udaljenost zrakoplova od antene u trenutku odašiljanja poruke

8. ZAKLJUČAK

U završnom radu objašnjen je generalni princip rada sustava „Automatic dependent surveillance – broadcast“ i prednosti koje sustav uvodi u moderni zračni promet. Današnji zračni prostor je vrlo zagušen velikim brojem zrakoplova i potrebno je olakšati posao kontrolorima leta. Osim olakšavanja posla kontrolorima i ubrzavanja prometa, podiže se sigurnost i svjesnost pilota o okolnom prometu. Dodatne informacije o prometu i vremenu su također na raspolaganju pilotima ukoliko sustav podržava primanje podataka od zemaljskih stanica.

Objašnjene su karakteristike sustava koji smo koristili za praktični dio rada, kao i konstrukcija antene. Vrlo važno poglavlje je dešifriranje poruka koje prijemnik dešifrira i prenosi korisniku na zaslon računala. Najvažnije poruke koje sustav prenosi zemaljskoj stanici su identifikacija, pozicija, vertikalna i horizontalna brzina zrakoplova. Uz pomoć tih informacija kontrola leta ima uvid u status i trenutne radnje zrakoplova, što omogućuje brzu komunikaciju, preusmjeravanje ili nadziranje zračnog prometa. Iz podataka koje smo primili izrađene su statistike i grafovi koji ukratko pojašnjavaju o kakvom se tipu prometa radi, sadržaju poruka i utjecaju visine zrakoplova na prijem signala.

ADS-B sustav ima svoje prednosti i nedostatke. Unatoč nedostacima koji će se zasigurno smanjivati napretkom sustava i tehnologije, sustav ima prednosti koje mu omogućuju da zamijeni danas najrasprostranjenije sekundarne radare, takozvane transpondere. Od 2015. godine ADS-B sustav je obavezan za novoizrađene zrakoplove, a na postojećim zrakoplovima sustav mora biti ugrađen do 2017. godine.

LITERATURA

- [1] ADS-B: <http://www.smyrnaaircenter.com/2012/09/ads-b-the-basics/>, kolovoz 2016
- [2] Federal Aviation Administration: <http://www.faa.gov/nextgen/programs/adsb/>, kolovoz 2016.
- [3] AirNav Systems: <http://www.airnavsystems.com/radarbox/>, kolovoz 2016.
- [4] Garmin Ltd.: <https://ads-b.garmin.com/en-US>, kolovoz 2016.
- [5] Junzi Sun: ADS-B decoding guide, 2016: <https://media.readthedocs.org/pdf/adsb-decode-guide/latest/adsb-decode-guide.pdf>, kolovoz 2016.
- [6] Satish C. Mohleji, Ganghuai Wang: Modeling ADS-B Position and Velocity Errors for Airborne Merging and Spacing in Interval Management Application:
https://www.mitre.org/sites/default/files/pdf/10_3026.pdf, kolovoz 2016.
- [7] ADS-B Exchange: <http://www.adsbexchange.com/>, kolovoz 2016.
- [8] Free Flight Systems: <http://www.freeflightsystems.com/products/ads-b>, kolovoz 2016
- [9] Google Maps: <https://maps.google.com/>, kolovoz 2016.
- [10] Odnos između visine i pokrivenosti:
<http://aviation.stackexchange.com/questions/2345/what-is-the-relation-between-aircraft-altitude-and-ads-b-coverage>, kolovoz 2016.
- [11] Udaljenosti između dvije antene:
<http://math.stackexchange.com/questions/386003/distance-between-two-antennas>, kolovoz 2016.

POPIS SLIKA

- Slika 1. Prikaz principa rada sustava ADS-B [1]
- Slika 2. Prikaz lokacije antene [9]
- Slika 3. Prijemnik AirNav RadarBox [3]
- Slika 4. Segment antene [7]
- Slika 5. Presjek antene [7]
- Slika 6. Utjecaj visine i zakrivljenosti zemlje na domet
- Slika 7. Utjecaj visine zrakoplova i refrakcija signala
- Slika 8. Konstrukcija ADS-B poruke [9]
- Slika 9. Primjer uvoda ADS-B poruke [5]
- Slika 10. Ilustracija „High“ i „Low“ pulsa
- Slika 11. Zemljopisna dužina i širina
- Slika 12. Sučelje programa AirNav RadarBox
- Slika 13. Tekstualni način prikaza podataka
- Slika 14. Analiza dometa antene s obzirom na visinu i udaljenost
- Slika 15. Prikaz AirNav RadarBox na korisnički zaslon
- Slika 16. Podjela prometa prema tipu zrakoplova
- Slika 17. Podjela prometa prema avioprijevozniku
- Slika 18. Postotak informacija koje su sadržane u porukama
- Slika 19. Udaljenost zrakoplova od antene u trenutku odašiljanja poruke

POPIS TABLICA

Tablica 1.	Podjela ADS-B poruke, kratica i funkcija [Izvor 5]
Tablica 2.	Vrijednosti „ <i>Type code</i> “ i značenja [Izvor 5]
Tablica 3.	Postupak očitavanja identifikacije zrakoplova [Izvor 5]
Tablica 4.	Značenje bitova u poruci pozicije [Izvor 5]
Tablica 5.	Broj zona zemljopisnih dužina s obzirom na iznos zemljopisne širine [Izvor 5]
Tablica 6.	Postupak računanja pozicije CPR metodom [Izvor 5]
Tablica 7.	Podjela informacija u podatkovnom bloku visine [Izvor 5]
Tablica 8.	Podjela primljene poruke [Izvor 6]
Tablica 9.	Podjela kategorija preciznosti [Izvor 6]
Tablica 10.	NACv kategorije i preciznost [Izvor 6]
Tablica 11.	GVA kategorija i preciznost [Izvor 6]
Tablica 12.	NACp kategorija i efektivni radijus [Izvor 6]
Tablica 13.	Kombinacija kategorija preciznosti sustava [5]
Tablica 14.	Podjela značenja neobrađene poruke [5]

POPIS KRATICA

ADS-B	Automatic dependent surveillance – broadcast
Alt	Altitude
ATIS	Automatic Terminal Information Service
CA	Capability
CPR	Compact Position Reporting
CRC	Cyclic redundancy check
DATA	Data Frame ili Data block
DF	Downlink format
EASA	European Aviation Safety Agency
ES	Extended squitter
FIS-B	Flight information services – broadcast
GNSS	Global navigation satellite system
GVA	Geometric Vertical Accuracy
H	Height
Hdg	Heading
HFOM	Horizontal Figure of Merit
Hz	Herz
ICAO	International Civil Aviation Organization
IMC	Instrument meteorological conditions
Lat	Latitude
Lon	Longitude
NAC	Navigation Accuracy Category
NACv	Navigation Accuracy Category – Velocity
NDB	Non-directional beacon
NIC	Navigation Integrity Category
NICp	Navigation Integrity Category – Position
NICsb	NIC supplement B
NL	Number of longitude zones
NOTAM	Notification to Airmen
NUC	Navigation Uncertainty Category
NZ	Number of latitude zones
PC	Parity check
PI	Parity information
PPM	Pulse-Position Modulation
Rc	Horizontal Containment Radius limit

SIL	Surveillance/Source Integrity Level
SS	Surveillance status
SSR	Secondary surveillance radar
ST	Subtype
T	Time
TC	Type code
TCAS	Traffic collision avoidance system
TIS-B	Traffic information service – broadcast
UAT	Universal Access Transceiver
V	Velocity
VHF	Very high frequency
VMC	Visual meteorological conditions
VOR	VHF omnidirectional range
Vr	Vertical rate
VSWR	Voltage standing wave ratio