

# Procjena mogućnosti pogreške u porukama sustava automatskog nadzora zračnog prometa

---

**Marković, Sara**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:987256>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-13**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Sara Marković**

**PROCJENA MOGUĆNOSTI POGREŠKE U PORUKAMA SUSTAVA  
AUTOMATSKOG NADZORA ZRAČNOG PROMETA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2018.**

Zagreb, 28. ožujka 2018.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**  
Predmet: **Radio i radarski sustavi**

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 4694

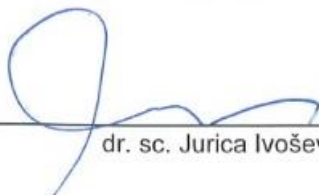
Pristupnik: **Sara Marković (0135241915)**  
Studij: **Aeronautika**  
Smjer: **Kontrola leta**

Zadatak: **Procjena mogućnosti pogreške u porukama sustava automatskog nadzora zračnog prometa**

### Opis zadatka:

Protumačiti princip rada te prednosti i nedostatke sustava automatskog nadzora zračnog prometa. Usporediti ADS-B i ADS-C sustave. Analizirati način dekodiranja ADS-B poruke. U programskom jeziku napisati algoritam koji dekodira ADS-B poruku o identifikaciji zrakoplova. Analizirati zaštitu i mogućnosti pogreške poruka ADS-B sustava automatskog nadzora zračnog prometa. Procijeniti značaj pogreške u prijenosu jednog bita ADS-B poruke o identifikaciji zrakoplova. Opisati i komentirati rezultate.

Mentor:



---

dr. sc. Jurica Ivošević

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

**ZAVRŠNI RAD**

**PROCJENA MOGUĆNOSTI POGREŠKE U PORUKAMA SUSTAVA  
AUTOMATSKOG NADZORA ZRAČNOG PROMETA  
EVALUATION OF FAILURE POSSIBILITY OF AUTOMATIC DEPENDENT  
SURVEILLANCE MESSAGES**

Mentor: dr.sc. Jurica Ivošević

Student: Sara Marković

JMBAG: 0135241915

Zagreb, rujan 2018.

# PROCJENA MOGUĆNOSTI POGREŠKE U PORUKAMA SUSTAVA AUTOMATSKOG NADZORA ZRAČNOG PROMETA

## SAŽETAK

Sustav automatskog nadzora zračnog prometa dio je plana razvoja u području nadzora zračnog prometa. U odnosu na prijašnje sustave nadzora karakterizira ga veća preciznost što povećava razinu sigurnosti zračnog prometa. Preciznost ovisi o elementima sustava, a greške su zbog njegove važnosti neprihvatljive. Od iznimne je važnosti prepoznati potencijalne greške sustava kako bi se na njih djelovalo proaktivno.. U radu je opisan ADS sustav, njegove komponente, princip rada, dekodiranje ADS-B poruka te analiza potencijalnih grešaka i najefikasniji načini njihova uklanjanja.

KLJUČNE RIJEČI: ADS; dekodiranje ADS-B poruke; identifikacija zrakoplova; analiza pogreške

## SUMMARY:

Automatic dependent surveillance system is part of the development plan for surveillance in air traffic. Compared to the previous systems, it is characterized by greater precision which increases the level of air traffic safety. Accuracy depends on system elements and errors are unacceptable because of its importance. It is of utmost importance to identify potential errors in order to act proactively. ADS system, its components, working principle, ADS-B message decoding and analysis of potential errors and ways of their prevention and elimination are described in this this bachelor's thesis.

KEYWORDS: ADS; ADS-B message decoding; aircraft identification; error analysis

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. SUSTAV AUTOMATSKOG NADZORA ZRAČNOG PROMETA .....	2
2.1. Komponente sustava automatskog nadzora zračnog prometa .....	2
2.2. Princip rada .....	3
3. ADS-B I ADS-C SUSTAV.....	5
4. PREDNOSTI I NEDOSTACI SUSTAVA AUTOMATSKOG NADZORA ZRAČNOG PROMETA.....	8
5. DEKODIRANJE ADS-B PORUKE.....	9
5.1. Struktura poruke.....	9
5.2. Tipovi poruka .....	10
5.3. Identifikacija zrakoplova .....	11
5.4. Pozicija zrakoplova .....	12
5.4.1. „Compact Position Reporting“ metoda pozicioniranja .....	13
5.4.2. Zemljopisna širina.....	15
5.4.3. Zemljopisna dužina.....	17
5.5. Visina .....	18
5.6. Brzina zrakoplova .....	18
5.6.1. Horizontalna brzina .....	20
5.6.2. Vertikalna brzina.....	22
5.7. Pravac leta zrakoplova .....	22
5.8. Preciznost sustava .....	22
6. ANALIZA MOGUĆNOSTI POGREŠKE ADS-B PORUKE .....	25
6.1. Uzrok, vrste i posljedice potencijalne greške .....	25
6.2. Zaštitni kod za sprječavanje pogreške .....	29
6.3. Analiza algoritma za provjeru pogreške u poruci .....	31
7. ALGORITAM ZA DEKODIRANJE ADS-B PORUKE O IDENTIFIKACIJI ZRAKOPLOVA.....	35
8. ZAKLJUČAK .....	38
LITERATURA .....	39
POPIS SLIKA.....	41
POPIS TABLICA .....	42
POPIS KRATICA.....	43
Prilog 1 .....	45

## 1. UVOD

Zračni promet je grana prometa čiji su neprekidni razvoj i povećanje potražnje uzrokovali potrebu za razvojem kvalitetnih i sofisticiranih sustava za nadzor zračnog prometa. Glavna obilježja ove grane prometa su sigurnost, redovitost i efikasnost. Kako bi se ova obilježja mogla održavati potrebni su, između ostalog, sustavi koji to omogućuju. Razvoj radara i nadzornih sustava zračnog prometa općenito započeo je u Drugom svjetskom ratu te je do danas njihov napredak značajan. Danas se radarski i drugi nadzorni sustavi koriste prvenstveno u svrhe povećanja sigurnosti i efikasnosti zračnog prometa.

U današnje vrijeme, kada dnevno nad Europom preleti oko 30 000 zrakoplova, cjelokupno funkcioniranje prometa bilo bi nemoguće bez nadzornih sustava. Oni omogućuju kontrolorima leta da putem radarske slike nadziru i kontroliraju letove s ciljem sprječavanja konflikata te zadovoljavanja najveće razine sigurnosti.

Trenutno najzanimljiviji sustav nadzora zbog svojih karakteristika je automatski sustav nadzora zračnog prometa (engl. Automatic Dependent Surveillance – ADS). ADS pruža bitne podatke koje dobiva od satelita i sustava na zrakoplovu, a uključuje identifikaciju zrakoplova, četverodimenzionalnu poziciju i druge podatke.

Smatra se da će ADS zbog niza prednosti u potpunosti zamijeniti konvencionalne radare. Zbog važnosti podataka koji se prenose, prije same implementacije i korištenja sustava potrebno je prepoznati i analizirati potencijalne greške u svrhu njihovog pravovremenog otklanjanja. U radu je opisan ADS sustav, njegove komponente, princip rada, dekodiranje ADS-B poruka te analiza potencijalnih grešaka i najefikasniji načini njihova uklanjanja.

## **2. SUSTAV AUTOMATSKOG NADZORA ZRAČNOG PROMETA**

ADS sustav kreiran je tako da u potpunosti može zamijeniti radare, posebice na prostorima koji su nepovoljni i teško dostupni, na aerodromima i područjima slabog prometa te ondje gdje je sama implementacija radara neprihvatljiva iz ekonomskih razloga. Za razliku od radara koji određuju poziciju zrakoplova na temelju odašlanih signala koji se reflektiraju kada naiđu na prepreku, ADS koristi GNSS (engl. Global Navigation Satellite System) tehnologiju i jednostavno emitiranje i odašiljanje signala u svrhu razmjene informacija i komunikacije [1].

### **2.1. Komponente sustava automatskog nadzora zračnog prometa**

Sustav se sastoji od triju glavnih komponenata; satelitske, zemaljske i komponente u zrakoplovu.

Zemaljsku komponentu čine [2]:

- zemaljska stanica;
- zemaljska komunikacijska mreža;
- korisnici komunikacijske mreže.

Zemaljska stanica najčešće je antena koja odašilje radio valove definiranog frekvencijskog spektra. Komunikacija zemaljske stanice sa satelitom odvija se u SHF (engl. Super High Frequency) području. Korisnicima su informacije prikazane na dva sučelja. Na prvom sučelju prikazana je geografska karta s točnom pozicijom zrakoplova (visina, geografska širina i duljina) i pozivnim znakom. Ostali podaci prikazani su na drugom sučelju [2].

FMS (engl. Flight Management System) predstavlja komponentu u zrakoplovu koja automatski, ali i na zahtjev šalje podatke korisnicima, pruža virtualne podatke i omogućava operativnu usklađenost u gotovo svim fazama leta. Koristi veliku bazu podataka za planiranje i programiranje rute prije samog leta.



FMS čine 4 komponente [3]:

- FMC (engl. Flight Management Computer);
- AFCS (engl. Automatic Flight Control System) ili AFGS (Automatic Flight Guidance System);
- Navigacijski sustav zrakoplova;
- EFIS (engl. Electronic Flight Instrument System).

Kada je riječ o satelitskoj komponenti, ADS koristi GNSS tehnologiju te najčešće surađuje sa sustavom za globalno pozicioniranje (engl. Global Positioning System - GPS). GPS prijemnik određuje svoju poziciju preciznim mjerenjem vremena signala kojeg šalju sateliti. Poruke satelita sadrže vrijeme transmisije poruke, preciznu orbitalnu informaciju (efemeridu) i informacije o vremenu i stanju cijele satelitske konstelacije (almanah) [4].

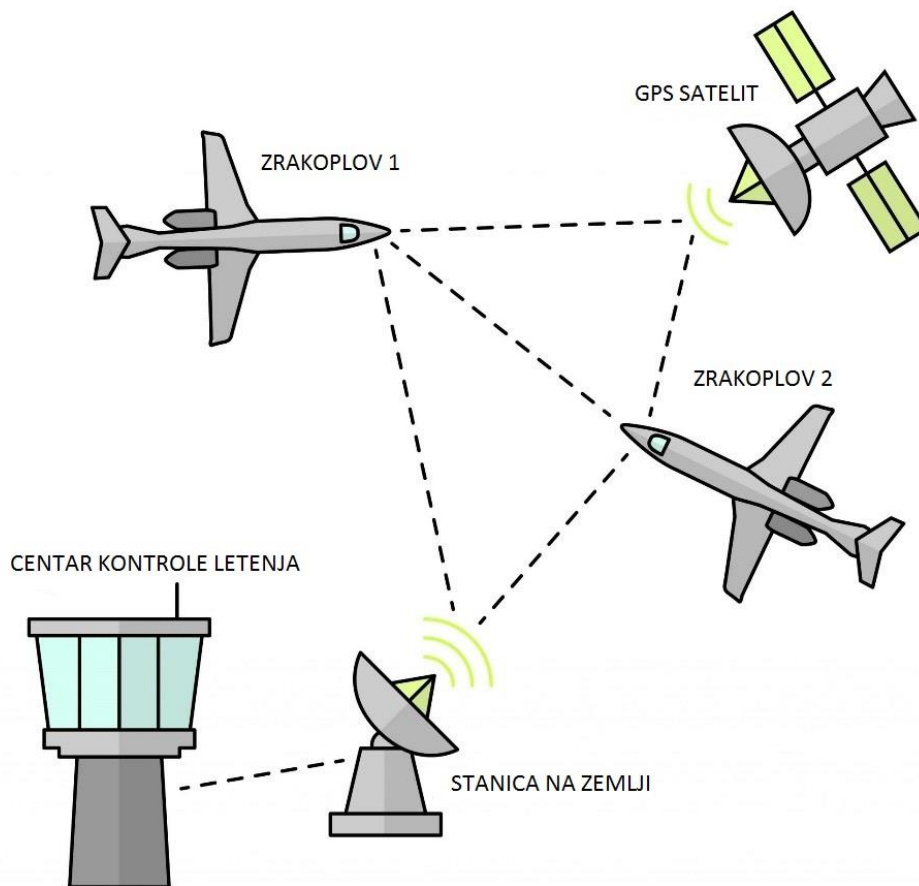
## 2.2. Princip rada

ADS obuhvaća koordinaciju triju komponenti; komponente na zemlji, u zraku te satelita (Slika 1.). Važno je naglasiti da za funkcioniranje sustava nije obvezna satelitska komponenta. Sustav koristi signale GPS-a s ciljem kontinuiranog emitiranja relevantnih podataka o zrakoplovu prvenstveno kontrolorima leta, ali i ostalim korisnicima [5]. Kako bi GPS sustav mogao odrediti njegovu poziciju, zrakoplov mora biti opremljen prijemnicima i odgovarajućom opremom.

Stanica na zemlji šalje satelitu upit o zrakoplovu u SHF frekvencijskom području potom satelit zahtjev prosljeđuje željenome zrakoplovu u UHF (engl. Ultra High Frequency) frekvencijskom području. Kada zrakoplov prepozna zahtjev, njegov FMS sustav koji prikuplja i sadrži podatke, iste šalje satelitu gdje se oni provjeravaju i usklađuju te se šalju stanici na zemlji. Stanica na zemlji podatke šalje centrima za kontrolu zračnog prometa određenom komunikacijskom vezom [2]. Komunikacija između zrakoplova i stanice na zemlji odvija se u VHF području na dva načina: UAT (engl. Universal Access Transceiver) na 978 MHz ili na 1090 MHz mod „S“ transpondera ES (engl. Extended Squitter) [6]. Komunikacija preko UAT-a omogućuje usluge prometnog informiranja (engl. Traffic Information Service – Broadcast –

TIS-B) i usluge informacije u letu (engl. Flight Information Services – Broadcast – FIS-B) koje sadrže informacije o vremenu, NOTAM-ima (engl. Notification to Airmen), ATIS-u (engl. Automatic Terminal Information Service) i drugo.

Mod „S“ transpondera ES pruža podatke o poziciji, brzini, predviđenom vremenu dolaska na točke i planiranu rutu leta, kompatibilan je s TCAS (engl. Traffic Collision Avoidance System) sustavom te podržava TIS-B sustav za nadzor prometa [7]. Kontrolorima se tako na zaslonima prikazuju podaci o identifikaciji, četverodimenzionalnoj poziciji, brzini penjanja i spuštanja, putna brzina, stvarna brzina, postavke transpondera i ostalo.



Slika 1. Princip rada ADS sustava, [8]

### 3. ADS-B I ADS-C SUSTAV

Dva su osnovna tipa automatskog sustava nadzora zračnog prometa. To su ADS-B (engl. Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) i ADS-C (engl. Automatic Dependent Surveillance-Contract). Osnovna razlika između navedena dva sustava je što ADS-B kao što mu sam naziv govori neovisno o zahtjevu kontrolora emitira podatke, dok ADS-C podatke šalje na zahtjev.

ADS-B je način nadzora pri čemu se prenose parametri kao što su pozicija, putanja i brzina zrakoplova neprekidnim odašiljanjem u određenim intervalima. Nije dio ATN-a (engl. Aeronautical Telecommunications Network) niti služi kao zamjena za ACARS (engl. Aircraft Communications Addressing and Reporting System). ADS-B ima dvije funkcije: „ADS-B In“ i „ADS-B Out“. „ADS-B In“ funkcija za sada je neobvezna, a omogućuje zrakoplovu da prima informacije o prometu i trenutnim vremenskim uvjetima na zaslonu u zrakoplovu. Pruža preciznije podatke od TCAS-a jer daje podatke o poziciji, brzini, visini i vektorima drugih zrakoplova u zraku te stoga uz vertikalnu omogućuje i lateralnu separaciju. „ADS-B Out“ glavna je funkcija koja zrakoplovu omogućuje emitiranje pozicije, brzine i visine kontrolorima leta i drugim zrakoplovima koji sudjeluju u prometu, a opremljeni su „ADS-B In“ opremom. Do 1. siječnja 2020. svi zrakoplovi moraju biti opremljeni ADS-B Out opremom [9].

Kod ADS-C sustava zrakoplov šalje podatke na zahtjev stanice na zemlji. Poruke uvijek sadrže određene podatke, dok dodatni, neobvezni podaci ovise o zahtjevu. Raspoloživi podaci su: pozicija zrakoplova, visina, brzina, navigacijski elementi i meteorološki podaci. Posada u zrakoplovu gašenjem funkcije ADS-C može ograničiti i poništiti izmjenu podataka sa stanicom na zemlji. Periodični ugovor, ugovor potražnje i ugovor događaja tri su oblika ADS-C zahtjeva.

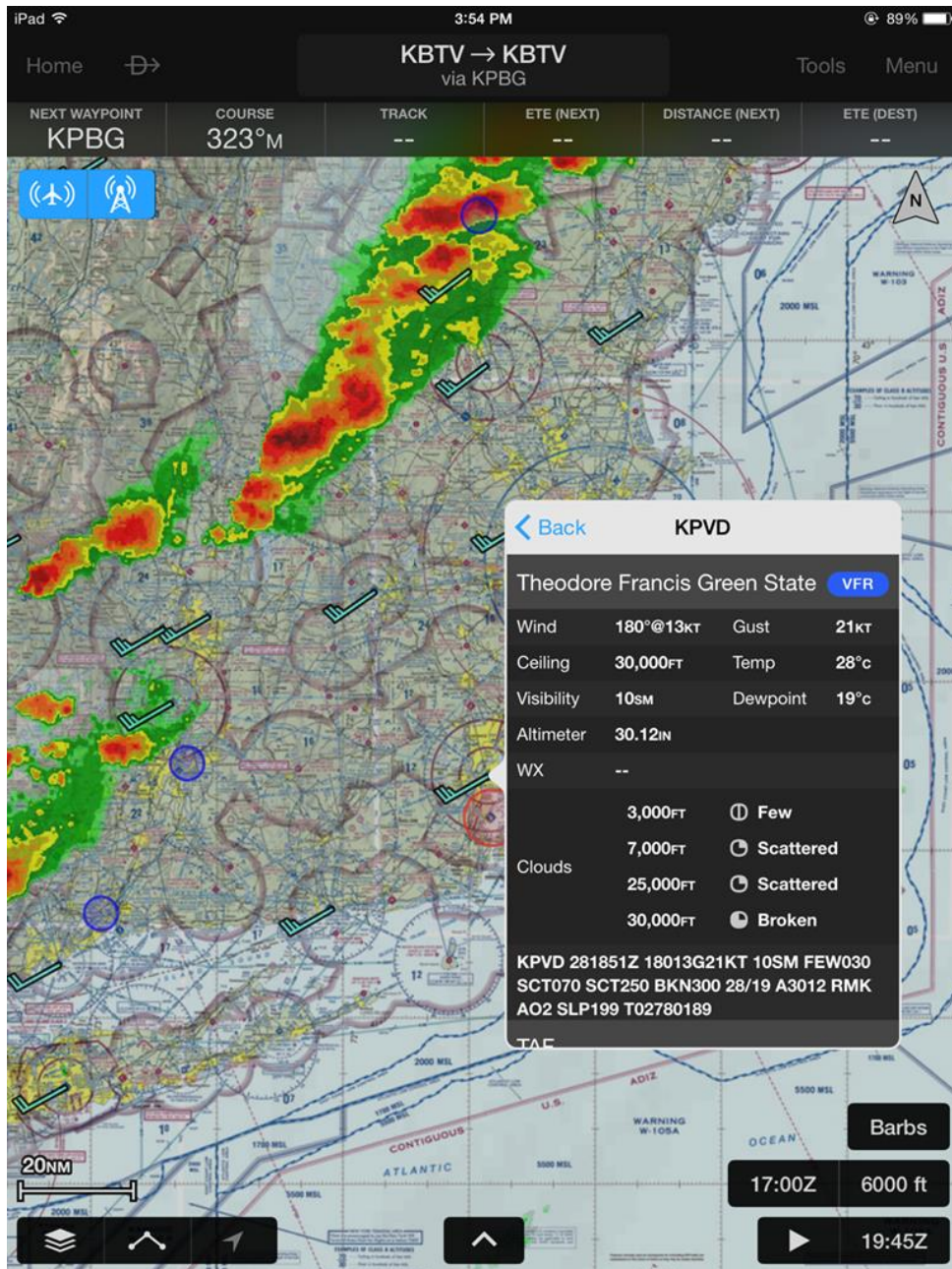
Periodični ugovor omogućuje pružateljima usluga zračnog prometa da odrede vremenski period u kojemu će zrakoplov slati odgovor na njihov zahtjev te dodatne grupe podataka koje će biti uključene u povratnu informaciju. Ugovor potražnje šalje se jedanput te ne poništava niti mijenja prethodno „ugovorene“ zahtjeve. Omogućuje i slanje izvješća o hitnosti, a inicira ga posada u zrakoplovu; ručnim podešavanjem ADS-C funkcije ili podešavanjem drugih sustava za uzbunjivanje. Nakon slanja izvješća o hitnosti, počinje kontinuirano slanje podataka sve dok se funkcija hitnosti ne isključi. Ugovor događaja

omogućuje izmjenu informacija za određene situacije npr. izvještaj o zrakoplovu koji je prošao određenu točku (engl. waypoint change event), izvještaj o zrakoplovu koji je popeo/spustio više od dopuštenog (engl. level range deviation event), izvještaj o zrakoplovu koji odstupa više od dopuštene lateralne udaljenosti (engl. lateral deviation event) i izvještaj o zrakoplovu koji mijenja vertikalnu brzinu (engl. vertical rate change event) [10].

Međunarodna kompanija specijalizirana za GPS tehnologiju Garmin razvila je mobilnu aplikaciju koja omogućuje prikaz ADS podataka kao što su prometna situacija i meteorološke informacije (Slika 2. i Slika 3.)



Slika 2. Mobilna aplikacija Garmin;-prikaz prometa korištenjem ADS sustava, [11]



Slika 3. Mobilna aplikacija Garmin;- prikaz meteoroloških podataka korištenjem ADS sustava, [11]

## 4. PREDNOSTI I NEDOSTACI SUSTAVA AUTOMATSKOG NADZORA ZRAČNOG PROMETA

ADS se smatra glavnim sustavom nadzora zračnog prometa u budućnosti jer su njegove prednosti mnogobrojne. Kao što je već spomenuto, ADS sustav koristi se sve više te služi kao dobra zamjena za radare zbog jednostavnije i jeftinije implementacije, od samog postavljanja do održavanja, stoga se prvenstveno postavljao na teško dostupna i prometom manje opterećena područja. Daje preciznije podatke od prijašnjih sustava nadzora te omogućuje postavljanje manje separacijske norme što za posljedicu ima povećanje kapaciteta koje je neophodno razvojem prometne potražnje. Opremanje zrakoplova ovim sustavom nije zahtjevno jer je već kompatibilan s mnogim sustavima. Pouzdaniji je od radara te njegov domet ne ovisi o meteorološkim uvjetima. Nije sklon slabljenju, refleksiji i višestaznom rasprostiranju signala kao konvencionalni radar pa se koristi i za nadzor prometa na aerodromu. Zbog svih parametara koji su raspoloživi korištenjem ovog sustava, radno opterećenje kontrolora leta se smanjilo. Bitno je naglasiti da za funkcioniranje ovog sustava nije potrebna satelitska komponenta što također olakšava njegovo funkcioniranje. Ukoliko je zrakoplov opremljen opremom koja omogućuje funkciju kao što je npr. „ADS-B In“ koja daje dodatne informacije o prometu i vremenu, time se omogućava povećavanje razine sigurnosti i jednostavnije održavanje separacije na područjima koji nisu opremljeni radarom. U slučaju nesreća olakšava obavljanje potrage i spašavanja jer daje točniju zadnju poznatu poziciju zrakoplova unutar trideset stopa.

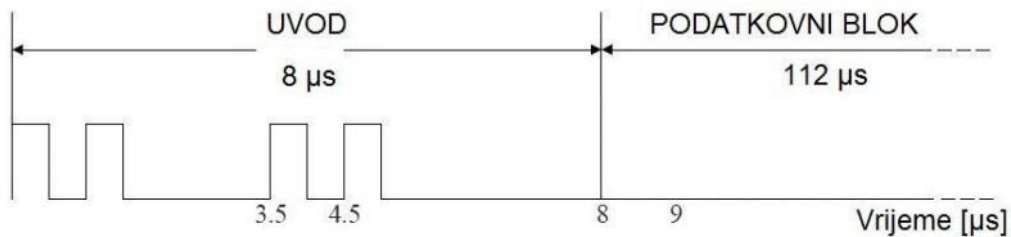
Kao i kod svakoga sustava, tako i ovaj ima nekoliko nedostataka. Glavna mana ovoga sustava je mogućnost probijanja njegova koda. Stjecanje neovlaštenog pristupa može biti posebno opasno ukoliko postoje namjere s ciljem ugrožavanja sigurnosti putnika, pilota, ali i ljudi na zemlji. Korištenje frekvencije s transponderima modova A, C i S te TCAS-om smatra se nedostatkom jer razvojem prometa postoji mogućnost da sustav postane preopterećen [12]. Kao i svi sustavi podložan je greškama koje su svedene na minimum. Kako bi se spriječile moguće greške u prijenosu podataka razvijen je zaštitni kod koji je detaljnije objašnjen u Poglavlju 6.

## 5. DEKODIRANJE ADS-B PORUKE

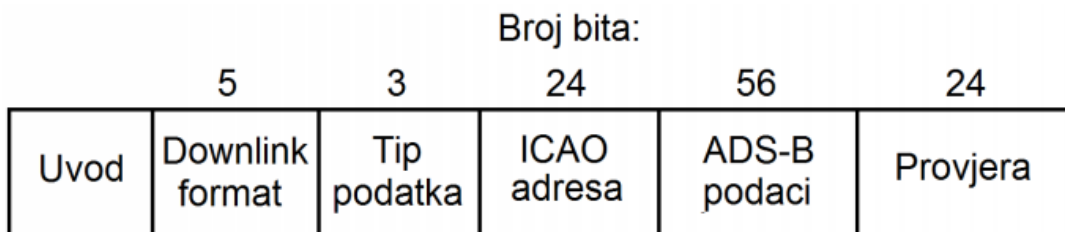
Pravilno dekodiranje ADS-B poruke od iznimnog je značaja za dobivanje točnih podataka o zrakoplovu. Samo dekodiranje provodi se u nekoliko koraka koji su detaljnije objašnjeni u ovom poglavlju.

### 5.1. Struktura poruke

ADS-B poruka sastoji se od 112 bita grupiranih u 5 kategorija (Slika 5.). Samom sadržaju poruke prethodi uvod (engl. Preamble). Uvod je sačinjen od 8 bitova koji su modulirani impulsno pozicijskom modulacijom (eng. Pulse-Position Modulation - PPM). To je signal odašiljan u prvoj ili drugoj polovici perioda od osam milisekundi, prikazujući binarni 1 ili 0 [6]. Uvod sadrži 4 pulsa dužine 0,5  $\mu$ s te je njegova svrha vremenska sinkronizacija sa zrakoplovom (Slika 4.).



Slika 4. Struktura ADS-B poruke, [13]



Slika 5. Uvod ADS-B poruke, [13]

ADS-B poruka započinje s „Downlink format“ dekadskim brojem 17 ili u slučaju TIS-B poruka brojem 18, odnosno binarnim zapisom 10001 ili 10010. Sljedeća tri bita definirana su tipom podataka tj. služe za dodatnu identifikaciju te prikazuju mogućnosti zrakoplova (engl. Capability). ICAO adresa sastoji se od 24 bita te se pomoću nje zrakoplov identificira. Jedinstvena ICAO adresa dodjeljuje se svakom transponderu kako ne bi došlo do dupliciranja

kodova. Sljedećih 56 bitova daje najvažnije informacije odnosno parametre kao što su pozicija, visina i brzina. Budući da poruka može sadržavati različite podatke koji trebaju biti prepoznati, raspon od 33. do 37. bita daje informaciju o sadržaju podatkovnog bloka (engl. Data Frame ili engl. Data Block). Zadnjih 24 bita (engl. Parity check) služi za provjeru točnosti primljenih podataka [13]. Podjela poruka i bitova prikazana je u Tablici 1.

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

Bajt	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	Sposobnost
9	32	ICAO24	ICAO identifikacija zrakoplova
33	88	DATA	Podatkovni blok
89	112	PC ili PI	Provjera pariteta

Izvor: [13]

## 5.2. Tipovi poruka

Tipovi poruka (engl. Type code) razlikuju se ovisno o sadržaju te daju informaciju o podacima koji su uključeni u podatkovni blok. Zauzimaju raspon od 33. do 37. bita, odnosno prvih 5 bita kategorije ADS-B podataka. Njihove vrijednosti i značenja prikazani 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: [13]



### 5.3. Identifikacija zrakoplova

Pozivni znak zrakoplova je skupina alfanumeričkih znakova koji omogućuju identifikaciju zrakoplova u svrhu komunikacije. Obvezan je te je svakome zrakoplovu dodijeljen jedinstveni pozivni znak kako ne bi došlo do njihova dupliciranja i mogućnosti zabune. Poruka koja sadrži podatke o identifikaciji zrakoplova započinje s dekadskim brojem 17 „Downlink format“ te „Type code“ od 1 do 4.

Primjer poruke u heksadecimalnom numeričkom sustavu:

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

Primjer poruke u binarnom obliku:

DF	CA	ICAO identifikacija zrakoplova	Type code		Podatkovni blok	Provjera
10001	101	01001000010 0000011010110	00100	000	0010110011000011011 1000111000011001011 0011100000	0101011101100000 10011000

Gledajući binarni zapis navedenog primjera poruke, ona započinje s „10001“ u „Downlink formatu“ što daje dekadskih 17, zatim Type code „00100“ govori da je riječ o identifikaciji zrakoplova.

Nakon prepoznavanja tipa podataka slijedi dekodiranje podatkovnog bloka. U heksadecimalnom obliku zapis je sljedeći „202CC371C32CE0“. Njegovim pretvaranjem u binarni, potom dekadski sustav dobiju se slova i brojevi (Tablica 3.). Dekadski broj odgovara rednom broju znaka ili slova iz niza [13]:

**#ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ#####\_#####0123456789#####.**

Vrijedi:

- A – Z : 1 – 26;
- 0 – 9 : 27 – 32;
- \_ : 33.

Tablica 3. Postupak očitavanja identifikacije zrakoplova

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

Izvor: [13]

Dekodiranjem ovog primjera podatkovnog bloka prikazanim načinom dobiveno je da „202CC371C32CE0“ odgovara pozivnom znaku „KLM1023\_“.

#### 5.4. Pozicija zrakoplova

Poruka o poziciji zrakoplova započinje s dekadskih 17 „Downlink format“ te „Type code“ od 9 do 18. Značenje bitova u poruci pozicije prikazani su u Tablici 4.

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: [13]

Postoje dvije vrste poruka o poziciji zrakoplova, to su neparni okvir (engl. odd frame) i parni okvir (engl. even frame) koji se emitiraju naizmjenično. Pedeset četvrti bit „frame“ poruke određuje parnost odnosno neparnost poruke; 0 označava parnu, a 1 neparnu poruku. Korištenjem ovih poruka, pozicija zrakoplova može se odrediti na dva načina:

- kada je pozicija nepoznata, korištenjem obiju poruka;
- kada je poznata prethodna pozicija, korištenjem jedne od poruka.

Pozicija zrakoplova određuje se po mreži zemljopisnih dužina (eng. Longitude - LON) i zemljopisnih širina (eng. Latitude - LAT).

#### 5.4.1. „Compact Position Reporting“ metoda pozicioniranja

Glavni cilj „Compact Position Reporting“ je omogućiti dešifriranje više koordinatnih decimala korištenjem manjeg broja bitova. Kod ove metode pozicioniranja zemlja je prekrivena mrežom što uzrokuje kompleksnost, ali i veću preciznost.

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

Funkcija „floor(x)“ naziva se još i funkcija najvećeg cijelog broja, daje najveći cijeli broj koji nije veći od x. Na primjer floor(5.6) = 5, a floor(-5.6) = -6.

Funkcija mod (x,y) ima vrijednost:

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

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. Vrijedi:

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

gdje su veličine izražene kao:

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

Za sljedeće vrijednosti zemljopisne širine rezultati iznose:

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

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

Izvor: [13]

Kalkulacija zemljopisne širine i dužine temelji se na CPR metodi, određivanjem parne i neparne funkcije. Poruke su sačinjene od 17 bitova, a najveća vrijednost iznosi 131072 [13]. Dobiveni rezultat je u postocima.

Tablica 6. Postupak računanja pozicije CPR metodom

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

Izvor: [13]

Prvi korak sastoji se od pretvorbe binarne poruke u dekadski oblik, zatim dijeljenja s najvećom vrijednosti, odnosno 131072, pri čemu se rezultat dobije u postocima.

Binarni	Dekadski	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

Nakon kalkulacije dobiveni rezultati iznose [13]:

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

Za indeks zemljopisne širine „j“ vrijedi:

$$j = \text{floor}(59 * \text{lat}_{CprEven} - 60 * \text{lat}_{CprOdd} + 0, 5);$$

gdje su veličine izražene kao:

- $j$  = indeks zemljopisne širine;
- $\text{lat}_{CprEven}$  = vrijednost zemljopisne širine za parnu poruku;
- $\text{lat}_{CprOdd}$  = vrijednost zemljopisne širine za neparnu poruku.

Uvrštavanjem podataka iz navedenog primjera, dobiven je rezultat  $j = 8$ .

#### 5.4.2. Zemljopisna širina

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

$$\text{Lat}_{Even} = \text{DLat}_{Even} * (\text{mod}(j, 60) + \text{Lat}_{CprEven});$$

$$\text{Lat}_{Odd} = \text{DLat}_{Odd} * (\text{mod}(j, 59) + \text{Lat}_{CprOdd});$$

gdje su veličine izražene kao:

- $j$  = indeks zemljopisne širine;
- $\text{Lat}_{CprEven}$  = vrijednost zemljopisne širine za parnu poruku;
- $\text{Lat}_{CprOdd}$  = vrijednost zemljopisne širine za neparnu poruku;
- $\text{DLat}_{Even}$  = konstanta (a);
- $\text{DLat}_{Odd}$  = konstanta (b).

Vrijednosti dviju konstanti  $\text{DLat}_{Even}$  i  $\text{DLat}_{Odd}$  iznose:

$$\text{DLat}_{Even} = \frac{360}{4 * NZ} = \frac{360}{60};$$

$$\text{DLat}_{Odd} = \frac{360}{4 * NZ - 1} = \frac{360}{59};$$

Za južnu hemisferu rezultati vrijednosti su između 270 i 360 stupnjeva, ali vrijednosti moraju biti između -90 i +90. Ako vrijednosti  $Lat_{Even}$  i  $Lat_{Odd}$  prelaze 270 od tih se vrijednosti oduzima 360:

$$Lat_{Even} = Lat_{Even} - 360;$$

$$Lat_{Odd} = Lat_{Odd} - 360;$$

U pretposljednem koraku odabire se konačna zemljopisna širina prema vremenskom kriteriju.

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

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

gdje su veličine izražene kao:

- $Lat$  = 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.

Budući da je parna poruka uspoređujući vrijeme, primljena posljednja, uzima se njezina vrijednost te rezultat iznosi **52.25720**.

- $Lat\_EVEN = 52.25720214843750$ .
- $Lat\_ODD = 52.26578017412606$ .
- **$Lat = Lat\_EVEN = 52.25720$** .

Provjera usklađenosti poruka odvija se u posljednjem koraku. Nakon izračuna parna NL ( $Lat\_E$ ) i neparna NL ( $Lat\_O$ ) moraju biti jednake. Ako nisu jednake nije moguće utvrditi točnu zemljopisnu širinu. Tada sustav čeka nove poruke o poziciji pri čemu one moraju biti usklađene rezultatom nakon čega slijedi daljnji izračun i utvrđivanje zemljopisne dužine [13].

### 5.4.3. Zemljopisna dužina

Sustav u prvom koraku izračunava zemljopisne dužine na temelju vremenskog kriterija, odnosno kojim su redoslijedom poruke stigle. Moguća su dva slučaja; kada parna poruka dođe zadnja i kada neparna poruka dođe zadnja [13].

Za slučaj da je parna poruka došla zadnja vrijedi:

$$T\_EVEN > T\_ODD;$$

$$ni = \max(NL(Lat_{Even}), 1);$$

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

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

$$Lon = DLon \times (\text{mod}(m, ni) + Lat_{cprEven}).$$

Za slučaj da je neparna poruka došla zadnja vrijedi:

$$T\_EVEN < T\_ODD;$$

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

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

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

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

Ako je dobiveni rezultat veći od 180 stupnjeva, potrebno je obaviti korekciju:

$$Lon = Lon - 360.$$

Dobiveni rezultat tada iznosi **3.91937** stupnjeva istočne zemljopisne dužine.

## 5.5. Visina

Visina zrakoplova očitava se iz podatkovnog bloka. Četrdeset i osmi bit koji se nalazi unutar podatkovnog bloka naziva se „Q-bit“. On daje informaciju u kojoj je veličini kodirana visina. Ako 48. bit ima vrijednost 1, vrijednost se množi s 25 stopa dok 0 znači da se vrijednost množi sa 100 stopa. U primjeru je „1100001 1 1000“ sadržaj podatkovnog bloka iz čega slijedi da „Q-bit“ iznosi 1. Pretvaranjem binarnog zapisa u dekadski dobije se vrijednost koja se množi s 25 i od koje se oduzima 1000. Koraci dobivanja podatka o visini prikazani su u Tablici 7.:

Tablica 7. Postupak dobivanja podatka o visini

Korak	Podatak	Objašnjenje postupka
1.	1100001 1 1000	Lociramo „Q-bit“.
2.	$X = 1100001\ 1000$ (Binarno) = 1560 (Dekadski)	Zanemarimo „Q-bit“ i pretvorimo vrijednost iz binarne u dekadsku.
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.

U navedenom primjeru dobivena visina zrakoplova iznosi 38 000 stopa, odnosno 11582,4 m.

Konačna pozicija zrakoplova iznosi:

- 52° 15' 26 " sjeverne zemljopisne širine;
- 3° 55' 9,7314" istočne zemljopisne dužine;
- Visina 38 000 ft = 11582,4 m.

## 5.6. Brzina zrakoplova

Poruka koja sadrži informaciju o brzini zrakoplova ima „Downlink format“ u vrijednosti 17 i „Type code“ u vrijednosti 19. Definirana su četiri podtipa poruka. Podtipovi poruke 1 i 2



sadrže informaciju o brzini zrakoplova s obzirom na zemlju, dok podtipovi 3 i 4 sadrže zračnu brzinu zrakoplova. Najčešće se koriste poruke podtipa 1. Podtip se očitava iz 38., 39. i 40. bita.

Za podzvučne brzine koristi se podtip poruke 1, a za nadzvučne brzine podtip 2. Podatak o brzini sadrži informacije o brzini i pravcu zrakoplova koji su izraženi u komponentama sjever-jug i istok-zapad.

Podjela informacija po bitovima i sadržaju prikazana je u Tablici 8.

Tablica 8. Podjela informacija u podatkovnom bloku visine

Bit	Broj bitova	Kratica	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: [13]

Kako bi se poruka mogla očitati, heksadecimalni zapis iz Tablice 9. potrebno je pretvoriti u binarni te korištenjem Tablice 8. odrediti sadržaj poruke.

Tablica 9. Sadržaj primljene poruke

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

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

<b>Data (Nastavak prijašnje poruke)</b>						
H-s	Hdg	AS-t	AS	VrSrc	S-Vr	Vr
1	10101110110	1	0101111000	1	1	000100101

<b>Data (Nastavak prijašnje poruke)</b>			<b>CRC</b>
RESV_B	S-Dif	Dif	CRC
00	0	0000000	11001011111000011001111111

Izvor: [13]

### 5.6.1. Horizontalna brzina

Za određivanje horizontalne brzine potrebno je znati slijedeće podatke: istok-zapad brzina  $V(ew)$ , znak istok-zapad  $S(ew)$ , sjever-jug brzina  $V(ns)$ , znak sjever-jug brzine  $S(ns)$ . Iz znakova istok-zapad i sjever-jug dobiva se informacija o smjeru leta kao što je prikazano u Tablici 10.:

Tablica 10. Vrijednosti za horizontalnu brzinu

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

Za slučaj brzine istok-zapad vrijedi:

- kada zrakoplov leti od istoka prema zapadu vrijednost je 1 te vrijedi formula:

$$V(we) = -1 \times [V(ew) - 1];$$

- kada zrakoplov leti od zapada prema istoku vrijednost je 0 te vrijedi formula:

$$V(we) = V(ew) - 1.$$

Za slučaj brzine sjever-jug vrijedi:

- kada zrakoplov leti od sjevera prema jugu vrijednost je 1 te vrijedi formula:

$$V(sn) = -1 \times [V(ns) - 1];$$

- kada zrakoplov leti od juga prema sjeveru vrijednost je 0 te vrijedi formula:

$$V(ns) - 1.$$

Konačna brzina dobije se iz izraza:

$$v = \sqrt{V_{we}^2 + V_{sn}^2};$$

gdje su veličine izražene kao:

- $v$  = brzina u čvorovima;
- $V_{we}$  = komponenta brzine istok-zapad;
- $V_{sn}$  = komponenta brzine sjever-jug.

Konačni pravac leta „h“ (engl. Heading) dobije se iz izraza (u stupnjevima):

$$h = \arctan\left(\frac{V_{we}}{V_{sn}}\right) \cdot \frac{360}{2\pi}.$$

Ako se rješavanjem ovog izraza dobije negativna vrijednost rezultatu je potrebno dodati 360 stupnjeva:

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

Pri kodiranju dvije su brzine koje se prikazuju u zrakoplovu, indicirana brzina (eng. Indicated Airspeed - IAS) i stvarna brzina (eng. True Airspeed - TAS). IAS je brzina koju prikazuje brzinomjer kod kojega je izvršena korekcija za mehaničku grešku instrumenata koja se pojavljuje zbog unutarnjeg trenja pojedinih dijelova, dok je TAS brzina koja se dobiva kad se na temelju ekvivalentne brzine obavi korekcija zbog gustoće zraka [14]. Vrijednost u „AS-t“ polju daje informaciju o kojoj je brzini riječ, tako 0 predstavlja indiciranu brzinu IAS, dok vrijednost 1 predstavlja pravu zračnu brzinu TAS. U „AS“ odnosno „Airspeed“ polju pretvorbom binarnog zapisa 0101111000 u dekadski dobije se 376 čvorova.

### 5.6.2. Vertikalna brzina

Vrijednost polja „S-Vr“ daje informaciju ovisno o tome da li zrakoplov penje ili spušta. Vrijednost 0 znači da zrakoplov penje, a 1 da spušta tj. visina mu se smanjuje. U primjeru iz Tablice 8. pretvorbom binarnog „000001110“ u dekadski broj dobije se rezultat 14 od kojih je potrebno oduzeti 1 te pomnožiti sa 64. Rezultat odnosno promjena vertikalne brzine je tada dobivena u jedinici stopa po minuti (eng. Feet/minute). Izračun primjera bio bi sljedeći:  $(14 - 1) \times 64 = 832 \text{ fpm}$ , a vrijednost u polju „S-Vr“ iznosi 1 što znači da spušta navedenom brzinom. Vrijednost 0 u polju „VrSrc“ znači mjerenje prema barometarskoj visini, dok 1 predstavlja geometrijsku promjenu visine.

### 5.7. Pravac leta zrakoplova

U polju „H-s“ mogu stajati dvije vrijednosti, 0 ili 1. Nula označava da podaci o pravcu leta (engl. Heading) nisu raspoloživi, dok jedinica znači da su raspoloživi. Desetobitni zapis u polju „Hdg“ je zapravo vrijednost pravca leta u stupnjevima koji se dobije pretvorbom u dekadsku vrijednost, zatim dijeljenjem s 1024 te množenjem s 360. Za određivanje smjera leta definirana je sljedeća formula:

$$\textit{Heading} = \textit{Decimal}(\textit{Hdg}) \div 1024 \times 360^\circ.$$

Iz primjera, pretvorbom „1010110110“ u dekadski dobije se rezultat 694. Uvrštavanjem u formulu dobije se:  $\textit{Heading} = 694 \div 1024 \times 360^\circ = 243,98^\circ$ .

### 5.8. Preciznost sustava

Podaci koje koristi ADS sustav ovise o satelitskoj komponenti. Definirane su četiri kategorije koje opisuju preciznost, cjelovitost podataka i izvora i neodređenost podataka. NICp (engl. Navigation Integrity Category – Position) su podaci za određivanje pozicije, a NACv (engl. Navigation Accuracy Category – Velocity) za određivanje brzine. Za NICp vrijednosti se očitavaju iz polja „Rc“ (engl. Horizontal Containment Radius limit), a za NACv vrijednost „HFOM“ (engl. Horizontal Figure of Merit). NICp je kodiran od 5. do 8. bita s vrijednostima od osam do jedanaest i nulom.

Tablica 11. Podjela kategorija preciznosti

Kratica	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: [15]

Kategorije NACv su od 0 do 4 te za svaku kategoriju dodijeljena je vrijednost za grešku horizontalne brzine (Tablica 12.). U NACv kategoriji sustav zadržava 95 % preciznosti za nominiranu brzinu. GVA (eng. GVA - Geometric Vertical Accuracy) je geometrijska vertikalna preciznost koja je kodirana u 2 bita, vrijednosti od 0 do 2. U sljedećim tablicama prikazane su kategorije NACv, NACp i GVA i njihove vrijednosti.

Tablica 12. NACv kategorije i preciznost

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

Izvor: [15]

Tablica 13. GVA kategorija i preciznost

GVA kategorija	Preciznost [m]
0	$>150$ m ili nepoznato
1	$\leq 150$ m
2	$\leq 45$ m

Izvor: [15]

Tablica 14. NACp kategorija i efektivni radijus

NACp kategorija	Radijus 95% točnosti [NM] i [m]
0	$\geq 10$ 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

NACp kategorija	Radius 95% točnosti [NM] i [m]
9	< 30 m
10	< 10 m
11	< 3 m

Izvor: [15]

Tablica 15. 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: [15]

## 6. ANALIZA MOGUĆNOSTI POGREŠKE ADS-B PORUKE

Budući da se komunikacija ADS-B sustava odvija digitalnim putem, ADS je sustav koji je unatoč velikoj preciznosti ipak sklon pogreškama. Različiti su uzroci pojave pogrešaka kao i njihove posljedice i načini otklanjanja. Zbog važnosti poruka koje se izmjenjuju, vjerojatnost pogrešaka mora biti svedena na minimum.

### 6.1. Uzrok, vrste i posljedice potencijalne greške

ADS je kompleksan sustav čija preciznost ovisi o elementima kao što su navigacija, komunikacija i njegovi korisnici. Do pogreške može doći u svakoj fazi, od proizvodnje zrakoplova i navigacijskih sustava, učitavanja i procesiranja elemenata u zrakoplovu do prijema i procesiranja stanice na zemlji [16] kao što je prikazano u Tablici 16.

Najčešće vrste potencijalne greške podijeljene su u četiri kategorije:

- avionika;
- stanice na zemlji;
- ljudski čimbenik;
- vanjski utjecaji.

Tablica 16. Najčešći uzroci pogrešaka ADS poruka

Uzrok	Karakteristike	Posljedice	Rješenje
Smanjenje preciznosti opreme zrakoplova	Slanje netočnih podataka o poziciji	Mogućnost narušavanja separacije	Rutinsko održavanje i testiranje avionike
Greške GPS prijemnika	Slanje nepreciznih podataka o poziciji uzrokovanih neredovitim održavanjem sustava.	Mogućnost narušavanja separacije	Dodatni GPS prijemnik služi kao rezerva u slučaju otkaza ili kvara
Kvar GPS sustava za vrijeme	Gubitak vremenske sinkronizacije	Netočni podaci koji utječu na sve zrakoplove	Uvođenje mehanizama za provjeru točnosti podataka

Kvar ADS-B antene	Emitiranje netočnih podataka	Mogućnost narušavanja separacije	Stanica na zemlji i u zraku obvezne imati mehanizam za provjeru integriteta podataka ADS-B sustava
<u>Emitiranje netočnih podataka zbog njihova oštećenja prilikom prijenosa</u>	Značajna greška u prikazanoj poziciji zrakoplova	Mogućnost narušavanja separacije	Stanica na zemlji i u zraku obvezne imati mehanizam za provjeru integriteta podataka ADS-B sustava
Namjerna ili nenamjerna RF interferencija	Prekidanje signala i šum mogu uzrokovati distorziju podataka	Greška prikazane pozicije može dovesti do narušene separacije	Stanica na zemlji i u zraku obvezne imati mehanizam za provjeru integriteta podataka ADS-B sustava
Greška ADS-B odašiljača/transpondera	Značajna greška u prikazanoj poziciji zrakoplova	Mogućnost narušavanja separacije	Stanica na zemlji i u zraku obvezne imati mehanizam za provjeru integriteta podataka ADS-B sustava
Kvar kodera za visinu	Prijenos netočne visine ADS-B odašiljaču	Netočni podaci o visini predani ADS-B odašiljaču	Rutinsko održavanje i testiranje avionike
Kvar u procesu dekodiranja podataka u ADS-B odašiljaču	Emitiranje netočnih podataka ADS-B odašiljačem zbog oštećenja podataka	Mogućnost narušavanja separacije	ADS-B software za testiranje i otklanjanje grešaka u svrhu identifikacije i rješavanja kvarova
Namjerno ili nenamjerno prigušivanje GPS transmisija satelita	ADS-B odašiljač gubi podatke o poziciji te prekida slanje ADS-B podataka	Povećavanje radnog opterećenja zbog prijelaza na proceduralnu kontrolu	Rezervni navigacijski sustavi (npr. INS – Inertial Navigation System)
Kvar satelita	Mogući gubitak ADS-B usluge	Putanja zrakoplova se neće prikazivati na ATC zaslonima, povećavanje radnog opterećenja	Rezervni navigacijski sustavi (npr. INS – Inertial Navigation System)



		zbog prijelaza na proceduralnu kontrolu	
Kvar GPS prijemnika	Podaci o poziciji se ne šalju ADS-B odašiljaču	Povećavanje radnog opterećenja zbog prijelaza na proceduralnu kontrolu i revidiranje prometa	Rezervni navigacijski sustavi (npr. INS – Inertial Navigation System) ili dodatni GNSS prijemnik
Namjerno ili nenamjerno prigušivanje ADS-B transmisija	Iznenadan gubitak ADS-B podataka	Povećavanje radnog opterećenja zbog prijelaza na proceduralnu kontrolu	Razvoj zaštite sigurnosti
Kvar ADS-B transpondera/odašiljača na zrakoplovu	Kontrolor ne prima ADS-B podatke	Povećavanje radnog opterećenja zbog prijelaza na proceduralnu kontrolu	Dodatni ADS-B transponder ili odašiljač
Greška pri dekodiranju podataka na zemaljskoj stanici	Netočna pozicija zrakoplova kada domet prijeđe određenu udaljenost	Mogućnost narušavanja separacije	ADS-B software za testiranje i otklanjanje grešaka u svrhu identifikacije i rješavanja kvarova

Izvor: [16]

U radu je detaljnije analizirano emitiranje netočnih podataka zbog njihova oštećenja prilikom prijenosa. Dva su ishoda oštećenja podataka: izmjena sadržaja ili gubitak podataka čiji su mogući uzroci (Tablica 17.):

- nagli prekid rada;
- bijeli šum (engl. White noise);
- impulsni šum (engl. Impulse noise);
- preslušavanje (engl. Crosstalk);
- jeka (engl. Echo);
- slabljenje signala (engl. Attenuation);
- međumodulacijski šum (engl. Intermodulation noise);
- promjena faze signala (engl. jitter);
- harmonijska izobličenja (engl. Harmonic distortion).

Tablica 17. Uzroci oštećenja podataka

Izvor greške	Uzroci	Rješenje
Nagli prekid rada	Oluje, nezgode	
Bijeli šum	Gibanje elektrona	Povećanje jačine signala
Impulsni šum	Naglo povećanje elektriciteta (pr. munje)	Zaklanjanje ili udaljavanje žica
Preslušavanje	Zaštitni pojasevi multipleksora su premali ili su žice preblizu	Povećanje zaštitnih pojaseva ili zaklanjanje ili udaljavanje žica
Jeka	Slaba veza	Poboljšanje veze ili oprema za podešavanje
Slabljenje	Postepeno slabljenje signala povećanjem udaljenosti	
Međumodulacijski šum	Spajanje signala više izvora	Zaklanjanje ili udaljavanje žica
<i>Jitter</i>	Analogni signali mijenjaju fazu	Oprema za podešavanje
Harmonijska izobličenja	Pojačalo mijenja fazu	Oprema za podešavanje

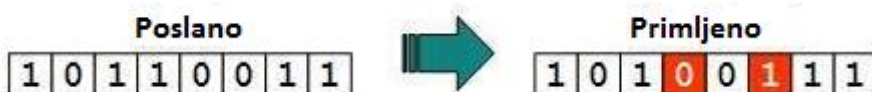
Vrste izmjena podataka su:

- greška jednog bita (engl. Single bit error) – u primljenom sadržaju došlo je do izmjene jednog bita u odnosu na poslani sadržaj (Slika 6.)



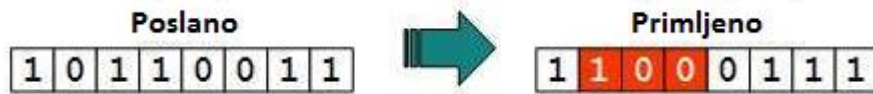
Slika 6. Greška jednog bita, [17]

- greška više bitova (engl. Multiple bits error) – u primljenom sadržaju došlo je do izmjene više nasumičnih bitova u odnosu na poslani sadržaj (Slika 7.)



Slika 7. Greška više nasumičnih bitova, [17]

- greška više uzastopnih bitova (engl. Burst error) – u primljenom sadržaju došlo je do izmjene više uzastopnih bitova u odnosu na poslani sadržaj (Slika 8.)



Slika 8. Greška više uzastopnih bitova, [17]

## 6.2. Zaštitni kod za sprječavanje pogreške

Zaštitni kod formiran je od 24 bita koja slijede nakon 56 bita ADS-B podataka te služi za provjeru točnosti primljenih podataka. Taj raspon od 3 bajta rezerviran je za kod koji pomaže prijemniku da prepozna pogreške u primljenim porukama.

Dvije su metode za kontrolu pogrešaka: *Automatic Repeat Request* (ARQ) i *Forward Error Correction* (FEC). ARQ koristi kod za detektiranje pogreške pomoću *Cyclic redundancy check*-a (CRC) i *Parity check*-a [18]. CRC je tehnika prepoznavanja greške u prijenosu podataka pri čemu se polinomi dijele, njihov ostatak se dodaje poruci te se ona takva šalje. Prijemnik provodi iste operacije i rezultat uspoređuje s onim primljenim. Ovisno o rezultatu odnosno ostatku utvrđuje se postoji li greška u prijenosu. Ako su rezultati isti, prijenos se odvio bez neželjenih izmjena, a ako se rezultati razlikuju, došlo je do izmjene podataka prilikom prijenosa te je poruka oštećena. Konkretno, pri CRC provjeri prvih 88 bitova poruke dijeli se s CRC polinomom generatora koji daje ostatak od 24 bita. Rezultat se tada dodaje na kraj ADS-B podataka (Tablica 18.) te formira cjelokupnu poruku od 112 bita [18].

Tablica 18. Dodavanje zaštitnog koda ADS-B poruci

88-bitna poruka ( $M_t$ )	24 bita $FCS_t$
Ukupno 112 bitova ADS-B poruke	

CRC kodiranje:

$$M_t(x) = x^n + x^{n-1} + \dots + x^1 + 1;$$

$$G(x) = x^k + x^{k-1} + \dots + x^1 + 1;$$

gdje su veličine izražene kao:

- $M_t(x)$  = polinom ADS-B poruke;
- $G(x)$  = polinom CRC generatora.

$FCS_t$  (engl. Frame Check Sequence) je kod koji se dodaje podacima koji se šalju te služi za prepoznavanje pogreške. Prijemnik će prepoznati pogrešku ako kao rezultat dobije različiti ostatak djeljenja. Nakon toga slijedi:

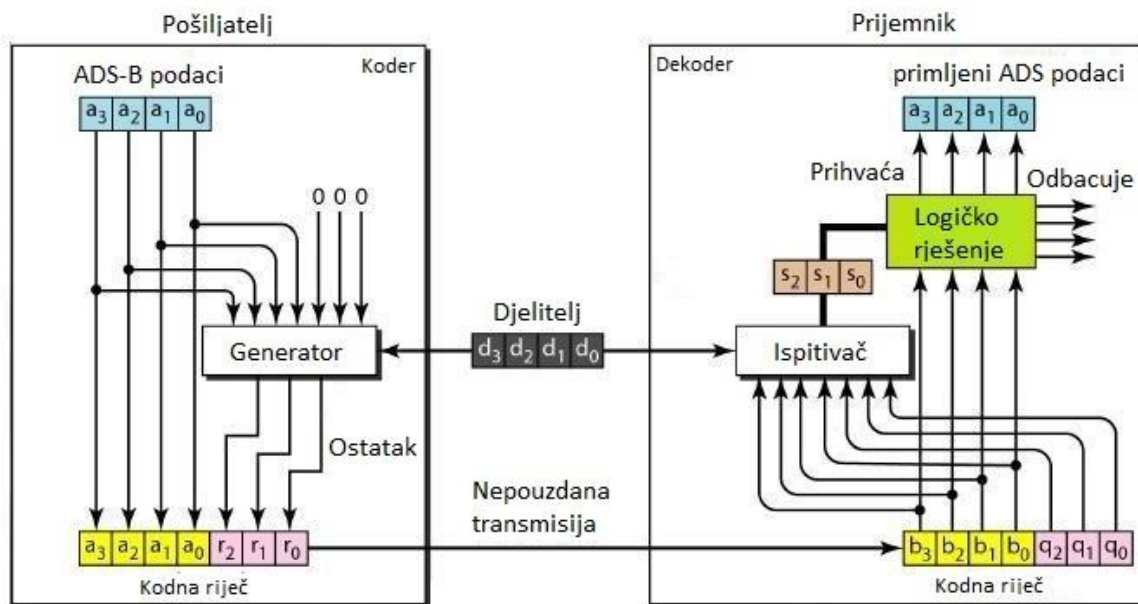
$$M'_t(x) = x^k * M_t(x);$$

gdje je k = broj bitova

$$R_t(x) = \text{mod} \left[ \frac{M'_t(x)}{G(x)} \right].$$

$R_t(x)$  je ostatak dobiven dijeljenjem polinoma ADS-B poruke s polinomom generatora.  $FCS_t$  dobije se obavljanjem funkcije XOR na  $R_t(x)$  s 24-bitnom adresom zrakoplova te se zatim dodaje na kraj ADS-B poruke [18].

Na Slici 9. prikazan je shematski način dekodiranja poruke CRC metodom.



Slika 9. CRC postupak, [18]

*Forward Error Correction* (FEC) je metoda za povećanje pouzdanosti podataka koja korištenjem koda za ispravljanje pogrešaka (engl. Error-Correcting Code - ECC) omogućuje ispravak grešaka prije same transmisije ili pohranjivanja podataka. ECC su zapravo dodatni podaci sadržani u poslanim podacima koji prijemniku omogućuje ispravak pogrešaka bez potrebe za ponovnom transmisijom [19]. Iz toga se razloga FEC metoda koristi u situacijama kada su ponovne transmisije preskupe ili jednostavno nemoguće. Za ADS sustav u slučaju greške sljedeća transmisija davala bi drugačije podatke o poziciji zrakoplova. Najjednostavniji način rada FEC metode je slanje podataka više puta pri čemu se u slučaju nepoklapanja podataka između ponavljanja bira onaj podatak koji je najčešće poslan [20].

### 6.3. Analiza algoritma za provjeru pogreške u poruci

Postupak CRC metode opisan je u prethodnom poglavlju, a jednostavan primjer CRC metode korištenjem binarnih brojeva prikazan je na Slici 10. U navedenom primjeru za sadržaj poruke uzet je binarni zapis „110111010110“, a za polinom generatora „10101“. Budući da polinom generatora ima 5 bitova, ostatak nakon dijeljenja bit će za jedan bit kraći, odnosno 4 bita.

$$\begin{array}{r}
 \text{rezultat dijeljenja} \Rightarrow \mathbf{11101001} \\
 \hline
 \begin{array}{r}
 \mathbf{10101} \ ) \ \mathbf{110111010110} \\
 \uparrow \qquad \qquad \qquad \uparrow \\
 \text{polinom} \qquad \qquad \text{sadržaj poruke} \\
 \text{generatora} \qquad \mathbf{11011010110} \\
 \qquad \qquad \mathbf{10101} \\
 \hline
 \qquad \qquad \mathbf{1000010110} \\
 \qquad \qquad \mathbf{10101} \\
 \hline
 \qquad \qquad \mathbf{010110110} \\
 \qquad \qquad \mathbf{10101} \\
 \hline
 \qquad \qquad \mathbf{0011110} \\
 \qquad \qquad \mathbf{10101} \\
 \hline
 \text{ostatak} \Rightarrow \mathbf{01011}
 \end{array}
 \end{array}$$

Slika 10. Primjer CRC metode korištenjem binarnih brojeva, [21]

Dobiveni ostatak iz primjera je „01011“, no budući da ostatak uvijek započinje nulom, ona se izostavlja pa se dobije četverobitni zapis ostatka „1011“. Ostatak se dodaje sadržaju poruke te poslana poruka glasi: „1101110101101011“. Na Slici 11. prikazana je provjera poruke iz prethodnog primjera koja je izmijenjena za jedan bit.

```

          11101001
          -----
10101 ) 110111010111
        10101
        ----
          11101010111
          10101
          ----
            1000010111
            10101
            ----
              010110111
              10101
              ----
                0011111
                10101
                ----
                  01010
  
```

Slika 11. CRC metoda kod izmijenjene poruke, [21]

Dijeljenjem izmijenjene poruke s istim polinomom generatora dobije se drukčiji ostatak. Uspoređujući ostatke, „0101“ dobiven iz drugog primjera ne odgovara ostatku „1011“ iz prvog primjera što znači da je prilikom prijenosa došlo do pogreške. U slučaju da se prijenos odvio bez pogreške, ostaci bi bili jednaki.

Na isti način kao što je prikazano na prethodnim primjerima dobije se zaštitni kod za primjer ADS-B poruke iz poglavlja o identifikaciji zrakoplova.

Primjer poruke u heksadecimalnom sustavu:

DF + CA	ICAO identifikacija zrakoplova	Podatkovni blok	Provjera
8D	501ED8	2080350EDB5C20	?

Primjer poruke u binarnom sustavu:

DF	CA	ICAO identifikacija zrakoplova	Type code		Podatkovni blok	Provjera
10001	101	010100000001 111011011000	00100	000	1000000000110101000 011101101101101011 10000100000	?

Sadržaj poruke od 88 bita koristi se za stvaranje zaštitnog koda. Polinom generatora „1010111001100111100010001“ ima 25 bita iz čega slijedi da će ostatak imati 24 bita. Dijeljenjem je dobiven ostatak „110000011011001011100011“ (Slika 12.) te on predstavlja zaštitni kod.

$$\begin{array}{r}
 100011010101000000011110110110000010000010000000001101010000111011011011011100 \\
 \hline
 1010111001100111100010001 \\
 \hline
 \text{Kvocijent} = 10101010110010101011101101100110010111001110011100001001111 \\
 \text{Ostatak} = 110000011011001011100011
 \end{array}$$

Slika 12. Zaštitni kod poruke, [22]

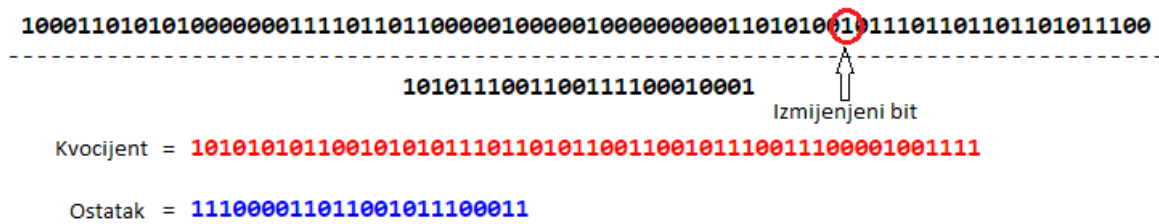
On se dodaje poruci te tada cjelokupna poruka glasi:

DF	CA	ICAO identifikacija zrakoplova	Type code		Podatkovni blok	Provjera
10001	101	010100000001 111011011000	00100	000	1000000000110101000 011101101101101011 10000100000	1100000110110 01011100011

U sljedećem primjeru prikazana je greška jednog bita pri čemu je došlo do izmjene jednog bita sadržanog u podatkovnom bloku.

DF	CA	ICAO identifikacija zrakoplova	Type code		Podatkovni blok	Provjera
10001	101	010100000001 111011011000	00100	000	100000000011010100 <b>1</b> 011101101101101011 10000100000	1100000110110 01011100011

Prijemnik primljenu poruku provjerava tako da ju dijeli s istim polinomom generatora „1010111001100111100010001“ i ostatak uspoređuje sa zaštitnim kodom. Ostatak dijeljenja iznosi „111000011011001011100011“ (Slika 13.) te se on razlikuje od zaštitnog koda koji iznosi „110000011011001011100011“ što dovodi do zaključka da je tijekom transmisije došlo do pogreške.



Slika 13. Provjera poruke na prijemniku, [23]



## 7. ALGORITAM ZA DEKODIRANJE ADS-B PORUKE O IDENTIFIKACIJI ZRAKOPLOVA

Algoritam za dekodiranje ADS-B poruke o identifikaciji zrakoplova zamišljen je tako da korisnik upisuje ADS-B poruku u heksadecimalnom sustavu. „Enc\_message“ je poruka koju upisuje korisnik i koja se dekodira. Budući da je riječ o identifikaciji potrebno je provjeriti započinje li poruka s dekadskih 17 u kategoriji „Downlink format“. Prva dva heksadecimalna znaka (raspon od 8 bitova) pretvaraju se u dekadsku vrijednost uz „preskakanje“ zadnjih 3 bita jer njihova vrijednost u ovom primjeru može biti proizvoljna . Ako je vrijednost „Downlink formata“ različita od 17, program će ispisati poruku „NEISPRAVAN DOWNLINK FORMAT“.

```
1
2  enc_message = input("Unesi poruku: ")
3
4  df = int(enc_message[0:2], 16) >> 3
5  if df != 17:
6      print('NEISPRAVAN DOWNLINK FORMAT')
7      exit
8
9  enc_message = enc_message[2:]
10
11  enc_message = enc_message[6:]
12
13  type_code = int(enc_message[0:2], 16) >> 3
14  if type_code < 0 or type_code > 4:
15      print('NEISPRAVAN TYPE CODE')
16      exit
17
18  enc_message = enc_message[2:]
19
20  dec_message = []
21
22  podatkovni_blok = int(enc_message[:12], 16)
23
24  while podatkovni_blok != 0:
25      znak = podatkovni_blok & int('111111', 2)
26      dec_message.append(znak)
27      podatkovni_blok >>= 6
28
29  dec_message.reverse()
30  print(dec_message)
```

Slika 14. Algoritam za dekodiranje ADS-B poruke o identifikaciji zrakoplova, 1.dio

Budući da je obavljena provjera prvih dvaju heksadecimalnih vrijednosti, one se „brišu“ iz poruke. Na isti način „brišu“ se i sljedećih 6 heksadecimalnih vrijednosti, odnosno 24 bita koji predstavljaju ICAO identifikaciju zrakoplova jer oni također u ovom primjeru mogu biti proizvoljni. Sljedeća dva heksadecimalna znaka predstavljaju „Type code“ koji je potrebno pretvoriti u dekadski broj. Ako je „Type code“ različit od dekadskih 1, 2, 3 ili 4, program će ispisati poruku „NEISPRAVAN TYPE CODE“.

Poruka se dalje pomiče za dva heksadecimalna znaka pri čemu se dolazi do dijela podatkovnog bloka u kojem je sadržana identifikacija zrakoplova, odnosno njegov pozivni znak. „Dec\_message“ je lista u koju se pohranjuju dekadске vrijednosti koje odgovaraju rednom broju slova ili znaka iz posebno definiranog niza. Preostali sadržaj podatkovnog bloka, odnosno 48 bita pretvara se u dekadski sustav. U *while* petlji uzima se zadnjih šest bitova koji se spremaju u listu. Brojevi se tada pomiču za šest bitova u desno jer su „iskorišteni“ sve dok taj broj ne bude jednak nuli. Jer su se bitovi uzimali s kraja, poruku je potrebno preokrenuti. „Print(dec\_message)“ daje ispis liste.

```
31
32     from string import ascii_lowercase
33
34     custom_alphabet = {'_': '_'}
35
36     for c in ascii_lowercase:
37         custom_alphabet[ord(c) - (ord('a') - 1)] = c
38
39     for i in range(0, 10):
40         custom_alphabet[i + 48] = i
41
42     for dec_c in dec_message:
43         print(custom_alphabet[dec_c])
44
```

Slika 15. Algoritam za dekodiranje ADS-B poruke o identifikaciji zrakoplova, 2. dio

Za dekodiranje ADS-B poruke osmišljen je poseban niz znakova. Za referencu uzeta je tablica znakova ASCII (engl American Standard Code for Information Interchange). *Ord* funkcija ASCII slovo pretvara u broj, a taj broj je težina tog slova. U ASCII tablici malo slovo a ima težinu 97, slovo b 98 itd. U for petlji *ord(c)* je promjenjiva varijabla, dok vrijednost *ord('a')* po ASCII tablici uvijek iznosi 97.

Budući da ADS-B znakovi počinju od 1, a u ASCII tablici od 0, potrebno je oduzeti jedan. Na primjer, slovo a u ADS-B nizu ima vrijednost 1, u petlji se dobije sljedeće:  $[97-(97-1)]= a$ , odnosno  $a=[1]$ . Kod dodavanja brojeva obavlja se iteracija od nula do devet, za svaku znamenku dodaje se 48 jer brojevi započinju s indeksom 48. Na kraju se provodi iteracija kroz listu brojeva koji se pretvaraju u znakove niza te se dobiva pozivni znak. Cijeli opisani postupak prikazan je u programskom jeziku *Python* na Slikama 14. i 15.

```

Run: ads_b_poruka1 x
Unesi poruku: 8D501ED82080350EDB5C20C1B2E3C1B2E3
[32, 3, 20, 14, 54, 53, 48, 32]
-
c
t
n
6
5
0
-
Python Console Terminal Run TODO

```

Slika 16. Primjer ispisa s pozivnim znakom zrakoplova

Na Slikama 16., 17. i 18. prikazani su mogući izlazni podaci programa, a to su pozivni znak zrakoplova (ako poruka zadovoljava uvjete za poruku o identifikaciji), tekst „NEISPRAVAN DOWNLINK FORMAT“ i tekst „NEISPRAVAN TYPE CODE“.

```

Run: ads_b_poruka1 x
Unesi poruku: 95501ED82080350EDB5C20C1B2E3C1B2E3
NEISPRAVAN DOWNLINK FORMAT

```

Slika 17. Primjer ispisa s neispravnim Downlink formatom

```

Run: ads_b_poruka1 x
Unesi poruku: 8D501ED84580350EDB5C20C1B2E3C1B2E3
NEISPRAVAN TYPE CODE

```

Slika 18. Primjer ispisa s neispravnim Type code-om

## 8. ZAKLJUČAK

Sigurno funkcioniranje zračnog prometa danas bi bilo nemoguće bez nadzornih sustava. Zbog povećanja prometne potražnje došlo je do potrebe za razvojem novih i kvalitetnijih sustava. Zbog niza prednosti ADS sustav će u potpunosti zamijeniti konvencionalne radare. Jedna od prednosti je i način izmjene podataka između zrakoplova i korisnika na zemlji. Prilikom izmjene ipak postoji mogućnost pogrešaka koje su zbog važnosti podataka koji se šalju neprihvatljive. Kako bi se korištenje pogrešnih podataka spriječilo, na kraj poruke se dodaje zaštitni kod koji služi za prepoznavanje pogreške. Zaštitni kod se dobiva CRC metodom pri čemu se rezultati uspoređuju s onima na prijemniku. Nekoliko je mogućih uzroka pogreške u prijenosu poruka koji uz pravovremeno otkrivanje mogu na jednostavan način biti otklonjeni. U ADS-B poruci svaki bit ima svoje značenje, stoga je od iznimne važnosti spriječiti mogućnost promjene njihova redoslijeda ili gubitka. Neželjene izmjene ADS-B poruke mogu dovesti do narušavanja separacije zbog pogrešno interpretiranih podataka te povećanja radnog opterećenja kontrolora leta zbog obveze korištenja drugih načina kontrole. Ovisno o vrsti pogreške, pogreška može zahvatiti samo jedan zrakoplov ili sve zrakoplove na određenom području. Cilj analize pogrešaka je prepoznati uzroke nastanka potencijalnih grešaka i na njih djelovati proaktivno, odnosno prije nego li dođe do same pogreške.

## LITERATURA

- [1] <http://www.ads-b.com/>, [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [2] B. Juričić, T. Bucak, I. Francetić: Automatic Dependent Surveillance (ADS), *Promet – Traffic – Traffico*, Vol. 14, No. 3, 2002., p. 111-115
- [3] [https://www.skybrary.aero/index.php/Flight\\_Management\\_System](https://www.skybrary.aero/index.php/Flight_Management_System), [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [4] [http://www.kartografija.hr/old\\_hkd/obrazovanje/prirucnici/gpspoc/gspoc.htm](http://www.kartografija.hr/old_hkd/obrazovanje/prirucnici/gpspoc/gspoc.htm), [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [5] <https://www.thebalancecareers.com/how-ads-b-works-a-look-at-the-foundation-of-nextgen-282559>, [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [6] <http://ssd.dhmi.gov.tr/getBinaryFile.aspx?Type=3&dosyaID=195>, [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [7] [http://moodle.srce.hr/2016-2017/pluginfile.php/1101279/mod\\_resource/content/2/HUSK%20-%20Automatic%20Dependent%20Surveillance.pdf](http://moodle.srce.hr/2016-2017/pluginfile.php/1101279/mod_resource/content/2/HUSK%20-%20Automatic%20Dependent%20Surveillance.pdf), [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [8] <https://www.aviationtoday.com/2017/06/14/duncan-aviation-research-shows-us-biz-jets-behind-ads-b-installs/>, [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [9] <https://www.thebalancecareers.com/what-s-the-difference-between-ads-b-out-and-ads-b-in-282562>, [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [10] [https://www.skybrary.aero/index.php/Automatic\\_Dependent\\_Surveillance\\_-\\_Contract\\_\(ADS-C\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Automatic_Dependent_Surveillance_-_Contract_(ADS-C)), [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [11] <http://www.nexairavionics.com/hot-topics/ads-b/>, [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [12] [http://www.aaaa.org/docs/2017\\_WAAA\\_Essay\\_Winner\\_-\\_Katie\\_Woolard.docx](http://www.aaaa.org/docs/2017_WAAA_Essay_Winner_-_Katie_Woolard.docx), [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [13] <http://mode-s.org/decode/adsb/introduction.html>, [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [14] Novak D.: Zrakoplovna računska navigacija, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2012.
- [15] Crnički, G., Nadzor lokalnog zračnog prometa prijemnikom ADS-B, Završni rad, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, 2016.

[16] Syd Ali, Busyairah & Ochieng, Washington & Majumdar, Arnab & Schuster, Wolfgang & Chiew, Thiam. (2014). ADS-B system failure modes and models. Journal of Navigation. 67. 1-23.

[17]

[https://www.tutorialspoint.com/data\\_communication\\_computer\\_network/error\\_detection\\_and\\_correction.htm](https://www.tutorialspoint.com/data_communication_computer_network/error_detection_and_correction.htm), [Pristupljeno: kolovoz 2018.]

[18] Abdulrazaq Abdulaziz, Abdulmalik S.Yaro, Ashraf A. Adam, Mahmoud T. Kabir, Habeeb B. Salau, Optimum Receiver for Decoding Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B) Signals, American Journal of Signal Processing, Vol. 5 No. 2, 2015, pp. 23-31.

[19] <https://www.techopedia.com/definition/824/forward-error-correction-fec>, [Pristupljeno: kolovoz 2018.]

[20] [https://en.wikibooks.org/wiki/Data\\_Coding\\_Theory/Forward\\_Error\\_Correction](https://en.wikibooks.org/wiki/Data_Coding_Theory/Forward_Error_Correction), [Pristupljeno: kolovoz 2018.]

[21] <http://www.ee.unb.ca/cgi-bin/tervo/calc.pl?num=110111010110&den=10101&f=d&e=1&p=1&m=1>, [Pristupljeno: kolovoz 2018.]

[22] <http://www.ee.unb.ca/cgi-bin/tervo/calc.pl?num=1000110101010000000111101101100000100000100000000011010100001101101101101011100&den=1010111001100111100010001&f=d&e=1&m=1>, [Pristupljeno: kolovoz 2018.]

[23] <http://www.ee.unb.ca/cgi-bin/tervo/calc.pl?num=1000110101010000000111101101100000100000100000000011010100101101101101101011100&den=1010111001100111100010001&f=d&e=1&p=1&m=1>, [Pristupljeno: kolovoz 2018.]

## POPIS SLIKA

Slika 1. Princip rada ADS sustava

Slika 2. Mobilna aplikacija Garmin;-prikaz prometa korištenjem ADS sustava

Slika 3. Mobilna aplikacija Garmin;- prikaz meteoroloških podataka korištenjem ADS sustava

Slika 4. Struktura ADS-B poruke

Slika 5. Uvod ADS-B poruke

Slika 6. Greška jednog bita

Slika 7. Greška više nasumičnih bitova

Slika 8. Greška više uzastopnih bitova

Slika 9. CRC postupak

Slika 10. Primjer CRC metode korištenjem binarnih brojeva

Slika 11. CRC metoda kod izmijenjene poruke

Slika 12. Zaštitni kod poruke

Slika 13. Provjera poruke na prijemniku

Slika 14. Algoritam za dekodiranje ADS-B poruke o identifikaciji zrakoplova, 1.dio

Slika 15. Algoritam za dekodiranje ADS-B poruke o identifikaciji zrakoplova, 2.dio

Slika 16. Primjer ispisa s pozivnim znakom zrakoplova

Slika 17. Primjer ispisa s neispravnim Downlink formatom

Slika 18. Primjer ispisa s neispravnim Type code-om

## POPIS TABLICA

- Tablica 1. Podjela ADS-B poruke, kratice i funkcija
- Tablica 2. Vrijednosti „Type code“ i značenja
- Tablica 3. Postupak očitavanja identifikacije zrakoplova
- Tablica 4. Značenje bitova u poruci pozicije
- Tablica 5. Broj zona zemljopisnih dužina s obzirom na iznos zemljopisne širine
- Tablica 6. Postupak računanja pozicije CPR metodom
- Tablica 7. Postupak dobivanja podatka o visini
- Tablica 8. Podjela informacija u podatkovnom bloku visine
- Tablica 9. Sadržaj primljene poruke
- Tablica 10. Vrijednosti za horizontalnu brzinu
- Tablica 11. Podjela kategorija preciznosti
- Tablica 12. NACv kategorije i preciznost
- Tablica 13. GVA kategorija i preciznost
- Tablica 14. NACp kategorija i efektivni radijus
- Tablica 15. Kombinacija kategorija preciznosti sustava
- Tablica 16. Najčešći uzroci pogrešaka ADS poruka
- Tablica 17. Uzroci oštećenja podataka
- Tablica 18. Dodavanje zaštitnog koda ADS-B poruci



## POPIS KRATICA

ACARS Aircraft Communications Addressing and Reporting System

ADS Automatic Dependent Surveillance

ADS-B Automatic Dependent Surveillance-Broadcast

ADS-C Automatic Dependent Surveillance-Contract

AFCS The Automatic Flight Control

AFGS Automatic Flight Guidance System

Alt Altitude

ARQ Automatic Repeat Request

ASCII American Standard Code for Information Interchange

ATIS Automatic Terminal Information Service

ATN Aeronautical Telecommunications Network

CA Capability

CPR Compact Position Reporting

CRC Cyclic redundancy check

DATA Data Frame ili Data block

DF Downlink format

ECC Error-correcting code

EFIS Electronic Flight Instrument System

ES Extended squitter

FEC Forward Error Correction

FIS-B Flight information services – broadcast

FMC Flight Management Computer

FMS Flight management system

GNSS Global Navigation Satellite System

GPS Global Positioning System

GVA Geometric Vertical Accuracy

H Height

Hdg Heading

HF	High frequency
HFOM	Horizontal Figure of Merit
Hz	Herz
ICAO	International Civil Aviation Organisation
LAT	Latitude
LON	Longitude
NAC	Navigation Accuracy Category
NACv	Navigation Accuracy Category – Velocity
NIC	Navigation Integrity Category
NICp	Navigation Integrity Category – Position
NL	Number of longitude zones
NOTAM	Notification to Airmen
NUC	Navigation Uncertainty Category
NZ	Number of latitude zones
PPM	Pulse-Position Modulation
Rc	Horizontal Containment Radius limit
SHF	Super high frequency
SIL	Surveillance/Source Integrity Level
ST	Subtype
T	Time
TC	Type code
TCAS	Traffic collision avoidance system
TIS-B	Traffic information service – broadcast
UAT	Universal Access Transceiver
UHF	Ultra high frequency
V	Velocity
VHF	Very high frequency
Vr	Vertical rate

## Prilog 1

```
enc_message = input("Unesi poruku: ")

df = int(enc_message[0:2], 16) >> 3
if df != 17:
    print('NEISPRAVAN DOWNLINK FORMAT')
    exit

enc_message = enc_message[2:]

enc_message = enc_message[6:]

type_code = int(enc_message[0:2], 16) >> 3
if type_code < 0 or type_code > 4:
    print('NEISPRAVAN TYPE CODE')
    exit

enc_message = enc_message[2:]

dec_message = []

podatkovni_blok = int(enc_message[:12], 16)

while podatkovni_blok != 0:
    znak = podatkovni_blok & int('111111', 2)
    dec_message.append(znak)
    podatkovni_blok >>= 6

dec_message.reverse()
print(dec_message)

from string import ascii_lowercase

custom_alphabet = { 32: '_' }

for c in ascii_lowercase:
    custom_alphabet[ord(c) - (ord('a') - 1)] = c

for i in range(0, 10):
    custom_alphabet[i + 48] = i

for dec_c in dec_message:
    print(custom_alphabet[dec_c])
```



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 **Procjena mogućnosti pogreške u porukama sustava automatskog nadzora zračnog prometa**

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

Student/ica:

U Zagrebu, 7.9.2018. \_\_\_\_\_

Sara Marković  
(potpis)