

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Velimir Pintar

**ZRAKOPLOVNI SUSTAVI ZA IZBJEGAVANJE
NESREĆA**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2019.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

ZRAKOPLOVNI SUSTAVI ZA IZBJEGAVANJE NESREĆA

AIRCRAFT SYSTEMS FOR AVOIDANCE OF ACCIDENTS

Mentor: doc. dr. sc. Mario Muštra

Student: Velimir Pintar

JMBAG: 0135247069

Zagreb, rujan 2019.

Zagreb, 28. ožujka 2019.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 5132

Pristupnik: **Velimir Pintar (0135247069)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Zračni promet**

Zadatak: **Zrakoplovni sustavi za izbjegavanje nesreća**

Opis zadatka:

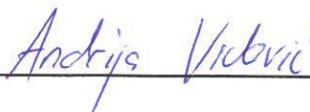
Navesti značajne događaje koji su pokrenuli razvoj i obvezu uvođenja sustava za izbjegavanje zrakoplovnih nesreća. Opisati princip rada radarskih sustava. Navesti i objasniti princip rada sustava za izbjegavanje sudara zrakoplova u zraku. Opisati sustave za upozorenje pilota o nailasku drugog zrakoplova i udaljenosti zrakoplova od tla. Navesti nove generacije sustava za izbjegavanje zrakoplovnih nesreća i mogućnosti komunikacije među zrakoplovima uz razmjenu informacija o lokaciji dobivenih uporabom satelitskih navigacijskih sustava.

Mentor:



doc. dr. sc. Mario Muštra

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



ZRAKOPLOVNI SUSTAVI ZA IZBJEGAVANJE NESREĆA

Sažetak

Razvojem zračnog prometa i njegovih sustava, rastom potražnje za zračnim prijevozom povećali su se standardi zaštite i standardi sustava koji se koriste. U prošlosti je bilo mnogo zrakoplovnih nesreća zbog kojih su se uvela poboljšanja sigurnosti, odnosno razvijeni su sustavi koji održavaju prihvatljivu razinu sigurnosti, a neki od najvažnijih takvih sustava su sustavi za izbjegavanje nesreća pod koje spadaju: sustav za izbjegavanje sudara (TCAS – Traffic Collision Avoidance System) i sustav za upozoravanje pilota (GPWS – Ground Proximity Warning System). U ovom završnom radu, opisan je princip rada i razvoj tih sustava, te koje su nesreće dovele do razvoja tih sustava. Opisan je princip rada radara kako bi mogli shvatiti na koji način rade ovi sustavi i usporedba između starijih i novijih generacija sustava za izbjegavanje sudara.

KLJUČNE RIJEČI: sustav za izbjegavanje sudara, sustav za upozoravanje pilota, radar, prihvatljiva razina sigurnosti

AIRCRAFT SYSTEMS FOR AVOIDANCE OF ACCIDENTS

Summary

Along with the development of air traffic and its systems and increasing demand for air transport, the standard of protection has increased and also standards of systems that are being used. There have been many aircraft accidents in the past that have introduced safety enhancements, so that an acceptable level of safety is maintained, and one of the most important of these systems is the aircraft system for avoidance of accidents which includes: Traffic Collision Avoidance System (TCAS) and Ground Proximity Warning System (GPWS). In this thesis, the principle of operation and development of these systems is described, along with the accidents which led to the development of these systems. The principle of radar operation is described to understand how these systems work and to allow comparison between older and newer generation of collision-avoidance systems.

KEYWORDS: Traffic Collision Avoidance System, Ground Proximity Warning System, radar, acceptable level of safety

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. Događaji koji su pokrenuli razvoj sustava za izbjegavanje zrakoplovnih nesreća	2
2.1. Sudar u zraku iznad Grand Canyon-a.....	2
2.2. Zrakoplovna nesreća United Airlines let 173 - Portland	3
2.3. Zrakoplovna nesreća Air Canada let 797 - Cincinnati	4
2.4. Sudar u zraku iznad Los Angeles-a.....	5
3. Princip rada radarskih sustava	7
3.1. Komponente radarskog sustava.....	7
3.2. Primjena radara.....	9
3.3. Sekundarni nadzorni radar.....	9
4. Sustavi za izbjegavanje sudara	11
4.1. Kako radi ACAS (TCAS), vrste upozorenja i koji tipovi postoje	11
4.2. TCAS 7.1 verzija.....	13
5. Sustavi za upozoravanje pilota	15
5.1. Opće značajke sustava za upozoravanje pilota.....	15
5.2. Informacije koje pruža TAWS	16
6. Unaprjeđenja i nove generacije sustava za izbjegavanje nesreća	19
6.1. TCAS II u usporedbi sa ACAS X.....	19
6.2. Načelo rada ACAS X	20
6.3. Prednosti ACAS X	20
6.4. Varijante ACAS X.....	21
7. ZAKLJUČAK.....	22
Literatura	24
POPIS KRATICA	27
POPIS SLIKA	29
POPIS TABLICA.....	29

1. UVOD

Zračni promet je jedna od najbržih rastućih globalnih djelatnosti. Prvi let zrakoplova, koji su izveli braća Wright bio je 1903. godine, te su oni bili prvi ljudi koji su uspjeli poletjeti sa zrakoplovom.

Zrakoplovstvo se jako razvilo za vrijeme drugog svjetskog rata, jer je trebalo nekako prijeći velike udaljenosti i napasti neprijatelja. Bombarderi su jedni od najpoznatijih aviona u to vrijeme.

U ranijim godinama zračni promet nije bio toliko popularan, ali su zato zračne luke bile jako atraktivne turistima i ljudima u gradovima gdje su se izgradili, pa su većinom ljudi posjećivali zračne luke više zbog razgledavanja nego zbog letenja, odnosno zračni promet nije bio jako popularan.

Nakon što je završio drugi svjetski rat, vojno zrakoplovstvo se zapustilo i usmjerilo se prema civilnom zrakoplovstvu, ljudi su počeli letjeti sve više i više zrakoplovima, pošto je tako bilo puno brže nego ići negdje autom, pogotovo ako se radilo o velikim udaljenostima, ali problem je bilo što sigurnost nije bila najbolja i zbog toga je bilo puno problema i dogodilo se puno zrakoplovnih nesreća. Nakon svake zrakoplovne nesreće uvedena su poboljšanja kako bi se zračni promet mogao odvijati što sigurnije i efikasnije. Zrakoplovstvo i zračni promet se počelo od tada razvijati u cilju što bržeg, efikasnijeg i sigurnijeg putovanja.

Poboljšanja koja su uvedena uključuju uređaje kao što su radar, sustav za izbjegavanje sudara, sustav za upozoravanje pilota, sekundarni nadzorni radari i detektori dima.

Neki od najvažnijih sustava u zračnom prometu koji se koriste kako bi se održala prihvatljiva razina sigurnosti su: sustavi za izbjegavanje sudara i sustavi za upozoravanje pilota.

U prvom poglavlju ovog rada je opisano koje su sve nesreće bile uzrokovane nedostatkom sigurnosti u zračnom prometu i koja su poboljšanja uvedena nakon njih, te kako je uopće došlo do razvijanja TCAS-a i GPWS-a. U drugom poglavlju je opisan princip rada radara, od čega se sastoji i njihova primjena. Princip rada TCAS-a (ACAS), koje vrste upozorenja i koji tipovi postoje je opisano u trećem poglavlju. U četvrtom poglavlju je opisan princip rada GPWS-a, njegova implementacija i informacije koje nam pruža, a peto poglavlje opisuje njihova poboljšanja, odnosno noviju generaciju sustava za izbjegavanje nesreća.

2. Događaji koji su pokrenuli razvoj sustava za izbjegavanje zrakoplovnih nesreća

Letenje u zrakoplovu je veoma sigurno, a dokaz tome je to što od 2010. godine do 2017. godine na linijskim zrakoplovnim linijama u SAD-u nije bilo niti jedne zrakoplovne nesreće sa smrtonosnim posljedicama, nevjerojatan rezultat s obzirom da više od 30000 zrakoplova polijeće svaki dan.

Letenje je postalo tako pouzdano i sigurno zbog nesreća koja su se dogodila u prošlosti koja su izazvala ključna poboljšanja sigurnosti [1].

Ključne nesreće koje su se dogodile u prošlosti i dovele do početka razvoja sustava za izbjegavanje zrakoplovnih nesreća su: sudar u zraku iznad Grand Canyon-a, zrakoplovna nesreća United Airlines let 173, zrakoplovna nesreća Air Canada let 797 i sudar u zraku iznad Los Angeles-a.

2.1. Sudar u zraku iznad Grand Canyon-a

Na dan 30. lipnja 1956. godine dogodila se jedna od najvećih zrakoplovnih nesreća koja uključuje komercijalni zrakoplov. Zrakoplov Lockheed L-1049 Super Constellation i zrakoplov United DC-7 poletjeli su iz međunarodne zračne luke Los Angeles, samo 3 minute vremenskog razmaka između polijetanje i oboje sa kursom prema istoku (slika 1.). Devedeset minuta kasnije, bez komunikacije sa zemaljskom kontrolom leta i leteći pod vizualnim uvjetima leta (VFR – *Visual Flight Rules*) vidi i izbjegni, dva zrakoplova su manevrirali zasebno kako bi pružili putnicima što bolji pogled na nacionalni park Grand Canyon, bez ikakvog znanja o nesreći koja će se dogoditi par trenutaka kasnije, odnosno lijevo krilo DC-7 i propeleri su se ukopali u rep zrakoplova L-1049, te su se oba zrakoplova srušila u kanjon što je rezultiralo smrti svih putnika i članova posade na oba zrakoplova (128 osoba) [2].

Sudar je izazvao stvaranje Savezne uprave za civilno zrakoplovstvo (FAA – *Federal Aviation Administration*) 1958. godine koja će nadzirati sigurnost zračnog prometa. Nesreća je također potaknula ulaganja u nadogradnju sustava kontrole zračnog prometa (ATC – *Air Traffic Control*) kao što su povećanje osoblja, bolje ATC protokole (brže i efikasnije) i modernizaciju ATC infrastrukture korištenjem vojnih uređaja kao što je radar [3].



Slika 1. Zrakoplov Lockheed L-1049 Super Constellation (gore) i zrakoplov United DC-7 (dolje)

Izvor: [1]

2.2. Zrakoplovna nesreća United Airlines let 173 - Portland

28. prosinca 1978. godine United let 173, zrakoplov DC-8 poletio je sa međunarodne zračne luke John F. Kennedy sa 181 ukrcanih putnika za međunarodnu zračnu luku Portland, te prilikom približavanja međunarodnoj zračnoj luci Portland došlo je do problema sa stajnim trapom pa je zrakoplov kružio oko zračne luke oko sat vremena, a za to vrijeme je posada pokušavala popraviti problem sa stajnim trapom i pripremiti putnike za prisilno slijetanje u slučaju nemogućnosti popravka stajnog trapa kojeg nisu uspjeli popraviti (slika 2.).

Iako je kapetan bio upozoren od strane zrakoplovnog inženjera na zrakoplovu da mu brzo nestaje zaliha goriva, kapetan je čekao predugo da započne zadnji prilaz (*final approach*), te zbog prekasne odluke kapetana zrakoplov je ostao bez goriva i srušio se u predgrađe, što je rezultiralo smrću 10 osoba (8 putnika i 2 člana posade) [4].

Kao odgovor na to, United je obnovio svoje procedure obuke u pilotskoj kabini oko tada novog koncepta upravljanja resursima u pilotskoj kabini (CRM – *Cockpit Resource Management*). Napuštanje tradicionalne hijerarhije „kapetan je Bog“, CRM naglašava timski rad i komunikaciju između posade, a od tada je postao industrijski standard [5].



Slika 2. Zrakoplov Douglas DC-8

Izvor: [6]

2.3. Zrakoplovna nesreća Air Canada let 797 - Cincinnati

Prvi znakovi nevolje na Air Canada letu 797, zrakoplov DC-9 koji je letio na 33000 stopa (10058.4 km) na ruti od Dallasa do Montreala sa zaustavljanjem u Torontu bili su tragovi dima koji su izlazili iz stražnjeg toaleta (slika 3.). Nakon pokušaja gašenja skrivene vatre, a zatim kontaktiranja kontrole zračnog prometa i proglašenja hitne situacije, ATC je uputio let 797 na međunarodnu zračnu luku Cincinnati i posada je izvršila izvanredno slijetanje.

Nakon što je zrakoplov sletio, vatrogasna jedinica na zračnoj luci, koju je kontrolni toranj upozorio na požar na dolaznom zrakoplovu, bila je na mjestu slijetanja zrakoplova i započela je s operacijama gašenja požara [7].

U isto vrijeme nakon što je zrakoplov sletio stjuardesa je započela hitnu evakuaciju. Od 41 putnika i 5 članova posade, 23 putnika nisu se uspjela evakuirati i poginula su u požaru, te je zrakoplov bio uništen. Ova nesreća se dogodila 2. lipnja 1983. godine.

FAA je nakon toga uvela pod obveznim da zrakoplovni toaleti moraju biti opremljeni sa detektorima dima i automatskim aparatima za gašenje požara [8].

Iako je ATC sustav nakon nesreće sudar u zraku iznad Grand Canyon-a obavio dobar posao u razdvajanju linijskih putničkih zrakoplova, nije uspio uzeti u obzir i male privatne zrakoplove poput Piper Archer zrakoplova sa četiri sjedala koji je zalutao u kontrolno područje Los Angeles-a 31. kolovoza 1986. godine. Neotkriven od strane zemaljskih kontrolora, Piper je upao na put zrakoplova Aeromexico DC-9 koji je bio u prilazu da sleti na zračnu luku Los

Angeles, srušivši lijevi horizontalni stabilizator DC-9. Oba zrakoplova su pala na stambenu četvrt 20 milja (32.19 km) istočno od zračne luke, usmrтивši 82 osobe, uključujući 15 osoba na zemlji.



Slika 3. Zrakoplov Douglas DC-9

Izvor: [9]

2.4. Sudar u zraku iznad Los Angeles-a

Od tada linijski putnički zrakoplovi moraju imati sustav za izbjegavanje sudara (TCAS II) koji otkriva potencijalne sudare sa drugim zrakoplovima koji koriste transpondere i savjetuje pilota da se uzdigne ili spusti kao odgovor da izbjegne sudar.

FAA nakon toga događaja zahtjeva da mali zrakoplovi koji ulaze u kontrolna područja upotrebljavaju transpondere - elektroničke uređaje koji emitiraju položaj i visinu kontrolorima.

Od tada se nijedan mali zrakoplov nije sudario s linijskim putničkim zrakoplovom u zraku u SAD-u [10].

Ovo je najvažnija nesreća jer se tek tada uveo prvi i jedan od par sustava za izbjegavanje zrakoplovnih nesreća, i ova nesreća zapravo obilježava početak razvoja sustava za izbjegavanje zrakoplovnih sudara, odnosno sustava za izbjegavanje zrakoplovnih nesreća.

U tablici 1. možemo vidjeti kratak opis svih nesreća koje su se dogodile i zbog kojih je došlo do stvaranja sustava za izbjegavanja nesreća, odnosno TCAS-a.

Tablica 1. Sve nesreće koje su potaknule početak razvoja sustava za izbjegavanje nesreća, godina i opisi njihovih događaja, te poboljšanja koja su uvedena za sigurnije letenje

Nesreća	Godina	Opis događaja	Poboljšanja sigurnosti
Sudar u zraku iznad Grand Canyona	30. lipnja 1956.	Zrakoplov Lockheed L-1049 Super Constellation i United DC-7 su se sudarili u zraku iznad Grand Canyona, te su svi ukrcani na oba zrakoplova poginuli	nadogradnja sustava ATC-a i stvaranje FAA
Zrakoplovna nesreća United Airlines let 173 - Portland	28. prosinca 1978.	Zrakoplov se srušio u predgrađe što je rezultiralo smrću 10 osoba, a razlog toga je predugo čekanje odluke kapetana za zadnji prilaz što je rezultiralo da zrakoplov ostane bez goriva i sruši se	Obnova procedura obuka u pilotskoj kabini i uvođenje CRM-a
Zrakoplovna nesreća Air Canada let 797 - Cincinnati	2. lipnja 1983.	U toaletu zrakoplova se pojavio crni dim koji je uzrokovao izvanredno slijetanje zrakoplova, te je izbio požar što je rezultiralo smrtonosnim posljedicama	toaleti opremljeni sa detektorima dima i automatskim aparatima za gašenje požara
Sudar u zraku iznad Los Angeles-a	31. kolovoza 1986.	ATC nije uspio detektirati mali zrakoplov koji je ušao u putanju linijskog putničkog zrakoplova što je rezultiralo sudaru u zraku i oba zrakoplova su se srušila što je rezultiralo smrtonosnim posljedicama	Upotreba transpondera i TCAS II

3. Princip rada radarskih sustava

Elektronički uređaj za određivanje azimuta, udaljenosti, elevacije i brzine nekog objekta na temelju refleksije iz uređaja emitiranih elektromagnetskih valova od tog objekta se naziva radar (akronim od engleskog *Radio Detection and Ranging*). Razvoj radara je potaknula potreba razvoja ratnog zrakoplovstva jer je trebalo razviti uređaj za rano upozorenje na dolazeću opasnost (slika 4.).

Elektromagnetski valovi se šire ravnocrtno, pa je domet radara ograničen zakrivljenošću Zemljine površine, pa npr. u kontroli zračnoga prometa iznosi oko 400 km. Radar je u ratu imao izvanrednu važnost, a u mirnodopskoj se primjeni ističe njegova uloga u održavanju sigurnosti pomorskoga, zračnog i cestovnoga prometa. Radar ima funkciju otkrivanja objekata u uvjetima loše i smanjene vidljivosti, npr. u mraku, kroz dim, maglu, kišu ili snijeg [11].



Slika 4. Zakrivljeni donji reflektor je primarni radar, dok je ravna antena na vrhu sekundarni radar

Izvor: [12]

3.1. Komponente radarskog sustava

Radar se sastoji od:

- Antene
- Odašiljača
- Prijemnika
- Računala za obradu i prikaz podataka.

Radiovalovi koje koristi radar proizvodi dio opreme koja se zove magnetron. Radiovalovi su slični svjetlosnim valovima: putuju isto brzinom, ali je njihova valna duljina puno duža i imaju manju frekvenciju. Radiovalovi koje koristi radar obično imaju valnu duljinu od nekoliko centimetara do jednog metra, otprilike milijun puta duže od svjetlosnih valova.

Dio elektromagnetskog spektra su radiovalovi i svjetlosni valovi, što znači da su sastavljeni od fluktuirajućih uzoraka električne i magnetske energije. Valovi koje magnetron proizvodi su zapravo mikrovalovi, slični onima koje stvara mikrovalna pećnica.

Jednom kada su radiovalovi generirani, antena odašilje radiovalove, tj. prilagođava impedanciju prijenosnog voda na impedanciju slobodnog prostora. Antena je obično zakrivljena tako da usmjerava valove u precizan, uski snop, a radarske antene također se obično zakreću kako bi mogle otkriti metalne objekte na velikom području. Radiovalovi putuju prema van od antene brzinom svjetlosti (300.000 km po sekundi) i nastavljaju putovati sve dok ne udare u nešto. Zatim se neki od njih odbijaju natrag prema anteni u obliku snopa reflektiranih radiovalova koji isto putuju brzinom svjetlosti.

Antena služi za prijem i odašiljanje, odnosno izmjenično radi kao prijemnik i odašiljač (ne istovremeno) i ovakvu antenu zovemo monostatičkom antenom. Obično emitira radiovalove nekoliko tisućinki sekunde, a zatim „sluša“ pokušavajući primiti refleksiju do nekoliko sekundi prije ponovnog odašiljanja. Bilo koji reflektirani radiovalovi koje je pokupila antena odvedeni su u dio elektroničke opreme koja ih obrađuje i prikazuje ih u smislenom obliku na zaslonu radarskog detektora (računalo za obradu i prikaz podataka), kojeg cijelo vrijeme promatra čovjek zadužen za to. Prijemna oprema filtrira beskorisne refleksije sa tla, zgrade i tako dalje, prikazujući samo važne refleksije na zaslonu. Koristeći radar, operator može vidjeti sve obližnje brodove ili zrakoplove, gdje se oni nalaze, kako brzo putuju i kuda se kreću.

Postoji još jedan važan dio opreme u radarskom aparatu koji se zove duplekser i on služi za odvajanje odašiljačkog i prijemnog signala [13].

3.2. Primjena radara

Kontrola zračnog prometa jedno je od najvažnijih područja primjene radara u kojoj se koriste radari koji nadziru prilaz pojedinoj zračnoj luci (domet nekoliko desetaka kilometara) i promatrački radari velikoga dometa (oko 400 km) [14].

Promatrački radar treba što brže detektirati cilj koji uđe u zonu pokrivanja radara. Može biti smješten na kopnu, moru (brodu) ili avionu. Kopnenima je domet relativno mali radi zakrivljenosti Zemlje, pa se stavljaju na što veće visine (vrhove brda, planina). Karakteristike zemaljskog i brodskog radara su slične osim što su brodskom radaru ograničena veličina i težina, a avionskom radaru su još više ograničene dimenzije, ali i snaga zbog prirode izvora napajanja [15].

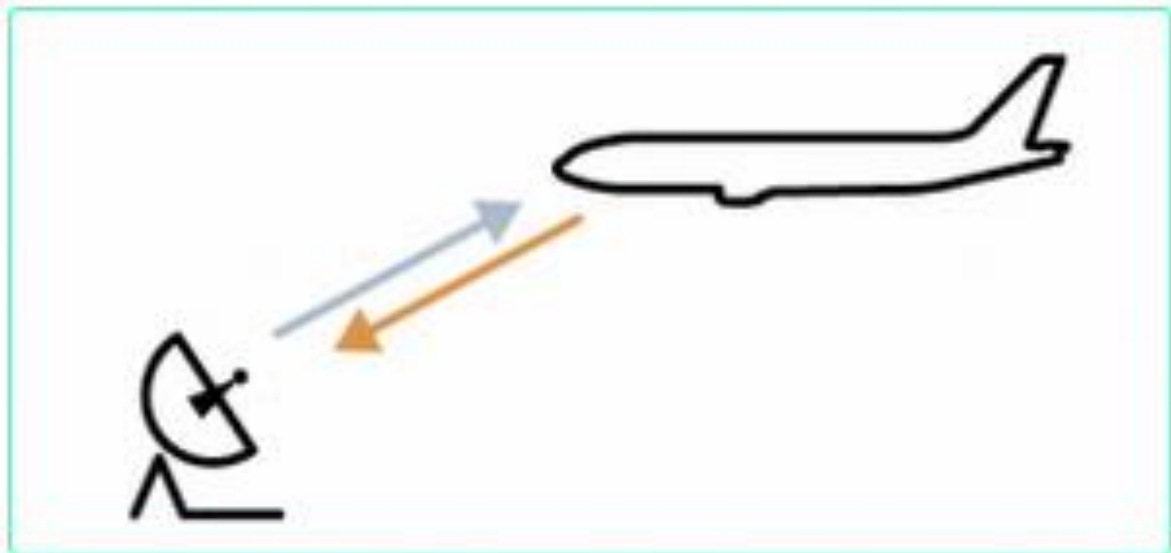
3.3. Sekundarni nadzorni radar

Sekundarni nadzorni radar (SSR – *Secondary Surveillance Radar*) osigurava zemaljski nadzor nad transponderima koji su ugrađeni u zrakoplovima i omogućava komunikaciju između zemaljske stanice i zrakoplova.

SSR se sastoji od dva elementa: SSR interogatora, koji se većinu vremena nalazi na zemlji i SSR transpondera koji se nalazi u zrakoplovu.

SSR sustav pruža dvije kategorije usluga, a one su: mod A/C usluge koje pružaju nadzor dometa i azimuta, identifikacijske kodove i izvještavanje o visini, te mod S usluge koje pružaju sve usluge koje pruža mod A/C, te dodatno usluge koje su selektivno adresiranje, specifične usluge i potpuna dvosmjerna podatkovna veza, i uzlazna i silazna [16].

Sa svojom kontinuiranom rotacijskom antenom, SSR će poslati energetske snop koji će ispitati zrakoplov (interogator). Kada energetske snop pogodi zrakoplov, kodirani odgovor će biti poslan natrag prema radaru (slika 5.). Ovaj odgovor sadrži identifikaciju zrakoplova, njegovu visinu i ovisno o tipu transpondera na zrakoplovu još neke dodatne informacije. Međutim, SSR se za položaj zrakoplova ne oslanja na transponder već on to utvrđuje sam mjerenjem vremena koje je potrebno da se energetske snop reflektira natrag prema radaru i smjer iz kojeg se refleksija vraća. SSR zatim sve ove informacije emitira sustavu kontrole zračnog prometa gdje su prikazani kao zrakoplovna oznaka. Sekundarni radari emitiraju impulse na 1030 MHz da pokrenu transpondere koji su instalirani u zrakoplovu da odgovore na 1090 MHz.



Slika 5. Princip rada sekundarnog nadzornog radara

Izvor: [17]

Prednosti sekundarnog nadzornog radara su:

1. Detektira identitet i visinu zrakoplova, te domet i azimut
2. Manje osjetljivi na smetnje od strane primarnog radara
3. Mod S uvodi podatkovnu vezu zrakoplov-zemlja
4. Srednja razina integriteta podataka.

Nedostaci sekundarnog nadzornog radara su:

1. Ne može se koristiti za nadzor zemlje
2. Problemi s konfuzijom vezano uz korištenje moda A/C
3. Visoko vrijeme čekanja i niska brzina ažuriranja [18].

4. Sustavi za izbjegavanje sudara

Tijekom vremena, intenzitet i volumen zračnog prometa kontinuirano se povećava. Razvoj suvremenih sustava u kontroli letenja omogućava dobro vođenje povećanog prometa, dok se istovremeno održava prihvatljiva razina sigurnosti. Međutim, rizik sudara zrakoplova još uvijek ostaje moguć.

Velik broj sudara zrakoplova u zraku potaknuo je saveznu upravu za civilno zrakoplovstvo (FAA) da 1981. godine pokrene projekt TCAS, a paralelno s razvojem TCAS-a u SAD-u, Međunarodna organizacija za civilno zrakoplovstvo (ICAO – *International Civil Aviation Organisation*) razvila je od početka 1960-tih standarde za ACAS – *Airborne Collision Avoidance Systems* [19].

ACAS je međunarodna verzija TCAS-a koju zovemo verzija 7 ili sustav za izbjegavanje sudara u zraku.

4.1. Kako radi ACAS (TCAS), vrste upozorenja i koji tipovi postoje

ACAS je konstruiran da djeluje samostalno i neovisno o navigacijskoj opremi zrakoplova i sustavima na zemlji. ACAS preko antene ispituje transpondere koji udovoljavaju standardima ICAO-a na svim avionima u blizini. Na osnovi primljenog odgovora sustav određuje i predlaže pilotu kako se ponašati u prometu koji ga okružuje. Iz nekoliko uzastopnih upita i odgovora ACAS izračunava vrijeme za dostizanje krajnje točke približavanja (CPA – *Closest Point of Approach*) s drugim zrakoplovom, dijeleći udaljenost s brzinom približavanja. To vrijeme je glavni parametar za izdavanje upozorenja i vrsta upozorenja ovisi o toj vrijednosti. Ako drugi zrakoplov emitira svoju visinu, ACAS također izračunava vrijeme do postizanje te visine.

ACAS može izdati dvije vrste upozorenja:

- 1) upozorenja o prometu (TA – *Traffic Advisories*) pomažu pilotu da vizualno traži drugi zrakoplov i upozoravaju pilota da bude spreman na moguće upozorenje o odluci i
- 2) upozorenja o odluci (RA – *Resolution Advisories*) su manevri izbjegavanja koje sustav preporučuju pilotu. [19]

ICAO je ACAS je službeno definirao u studenom 1993. u Annexu 2, a njegovo korištenje je obrađeno u dokumentima PANS-OPS (*Procedures for Air Navigation Services – Aircraft*

Operations) i PANS-RAC (*Procedures for Air Navigation Services – Rules of the Air and Air Traffic Services*). U studenom 1995. odobreni su standardi i preporučeni postupci (SARPs – *Standards and Recommended Practices*) za ACAS II i objavljeni su u Annexu 10.

Predviđena su tri tipa ACAS-a:

- 1) ACAS I daje samo upozorenja o prometu (TA) i za njega nije predviđena međunarodna implementacija na razini ICAO-a,
- 2) ACAS II daje upozorenja o prometu (TA), i upozorenja o odluci (RA) u vertikalnoj ravnini i
- 3) ACAS III daje upozorenja o prometu (TA), i upozorenja o odluci (RA) i u vertikalnoj i u horizontalnoj ravnini.

Zasad se za ACAS koristi oprema američke proizvodnje za TCAS (TCAS I i TCAS II) koja udovoljava ICAO standardima, a još nije razvijena oprema za ACAS III zbog tehničkih i operativnih poteškoća. Upozorenja koja izdaje ACAS II zavise o modu transpondera drugog zrakoplov:

- nema upozorenja ukoliko transponder drugog aviona nije aktivan ili ukoliko ne udovoljava ICAO standardima,
- TA ukoliko je transponder aktivan i udovoljava ICAO standardima i
- RA ukoliko transponder emitira podatak o visini i udovoljava ICAO standardima.

EUROCONTROL je 1995. godine odobrio plan obaveznog uvođenja ACAS-a u Europi. Prema tom planu uvođenje ACAS-a postiže se kroz dva koraka:

- od 1. siječnja 2000. svi civilni zrakoplovi s turbinskim motorima čija je maksimalna masa u polijetanju veća od 15000 kg ili imaju više od 30 putničkih sjedala moraju biti opremljeni s ACAS-om i
- od 1. siječnja 2005. svi civilni zrakoplovi s turbinskim motorima čija je maksimalna masa u polijetanju veća od 5700 kg ili imaju više od 19 putničkih sjedala moraju biti opremljeni s ACAS-om. [19]

Da bi se osigurala djelotvornost ACAS-a, ICAO obavezuje operatere zrakoplova da instaliraju i koriste transpondere koji emitiraju visinu po tlaku, što je preduvjet za izdavanje RA. Nakon sudara njemačkog i američkog vojnog transportnog zrakoplova iznad Namibije 1997. godine

predloženo je da se i vojni transportni zrakoplovi opreme s ACAS-om II. Postepeno uvođenje ACAS-a u upotrebu i ostvarivanje očiglednih poboljšanja u pogledu sigurnosti letenja, ali i još jedan sudar zrakoplova u zraku iznad Indije 1996. godine potaklo je ICAO da predloži obavezno uvođenje ACAS-a II u sve zrakoplove, uključujući i teretne [19].

Trenutno jedina komercijalna dostupna implementacija ICAO standarda za ACAS II je TCAS II verzija 7.1 [20].

4.2. TCAS 7.1 verzija

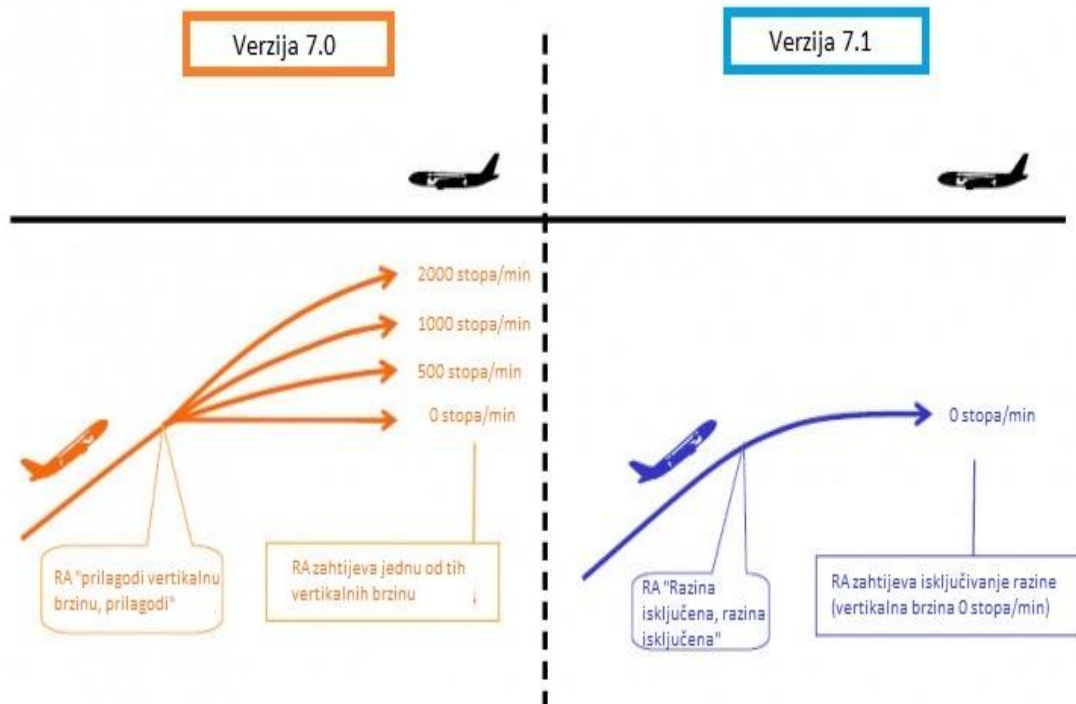
EUROCONTROL je pokrenuo razvoj TCAS verzije 7.1 nakon otkrića dva sigurnosna problema s trenutnom TCAS II verzijom (jedna se odnosi na performanse obrnute RA logike, a druga na pogrešnu reakciju na podešavanje RA vertikalne brzine). Razvoj su zajednički poduzeli Radiotehnička komisija za aeronautiku (RTCA – Radio Technical Commission for Aeronautics) koja se nalazi u Sjedinjenim Američkim Državama i Europska organizacija za civilnu zrakoplovnu opremu (EUROCAE – European Organisation for Civil Aviation Equipment) koja se nalazi u Europi uz podršku i doprinose nekoliko drugih organizacija, uključujući velike zrakoplovne tvrtke i pružatelje usluge zrakoplovne navigacije (ANSP – Air Navigation Service Providers).

Trenutno je TCAS II verzija 7.1 obavezna (pod mandatom) u europskom zračnom prostoru (ostale TCAS II verzije su van mandata, odnosno nisu obavezne).

Kako bi se spriječile pogrešne reakcije pilota, u verziji 7.0 „Prilagodi vertikalnu brzinu, prilagodi“ RA je zamijenjen s novim RA „Razina isključena, razina isključena“ koji zahtijeva smanjenje vertikalne brzine na 0 stopa / min (slika 6.). „Razina isključena“ se treba postići što prije, a ne na sljedećoj standardnoj razini leta (npr. FL200, FL210 itd.).

RA „Razina isključena, razina isključena“ može se izdati kao početni RA kada se vertikalna udaljenost između zrakoplova poveća.

Uz to, RA „Razina isključena, razina isključena“ minimalizirat će devijaciju visine koja je uzrokovana TCAS-om smanjujući na taj način utjecaj na operacije ATC-a. [21]



Slika 6. Usporedba TCAS verzije 7.0 i TCAS verzije 7.1

Izvor: [21]

Dodano je novo svojstvo logici TCAS II verziji 7.1 koja nadzire usklađenost s RA u koordiniranim susretima (tj. kada su oba zrakoplova opremljena TCAS II). Kada se otkrije da zrakoplov ne reagira ispravno na RA, obrnuti RA će biti izdan zrakoplovu koji manevrira u skladu s RA. U susretima kada samo jedan zrakoplov je opremljen TCAS II, verzija 7.1 će prepoznati situaciju i izdati će obrnuti RA ako neopremljeni zrakoplov (koji nema TCAS II) koji je prijetnja se kreće u istom vertikalnom smjeru kao i zrakoplov opremljen s TCAS II.

Iako je korištenje svojstva obrnute logike transparentna (nije vidljiva) posadi zrakoplova ovo novo svojstvo će donijeti značajna sigurnosna poboljšanja. [21]

5. Sustavi za upozoravanje pilota

Sustav za upozoravanje pilota je sustav koji pruža zrakoplovnoj posadi informacije i upozorenja za otkrivanje potencijalno opasne situacije vezano uz teren tako da bi zrakoplovna posada mogla poduzeti učinkovite mjere kako bi spriječila događaj kontrolirani let u teren (CFIT – *Controlled Flight into Terrain*) [22].

Kontrolirani let u teren (CFIT) je događaj koji opisuje kada se zrakoplov koji je sposoban za letenje (*airworthy*) i koji pod punom kontrolom pilota nehotice zabije u teren, vodu ili prepreku. Piloti uglavnom nisu svjesni opasnosti sve dok ne bude prekasno. Većina CFIT nesreća se događa u fazi prilaza i slijetanja te je često povezana s nepreciznim prilazima. [23]

5.1. Opće značajke sustava za upozoravanje pilota

Sustav za izbjegavanje i upozoravanje na podlogu (TAWS – *Terrain Avoidance and Warning System*) je sigurnosna mreža koja automatski daje karakteristično upozorenje pilotima kada se njihov avion nalazi u potencijalno opasnoj blizini zemlje, a zasnovan je samo na očitavanju radio visinomjera i brzini približavanja zemlji.

Prva implementacija TAWS-a bio je sustav upozorenja blizine tla (GPWS – *Ground Proximity Warning System*), a uveden je 1970-ih kao sredstvo za borbu protiv visoke učestalosti CFIT nesreća i nesreća sa ozbiljnim posljedicama (*near-accidents*). Naknadna poboljšanja dodala su nove zahtjeve na konfiguraciju zrakoplova (npr. status stajnog trapa) i devijacija ILS putanje poniranja. Ovaj „osnovni“ GPWS bio je obavezan u mnogim zemljama i odgovoran je za značajno smanjenje broja nesreća CFIT-a. Međutim, trpio je značajno ograničenje jer je ovisio o radio visinomjeru kao sredstvu za mjerenje blizine zemlje, što je značilo da nije bilo dovoljno vremena da se izbjegne nagla promjena visine od tla u obliku strmog uspona. [24]

Od 1997. godine, Honeywell poboljšani sustav upozorenja blizine tla (EGPWS – *Enhanced Ground Proximity Warning System*) koji je razvijen kako bi se prevladalo ograničenje GPWS-a, počeo se postavljati na zrakoplove. Ovaj sustav povezuje položaj zrakoplova, dobiven pomoću GPS-a (*Global Positioning System*), s gotovo cijelom svjetskom bazom podataka terena / prepreka / aerodroma koju proizvođač opreme redovito ažurira. Nakon toga su drugi originalni proizvođači opreme (OEM – *Original Equipment Manufacture*) proizveli slične

sustave, a svi su generički identificirani od strane ICAO-a kao sustavi informiranja i upozoravanja na teren (TAWS – *Terrain Awareness and Warning Systems*). [24]

5.2. Informacije koje pruža TAWS

TAWS oprema je klasificirana kao klasa A ili klasa B prema stupnju sofisticiranosti sustava. U osnovi, sustavi klase A potrebni su za sve zrakoplove osim za najmanje komercijalne zrakoplove, dok su sustavi klase B potrebni za veće zrakoplove generalne avijacije (GA – *General Aviation*) i preporučuje se za manje komercijalne zrakoplove ili zrakoplove generalne avijacije.

TAWS oprema mora pružiti sljedeće funkcije:

- Funkciju izbjegavanja terena koji se nalazi ispred (FLTA – *Forward Looking Terrain Avoidance*). Funkcija FLTA gleda ispred zrakoplova duž i ispod njegove bočne i okomite putanje leta te pruža odgovarajuća upozorenja ako postoji potencijalna CFIT prijetnja.
- Funkciju alarma u slučaju prijevremenog spuštanja (PDA – *Premature Descent Alarm*). Funkcija DA (*Descent Alarm*) TAWS-a koristi trenutni položaj zrakoplova i podatke o putanji letenja kako je određeno iz odgovarajućeg navigacijskog izvora i baze podataka aerodroma kako bi se utvrdilo je li zrakoplov previše ispod uobičajenog (obično 3 stupnja) prilaznog puta za najbližu uzletno sletnu stazu kako je definirano u algoritmu upozoravanja.
- Odgovarajući vizualni i zvučni diskretni signal za upozorenje.
- TAWS oprema klase A mora sadržavati podatke o terenu koji se trebaju prikazivati na sustavu prikaza.
- TAWS oprema klase A mora pružiti indikaciju neposrednog kontakta s tlom za sljedeće uvjete:
 1. Prekomjerne stope spuštanja
 2. Prekomjerna brzina približavanja terenu
 3. Negativne stope uspona ili gubitak visine nakon polijetanja
 4. Let na teren kada nije u konfiguraciji slijetanja
 5. Prekomjerna devijacija od putanje poniranja dobivene sustavom instrumentalnog slijetanja (ILS), ovisno o performansama uređaja za informaciju pravca prilaza i vertikalno navođenje (LPV) ili globalnih

navigacijskih satelitskih sustava (GNSS – *Global Navigation Satellite Systems*).

6. Glasovna poruka „pet stotina“ kada se zrakoplov spusti na 500 stopa (152.4 metra) iznad najbliže uzletno sletne staze.

- Oprema klase B mora pružiti indicaciju neposrednog kontakta sa tlom za vrijeme sljedećih operacija zrakoplova:

1. Prekomjerne stope spuštanja.

2. Negativne stopa uspona ili gubitak visine nakon polijetanja.

3. Glasovna poruka „pet stotina“ kada se zrakoplov spusti na 500 stopa (152.4 metra) iznad najbliže uzletno sletne staze.

Uz navedeno, proizvođač može pružiti i druge funkcije[24].

U tablici 2. možemo vidjeti za koje klase zrakoplova je preporučena koja klasa TAWS opreme i što je preporučeno od strane ICAO.

Tablica 2. Uvjeti za nošenje TAWS opreme prema ICAO-u

Izvor: [24]

Klasa zrakoplova	Tip motora	Maksimalna masa za polijetanje	Putnika	Obvezno (pod mandatom)	Napomena	Preporučeno
Komercijalni zračni prijevoz	Turbinski	Više od 5700 kg	Više od 9	Klasa A		
Komercijalni zračni prijevoz	Turbinski	Manje od 5700 kg	5-9	Ne		Klasa B
Komercijalni zračni prijevoz	Klipni	Više od 5700 kg	Više od 9	Klasa B		
Generalna avijacija	Turbinski	Više od 5700 kg	Više od 9	Klasa B	Klasa A za zrakoplove koji su prvi puta registrirani nakon 1. siječnja 2011.	Klasa A
Generalna avijacija	Turbinski	Manje od 5700 kg	5-9	Ne		Klasa B
Komercijalni zračni prijevoz	Klipni	Više od 5700 kg	Više od 9	Klasa B		
Helikopter	Turbinski	Više od 3175 kg	Više od 9	Klasa B	Za IFR letove	

6. Unaprjeđenja i nove generacije sustava za izbjegavanje nesreća

Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo (FAA) financirala je istraživanje i razvoj novog pristupa izbjegavanju sudara u zraku (koji je od 2008. godine postao poznat kao ACAS X). Ovaj novi pristup koristi unaprjeđenja uslijed napretka u „dinamičkom programiranju“ i druge tehnike informatike (koje nisu bile dostupne kada je TCAS prvi put razvijen) za generiranje upozorenja koristeći izvanmrežnu optimizaciju upozorenja o odluci (RA). Namjera je da ACAS X nakon nekog vremena zamijeni TCAS II (ACAS II), koji djeluje duži niz godina i pokazao je svoju vrijednost u sprječavanju sudara u zraku između zrakoplova u više navrata.

6.1. TCAS II u usporedbi sa ACAS X

ACAS X sustav će koristiti isti hardver (antene i zaslone) kao i trenutni TCAS II sustav i isti raspon RA-ova kao u TCAS II verziji 7.1. Neće biti promjena u načinu kako se RA-ovi prikazuju i objavljuju pilotima. Prema tome, piloti i kontrolori ne bi trebali primijetiti nikakvu promjenu s prijelazom na novi sustav, koji će biti u potpunosti kompatibilan s trenutnim TCAS II sustavima.

Dvije ključne razlike između TCAS II i trenutnog koncepta za ACAS X su logika izbjegavanja sudara i izvori podataka o nadzoru.

TCAS II se oslanja isključivo na mehanizme ispitivanja koristeći transpondere u zrakoplovu kako bi odredio trenutni i budući položaj uljeza, odnosno zrakoplova koji bi mogao ući u putanju. Ako je praćeni zrakoplov proglašen prijetnjom i također je opremljen TCAS-om, dvije TCAS II jedinice koordiniraju dopunske savjete. Trenutačna TCAS II savjetodavna logika izdaje upozorenja protiv potencijalne prijetnje na temelju vremena prilaza najbližeg zrakoplova i projicirane udaljenosti mimoilaženja.

Umjesto upotrebe skupa kodiranih pravila, ACAS X logika uzbunjivanja se temelji na numeričkoj tablici pretraživanja koja je optimizirana s obzirom na vjerojatnosni model zračnog prostora te skupa sigurnosnih i operativnih mjera.

ACAS X neće koristiti razine osjetljivosti koje su prisutne u TCAS II dizajnu. Međutim, primijenit će se ista niska razina potiskivanja RA.

6.2. Načelo rada ACAS X

Probabilistički model ACAS X pruža statistički prikaz položaja zrakoplova u budućnosti i on također uzima u obzir sigurnosne i operativne ciljeve sustava koji omogućuje prilagođavanje logike određenim postupcima ili konfiguracijama zračnog prostora. Ovo se ubacuje u proces optimizacije koji se zove dinamičko programiranje kako bi se odredio najbolji postupak koji bi se trebao poduzeti i kojeg treba slijediti izbjegavajući sukob u odlučivanju. Koristimo sustav nagrade naspram troškova kako bi se utvrdila koja bi radnja donijela najveću korist (tj. održavanje sigurne separacije uz implementaciju ekonomičnog manevra izbjegavanja). Ključne metrike za operativnu prikladnost i prihvatljivost uključuju minimiziranje učestalosti upozorenja koja rezultiraju promjenom smjera i visine uljeza u nekritičnim susretima.

Tablica pretraživanja se koristi u zrakoplovu u stvarnom vremenu za rješavanje sukoba. ACAS X prikuplja nadzorna mjerenja iz niza izvora (otprilike svake sekunde). Različiti modeli se koriste za procjenu raspodjele stanja, koja je raspodjela vjerojatnosti u odnosu na trenutne položaje i brzine zrakoplova (npr. probabilistički senzorski model koji izračunava karakteristike pogreške senzora). Raspodjela stanja položaja zrakoplova određuje gdje treba potražiti u tablici numeričkog pretraživanja kako bi se utvrdio najbolji postupak koji treba poduzeti (koji uključuje opciju „ne radi ništa“). Ako se procijeni potrebnim, pilotima se izdaju upozorenja o odluci. [25]

6.3. Prednosti ACAS X

Sljedeće prednosti su predviđene uvođenjem ACAS X:

- Smanjenje „nepotrebnih“ upozorenja: TCAS II je učinkovit sustav koji radi za što je i dizajniran, ali može izdavati upozorenja u situacijama kada zrakoplovi ostanu sigurno odvojeni (kada nisu potrebna).
- Prilagodljivost budućim operativnim konceptima: SESAR (Single European Sky ATM Research) i NextGen (Next Generation Transportation System) planiraju implementirati nove operativne koncepte koji će smanjiti razmak između zrakoplova. TCAS II u svom sadašnjem obliku nije kompatibilan s takvim konceptima i upozoravao bi prečesto da bi bio koristan.
- Proširenje sustava za izbjegavanje sudara na druge klase zrakoplova: kako bi se osiguralo da se mogu pratiti upozorenja, TCAS II je ograničen na kategorije

zrakoplova koji mogu dostići određene kriterije performansi (npr. minimalna brzina uspona od 2500 stopa (762 m) po minuti), što isključuje zrakoplove generalne avijacije i bespilotne zrakoplovne sustave (UAS – Unmanned Aircraft Systems).

- Upotreba budućeg nadzornog okruženja: SESAR i NextGen uvelike koriste nove izvore nadzora, posebno satelitsku navigaciju i napredne ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) funkcionalnosti. TCAS se, međutim, oslanja samo na transpondere u zrakoplovu, što će ograničiti njegovu fleksibilnost da ugradi ove prednosti u svoj sustav.
- Poboljšanje sigurnosti: predviđeno je da ACAS X osigura poboljšanje sigurnosti uz smanjenje nepotrebne stope uzbune. [25]

6.4. Varijante ACAS X

Kao i standardni ACAS X (poznat kao ACAS X_A), varijante su razmatrane za proširenje zaštite od sudara za određene situacije koje trenutno nemaju koristi od TCAS-a, a varijante ACAS X su:

- ACAS X_A: Opće namjene ACAS X koji radi aktivna ispitivanja kako bi utvrdio raspon uljeza te je on nasljednik TCAS II.
- ACAS X_P: Verzija ACAS X koja se oslanja samo na pasivni ADS-B kako bi pratio uljeze i ne vrši aktivna ispitivanja. Namijenjen je generalnoj avijaciji (klasa zrakoplova koja trenutno nije potrebna da bude prikladna TCAS II).
- ACAS X_O: Način rada ACAS X koji je dizajniran za određene operacije za koje je ACAS X_A neprikladan i može generirati neprihvatljiv broj upozorenja o smetnji (npr. postupci sa smanjenim razdvajanjem, poput usko raspoređenih paralelnih pristupa).
- ACAS X_U: Dizajniran za bespilotne zrakoplovne sustave (UAS) [26].

7. ZAKLJUČAK

Zračni prijevoz na današnjem tržištu ima jako veliku potražnju zbog svoje sigurnosti, brzine i učinkovitosti. U prošlosti je bilo puno problema sa sigurnosti te zbog toga zračni prijevoz nije bio popularan, ali sa uvođenjem novih stvari kao što su radar, transponder, sustavi za izbjegavanje sudara, sustavi za upozoravanje pilota, detektori dima, CRM i ostalih stvari postigla se prihvatljiva razina sigurnosti i trenutno je zračni prijevoz jako popularan i pouzdan način prijevoza. Međutim, rizik od sudara je još uvijek moguć.

Velik broj sudara zrakoplova potaknuo je FAA da pokrene projekt TCAS, koji bi trebao spriječiti da se sudari zrakoplova događaju, odnosno smanjiti rizik sudara zrakoplova, a u isto vrijeme ICAO je razvio ACAS koji ima istu tu funkciju. TCAS verzija 7.1 je nova verzija sustava za izbjegavanje sudara koja se uvodi zbog otkrića sigurnosnih problema s TCAS II. Korištenjem novih svojstva koje pruža TCAS verzija 7.1 doći će do značajnih poboljšanja sigurnosti.

Sustav za upozoravanje pilota je zapravo sustav za izbjegavanje i upozoravanje na podlogu (TAWS) i njegov prvna implementacija je sustav upozorenja blizine tla (GPWS) koji je uveden 1970-ih kao sredstvo za borbu protiv visoke učestalosti CFIT nesreća, a 1997. godine razvijen je novi sustav kako bi se prevladalo ograničenje GPWS-a koji se zove poboljšani sustav upozorenja blizine tla (EGPWS).

EUROCONTROL, ICAO i FAA su imali jako veliku ulogu u poboljšanju sigurnosti zračnog prometa. FAA zahtjeva da svi mali zrakoplovi upotrebljavaju transpondere pomoću kojih emitiraju svoj položaj i visinu kontrolorima koji osiguravaju da ne dođe do sudara. ICAO-ov Annex 10 propisuje da sve ACAS II jedinice moraju imati implementiranu verziju 7.1 od 1. siječnja 2017. godine. U Europi je verzija 7.1 obavezna od 1. prosinca 2015. godine. Međutim, u nekim zemljama (osobito u Sjedinjenim Američkim državama, gdje su obveze za posjedovanje ACAS-a različiti), postoji veliki broj zrakoplova koji i dalje rade na verziji 6.04a i 7.0.

FAA je financirala razvoj novog pristupa izbjegavanju sudara u zraku koji koristi dinamičko programiranje i ostale informatičke tehnike, koje nisu bile dostupne prije za izdavanje upozorenja koristeći izvanmrežnu optimizaciju za izdavanje upozorenja o odluci. Ime ovog novog sustava je od 2008. godine ACAS X. ACAS X sustav koristi isti hardver kao i trenutni TCAS II sustav, te način na koji se RA-ovi prikazuju i objavljuju pilotima je potpuno isti.

Prema tome, piloti i kontrolori ne bi trebali primijetiti nikakvu razliku s prijelazom na novi sustav. ACAS X je nasljednik TCAS II i postoje brojne prednosti koje pruža ACAS X u odnosu na TCAS II, a najvažnija je da će osigurati poboljšanje sigurnosti uz smanjenje nepotrebne stope uzbune.

U današnje vrijeme svi linijski putnički zrakoplovi moraju imati sustav za izbjegavanje sudara koji otkriva potencijalne sudare sa drugim zrakoplovima koji koriste transpondere.

Važno je da se međunarodni standardi sustava za izbjegavanje sudara i sustava za upozoravanje pilota prilagođavaju i ispituju kako bi se postigla što učinkovitija primjena tih sustava te kako bi se osigurala što veća razina sigurnosti.

Literatura

- [1] Popular Mechanics. Preuzeto sa: <https://www.popularmechanics.com/flight/g73/12-airplane-crashes-that-changed-aviation/> [Pristupljeno: srpanj 2019.]
- [2] Aircraft Archeology. Preuzeto sa: <http://www.aircraftarchaeology.com/twaunited.html> [Pristupljeno: srpanj 2019.]
- [3] Timeline. Preuzeto sa: <https://timeline.com/when-these-two-planes-collided-over-the-grand-canyon-it-changed-aviation-history-25549ca2ba01> [Pristupljeno: srpanj 2019.]
- [4] National Transportation Safety Board. Preuzeto sa: <https://www.ntsb.gov/investigations/AccidentReports/Reports/AAR7907.pdf> [Pristupljeno: srpanj 2019.]
- [5] Independent. Preuzeto sa: https://www.independent.ng/plane-crashes-that-changed-aviation/?amp_markup=1 [Pristupljeno: srpanj 2019.]
- [6] Airlineratings. Preuzeto sa: <https://www.airlineratings.com/news/history-of-the-magnificent-8/> [Pristupljeno: srpanj 2019.]
- [7] National Transportation Safety Board. Preuzeto sa: <https://www.ntsb.gov/investigations/AccidentReports/Pages/AAR8602.aspx> [Pristupljeno: srpanj 2019.]
- [8] National Transportation Safety Board. Preuzeto sa: https://www.ntsb.gov/safety/safety-recs/reclatters/A01_83_87.pdf [Pristupljeno: srpanj 2019.]
- [9] Air Charter Service. Preuzeto sa: <https://www.aircharterservice.com/aircraft-guide/cargo/mcdonnell-douglas-usa/mcdonnell-douglasdc9-15f/> [Pristupljeno: srpanj 2019.]
- [10] 10 plane crashes that changed aviation. Preuzeto sa: <https://prezi.com/dj6jfla2ivoj/10-plane-crashes-that-changed-aviation/> [Pristupljeno: srpanj 2019.]
- [11] Enciklopedija. Preuzeto sa: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=51409> [Pristupljeno: srpanj 2019.]

- [12] NEC. Preuzeto sa: <https://www.nec.com/en/global/solutions/cns-atm/surveillance/ssr.html> [Pristupljeno: srpanj 2019.]
- [13] EXPLAINTHATSTUFF. Preuzeto sa: <https://www.explainthatstuff.com/radar.html> [Pristupljeno: srpanj 2019.]
- [14] Wikipedija. Preuzeto sa: https://hr.wikipedia.org/wiki/Radar#Primjena_radara [Pristupljeno: srpanj 2019.]
- [15] Tehnička škola Karlovac. Preuzeto sa: www.tehnicka-skola-karlovac.hr/maturalna_pitanja/7_9radari.php [Pristupljeno: srpanj 2019.]
- [16] Directorate General of Civil Aviation. Preuzeto sa: [http://dgca.gov.in/intradgca/intra/icaodocs/Doc%209684%20-%20Manual%20on%20the%20Secondary%20Surveillance%20Radar%20\(SSR\)%20Systems%20Ed%203%20Amd%201%20\(En\).pdf%20](http://dgca.gov.in/intradgca/intra/icaodocs/Doc%209684%20-%20Manual%20on%20the%20Secondary%20Surveillance%20Radar%20(SSR)%20Systems%20Ed%203%20Amd%201%20(En).pdf%20) [Pristupljeno: srpanj 2019.]
- [17] Skybrary. Preuzeto sa: <https://www.skybrary.aero/index.php/Transponder> [Pristupljeno: srpanj 2019.]
- [18] Thales. Preuzeto sa: <https://www.thalesgroup.com/sites/default/files/database/d7/asset/document/Global%20Surveillance%20Solution%20Booklet.pdf> [Pristupljeno: kolovoz 2019.]
- [19] Franjković.D., Galović.B., Alfirević.I.:Sustav za izbjegavanje sudara aviona, Fakultet prometnih znanosti
- [20] Skybrary. Preuzeto sa: [https://www.skybrary.aero/index.php/Airborne_Collision_Avoidance_System_\(ACAS\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Airborne_Collision_Avoidance_System_(ACAS)) [Pristupljeno: kolovoz 2019.]
- [21] Skybrary. Preuzeto sa: https://www.skybrary.aero/index.php/TCAS_II_version_7.1 [Pristupljeno: kolovoz 2019.]
- [22] Advisory Circular 2000., US Department of Transportation. Preuzeto sa: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_23-18.pdf [Pristupljeno: kolovoz 2019.]

- [23] Skybrary. Preuzeto sa:
[https://www.skybrary.aero/index.php/Controlled_Flight_Into_Terrain_\(CFIT\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Controlled_Flight_Into_Terrain_(CFIT))
[Pristupljeno: kolovoz 2019.]
- [24] Skybrary. Preuzeto sa:
[https://skybrary.aero/index.php/Terrain_Avoidance_and_Warning_System_\(TAWS\)](https://skybrary.aero/index.php/Terrain_Avoidance_and_Warning_System_(TAWS))
[Pristupljeno: kolovoz 2019.]
- [25] Skybrary. Preuzeto sa: https://www.skybrary.aero/index.php/ACAS_X [Pristupljeno:
kolovoz 2019.]
- [26] Skybrary. Preuzeto sa: <https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/2390.pdf>
[Pristupljeno: kolovoz 2019.]

POPIS KRATICA

ACAS	(Airborne Collision Avoidance Systems) Sustav za izbjegavanje sudara u zraku
ADS-B	(Automatic Dependent Surveillance-Broadcast)
ATC	(Air Traffic Control) Kontrola zračnog prometa
ATM	(Air Traffic Management) Upravljanje zračnim prometom
ANSP	(Air Navigation Service Providers) Pružatelji usluge zračne navigacije
CFIT	(Controlled Flight into) Kontrolirani let u teren
CPA	(Closest Point of Approach) Krajnja točka približavanja
CRM	(Cockpit Resource Management) Upravljanja resursima u pilotskoj kabini
DA	(Descent Alarm) Alarm za spuštanje
EGPWS	(Enhanced Ground Proximity Warning System) Poboljšani sustav upozorenja blizine tla
EUROCAE	(European Organisation for Civil Aviation Equipment) Europska organizacija za civilnu zrakoplovnu opremu
FAA	(Federal Aviation Administration) Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo
FLTA	(Forward Looking Terrain Avoidance) Izbjegavanje terena koji se nalazi ispred
FMS	(Flight Management System) Sustav upravljanja letom
GA	(General Aviation) Generalna avijacija
GNSS	(Global Navigation Satellite Systems) Globalni navigacijski satelitski sustavi
GPS	(Global Positioning System) Globalni sustav pozicioniranja
GPWS	(Ground Proximity Warning System) Sustav upozorenja blizine tla
ICAO	(International Civil Aviation Organisation) Međunarodna organizacija za civilno zrakoplovstvo
ILS	(Instrumental Landing System) Sustav instrumentalnog slijetanja
LPV	(Localizer performance with vertical guidance) Performansa uređaja za informaciju pravca prilaza i vertikalno navođenje

NextGen	(Next Generation Transportation System) Transportni sustav nove generacije
OEM	(Original Equipment Manufacture) Originalni proizvođač opreme
PANS-OPS	(Procedures for Air Navigation Services – Aircraft Operations) Postupci za usluge zračne plovidbe - Operacije zrakoplova
PANS-RAC	(Procedures for Air Navigation Services – Rules of the Air and Air Traffic Services) Postupci za usluge zračne plovidbe - Pravila o zračnom prostoru i zračnom prometu
RA	(Resolution Advisories) Upozorenja o odluci
RADAR	(Radio Detection and Ranging) Otkrivanje i određivanje udaljenosti radio valovima
RTCA	(Radio Technical Commission for Aeronautics) Radiotehnička komisija za aeronautiku
SAD	Sjedinjene Američke države
SARP	(Standards and Recommended Practices) Standardi i preporučeni postupci
SESAR	(Single European Sky ATM Research) Istraživanje jedinstvenog europskog neba o ATM-u
SSR	(Secondary Surveillance Radar) Sekundarni nadzorni radar
TA	(Traffic Advisories) Upozorenja o prometu
TAWS	(Terrain Avoidance and Warning System) Sustav za izbjegavanje i upozoravanje na podlogu
TAWS	(Terrain Awareness and Warning Systems) Sustavi informiranja i upozoravanja na teren
TCAS	(Traffic Collision Avoidance System) Sustav za izbjegavanje sudara
UAS	(Unmanned Aircraft Systems) Bepilotni zrakoplovni sustavi
VFR	(Visual Flight Rules) Vizualni uvjeti leta

POPIS SLIKA

Slika 1. Zrakoplov Lockheed L-1049 Super Constellation (gore) i zrakoplov United DC-7 (dolje).....	3
Slika 2. Zrakoplov Douglas DC-8.....	4
Slika 3. Zrakoplov Douglas DC-9.....	5
Slika 4. Zakrivljeni donji reflektor je primarni radar, dok je ravna antena na vrhu sekundarni radar	7
Slika 5. Princip rada sekundarnog nadzornog radara	10
Slika 6. Usporedba TCAS verzije 7.0 i TCAS verzije 7.1	14

POPIS TABLICA

Tablica 1. Sve nesreće koje su potaknule početak razvoja sustava za izbjegavanje nesreća, godina i opisi njihovih događaja, te poboljšanja koja su uvedena za sigurnije letenje	6
Tablica 2. Uvjeti za nošenje TAWS opreme prema ICAO-u.....	18



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 **ZRAKOPLOVNI SUSTAVI ZA IZBJEGAVANJE NESREĆA**

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

U Zagrebu, 2.9.2019

Student:


(potpis)