

Analiza i procjena rizika zrakoplovnih nesreća u slučaju otkaza komunikacijskog i navigacijskog sustava

Horvat, Nadia

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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:119:145584>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-27**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Nadia Horvat

**ANALIZA I PROCJENA RIZIKA ZRAKOPLOVNIH NESREĆA U
SLUČAJU OTKAZA KOMUNIKACIJSKOG I NAVIGACIJSKOG
SUSTAVA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2019.

Zagreb, 2. travnja 2019.

Zavod: **Zavod za zračni promet**
Predmet: **Istraživanja zrakoplovnih nesreća**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 5196

Pristupnik: **Nadia Horvat (0135231249)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Zračni promet**

Zadatak: **Analiza i procjena rizika zrakoplovnih nesreća u slučaju otkaza komunikacijskog i navigacijskog sustava**

Opis zadatka:

U prvom dijelu rada, potrebno je opisati procese istraživanja zrakoplovnih nesreća i nezgoda. Nadalje, potrebno je opisati komunikacijske i navigacijske sustave kod zrakoplova te navesti na koji način kvar istih može rezultirati zrakoplovnom nesrećo ili nezgodom. Analizom dostupne literature potrebno je napraviti statističku obradu podataka nesreća koje su za uzrok imale otkaz komunikacijskog i navigacijskog sustava. U sklopu rada potrebno je analizirati jednu nesreću uzrokovanu otkazom komunikacijskog i navigacijskog sustava kao primjer studije slučaja. Na kraju rada potrebno je predložiti korektivne i preventivne mjere s ciljem sprečavanja zrakoplovnih nesreća uzrokovanih otkazom komunikacijskog i navigacijskog sustava u budućnosti.

Mentor:



doc. dr. sc. Igor Štimac

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**ANALIZA I PROCJENA RIZIKA ZRAKOPLOVNIH NESREĆA U
SLUČAJU OTKAZA KOMUNIKACIJSKOG I NAVIGACIJSKOG
SUSTAVA**

**ANALYSIS AND RISK ASSESSMENT OF AIRCRAFT ACCIDENTS IN
CASE OF COMMUNICATION AND NAVIGATION SYSTEMS
FAILURE**

Mentor: Doc.dr.sc. Igor Štimac

Student: Nadia Horvat

JMBAG: 0135231249

Zagreb, rujan 2019.

SAŽETAK

Komunikacijski i navigacijski sustavi su jedan od temeljnih čimbenika zračne sigurnosti. Oni služe za međusobnu komunikaciju svih entiteta u zrakoplovstvu, od pilota, kontrole zračne plovidbe, zračne luke i komunikaciju između zrakoplova. Osim komunikacije, bitan je i navigacijski sustav koji služi kako bi u bilo kojem trenutku mogli znati položaj zrakoplova te njegovo navigiranje u zraku. Kvar tih sustava može uvelike utjecati na smanjenje sigurnosti zračne plovidbe, što može dovesti do nesreće ili nezgode zrakoplova. Kako je zračni promet globalno raširen, i u današnje vrijeme se uvelike pridonosi razvoju komunikacijskih i navigacijskih sustava, stopa zrakoplovnih nesreća se smanjuje, a otkazivanje i kvarovi komunikacijskog i navigacijskog sustava su se impozantno smanjili zadnjih nekoliko godina. Razlog tome je što se konstantno unaprjeđuju sustavi, pokušavaju se primijeniti jednaki propisi i pravila na globalnoj razini, a rezultat tomu je povećanje sigurnosti u zračnom prometu, a samim time i smanjenje stope zrakoplovnih nesreća.

KLJUČNE RIJEČI: komunikacijski sustav; navigacijski sustav; istraživanje zrakoplovnih nesreća

SUMMARY

Communication and navigation systems are one of the fundamental factors of air safety. They serve for mutual communication between all entities in aviation, from pilots, air traffic control, airports and aircraft communication. In addition to communication, it is also a navigational system that serves to know at any time the position of the aircraft and its navigation in the air. The failure of these systems can greatly reduce the safety of air navigation, which can lead to an aircraft accident. As air traffic is globally widespread, and today it greatly contributes to the development of communication and navigation systems, the rate of aviation accidents is decreasing, and the cancellation and failure of the communication and navigation system have been significantly reduced in recent years. The reason for this is to constantly improve the systems, and a result is the increase in air traffic safety and the reduction of airborne accidents.

KEY WORDS: communication system; navigation system; air accident investigation

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. PROCESI ISTRAŽIVANJA ZRAKOPLOVNIH NESREĆA I NEZGODA | 3 |
| 2.1. SIGURNOST ZRAČNOG PROMETA | 3 |
| 2.2. NADLEŽNOST I PROCES ISTRAŽIVANJA ZRAKOPLOVNIH NESREĆA | 6 |
| 2.2.1. Istraga velikih zrakoplovnih nesreća | 8 |
| 2.2.2. Istraga manjih zrakoplovnih nesreća ili nezgoda | 12 |
| 3. KOMUNIKACIJSKI I NAVIGACIJSKI SUSTAVI ZRAKOPLOVA | 14 |
| 3.1. POVIJEST AVIONIKE | 14 |
| 3.2. KOMUNIKACIJSKI SUSTAVI | 16 |
| 3.2.1. Sustav za integriranje zvuka | 17 |
| 3.2.2. Komunikacijske radiopostaje | 17 |
| 3.2.3. Sustav radijskog ugađanja | 18 |
| 3.2.4. Snimač glasa u kokpitu | 18 |
| 3.2.5. Statičko pražnjenje | 20 |
| 3.3. NAVIGACIJSKI SUSTAVI | 21 |
| 3.3.1. Svesmjerni radiofar | 22 |
| 3.3.2. Sustav instrumentalnog slijetanja | 24 |
| 3.3.3. Uređaj za mjerenje udaljenosti | 24 |
| 3.3.4. Radiokompas | 25 |
| 3.3.5. Dopler navigacijski sustav | 25 |
| 3.3.6. Inercijski navigacijski sustav | 26 |
| 4. ANALIZA UČESTALOSTI NESREĆA UZROKOVANIH OTKAZOM KOMUNIKACIJSKIH I NAVIGACIJSKIH SUSTAVA | 29 |
| 5. ISTRAŽIVANJE PRIMJERA ZRAKOPLOVNE NESREĆE UZROKOVANE OTKAZOM SUSTAVA I UTJECAJEM KONTROLE ZRAČNE PLOVIDBE | 32 |

| | |
|---|----|
| 5.1. POVIJEST LETA..... | 34 |
| 5.1.1. Analiza leta zrakoplova Boeing 757/200 | 34 |
| 5.1.2. Analiza leta zrakoplova Tupolev TU154M..... | 37 |
| 5.2. LJUDSKE OZLJEDE NAKON NESREĆE ZRAKOPLOVA B757-200 I TU154M.. | 40 |
| 5.3. NAVIGACIJSKI SUSTAVI ZRAKOPLOVA | 42 |
| 5.4. KOMUNIKACIJA IZMEĐU ZRAKOPLOVA I KONTROLE ZRAČNE PLOVIDBE | 43 |
| 5.5. TIJEK ISTRAGE ZRAKOPLOVNE NESREĆE | 44 |
| 5.6. ANALIZA I PROCJENA RIZIKA ZRAKOPLOVNIH NESREĆA U SLUČAJU OTKAZA KOMUNIKACIJSKOG I NAVIGACIJSKOG SUSTAVA..... | 50 |
| 6. PREPORUKE ZA POBOLJŠANJE KOMUNIKACIJSKIH I NAVIGACIJSKIH SUSTAVA S CILJEM SPRJEČAVANJA ZRAKOPLOVNE NESREĆE..... | 55 |
| 7. ZAKLJUČAK | 57 |
| LITERATURA..... | 59 |
| POPIS SLIKA | 61 |
| POPIS DIJAGRAMA | 62 |
| POPIS TABLICA..... | 63 |

1. UVOD

Zrakoplov je vrlo složena naprava opremljena brojnom opremom koja treba osigurati brz i siguran let. Da bi se zrakoplovu ostvarila sigurnost u letu, taj isti zrakoplov mora biti opremljen svim potrebnim sustavima koji utječu na sigurnost. Jedan od primarnih sustava koji pridonose sigurnosti leta su komunikacijski i navigacijski sustavi koji su opsežnije opisani dalje u radu. Komunikacijski sustav služi za međusobnu komunikaciju pilota s kontrolom zračne plovidbe, operativnim centrom zračne luke, ostalim zrakoplovima u prometu i međusobnu komunikaciju posade u zrakoplovu. Osim komunikacijskog sustava u radu je opisan i navigacijski sustav koji služi za navigaciju te određivanje položaja zrakoplova. Kao nositelje podataka koriste se radiovalovi koji, zahvaljujući svojoj velikoj brzini, omogućavaju gotovo trenutnu razmjenu podataka. Na taj način svi subjekti uključeni u zračnu plovidbu imaju predodžbu o stanju u zračnom prostoru, gotovo u stvarnom vremenu.

U zrakoplovstvu postoje propusti i opasnosti koje mogu dovesti do zrakoplovne nesreće ili nezgode. Tako i otkazom ili kvarom jednog od ova dva sustava može doći do nesreće zrakoplova. Istraga može također otkriti druge opasnosti ili propuste unutar zrakoplovstva koji nisu direktno povezani sa uzrokom nesreće, a ti isti uzroci se analiziraju, procjenjuju i uklanjaju kako bi se smanjio broj nesreća u budućnosti. Nadalje u radu je istražena funkcionalnost predmetnih sustava na zrakoplovu, te će biti iznesene preporuke za poboljšanje istih.

Diplomski rad koncipiran je u 7 cjelina:

1. Uvod
2. Procesi istraživanja zrakoplovnih nesreća i nezgoda
3. Komunikacijski i navigacijski sustavi zrakoplova
4. Analiza učestalosti nesreća uzrokovanih otkazom komunikacijskih i navigacijskih sustava
5. Istraživanje primjera zrakoplovne nesreće uzrokovane otkazom sustava i utjecajem kontrole zračne plovidbe
6. Preporuke za poboljšanje komunikacijskih i navigacijskih sustava s ciljem sprječavanja zrakoplovne nesreće
7. Zaključak.

U prvom uvodnom dijelu rada prikazani su sustavi o kojima će se bazirati diplomski rad, svrha i cilj istraživanja rada, te je predočena struktura rada.

U drugom dijelu rada prikazana su istraživanja zrakoplovnih nesreća, kakve nesreće postoje, te je predočena sigurnost zračnog prometa i nadležnost u vezi sigurnosti u zrakoplovstvu.

Treće poglavlje u radu sadrži opširan opis komunikacijskog i navigacijskog sustava zrakoplova.

U četvrtom poglavlju prikazana je detaljna statistika zrakoplovnih nesreća po godinama.

Peto poglavlje sadrži detaljnu analizu i izvješće zrakoplovne nesreće, te procjenu rizika u slučaju otkaza komunikacijskog i navigacijskog sustava.

U šestom poglavlju date su preporuke za poboljšanje sustava, koje imaju za cilj smanjivanje broja zrakoplovnih nesreća, i sprječavanje istih.

U sedmom, zaključnom poglavlju dani su konkretni zaključci o predmetu istraživanja ovog rada prema prethodno navedenim poglavljima.

2. PROCESI ISTRAŽIVANJA ZRAKOPLOVNIH NESREĆA I NEZGODA

Zrakoplovna nesreća ili nezgoda ukazuje na opasnost i/ili propuste u zrakoplovstvu. Dobro provedena istraga može identificirati sve neposredne i temeljne uzroke i/ili faktore koji su doprinijeli nesreći ili nezgodi. Istraga može također otkriti druge opasnosti ili propuste unutar zrakoplovstva koji nisu direktno povezani sa uzrokom nesreće. U istrazi naglasak mora biti na utvrđivanju uzroka nesreće ili nezgode i na prijedlogu prikladnih radnji u cilju izbjegavanja opasnosti ili suzbijanja propusta. Pravilno provedena istraga je ključna metoda u prevenciji daljnjih nesreća.

Istraga mora također odrediti činjenice, uvjete i okolnosti koji se odnose na preživjele i poginule osobe u zrakoplovnoj nesreći. Preporuke za poboljšanje zrakoplovne otpornosti na sudare su u cilju sprečavanja ili umanjavanja ozljeda osoba u zrakoplovu u budućim nesrećama.

Nakon istrage nesreće ili nezgode radi se završni izvještaj, koji sadrži službene zaključke i zabilješku nesreće ili nezgode što će biti detaljnije opisano u nastavku rada. [1]

2.1. SIGURNOST ZRAČNOG PROMETA

Sustav zračnog prometa je složeni dinamički sustav koji označuju svojstveni elementi sustava:

1. Prijevozna sredstva – zrakoplovi
2. Prometna infrastruktura – aerodromi i sredstva kontrole letenja
3. Predmet prijevoza – putnici i roba
4. Zrakoplovno i ostalo stručno osoblje.

Sigurnosni aspekt prisutan je u tehnici od projektiranja i gradnje tehničkih sredstava, kroz empirijsko određivanje osnovnih principa teorije kretanja, do projektiranja i dimenzioniranja prometne infrastrukture.

Neka od načela koja se po značenju izjednačuju sa sigurnošću su ekonomičnost, udobnost, efikasnost, redovitost i slično. Sigurnost, stoga, ima šire terminološko određenje i definiciju: sigurnost je stanje, uvjetno i načelno, sustava u nekom procesu, te uključuje praktične postupke osiguranja u obliku zaštite, regulacije i kontrole, koji se mogu nazvati elementima sigurnosti. [2]

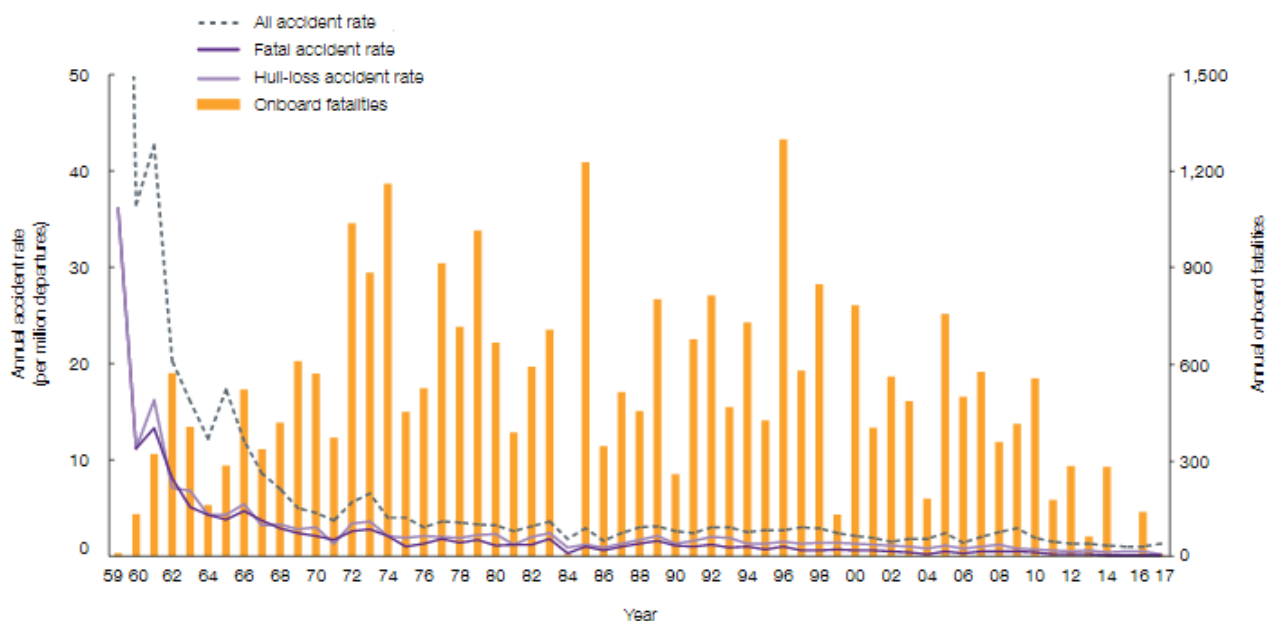
Sigurnost kao stanje dinamičkog sustava pretpostavlja proces upravljanja sustavom kroz, uvjetno nazvano, sigurnosnu koncepciju s obzirom na moguće konfliktne okolnosti – opasnosti, pa se svi postupci u tom smislu svode na četiri osnovne:

- Predviđanje opasnosti
- Uočavanje opasnosti
- Sprečavanje nezgode / nesreće
- Otklanjanje ili ublažavanje posljedica nezgode / nesreće.

Opasnost za sustav može se definirati kao nekontrolirano prevođenje stanja sustava na nižu razinu sigurnosti koja otežava ili onemogućuje ostvarenje tehnološkog procesa odnosno procesa upravljanja sustavom. Prema izvoru, opasnost za sustav može biti unutarnja ili vanjska opasnost, od kojih su unutarnji čimbenici vezani za elemente sustava (tehnički otkazi, nepodobnost predmeta prijevoza, faktor čovjek), a vanjski čimbenici utjecaja vezani su za uvjete okruženja (meteorološke promjene, pojava nepredvidivih zapreka, nezakonita ugrožavanja). Prema pojavi, opasnost za sustav može biti očekivana i neočekivana. Opasnost za dinamički sustav pojavljuje se u vremenu ostvarenja tehnološkog procesa, za sustav zračnog prometa opasnost se najučestalije pojavljuje u fazi prijevoza (leta). [2]

Složeni dinamički sustav može se smatrati sigurnim ako je u procesu upravljanja primijenjena sigurnosna koncepcija, što znači da je, bez obzira na izvjesnost opasnosti, sustav na osnovi empirijskih, statističkih, analitičkih i ostalih saznanja pripremljen za pravovremeno uočavanje i eliminaciju opasnosti. [2]

Nesreća zrakoplova je rijetko prouzročena samo jednim uzrokom, što znači da je redovito izazvana kombinacijom više različitih uzroka. Preventiva se, stoga, temelji na identificiranju i otklanjanju uzroka te na sprečavanju pojave lanca okolnosti njihovog međudjelovanja koje dovode do nesreće. Općenito se glavni uzročni čimbenici ili rizici nesreća kategoriziraju u tri skupine: čovjek, zrakoplov i okolina. [2] Na slici 1. prikazana je analiza zrakoplovnih nesreća od 1959. godine do 2017. godine.



Slika 1: Stopa nesreća i smrtnih slučajeva po godinama, [18]

Od samog su se početka razvoja zrakoplovstva greške vezane za projektiranje, gradnju, popravljanje, održavanje i eksploataciju zrakoplova, manifestirane tehničkim otkazima te izazvanim nesrećama i ljudskim žrtvama u zračnom prometu, ispravljale normiranjem tehničkih minimuma, što znači da se stopa zrakoplovnih nesreća, kao što je i prikazano na slici 1. s vremenom smanjila, i upravo taj način „učenja na greškama“, imanentan zrakoplovstvu, rezultirao je u relativno kratkom razdoblju razvijanjem sofisticirane zrakoplovne tehnike i strogim normama njene primjene.

Udjel čimbenika zrakoplov odnosno otkazi zrakoplovnih uređaja i sustava kao primarni uzrok zrakoplovnih nesreća sveden je u posljednjim godinama na oko 10%. [2]

2.2. NADLEŽNOST I PROCES ISTRAŽIVANJA ZRAKOPLOVNIH

NESREĆA

U skladu sa Člankom 26 Konvencije o međunarodnom civilnom zrakoplovstvu dužnost je zemlje u kojoj se dogodila zrakoplovna nesreća da ustanovi ispitivanje okolnosti nesreće. Ta obveza može se ispuniti kroz pravilni zakonodavni okvir istraživanja zrakoplovnih nesreća. Zakonodavni okvir mora osigurati uspostavu oblika vlasti koja bi istraživala zrakoplovne nesreće (agencija, odbor ili drugo tijelo) pri čemu ista mora biti neovisna od ostalih tijela vlasti civilnog zrakoplovstva koji bi mogli utjecati na objektivnost istrage.

Osnovano tijelo za istraživanje zrakoplovnih nesreća mora biti strogo objektivno i posve nepristrano te ga javnost mora smatrati nepristranim također. Tijelo mora biti ustrojeno na način da može izdržati političko uplitanje i bilo kakvo drugo uplitanje ili pritisak. Mnoge države su postigle ovaj cilj postavljajući tijelo za istraživanje zrakoplovnih nesreća kao nezavisno tijelo ili odvajajući ga od administracije civilnog zrakoplovstva. Takva tijela odgovorna su direktno kongresu, parlamentu ili ministarstvu. [1]

U skladu sa ICAO Dodatkom 13, zemlja koja provodi istragu mora odrediti glavnog istražitelja istrage, koji je odgovoran za organizaciju, provedbu i kontrolu istrage. Poželjno je da je glavni istražitelj član tijela za istraživanje nesreća. Unatoč tomu, ništa ne sprječava da se uloga glavnog istražitelja ne dodjeli povjerenstvu ili nekom drugom tijelu.

Glavni istražitelj odgovoran je za svakodnevno upravljanje i provođenje istrage. Prije odlaska na mjesto događaja, istražitelj mora odrediti ljudska, tehnička i financijska sredstva koja su potrebna za istragu i mora uspostaviti istražni tim. Tijekom faze prikupljanja dokaza na mjestu događaja, glavni istražitelj je odgovoran za provođenje i kontrolu istrage te utvrđivanje opsega činjeničnih podataka koji se trebaju prikupiti. Tijekom kasnijih faza istrage, kada se razmatra važnost utvrđenih činjenica, glavni istražitelj mora objediniti grupne izvještaje, analizirati informacije i izraditi Završno izvješće. Glavni istražitelj također mora povezivati i koordinirati istražne aktivnosti s drugim organizacijama, agencijama i strankama u postupku, mora imati ovlasti nad svim članovima istražnog tima tijekom faze istrage na terenu, te sve ovlasti potpisivanja ugovora i uključivanja u potrebne financijske obveze koje je nužno za kvalitetno provođenje istrage događaja. [3]

Kao potpora istrazi i samom glavnom istražitelju, objedinjuje se tim sa koordinatorima istrage, koji su obično pojedinci zaposleni u istražnom tijelu države koja provodi istragu. Oni podupiru glavnog istražitelja u svim granama i aspektima istrage, i djeluju kao neposredna

podrška postupku istrage te uspostavljaju vezu s različitim istraživačkim skupinama, organizacijama i državama. Koordinatori koji mogu sudjelovati, ovisno o razmjeru istrage, uključuju: [3]

- Zamjenika glavnog istražitelja,
- Koordinatora središnjeg ureda,
- Administrativnog koordinatora,
- Koordinatora za odnose sa javnošću i
- Koordinatora za sigurnost mjesta događaja.

Ovisno o razmjeru i okolnostima događaja te broju kvalificiranog osoblja, nekada je nepraktično pristupiti svakoj fazi istrage sa punim istraživačkim timom. Što u pravilu znači da svaki glavni istražitelj određuje sastav skupine odnosno istraživačkog tima, koje se obično mogu podijeliti u dvije kategorije:

1. operativnu kategoriju i
2. tehničku kategoriju.

U operativnu kategoriju pripadaju istraživačke skupine za: operacije, performanse zrakoplova, medicinske/ljudske čimbenike, svjedoke, analiziranje uređaja za snimanje leta, meteorologiju, usluge zračne plovidbe/aerodrome, preživljavanje i skupinu za sigurnost kabine. Dok tehnička kategorija može uključivati skupine za: održavanje i evidenciju sustava, strukturu zrakoplova, motorne grupe, nadzor mjesta događaja, otpornost na sudare i foto/video skupinu. Svaka istraživačka skupina prema naredbi glavnog istražitelja zadužena je za istragu jedne faze procesa istraživanja nesreće/nezgode. [3]

U ovom radu u daljnjem razmatranju biti će opisivana i analizirana zrakoplovna nesreća koja je uzrokovana otkazom komunikacijskog i navigacijskog sustava. Takva istraga zrakoplovne nesreće uključuje uspostavljanje istraživačke skupine za sustave koja je odgovorna za detaljni pregled svih sustava i komponenti, između ostalog hidrauličke, pneumatske, električne i elektroničke, radio-komunikacijske i navigacijske opreme, sustava za klimatizaciju i regulaciju tlaka, zaštitu od leda i kiše, kabinske vatrogasne aparate i sustave za kisik. Ispitivanja tijekom istrage uključuju utvrđivanja stanja i operativnih sposobnosti komponenti. Bitno je da se pregledaju sve komponente sustava. Ispitivanje uključuje određivanje položaja povezanih kontrola i prekidača, kao i identifikaciju i skidanje podataka sadržanih u *built-in test*¹opremi. Ova skupina koja je odgovorna za sustave mora uskladiti i koordinirati svoje

¹ *Built-in test* oprema; ugrađena testna oprema primarno se odnosi na opremu za pasivno upravljanje greškama i dijagnostiku ugrađenu u zračne sustave za podršku procesa održavanja.

aktivnosti sa skupinama za analizu podataka sa uređaja za snimanje leta, operativnom skupinom, skupinom za nadzor mjesta nesreće, skupinom za održavanje i evidenciju, skupinom za strukturu zrakoplova i motorne jedinice.

Osim timova koji se formiraju od strane glavnog istražitelja prema obujmu istrage zrakoplovne nesreće, u istragu su uključeni i ovlašteni predstavnici koji predstavljaju svoju državu i kao takvi odgovorni su za osiguranje sigurnosnih interesa svoje države u istrazi. Oni su bitna poveznica između države koja vodi istragu i država koje imaju izravni interes za događaj. Državni registar, država operatora, država dizajna, država proizvođača i svaka druga država koja na zahtjev daje informacije, objekte ili stručnjake obično zastupa ovlašteni predstavnik. ICAO Dodatak 13 u poglavlju 5 navodi uvjete pod kojima te države imaju pravo imenovati ovlaštenog predstavnika, uključujući obveze i prava pristupa, između ostaloga, mjestu nesreće, relevantnim dokazima i svoj ostaloj dokumentaciji koja je povezana s događajem. [3]

2.2.1. Istraga velikih zrakoplovnih nesreća

Istraga velikih nesreća zahtjeva znatan tim istražitelja koji pokrivaju sve aspekte događaja. Taj tim bi trebao voditi glavni istražitelj koji potpuno razumije primjenjivost nacionalnih zakona i propisa, jasno razumije međunarodne standarde, preporučene prakse, smjernice i protokole te ima iskustvo u provedbi istraga o nesrećama u kojima sudjeluju veliki zrakoplovi. Glavni istražitelj trebao bi biti viši istražitelj istražnog tijela svake države odgovorne za istragu nesreće. On je također odgovoran za upravljanje i vođenje svih aspekata istrage od početka istrage do krajnje predaje Završnog izvješća koje se podnosi na odobrenje državnim istražnim tijelima. Kao što je prethodno u radu spomenuto, ovisno o veličini i opsegu nesreće glavni istražitelj bi trebao razmotriti osnivanje istraživačkih skupina koje bi pokrivale razna funkcionalna područja istrage. Broj skupina i broj potrebnog osoblja ovise o vrsti i složenosti zrakoplovne nesreće. Svi članovi istražnih skupina imaju pravo i pristup svim relevantnim informacijama koje su otkrivene tijekom istrage i trebali bi nastaviti sudjelovanje u istrazi do trenutka završetka izvješća koje provodi određena skupina kojoj je dodijeljen. Također, stručnjaci koji su uključeni u istragu trebaju imati pristup informacijama koje su im potrebne za davanje savjeta unutar svog područja stručnosti. [3]

Velika nesreća je uvijek značajan događaj koji može dovesti u pitanje kompetencije državne istražne vlasti. Vjerodostojnost državne istražne vlasti, njezina istraga, njezino Završno izvješće i preporuke zasigurno ovise o neovisnosti istrage i o njezinoj sposobnosti pravodobnog obavještavanja o istrazi onih entiteta koji imaju interesa za istragu, uključujući i subjekte izvan okvira istrage kao što su preživjeli, obitelji žrtava i mediji. Nijedna informacija ne bi trebala biti izdana bez izričitog odobrenja države koja je odgovorna za provođenje istrage. U većini slučajeva glavni istražitelj je osoba delegirana za iznošenje svih relevantnih informacija o istrazi. [3]

Što se tiče obavijesti o nesreći, bitna je trenutna obavijest jer pravilno provođenje istrage zahtijeva brz dolazak istražitelja na mjesto nesreće. Svako kašnjenje u njihovom dolasku može rezultirati pogoršanjem ili nestankom bitnih dokaza, premještanjem ili nepravilnim rukovanjem olupinama, korozijom olupine i uništavanjem ili oštećenjem dokaza na zemlji.

Također, važno je osigurati operativnu dokumentaciju i dokumentaciju vezanu uz održavanje zrakoplova koji je sudjelovao u nesreći i sve druge dokumente koji su relevantni za događaj. Operator, ustanova koja održava zrakoplov, usluge zračne plovidbe te zračne luke, civilne zrakoplovne vlasti i meteorološke službe primjeri su organizacija koje trebaju biti kontaktirane što je prije moguće u svrhu prikupljanja i osiguranja dokumentacije koja je nužna za provođenje istrage. [3]

Prilikom dolaska na mjesto događaja, istražitelji bi se trebali susresti s voditeljima vatrogasnih i spasilačkih timova, policije i drugim službenicima kako bi utvrdili situaciju na mjestu nesreće. Prije preuzimanja kontrole nad mjestom, koordinator za sigurnost mjesta događaja bi u ime glavnog istražitelja trebao procijeniti okolnosti nastanka događaja, stanje i granice mjesta događaja, utvrditi opasnosti koje postoje, te donijeti mjere za osiguranje sigurnosti i zaštite mjesta događaja. Također, on uspostavlja granice, sigurnost i procedure za kontrolu pristupa mjestu događaja.

Nakon terenske faze, preostaju značajni istražni radovi, a glavni istražitelj mora raditi na održavanju i upravljanju napretkom istrage. Općenito, post-terenska faza uključuje kontinuirano prikupljanje i potvrđivanje dokaza, ispitivanje svih relevantnih osoba, kompanija, zrakoplova, ustanova, vladinih i drugih evidencija, zatim ispitivanje izabranih dijelova olupine u laboratoriju, testiranje odabranih komponenti i sustava, čitanje i analizu snimaka, provođenje daljnjih intervjua, određivanja slijeda događaja, analiziranje svih informacija o istrazi, te na kraju završetak tehničkih i grupnih izvještaja, ako ih ima. Post-terenska faza može potrajati mjesecima, ovisno o veličini i složenosti istrage.[3]

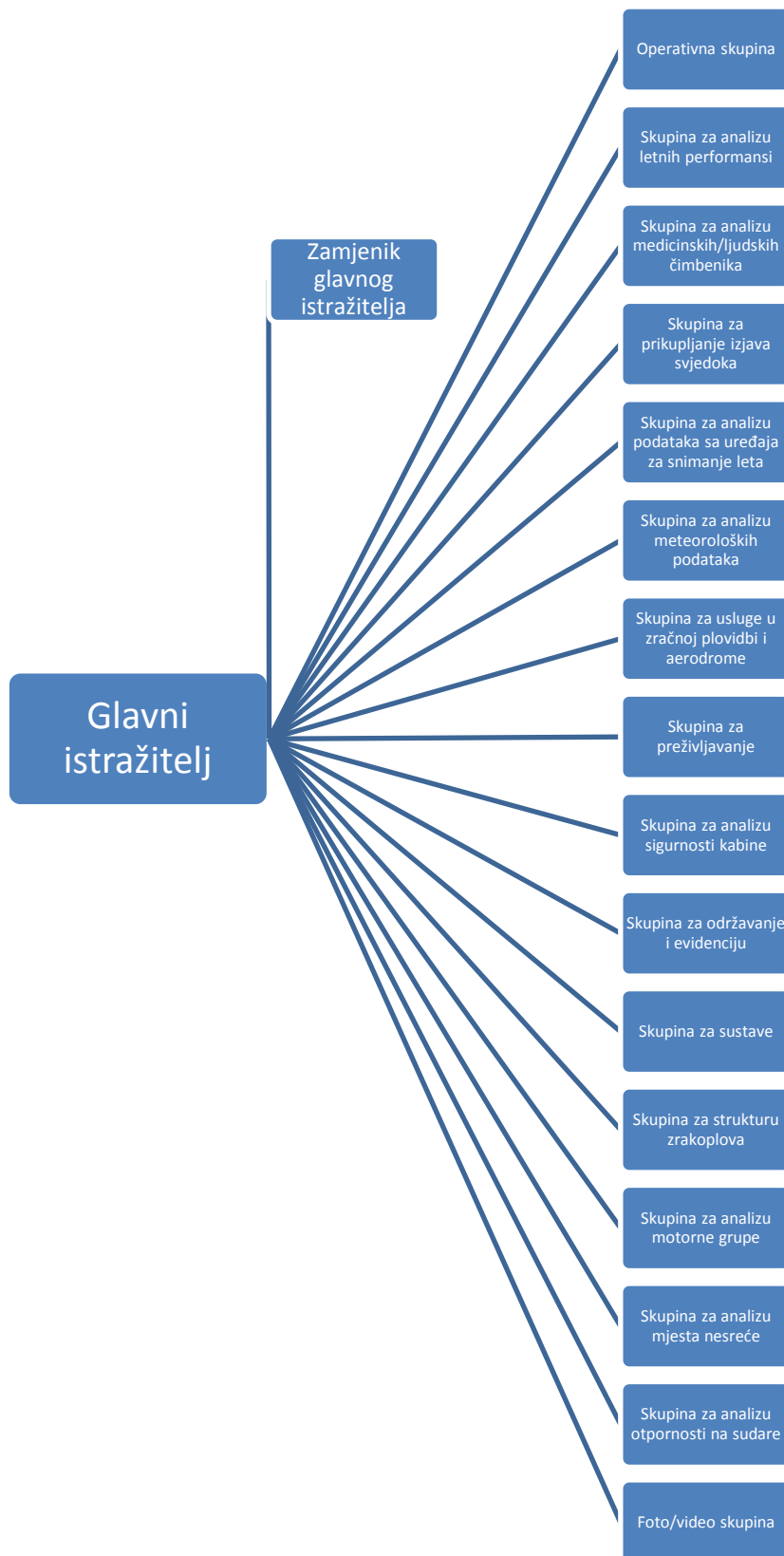
Najbitnija stavka nakon terenske faze je osigurati da se proces istrage provodi i napreduje, iz razloga što članovi koji sudjeluju u istrazi nisu više na istoj lokaciji, odnosno svatko radi svoj dio posla na određenim lokacijama. Zbog toga je bitno da glavni istražitelj održava komunikaciju čitavog tima kako bi se istraga nesreće mogla izvesti do kraja. U tom slučaju organiziraju se često sastanci na kojima se donose neke bitne pretpostavke i odluke.

Na kraju istrage svake nesreće jedna od najbitnijih stavki je izrada Završnog izvješća koju izrađuje glavni istražitelj, a to je zapravo preporuka za daljnje poboljšanje svih nesretnih događaja povezanih sa zrakoplovima. Završno izvješće mora detaljno prikazivati sve činjenice koje su se dogodile, kako su se dogodile i razlozi zbog kojih su se dogodile.

Glavni istražitelji i voditelji skupina trebaju se referirati na sljedeće dokumente koji se odnose na izradu Završnog izvješća: [3]

1. ICAO Dodatak 13, poglavlje 6 sadrži standarde i preporučene prakse o procesu konzultacija i izdavanju Završnog izvješća o provedenoj istrazi;
2. Prilog ICAO Dodatku 13 detaljno prikazuje oblik Završnog izvješća; i
3. Priručnik ICAO-a (Dokument 9756, Dio IV- Izvještavanje), sadrži detaljne smjernice o popunjavanju svakog odjeljka Završnog izvješća.

U nastavku je na grafu 1. prikazana organizacijska shema istrage za velike nesreće zrakoplova koja uključuje veliki ili složeni zrakoplov, što znači da se mora oformiti veliki tim istražitelja koji provode istragu na najlakši i najučinkovitiji način.



Slika 2. Organizacijska shema istrage za velike nesreće zrakoplova,

Izvor: [3]

2.2.2. Istraga manjih zrakoplovnih nesreća ili nezgoda

Istraživanje manjih nezgoda i nesreća može provesti jedan istražitelj, a ponekad mu pomaže jedan ili više istražitelja. U takvim situacijama glavni istražitelj preuzima odgovornosti za organizaciju, provođenje i izvješćivanje o provođenju istrage te će također biti aktivan u istražnim radnjama koje odgovaraju njegovoj stručnosti.

Organizacija provođenja manje istrage će se razlikovati od događaja do događaja. Na primjer, istraga može biti terenska za koju se javlja potreba dolaska jednog ili više istražitelja na mjesto događaja, ili to može biti uredska istraga gdje se sva ili većina istrage provodi iz ureda istražnog tijela. Kad se manja nesreća dogodi na zračnoj luci, vjerojatno će doći do značajnog pritiska za uklanjanje olupine kako bi se normalne operacije letenja mogle nastaviti. Isto tako, za nezgode koje se javljaju za vrijeme leta ili na području manevriranja zračne luke, može doći do značajnog pritiska premještanjem zrakoplova i što ranijem povratku u normalne operacije. U obje ove situacije, glavna opasnost za provođenje istrage mogao bi biti potencijalni gubitak dokaza. U tom smislu, istražitelj treba staviti prioritet na ispravno dokumentiranje mjesta olupine i/ili zrakoplova prije ikakvog premještanja.[3]

Za nezgode u kojima je bilo malo ili nikakvo oštećenje, vjerojatno će biti značajan pritisak da se povratak zrakoplova u normalne operacije dogodi što je prije moguće. Uklanjanje uređaja za snimanje leta može odgoditi puštanje inače ispravnog zrakoplova u promet. U tom smislu, istražitelj treba staviti prioritet da osigura snimke leta i da su ispravno zaštićene, zatim odrediti da li su snimke potrebne za provođenje istrage, preuzeti snimke i otpustiti zrakoplov da može nastaviti s normalnim operacijama.[3]

Isto kao i za velike nesreće, glavni istražitelj već u ranom stadiju istrage manjih nezgoda ili nesreća, mora osigurati dokumente o operacijama i održavanju zrakoplova koji je predmet istrage, kao i sve ostale dokumente koji su relevantni za događaj. Koji će dokumenti biti potrebni za istragu ovisi o vrsti događaja koji se dogodio. Glavni istražitelj u što kraćem roku treba odlučiti koji dokumenti su potrebni za provođenje istrage, a zatim treba kontaktirati sve relevantne organizacije za prikupljanje dokumenata. To su organizacije poput: operatora, ustanove za održavanje zrakoplova, usluge u zračnoj plovidbi i zračne luke, vlasti (agencije) civilnog zrakoplovstva, meteorološke službe i slični.

Uređaji za snimanje leta važan su izvor činjeničnih informacija za istrage. Zrakoplov koji je sudjelovao u nekoj nezgodi mogao se pomaknuti na znatnu udaljenost od mjesta gdje se događaj dogodio. Zbog takvih situacija u današnje vrijeme mnogo operatora imaju opremu za

kopiranje zapisa uređaja za snimanje leta FDR² i uređaj za snimanje komunikacije iz kokpita CVR³ bez potrebe za uklanjanjem snimača iz zrakoplova.

Prilikom dolaska na mjesto događaja, istražitelji bi se trebali sastati s voditeljima vatrogasnih i spasilačkih timova, policijom u drugim službenicima za utvrđivanje situacije na mjestu događaj, te utvrditi tko ima kontrolu, što je učinjeno i što još nije učinjeno. Prije nego preuzme kontrolu nad mjestom događaja, istražitelj treba procijeniti okolnosti nastanka, stanje i granicu mjesta događaja, utvrditi opasnosti koje postoje i zahtjeve za osiguravanje sigurnosti i zaštite mjesta događaja. Kada je spreman preuzeti kontrolu nad mjestom, istražitelj treba uspostaviti granice, sigurnost i postupke za kontrolu pristupa mjestu događaja. Za male nesreće, potrebno je angažirati lokalne policijske vlasti za osiguravanje mjesta nesreće, iz razloga što to olakšava rad istražitelja i omogućuje im da se usredotoče na druge aspekte istrage. [3]

Isto kao i kod velike nesreće, nakon terenske faze glavni istražitelj mora marljivo raditi na održavanju i koordiniranju napretkom istrage. Općenito, post-terenska faza uključuje kontinuirano prikupljanje i potvrdu dokaza, ispitivanje svih relevantnih osoba, kompanija, zrakoplova, ustanova, vladinih i drugih evidencija, zatim ispitivanje izabranih dijelova olupine u laboratoriju, testiranje odabranih komponenti i sustava, i slično. Ta ista faza može trajati mjesecima, ovisno o veličini istrage i njezinoj složenosti.

Za izvješćivanje o malim istraživanjima, mnoge su države kreirale skraćene formate izvješća koji sadrže samo povijest leta, informacije o nedostacima koje je otkrila istraga, analizu čimbenika koji pridonose nastanku događaja i otkrićima vezanim za nedostatke. Nalazi i uzročno/posljedični čimbenici definirani u završnim izvješćima obično bi trebali dovesti do sigurnosnih preporuka kako bi se mogle provesti odgovarajuće preventivne akcije.[3]

Sigurnosne preporuke trebaju opisati sigurnosne probleme i opravdati preporučene sigurnosne radnje. One bi trebale utvrditi koje radnje treba poduzeti, ali treba ostaviti prostor nadležnim tijelima da za predmetna pitanja utvrde način za postizanje cilja preporuke.

²Engl. FDR- Flight Data Recorder; Uređaj za snimanje leta

³Engl. CVR- Cockpit Voice Recorder; Uređaj za snimanje komunikacije iz kokpita

3. KOMUNIKACIJSKI I NAVIGACIJSKI SUSTAVI ZRAKOPLOVA

Svaki zrakoplov da bi bio neovisan u letu potrebna mu je dinamička reakcija zraka oko krila i snaga motora kako bi mogao izvršiti razne zadaće tijekom leta i tijekom boravka na zemlji.

Zrakoplov je vrlo složeno prijevozno sredstvo i opremljen je brojnom opremom koja treba osigurati brz, siguran i udoban let. Osnovne, pa čak i najmanje, zadaće, poput kontrole stalnih dijelova, kontrolnih površina i drugih dijelova ne mogu imati mehaničke poveznice direktno iz pilotske kabine, pa se one kontroliraju sustavima. Osim toga, pilotu mora biti omogućeno sigurno upravljanje, točna navigacija, komunikacija i sve ono što utječe na sigurnost u letu. Stoga je sve oprema podijeljena u sustave zrakoplova, ovisno o funkciji. U svaki određeni sustav pripadaju uređaji, vodovi i ostali elementi koji omogućuju rad pojedinog sustava.[4]

3.1. POVIJEST AVIONIKE

Povijest avionike je povijest uporabe elektronike u zrakoplovstvu. I vojni i civilni zrakoplovni zahtjevi doprinijeli su razvoju elektronike u zrakoplovstvu. Prvi svjetski rat izazvao je hitnu potrebu za komunikacijom. Uspostavljene su glasovne komunikacije na relaciji od zemaljskih stanica do zrakoplova i od zrakoplova do zrakoplova. Razvoj pouzdanosti zrakoplova i upotreba u civilne svrhe u 1920.-im godinama doveo je do povećanja instrumentacije i pokretanja potrebe za osvajanjem „slijepog leta“ - let bez vidljivosti zemlje. Krajem desetljeća navigacija instrumentima u kombinaciji s rudimentarnim korištenjem radija proizvela je prvo sigurno slijepo slijetanje zrakoplova.

Tridesetih godina prošlog stoljeća izvršeno je prvo „slijepo“ slijetanje. U isto vrijeme, proširena je i radijska navigacija pomoću zemaljskih svjetionika. Počelo je certificiranje navigacijskih instrumenata za zrakoplovne pilote. Utvrđeno je da su radiovalovi niskih i srednjih frekvencija problematični noću i u vremenskim neprilikama. Do kraja desetljeća istraživalo se korištenje visokofrekventnih radijskih valova što je dovelo do pojave radara visoke frekvencije.

Četrdesetih godina prošlog stoljeća, nakon dva desetljeća razvoja pokretanih zahtjevima prijevoznika i putnika u zračnom prijevozu, Drugi svjetski rat je hitno uključio razvoj radio

komunikacije i navigacije zrakoplova. Komunikacijski radio uređaji, unatoč njihovoj veličini, bili su bitni u zrakoplovu. Vrlo visoke frekvencije razvijene su za komunikacijske i navigacijske svrhe. Instalacija prvih instrumenata za slijetanje na „slijepo“ počela je sredinom desetljeća, a do kraja desetljeća uspostavljena je navigacijska mreža s vrlo visokom frekvencijom svesmjerni radiofar (VOR⁴). Civilni zračni promet povećao se tijekom sljedećih desetljeća. Opremljena je komunikacijska i navigacijska oprema. Razvoj radio signala, osobito šezdesetih godina, proizveo je širok raspon malih, robusnih radio i navigacijskih uređaja za zrakoplove. Svemirski program je započeo višu razinu komunikacije i navigacijske nužnosti, što je dovelo do pokretanja komunikacijskih satelita. Sedamdesetih godina prošlog stoljeća uveden je konceptna validacija satelitske navigacije za vojsku, a sateliti globalnog sustava pozicioniranja (GPS⁵) lansirani su još 1980-ih. Na Zemlji je izgrađen sustav za navigaciju dugog dometa (LORAN). Blok II GPS sateliti pušteni su u rad sredinom 80-ih godina, a GPS je počeo s radom 1990. s punim 24-satelitskim sustavom koji je radio od 1994. godine.

U posljednjih nekoliko desetljeća razvoj avionike raste brže nego razvoj aviona i pogonskih postrojenja. To će se vjerojatno nastaviti u bliskoj budućnosti. Poboljšanja elektronike u čvrstom stanju u obliku mikro i nanotehnologija se nastavljaju i danas, a fokus je na širokom rasponu komunikacijskih i navigacijskih sustava.

S osiguranom mehanikom letenja, rani avijatičari započeli su zadatke poboljšanja operativne sigurnosti i funkcionalnosti leta. Razvijene su u velikoj mjeri korištenjem pouzdanih komunikacijskih i navigacijskih sustava. Danas, s tisućama zrakoplova u svakom trenutku, komunikacijski i navigacijski sustavi su neophodni za siguran i uspješan let. Nastavlja se kontinuirani razvoj. Manji, lakši i snažniji uređaji za komunikaciju i navigaciju povećavaju svijest o situaciji u pilotskoj kabini. Zajedno s poboljšanim sustavima prikaza i upravljanja, napredak zrakoplovne elektronike oslanja se na povećanje sigurnosti u zrakoplovstvu. [7]

⁴Engl. VOR- VHF Omnidirectional Range; svesmjerni radiofar

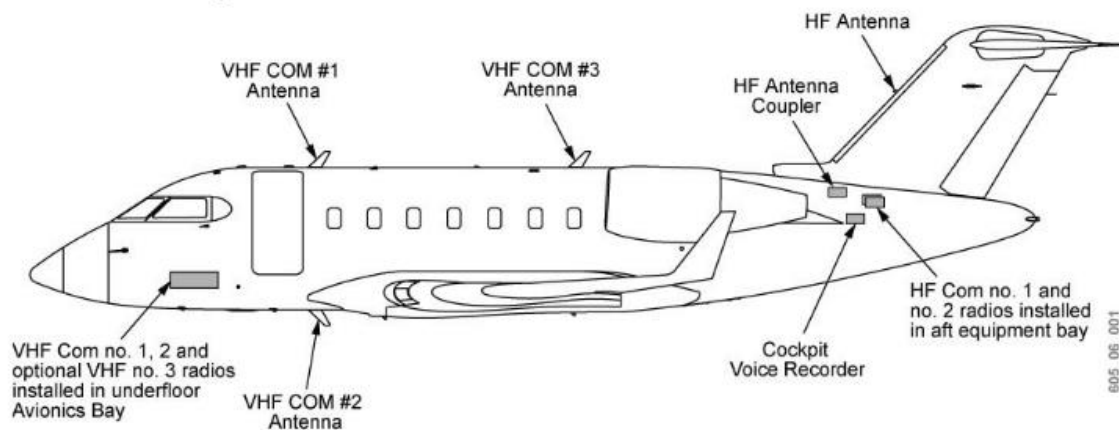
⁵Engl. GPS- Global Positioning System; sustav globalnog pozicioniranja

3.2. KOMUNIKACIJSKI SUSTAVI

Jasna radio govorna komunikacija bila je jedna od prvih razvoja u uporabi elektronike u zrakoplovstvu. Komunikacijski sustav zrakoplova obuhvaća one komponente i podsustave koji pružaju komunikaciju od zrakoplova do zemlje, interfon i komunikaciju unutar kabine zrakoplova. Taj isti sustav je također odgovoran za snimanje komunikacije unutar kabine zrakoplova. Sustav za komunikaciju također služi za međusobnu komunikaciju pilota s kontrolom leta, ostalim zrakoplovima u prometu i međusobnu komunikaciju posade unutar nekog zrakoplova. [8]

Komunikacijski sustav uključuje sljedeće komponente:

- sustav za integriranje zvuka,
- komunikacijske radiopostaje,
- sustav radijskog ugađanja,
- snimač glasa u kokpitu i
- statičko pražnjenje.



Slika 3: Komunikacijski sustav na primjeru zrakoplova Bombardier Challenger 605⁶, [8]

⁶ VHF Com- very high frequency communication, visoko frekventni radio val (VHF) je oznaka za raspon radiofrekvencijskih elektromagnetskih valova od 30 do 300 MHz, s odgovarajućim valnim duljinama od deset metara do jednog metra.

HF- high frequency, visoko frekventni radio val

3.2.1. Sustav za integriranje zvuka

Sustav za integriranje zvuka integrira i upravlja zvukom iz nekoliko izvora zvuka, uključujući interfon za posadu i servis, komunikacijski radio i navigacijski prijemnik. Osim toga, sustav integrira audio signale, tonove i poruke s pokazivača motora i sustava za uzbunjivanje posade (EICAS⁷), te osigurava zbrajanje komunikacija posade sa snimačem zvuka u pilotskoj kabini (CVR⁸). [8]

Sustav za integriranje zvuka uključuje sljedeće komponente:

- upravljačku jedinicu audio elektronike,
- upravljačke ploče za zvuk,
- zvučnike zračnog prostora,
- utičnice za mikrofoni i slušalice,
- ručne mikrofone,
- mikrofonske prekidače i
- vanjske utičnice za uzemljenje.

3.2.2. Komunikacijske radiopostaje

Osnovna komunikacijska radio instalacija zrakoplova sastoji se od dva vrlo visoko frekventna radio vala VHF⁹ i dva visoko frekventna radio vala HF¹⁰. Oni se automatski napajaju kad se električna energija primijeni na zrakoplov. Odabir i ugađanje radija može se obaviti pomoću upravljačkog zaslona sustava leta ili kontrolne ploče pokazivača i višenamjenskog zaslona. [8]

- VHF komunikacije

Osnovni VHF komunikacijski sustav uključuje dva primopredajnika, koja su ugrađena u odjel avionike. VHF antene su postavljene na gornji i donji trup zrakoplova. Taj sustav

⁷Engl. EICAS- Engine Indicating and Crew Alerting System; sustava za uzbunjivanje posade

⁸ Engl. CVR- Cockpit Voice Recorder; Uređaj za snimanje komunikacije iz kokpita

⁹ Engl. VHF- very high frequency; visoko frekventni radio val

¹⁰Engl. HF- high frequency; visoko frekventni radio val

omogućuje glasovnu komunikaciju dometa u frekvencijskom rasponu od 118.000 do 136.975 MHz, s 25 kHz ili 8.33 kHz ugađanja. Treći VHF primopredajnik može biti instaliran za dodatne mogućnosti glasovne komunikacije. Treći VHF primopredajnik je također potreban ako je instalirana opcijaska VHF digitalna podatkovna veza (VDL - ModeA/2).

- HF komunikacije

HF komunikacijski sustav uključuje dva visokofrekventna primopredajnika i dva antenska adaptera, koji su ugrađeni u odjeljak prtljažnika. HF sustav omogućuje glasovnu komunikaciju dometa u frekvencijskom rasponu od 2 do 30 MHz. Antena je sastavni dio vodećeg ruba vertikalnog stabilizatora. U slučaju da dekoder otkrije selektivni poziv na zemaljskoj postaji, prikazuje se poruka EICAS savjetodavnog 1 (2) i čuje se "SELCAL" zvučno upozorenje. EICAS poruka i upozorenje se resetiraju kada se pritisne mikrofonski prekidač za prijenos HF sustava. [8]

3.2.3. Sustav radijskog ugađanja

Podešavanje VHF i HF radija provodi se prvenstveno korištenjem upravljačkih zaslonskih jedinica CDU¹¹ koje su povezane sa sustavom upravljanja letom FMS¹². [8]

3.2.4. Snimač glasa u kokpitu

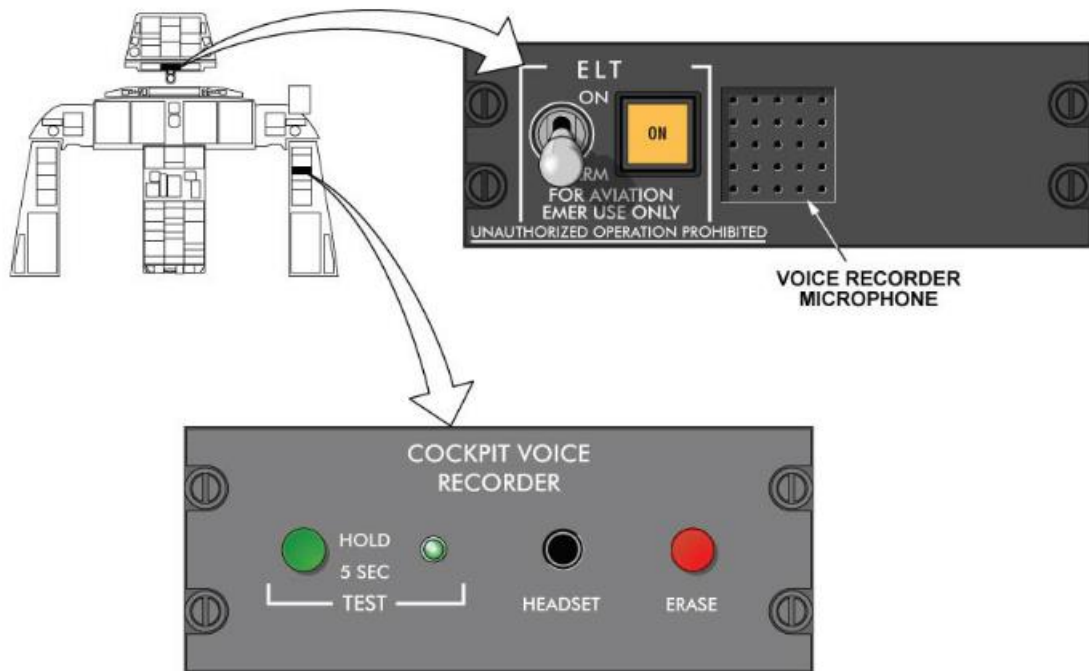
Snimač glasa u kokpitu (CVR) kontinuirano bilježi:

- radio komunikacije,
- razgovore letačke posade,
- slušna upozorenja; i
- opće zvukove iz odjeljka za letenje.

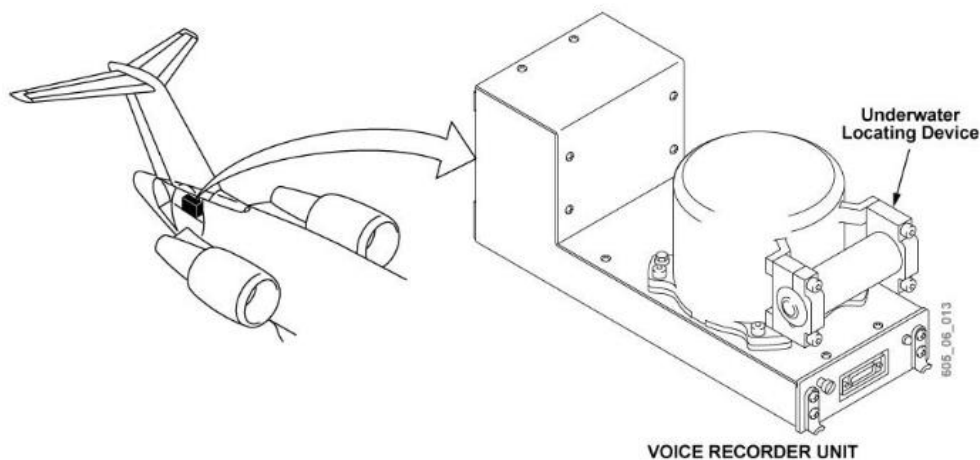
¹¹Engl. CDU- Control Display Unit; Kontrolna upravljačka jedinica

¹²Engl. FMS- Flight Management System; Sustav upravljanja letom

CVR je instaliran u odjeljku za prateću opremu i obojen je narančastom bojom radi brze identifikacije. Na jedinici je instaliran podvodni uređaj za lociranje, koji pomaže u pronalasku jedinice ako je potopljen. Uređaj sadrži zvučni signal, bateriju i prekidač aktiviran vodom. CVR počinje automatski snimati kada se električna energija primijeni na zrakoplov. Audio se snima na audio kanalima i pohranjuje u CVR memoriju. [8]



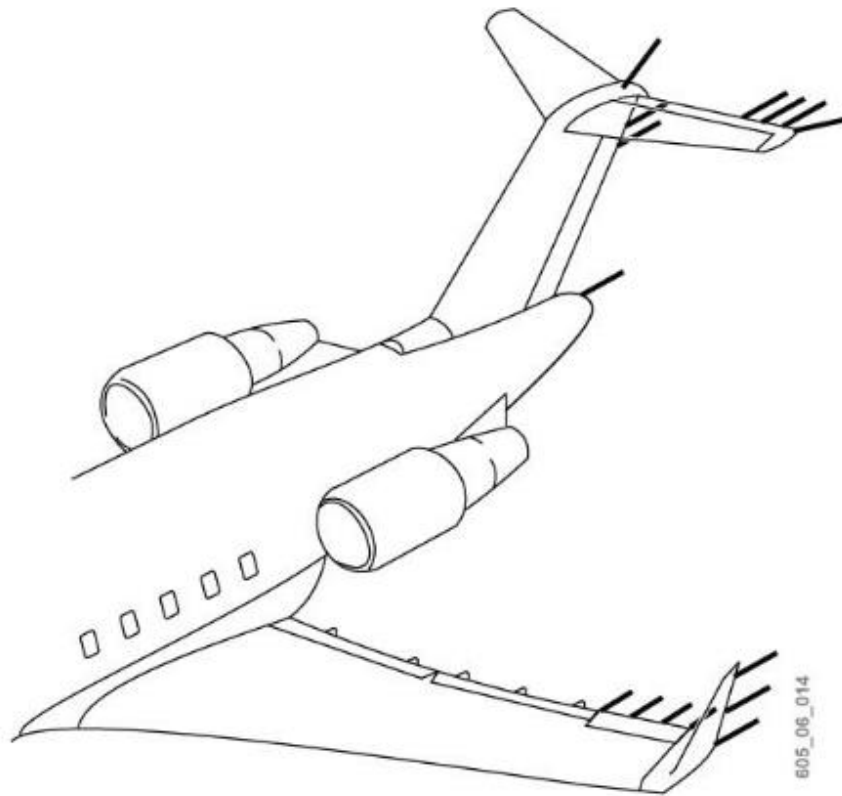
Slika 4: Snimač glasa u kokpitu, [8]



Slika 5: Lokacija na kojoj se nalazi snimač glasa u kokpitu, [8]

3.2.5. Statičko pražnjenje

Statička pražnjenja ugrađuju se na pratećim rubovima primarnih površina za upravljanje letom što je prikazano na slici 6 i 7. Oni omogućuju postupno odvođenje statičkih električnih naboja tijekom leta.[8]



Slika 6: Statičko pražnjenje na zrakoplovu, [8]



Slika 7. Statičko pražnjenje na primjeru zrakoplova A320, [19]

3.3. NAVIGACIJSKI SUSTAVI

Navigacijski sustav služi za navigaciju i određivanje položaja zrakoplova u odnosu na Zemlju, da bi se let zrakoplova odvijao točno određenom rutom, najkraćim i najsigurnijim putem. Ovisno o tipu zrakoplova, oprema se razlikuje. Pomoću uređaja na zemlji koji emitiraju signale, pilot po instrumentima u zrakoplovu točno određuje smjer leta zrakoplova, udaljenost od određenih pozicija, odnosno točnu lokaciju zrakoplova. [4]

Temelj gotovo svih navigacija je položaj svakog tijela koje se kreće. Položaj se iskazuje zemljopisnim koordinatama: geodetskoj širini, geodetskoj dužini, i nadmorskoj visini. Zbog zbijenosti zračnog prostora jedan od najvećih poteza koje pilot zrakoplova mora obaviti je izbjegavanje sa drugim zrakoplovima. Tehnika koja se danas koristi obuhvaća dodjeljivanje, svakom zrakoplovu, bloka zraka koji ima uspostavljene dimenzije nazvane lateralno, uzdužno i vertikalno odvajanje. Točne dimenzije ovise o instrumentima u upotrebi, brzini i karakteru zrakoplova te okolini leta. Ovaj blok se kreće brzinom koja je navedena u planu leta zrakoplova. Zadatak pilota je da ostane u tom bloku. Zbog toga pilot treba znati, u bilo koje vrijeme, gdje se nalazi u odnosu na taj blok zraka.

Navigacijske informacije moraju biti dostupne pilotu u obliku prikladnom za njegovu uporabu. Suvremeni zaslone bazirani su na računalu i ovise o nekoj vrsti zaslona ili naprednim ravnim zaslonima u boji. Suvremeni zaslone su jedan takav elektronski i optički instrument koji pilotu pružaju takve bitne funkcije kao što su informacije o izvedbi zrakoplova, navigacija i smjer za slijetanje, na jedinstvenom prikazu u simboličkom obliku. [9]

Navigacijski sustavi zrakoplova uključuju sljedeće komponente:

- svesmjerni radiofar VOR
- sustav instrumentalnog slijetanja ILS¹³
- uređaj za mjerenje udaljenosti DME¹⁴
- radiokompas ADF¹⁵
- Doppler navigacijski sustav (engl. Doppler navigation system) i
- inercijski navigacijski sustav (engl. Inertial navigation system).

3.3.1. Svesmjerni radiofar

Jedan od najstarijih i najkorisnijih navigacijskih pomagala je VOR¹⁶ sustav. Sastoji se od tisuća zemaljskih odašiljačkih stanica, ili VOR-ova, koji komuniciraju s opremom za radio prijem u zrakoplovu. Položaj svih VOR-ova označen je na zrakoplovnim kartama zajedno s nazivom postaje, frekvencijom na koju zračni prijemnik mora biti podešen za korištenje stanice, te Morzeovim oznakama za postaju. VOR koristi VHF radio valove (108-117,95 MHz) s razdvajanjem 50 kHz između svakog kanala. To održava atmosferske smetnje na minimumu, ali ograničava upotrebu VOR-a. Za zaprimanje VOR VHF radio valova, obično se koristi V-oblik vodoravno polarizirane bi-polne antene (slika 8.). [9]



Slika 8: VOR antena na zrakoplovu, [9]

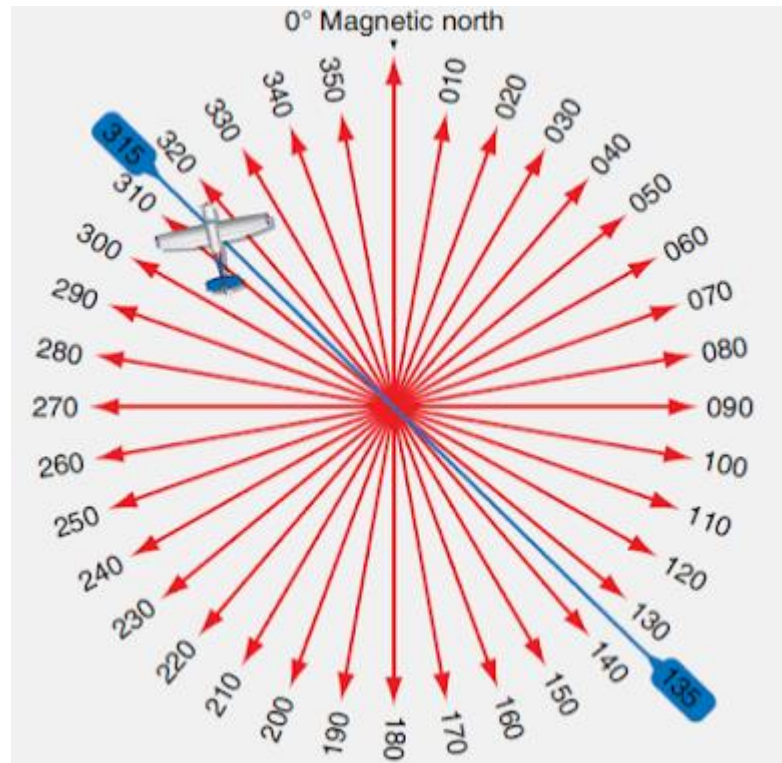
¹³Engl. ILS- Instrument Landing System; Sustav instrumentalnog slijetanja

¹⁴Engl. DME- Distance Measuring Equipment; Uređaj za mjerenje udaljenosti

¹⁵Engl. ADF- Automatic Direction Finders; Radiokompas

¹⁶Engl. VOR- VHF Omnidirectional Range; svesmjerni radiofar

Signali koje proizvodi VOR odašiljač šire se 360° od jedinice i koriste ih zrakoplovi za navigaciju do stanice i iz nje uz pomoć ugrađenih VOR prijemnika i instrumenata za prikaz. Radiovalovi se primaju sve dok je zrakoplov u dometu jedinice na zemlji i bez obzira na smjer putovanja zrakoplova što je prikazano na slici 9. Pilot pomoću VOR uređaja dobiva informacije na kojem se položaju zrakoplov nalazi, i indikatori, koji se nalaze u pilotskoj kabini izgledom poput kompasa, pokazuju odstupanja od kretanja zrakoplova.



Slika 9: VOR sustav, [8]

VOR odašiljač proizvodi dva signala koje prijammnik u zrakoplovu koristi za lociranje u odnosu na zemaljsku stanicu. Jedan signal je referentni signal. Drugi se proizvodi elektronskim rotiranjem varijabilnog signala. Promjenjivi signal je u fazi s referentnim signalom kada je na magnetskom sjeveru, ali postaje sve više izvan faze dok se rotira na 180°. Kako se i dalje okreće na 360° (0°), signali postaju sve više u fazi sve dok se ne vrate u fazu na magnetskom sjeveru. Prijemnik u zrakoplovu dešifrira faznu razliku i određuje položaj zrakoplova u stupnjevima od VOR-ove zemaljske jedinice. Većina zrakoplova ima dvostruki VOR prijemnik. [9]

3.3.2. Sustav instrumentalnog slijetanja

Sustav instrumentalnog slijetanja se koristi za slijetanje zrakoplova kada je vidljivost slaba. Ovaj radio-navigacijski sustav vodi zrakoplov od prilaza na pistu. Koriste se višestruki radio prijenosi koji omogućuju točan pristup slijetanju s ILS-om. Lokalizator je jedan od radio prijenosa. Koristi se za vodoravno usmjeravanje prema središnjoj liniji piste. Poniranje pruža vertikalno usmjeravanje zrakoplova niz pravilan nagib prema dolje. Oznake markera pružaju informacije o udaljenosti od piste. Zajedno, svi ti radio signali čine ILS vrlo preciznim i pouzdanim sredstvom za slijetanje zrakoplova. [10]

3.3.3. Uređaj za mjerenje udaljenosti

Uređaj za mjerenje udaljenosti (DME) izračunava udaljenost od zrakoplova do DME jedinice na VORTAC zemaljskoj stanici i prikazuje je na pilotskoj kabini. VORTAC je navigacijska zemaljska postaja koja na jednom mjestu pruža VOR azimut, TACAN¹⁷ azimut i TACAN opremu za mjerenje udaljenosti (DME). Obje vrste uređaja pružaju informacije o azimutima pilota, ali VOR sustav uglavnom koriste civilni zrakoplovi, a TACAN sustav vojni zrakoplovi.

DME uređaj također može prikazati izračunatu brzinu zrakoplova i proteklo vrijeme za dolazak kada zrakoplov putuje do stanice.

DME-ove zemaljske postaje naknadno su instalirane na civilnim VOR-ovima, kao i zajedno s lokalizatorima ILS-a. DME sustav sastoji se od DME primopredajnika, zaslona i antene, kao i zemaljske DME jedinice i njene antene. DME je koristan jer s ležajem (iz VOR-a) i udaljenosti do poznate točke (DME antena na VOR-u), pilot može pozitivno identificirati lokaciju zrakoplova. DME radi u frekvencijskom području od 962 MHz do 1213 MHz. Nositeljski signal koji se prenosi iz zrakoplova moduliran je nizom integracijskih impulsa. Prizemna jedinica prima impulse i vraća signal zrakoplovu. Vrijeme koje se javlja za slanje i vraćanje signala izračunava se i pretvara u nautičke milje za prikaz. Također se izračunavaju i prikazuju vrijeme do stanice i brzine. [11]

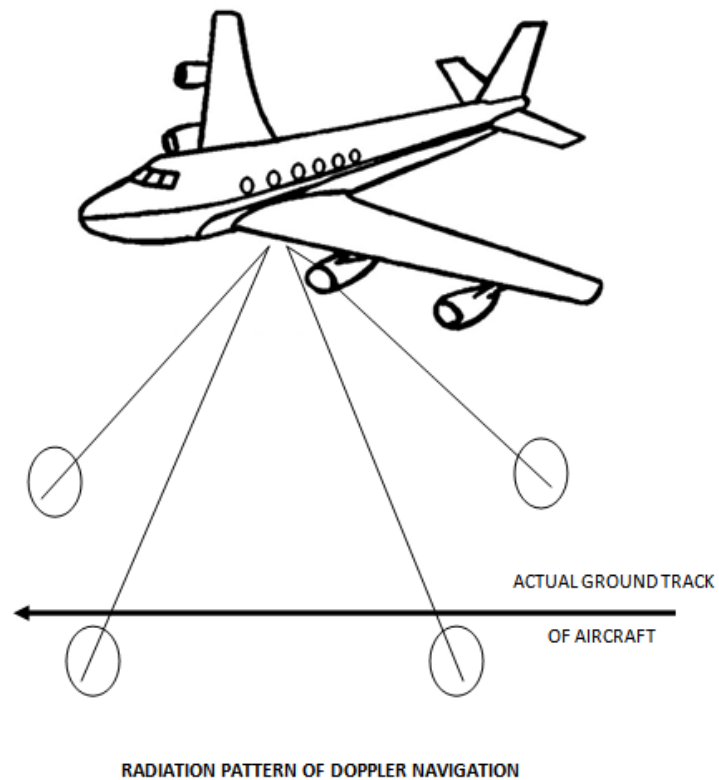
¹⁷ Engl. TACAN- tactical air navigation system, taktički sustav za zračnu navigaciju

3.3.4. Radiokompas

Radiokompas (ADF) je instrument u kokpitu koji prikazuje relativni smjer prema pilotu. Instrumenti za automatsko traženje smjera primaju radiovalove niskih i srednjih frekvencija od zemaljskih stanica, uključujući neusmjereno svjetlo, signale sustava za slijetanje i mogu čak primati komercijalne radio postaje. ADF prima radio signale s dvije antene: petljom i osjetilnom antenom. Petlja antene određuje snagu signala koji prima od zemaljske stanice kako bi odredila smjer stanice, a osjetilna antena određuje da li se zrakoplov kreće prema ili od stanice. [12]

3.3.5. Dopler navigacijski sustav

Doplerov efekt može se opisati kao promjena u promatranj frekvenciji kada su izvor (odašiljač) i promatrač (primatelj) u pokretu u odnosu jedan na drugi. U zraku dopler radara postoji odašiljač koji, pomoću usmjerene antene, zrači energiju prema tlu. Prijemnik prima odjek prenesene energije što je vidljivo na slici 10. Tako postoji situacija u kojoj se i odašiljač i prijemnik kreću u odnosu na tlo, posljedično se izvorna frekvencija koja se prenosi mijenja dva puta. Razlika između prenesenih i primljenih frekvencija poznata je kao Doplerov pomak i vrlo je proporcionalna relativnom gibanju između zrakoplova i tla duž smjera radarske zrake. [9]



Slika 10: Dopler navigacijski sustav, [9]

3.3.6. Inercijski navigacijski sustav

Glavna komponenta inercijskog navigacijskog sustava je kontrolna zaslonska jedinica CDU, i ona predstavlja jedinicu uređaja za sučelje koja se koristi za pristup računalima za upravljanje letom FMS, glavnim računalima i softverom većih zrakoplova. CDU-ovi se uglavnom vide na zrakoplovima. [9]



Slika 11: Kontrolna zaslonka jedinica CDU, [9]

Jedan od bitnih sustava unutar inercijskog navigacijskog sustava je Sustav za izbjegavanje prometnih sudara ili sustav upozorenja na promet TCAS¹⁸ sustav. Sustav za izbjegavanje prometnih sudara ili sustav upozorenja na promet i izbjegavanje sudara je sustav za izbjegavanje sudara zrakoplova dizajniran za smanjenje incidenata sudara u zraku između zrakoplova. On nadzire zračni prostor oko zrakoplova sa drugim zrakoplovima opremljenim odgovarajućim aktivnim transponderima, neovisno o kontroli zračnog prometa, te upozorava pilote na prisutnost drugih zrakoplova opremljenih transponderima koji mogu predstavljati prijetnju sudara u zraku.

Glavna svrha TCAS-a je izbjegavanje prometnog sudara između zrakoplova. TCAS djeluje neovisno o kontroli zračnog prometa ATC¹⁹ komuniciranjem s drugim zrakoplovima opremljenim transponderima za izgradnju trodimenzionalne karte zrakoplova u istom zračnom

¹⁸Engl. TCAS- Traffic alert and collision avoidance system; Sustav za izbjegavanje prometnih sudara ili sustav upozorenja na promet

¹⁹Engl. ATC- Air Traffic Control; Kontrola zračne plovidbe

prostoru. Ekstrapoliranjem trenutne rasponske i visinske razlike na očekivane buduće vrijednosti, TCAS određuje potencijal prijetnje od sudara. [13]



Slika 12: Izbjegavanje potencijalne prijetnje od sudara pomoću TCAS sustava, [13]

4. ANALIZA UČESTALOSTI NESREĆA UZROKOVANIH OTKAZOM KOMUNIKACIJSKIH I NAVIGACIJSKIH SUSTAVA

Od samog su se početka razvoja zrakoplovstva greške vezane za projektiranje, gradnju, popravljanje, održavanje i eksploataciju zrakoplova, manifestirane tehničkim otkazima te izazvanim nesrećama i ljudskim žrtvama u zračnom prometu, ispravljale normiranjem tehničkih minimuma.

Upravo taj način „učenja na greškama“, imanentan zrakoplovstvu, rezultirao je razvijanjem sofisticirane zrakoplovne tehnike i strogim normama njene primjene.

Udjel čimbenik zrakoplov odnosno otkazi zrakoplovnih uređaja i sustava kao primarni uzrok zrakoplovnih nesreća sveden je u posljednjih deset godina na oko 10%. [2]

Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva ICAO²⁰ propisala je minimume uvjeta plovidbenosti i produživanja plovidbenosti zrakoplova te specificirala kodekse koji se primjenjuju u zemljama proizvodnje, popravka ili eksploatacije zrakoplova. Najšire usvojen kodeks je američki FAR²¹ sustav normi. Američkoj zrakoplovnoj upravi FAA²² i normativi europski je pandan JAA²³ sa svojim JAR²⁴ normama. [2]

Prema podacima o veličini smrtnosti na milijun letova može se prihvatiti sljedeća ljestvica razine sigurnosti:

1. Australija
2. Sjeverna Amerika (SAD i Kanada)
3. Europa
4. Azija
5. Afrika
6. Južna Amerika.

U 2017. godini zabilježeno je 50 smrtnih slučajeva na letovima koji su bili zakazani i koji su se dogodili, što predstavlja značajno smanjenje sa 182 u 2016. i najnižu razinu u posljednjih deset godina. Broj smrtnih nezgoda smanjio se na 5 od 7 u 2016., što je ujedno i najniže na posljednjim rekordima. Unatoč porastu broja poginulih zbog niza nezakonitih intervencija u 2014. i tragičnih događaja koji su uzrokovali značajne gubitke života u 2015.

²⁰Engl. ICAO- International Civil Aviation Organization; Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva

²¹Engl. FAR- Federal Aviation Regulations; Federalne zrakoplovne regulacije

²²Engl. FAA- Federal Aviation Administration; Američka zrakoplovna uprava

²³Engl. JAA- Joint Aviation Authorities; Udruženje zrakoplovnih vlasti

²⁴Engl. JAR- Joint Aviation Requirements; Zajednički zrakoplovni zahtjevi

godini, došlo je do općeg trenda manjeg broja smrtnih nezgoda i smrtnih slučajeva u posljednjih deset godina. [14]

Razlike u pristupima klasifikacijskih sustava ICAO i IATA²⁵ zahtijevaju usklađivanje kriterija nesreće. Analiza nesreća po harmoniziranoj kategoriji prikazana je u dijagramu 1. u nastavku. Kategorije prema kojima je napravljena statistika su: [14]

1. Kontrolirani let (teren) - CFIT²⁶: uključuje sve slučajeve u kojima je zrakoplov kontrolirano sletio na teren, bez obzira na situacijsku svijest posade. Ne uključuje prekrivanja ili sudare s preprekama pri polijetanju i slijetanju koje su uključene u sigurnost staze za polijetanje i slijetanje.
2. Sigurnost na zemlji - GS²⁷: uključuje sigurnost staze, sudare na zemlji, sva servisiranja tla, faze prije leta, pokretanje motora, događaje odlaska i dolaska te taksiranja zrakoplova.
3. Gubitak kontrole na letu – LOC-I²⁸: uključuje svaki gubitak kontrole koji se događa tijekom leta.
4. Ozljede i/ili onesposobljenost – MED²⁹: Sve ozljede ili onesposobljenosti koje je pretrpio onaj koji je u neposrednom kontaktu s bilo kojim djelom strukture zrakoplova. Uključuje ozljede povezane s turbulencijama, ozljede zemaljskog osoblja koji su u kontaktu s konstrukcijom zrakoplova, motorima ili upravljačkim površinama zrakoplova i vozila, te ozljede i smrtni slučajevi koji nisu povezani s nezakonitim vanjskim smetnjama.
5. Operativna oštećenja - OD³⁰: Štete koju zrakoplov može pretrpjeti dok djeluje pod vlastitom snagom. To uključuje oštećenja od zrakoplova, krhotine stranih predmeta i sve kvarove sustava ili komponenti zrakoplova.
6. Drugi uzroci - OTH³¹: svaki događaj koji ne spada u ostale navedene kategorije.
7. Sigurnost staze za polijetanje i slijetanje - RS³²: uključuje slijetanja sa staze, prevrtanje zrakoplova na stazi za polijetanje i slijetanje, te teške događaje pri slijetanju zrakoplova.

²⁵ IATA- International Air Transport Association; Međunarodna udruga za zračni prijevoz

²⁶ Engl. CFIT – Controlled Flight into Terrain; Kontrolirani let (teren)

²⁷ Engl. GF – Ground Safety; Sigurnost na zemlji

²⁸ Engl. LOC-I – Loss of Control in-Flight; Gubitak kontrole na letu

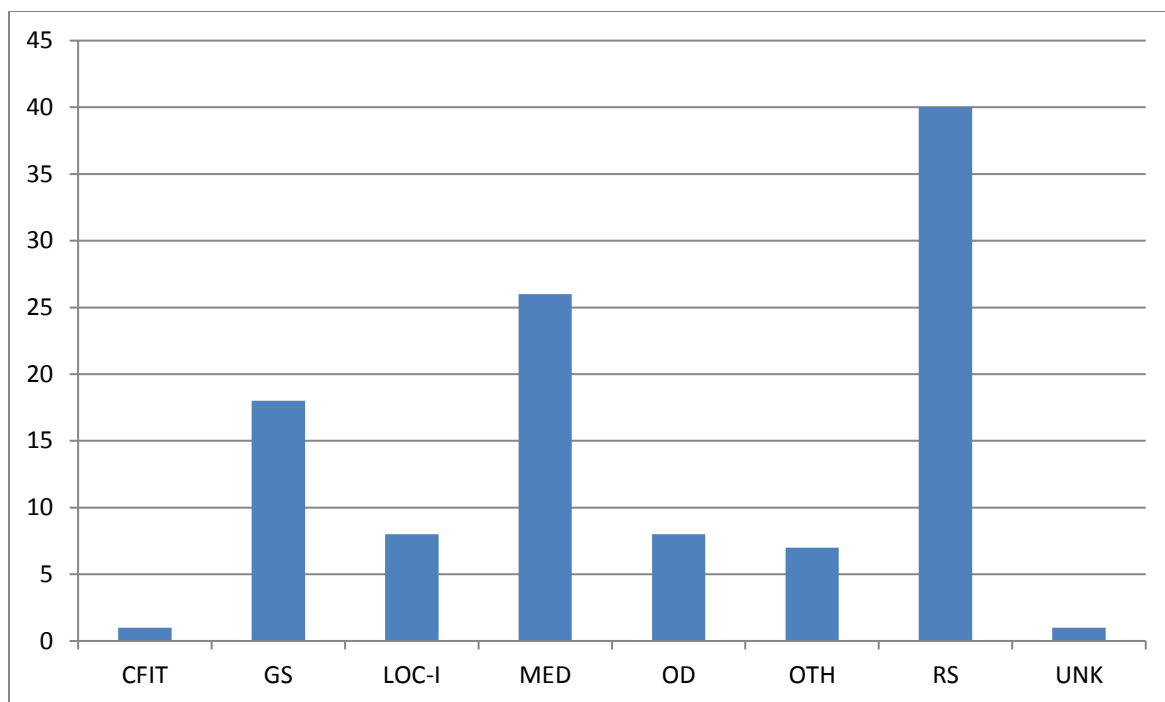
²⁹ Engl. MED - Injuries to and/or Incapacitation of Persons; Ozljede i/ili onesposobljenost osoba

³⁰ Engl. OD – Operational Damage; Operativna oštećenja

³¹ Engl. OTH – Other; Drugi uzroci

³² Engl. RS – Runway Safety; Sigurnost staze za polijetanje i slijetanje

8. Nepoznati uzroci - UNK³³: Svaki događaj u kojem se ne može razumno utvrditi točan uzrok nesreće.



Dijagram 1: Nesreće prema kategorijama, [14]

Prema dijagramu se vidi da je kategorija operativnih oštećenja znatno manja od ostalih kategorija prema kojima su napravljene statistike nesreća zrakoplova. To su štete koje je zrakoplov pretrpio dok je radio pri vlastitoj snazi. To uključuje štetu nastalu tijekom leta, ostatke stranih objekata i sve kvarove sustava ili komponenti. Trend nastanka nesreće zbog ove kategorije je u opadanju, što se može vidjeti na dijagramu 1.

³³ Engl. UNK – Unknown; Nepoznati uzroci

5. ISTRAŽIVANJE PRIMJERA ZRAKOPLOVNE NESREĆE UZROKOVANE OTKAZOM SUSTAVA I UTJECAJEM KONTROLE ZRAČNE PLOVIDBE

U nastavku su prikazani svi podaci o zrakoplovnoj nesreći (tablica 1.) koja se dogodila u srpnju, 2002. godine. Nesreća je izazvana lošom komunikacijom između zrakoplova i kontrole zračne plovidbe, te navigacijskim sustavom zrakoplova. Opsežna analiza zrakoplovne nesreće opisana je dalje u tekstu.

Tablica 1. Podaci o zrakoplovnoj nesreći zrakoplova B757-200 i TU154M

| | |
|--------------------------|---|
| VRSTA DOGAĐAJA: | Zrakoplovna nesreća |
| DATUM: | 01. srpnja 2002. godine |
| LOKACIJA: | (blizina) Uberlingena, Njemačka |
| TIP ZRAKOPLOVA: | Putnički i teretni zrakoplov |
| MODEL: | 1. Boeing B757-200 2. Tupolev TU154M |
| OZLJEDE/SMRTNOST: | 71 osoba smrtno stradala |
| ŠTETA ZRAKOPLOVA: | Oba zrakoplova uništena |

Izvor: [15]

Sažetak događaja

Nesreća koja se dogodila prijavljena je njemačkom Federalnom zavodu za istrage zrakoplovnih nesreća 1. srpnja 2002. u 21:50 sati. Svjedok koji je stajao na otvorenom u Uberlingenu javio je telefonom da se dogodila nesreća dva zrakoplova. Svjedok je postao svjestan sudara dva zrakoplova, putničkog i teretnog, eksplozivnim zvukovima. Istragu je pokrenuo Zavod za istraživanje zrakoplovnih nesreća čim su se podaci pokazali točnima. Dana 2. srpnja 2002. godine, šest djelatnika stiglo je na mjesto nesreće. Budući da su dva zrakoplova bila pod kontrolom kontrole zračne plovidbe u Zürichu, Švicarska, u vrijeme nesreće, još dva

člana zavoda za istraživanje odletjela su u Zurich kako bi provela nužnu istragu u suradnji sa švicarskim tijelom za istraživanje nesreća. Istraga je provedena u skladu s međunarodnim standardima i preporučenim praksama sadržanim u ICAO Dodatku 13 i njemačkom istražnom zakonu pod odgovornošću njemačkog zavoda za istraživanje nesreća. Zemlje Kraljevina Bahrein, Ruska Federacija, Švicarska i SAD bile su uključene u istragu preko svojih akreditiranih predstavnika i savjetnika. U prvoj fazi istrage istražni je tim istodobno radio u sjedištu u zračnoj luci Friedrichshafen, u sjedištu kontrole zračne plovidbe Zürich, na različitim mjestima nesreća na području oko grada Ueberlingena i na zavodu za istraživanje nesreća u Braunschweigu. Dana 1. srpnja 2002. u 21:35:32 sudar između Tupoleva TU154M, koji je bio na letu od Moskve (Rusije) do Barcelone (Španjolske), i Boeinga B757-200, na letu od Bergama (Italije) do Bruxellesa (Belgije), nastao je sjeverno od grada Uberlingen (Njemačka). Oba zrakoplova letjela su prema instrumentalnim pravilima leta (IFR³⁴) i bila su pod kontrolom kontrole zračne plovidbe Zürich. Nakon sudara oba su se zrakoplova srušila u područje sjeverno od Ueberlingena. U zrakoplovu je bilo ukupno 71 osoba, od kojih nijedan nije preživio sudar. Nesreća je bila fatalna. [15]

Na temelju događaja identificirani su sljedeći neposredni uzroci:

- Kontrolor zračne plovidbe u Zürichu nije na vrijeme primijetio neposredno razdvajanje zrakoplova. Uputa za spuštanje TU154M dana je u vrijeme kada propisano odvajanje zrakoplova B757-200 više nije bilo moguće osigurati.
- Posada TU154M slijedila je instrukcije kontrole zračne plovidbe kako bi se spustila i nastavila s letom, čak i nakon što ih je TCAS savjetovao da se penju. Ovaj manevar je izveden suprotno od generiranog TCAS sustava. [15]

Uzroci događaja:

- Integracija sustava TCAS u sustav zrakoplovstva bila je nedovoljna i nije u svim točkama odgovarala filozofiji sustava. Propisi o TCAS koje je objavio ICAO i kao posljedica toga propisi nacionalnih zrakoplovnih vlasti, operacije i proceduralne upute proizvođača TCAS-a i operateri nisu bili standardizirani, nepotpuni i djelomično proturječni.
- Upravljanje i osiguranje kvalitete tvrtke za pružanje usluga u zračnoj plovidbi nisu osigurali da tijekom noći na svim otvorenim radnim stanicama stalno rade kontrolori.

³⁴Engl. IFR- Instrument Flight Rules; Instrumentalna pravila letenja

- Upravljanje i osiguravanje kvalitete tvrtke za pružanje usluga u zračnoj plovidbi godinama toleriraju da u vrijeme niskog protoka prometa noću radi samo jedan kontrolor, a drugi kontrolor se odmara.

5.1. POVIJEST LETA

Dana 1. srpnja 2002. u 21:35:32 sati zrakoplov Tupolev TU154M na svom letu iz Moskve - Domodedovo (Rusija) do Barcelone (Španjolske) i Boeinga B757-200, koji je bio na letu iz Bergama (Italije) do Bruxellesa (Belgije), sudarili su se u blizini grada Ueberlingen (Bodensko jezero, Njemačka). Vidljivost tijekom leta na dotičnoj razini leta bila je 10 kilometara i više. Oba zrakoplova nalazila su se sjeverno od grada Ueberlingena. Veći broj svjedoka postao je svjestan nesreće prema eksplozivnim zvukovima, dugotrajnim bukom i tutnjanjem, kao i refleksijama vatre. Mnogi od njih vidjeli su komade ostataka koji gore dok padaju s neba. Povijest letova rekonstruirana je na temelju procjene zrakoplovnih snimača podataka o letu (Flight Data Recorder) i glasovnih snimača u pilotskoj kabini (Cockpit Voice Recorder, Traffic Collision Avoidance System) pohranjenih u zrakoplovima, radio komunikacije između švicarskog centra za kontrolu zračnog prometa i posade Tupolev TU154M te Boeinga B757-200 ugrađenih na tlu i zemaljske radarske podatke koje je zabilježila Švicarska služba za zračnu navigaciju. [15]

5.1.1. Analiza leta zrakoplova Boeing 757/200

Tijekom cijelog mjeseca lipnja 2002. oba pilota, zapovjednik zrakoplova i kopilot, letjeli su zajedno kao posada. Nekoliko puta su letjeli rutom Bahrein - Bergamo - Bruxelles - Bahrein. Posljednji let prije ovog ciklusa leta proveden je 28. lipnja 2002. na relaciji Bruxelles - Bahrein. Prije ovog leta, posada je bila izvan dužnosti 75 h. Prijavili su se u 11:50 sati u Bahreinu.

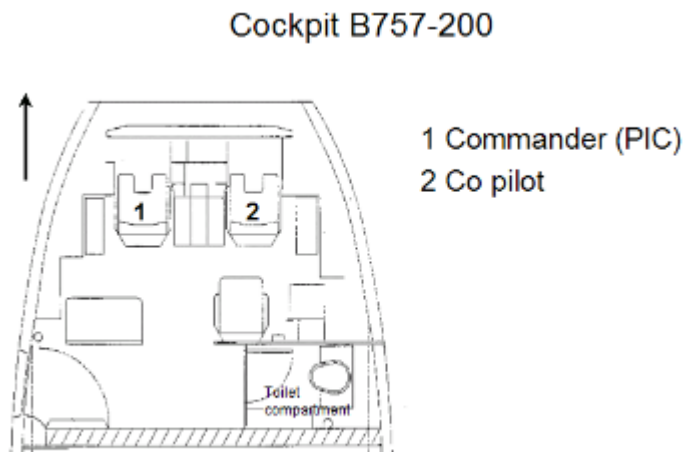
U 13:30 sati zrakoplov je krenuo iz zračne luke Bahrein (ICAO Code: OBBI) u Brussels (ICAO Code: EBBR) s jednom međustanicom u Bergamu (ICAO Code: LIME). Samo su dva pilota bila u zrakoplovu. Slijetanje na aerodromu Bergamo dogodilo se u 19:10 sati nakon leta koji je trajao 5 sati i 40 minuta. U Bergamu se zrakoplov punio gorivom, istovarivao i punio teretom. Nastavak leta u Bruxelles bio je u 21:06 sati. Zrakoplovom je na toj relaciji upravljao

kopilot. Let je proveden u skladu s pravilima instrumentalnog letenja (IFR). Plan leta (engl. Flight Plan FPL) uključivao je sljedeće informacije koje se odnose na let:

- Aerodrom polaska: Bergamo (ICAO Code: LIME),
- Zakazano vrijeme polaska: 21:00 sat,
- Brzina krstarenja: 463 čvorova,
- Razina krstarenja: FL 360,
- Ruta: ABESI-UN851-TGO-UL608-LAMGO-UZ738-ANEKI-UZ917-BATTY,
- Odredišni aerodrom: Bruxelles (ICAO Code: EBBR),
- Procijenjeno vrijeme leta: 01 sat i 11 minuta,
- Alternativni aerodrom: Köln (ICAO Code: EDDK).

U 21:21:50 sati, pilot zrakoplova kontaktirao je kontrolu zračne plovidbe Zürich na frekvenciji 128.050 MHz na FL-u 260 i izravnom pristupu putnoj točki ABESI. U 21:21:56 sati, oznaka transpondera 7524 je potpisana. Identifikacijom zrakoplova dan je prostor za izravan pristup TANGO VOR-u, kao i za uspon sa FL-a 260 na FL 320. Pilot je zatražio da se popne na FL 360, što je odobreno otprilike četiri minute kasnije u 21:26:36 sati. U 21:29:50 zrakoplov je dostigao ovu razinu leta, a piloti ju nisu prijavili. U 21:34:30 kopilot je predao kontrolu nad zrakoplovom pilotu kako bi otišao do toaleta postavljenog na stražnjem dijelu kabine. U 21:34:31 sati pilot je potvrdio da je preuzeo kontrolu. U 21:34:42 sati zrakoplovni Sustav za izbjegavanje prometnih sudara TCAS uznemirio je posadu o mogućem konfliktu u prometu od strane sustava: "*traffic, traffic*". Nakon 14 sekundi (21:34:56 sati) TCAS je izdao naredbu: "*descend, descend*". Otprilike dvije sekunde kasnije, autopilot je bio isključen, upravljačka palica je gurnuta i potisak motora je smanjen. FDR podaci pokazuju da je nagib smanjen s 2,5° na otprilike 1,5°, a vertikalno ubrzanje spuštano s oko 1,0 g na 0,9 g. Prema FDR i TCAS snimkama zrakoplov je dostigao brzinu spuštanja od 1500 ft/min 12 sekundi nakon što je autopilot isključen. U 21:35:05 sati CVR je zabilježio preko mikrofona u području pilotske kabine napomenu kopilota "*traffic right there*", što je potvrđeno od strane pilota sa "*yes*". U 21:35:10 sati, tj. 14 sekundi nakon naredbe „*descend, descend*“, TCAS je izdao naredbu za povećanje spuštanja („*increase descent, increase descent*“). U to se vrijeme kopilot vratio na svoju radnu poziciju i stavio slušalice. Njegova reakcija na naredbe zabilježena je kao "*increase*". Nakon naredbe, brzina spuštanja je promijenjena i dostigla je približno 2.600 ft/min 10 sekundi kasnije. Za vrijeme spuštanja kut nagiba se smanjio na -1°, a potisak pogonskog agregata smanjen je na otprilike 1,2. Prema CVR-u u 21:35:14 sati se čuje upozorenje za dvije sekunde. Prema FDR-u, auto-gas je isključena od strane posade u 21:35:18 sati. U 21:35:19

posada je prijavila "TCAS descent" u ACC Zurich. Nakon toga kopilot je dva puta zatražio od pilota spuštanje zrakoplova. Jednom s riječju "descend" (21:35:26 sati) i zatim "descend hard" (21:35:30 sati). Otprilike dvije sekunde prije sudara kontrolna palica bila je gurnuta naprijed. U 21:35:32 sati zrakoplov koji je letio sjevernim smjerom (MH = 004 °) s kutom nagiba približno -2° i nijedan kut nagiba nije se sudario s TU154M na 34.890 ft. [15]



Slika 13: Unutrašnjost kokpita zrakoplova Boeing 757-200, [15]



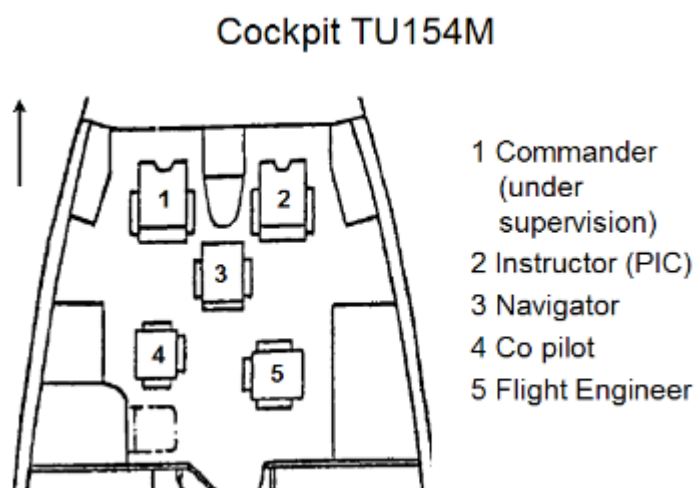
Slika 14. Kokpit zrakoplova B757-200, [19]

5.1.2. Analiza leta zrakoplova Tupolev TU154M

Posada ovog zrakoplova je bila izvan dužnosti 24 sata prije polijetanja čarter leta do Barcelone (ICAO Code: LEBL). Prijavili su se u 17:30 sati. U 18:48 sati zrakoplov je napustio zračnu luku Moskva-Domododovo (ICAO Code: UUDD). U zrakoplovu je bilo devet članova posade i 60 putnika. Let je provoden prema pravilima instrumentalnog letenja (IFR) u skladu s podnesenim planom leta (FPL). FPL je uključivao sljedeće informacije koje se odnose na let:

- Aerodrom polaska: Moskva – Domodedovo (ICAO Code: UUDD),
- Planirano vrijeme polaska: 18:30 sati,
- Brzina krstarenja: 470 čvorova,
- Razina krstarenja: FL 360,
- Ruta: KLIMOVSK-KAMENKA-ZAKHAROVKA -R11-YUKHNOV-B102-BAEVO
- Odredišni aerodrom: Barcelona (ICAO Code: LEBL),
- Procijenjeno vrijeme leta: 04:20 sati,
- Alternativni aerodrom: Girona (ICAO Code: LEGE).

Pilot koji je bio na testnom letu zauzimao je lijevo sjedalo u kokpitu. Na desnom sjedalu bio je instruktor pilot, koji je provodio radio komunikacije. Sjedište navigatora bilo je između i malo iza pilota. Radna stanica zrakoplovnog inženjera bila je iza instruktora. Kopilot, koji nije imao nikakvu ulogu na tom letu, bio je na upražnjenom mjestu iza zapovjednika što se može vidjeti na slici 12.



Slika 15: Unutrašnjost kokpita zrakoplova Tupolev 154 M, [15]



Slika 16: Kokpit zrakoplova TU154M, [20]

U 21:11:55 sati u blizini Salzburga na austrijskom teritoriju posada zrakoplova je dobila odobrenje od bečkog radara za izravan prilaz VOR-u Trasadingen na FL 360. U 21:16:10 sati zrakoplov je ušao u zračni prostor Njemačke i pod kontrolom Münchenskog radara. U 21:29:54 sati posada zrakoplova je bila upućena od Münchena da se prebaci na kontrolu zračne plovidbe Zürich na 128.050 MHz. U 21:30:11 sati i na FL 360 pilot instruktor je kontaktirao kontrolu zračne plovidbe Zurich. U 21:30:33 sati, kontrola Zürich dodijelila je transponder kod 7520 zrakoplovu, koji je potvrđen 6 sekundi kasnije. Za vrijeme između 21:33:00 sati i 21:34:41 sati CVR je zabilježio razgovore posade o avionu koji se približavao s lijeve strane i koji je bio prikazan na pokazivaču vertikalne brzine koji je dio TCAS. Svi članovi letačke posade, osim zrakoplovnog inženjera, bili su uključeni u te rasprave. Ovi snimci upućuju na to da je posada nastojala lokalizirati drugi zrakoplov s obzirom na njegov položaj i razinu leta. U 21:34:36 sati, zapovjednik je izjavio: *"Here it is in sight"*, a dvije sekunde kasnije: *"Look here, it indicates zero"*. Tijekom vremena od 21:34:25 do 21:34:55 sati, zrakoplov se okrenuo na kut od oko 10° od magnetskog smjera (MH) od 254° do 264°. U 21:34:42 sati TCAS je javljao obavijest („traffic, traffic“). U 21:34:49 sati tj. sedam sekundi kasnije kontrola zračne plovidbe Zürich je naredila posadi da ubrza silazak do FL 350 s obzirom na križajući promet („descend flight level 350, expedite, I have crossing traffic“). Dok je kontrolor davao upute radio prijenos je trajao nešto manje od osam sekundi, a instruktor pilot je zatražio da se spusti. U 21:34:56 sati,

kontrolna palica je bila gurnuta naprijed, autopilot je bio isključen i potisak pogona smanjen na približno 72%. FDR podaci pokazuju smanjenje nagibnog kuta zračne ravnine od 0° do približno -2,5°, kao i smanjenje vertikalnog ubrzanja od približno 1 g (normalno ubrzanje Zemlje u blizini težišta zrakoplova) do 0,8 g. Posada nije potvrdila naredbu o spuštanju. U isto vrijeme (21:34:56 sati) TCAS je generirao naredbu ("*climb, climb*"). U 21:34:59 sati, CVR je zabilježio glas kopilota u kojem piše: „*It (TCAS) says: climb*“. Pilot je odgovorio: „*He (ATC) is guiding us down*“. Upitni odgovor kopilota: "descend?". [15]

U 21:35:02 sati, (šest sekundi nakon naredbe spuštanja) pilot instruktor je povukao kontrolnu palicu. Kao rezultat toga, stopa porasta prestala je rasti. Vertikalno ubrzanje poraslo je od 0,75 g do 1,07 g. Potisak motora ostao je nepromijenjen. Rasprava između članova posade prekinuta je u 21:35:03 sati od strane kontrolora koji je još jednom podvrgnuo posadu da ubrza spuštanje do FL 350 („*descend level 350, expedite descend*“). Kontrolor je zatim kontaktirao posadu o drugom zrakoplovu na FL 360 („*Ya, ... we have traffic at your 2 o'clock position now at 3-6-0...*“) nakon čega je pilot pitao: „*Where is it?*“, kopilot je odgovorio: „*Here on the left side!*“. U to vrijeme, brzina spuštanja bila je približno 1.500 ft/min. Glas navigatora leta može se čuti u CVR-u: „*It is going to pass beneath us!*“dok je kontrolor dao svoju posljednju instrukciju. [15]

U 21:35:04 sati bio je isključen autopilot. U 21:35:05 sati, pilot instruktor je ponovno gurnuo kontrolnu palicu i stopa spuštanja porasla je na više od 2.000 ft/min. Od 21:35:07 do 21:35:24 sati zrakoplov je okrenut u desno od 264° do 274° MH. U 21:35:24 sati TCAS je izdao naredbu „*increase climb*“. Kopilot je to komentirao riječima: „*It says climb!*“. U vrijeme naredbe za povećanja uspona FDR je zabilježio polagano kretanje promjene u kutu nagiba od -1° na otprilike -2°, i u redukciji u vertikalnom ubrzanju. Brzina spuštanja bila je približno 1.800 ft/min. Pet sekundi prije sudara kontrolna palica povučena je unatrag, što je povezano s malim povećanjem podešenja potisnih poluga. U sekundi prije sudara kut nagiba dosegno je -1°, a vertikalno ubrzanje 1,1 g. Tijekom zadnje sekunde prije sudara, kontrolna palica je naglo povučena i potisne poluge su potpuno gurnute naprijed. U trenutku sudara kut nagiba bio je 0°, vertikalno ubrzanje bilo je 1,4 g, ali je zrakoplov još uvijek bio u spuštanju. Zrakoplov se sudario s pravcem 274° i kutom na desno od 10° s Boeingom B757-200 u 21:35:32 na razini leta od 34.890 ft. Nakon sudara, TU154M se kotrljao s povećanjem brzine oko uzdužne osi ulijevo. Istodobno s ovim pokretom kretanja zabilježeno je i produljenje spoja krilca na desno krilo. Unutar otprilike dvije sekunde nakon sudara kut nagiba se promijenio od 0° do -6°, a diferencijalni tlak u kabini smanjio se u jednoj sekundi od 0,6 kg/cm² do vrijednosti blizu 0 kg/cm². [15]

5.2. LJUDSKE OZLJEDE NAKON NESREĆE ZRAKOPLOVA B757-200 I TU154M

U tablici 2. će biti prikazan broj stradalih osoba uključujući i posadu i putnike na letu ova dva zrakoplova, koji se dogodio 01. srpnja 2002. godine.

Tablica 2. Ljudske ozljede nakon nesreće zrakoplova B757-200 i TU154M

| ZRAKOPLOV | OZLJEDE | POSADA | PUTNICI | UKUPNO |
|------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|
| B 757-200 | Smrt | 2 | - | 2 |
| TU 154 M | Smrt | 9 | 60 | 69 |
| | UKUPNO: | 11 | 60 | 71 |

Izvor: [15]

Na letu ova dva zrakoplova koja su doživjela veliku nesreću tijekom leta, od kojih nitko nije preživio, oba zrakoplova su uništena. Boeing B757-200 je izgubio većinu svog vertikalnog repa zbog sudara i uništile su ga udarne sile. Tupoljev TU154M se od siline udarca pri velikoj brzini prepolovio u nekoliko dijelova što je prikazano na slikama 17,18 i 19.

Olupine i dijelovi olupine oba zrakoplova prouzročili su štetu na poljima i šumama na raznim mjestima udara u blizini Uberlingena. [15]



Slika 17: Prednji dio trupa zrakoplova, [15]



Slika 18. Središnji presjek krila zrakoplova, [15]



Slika 19: Stražnji dio trupa zrakoplova, [15]

5.3. NAVIGACIJSKI SUSTAVI ZRAKOPLOVA

Iz završnog izvješća dobiveni su podaci o zrakoplovima koji su sudjelovali u nesreći. Ti zrakoplovi bili su opremljeni navigacijskim uređajima, koji su prikazani u nastavku, na temelju kojih su istražitelji zrakoplovne nesreće bazirali svoju istragu kako bi što bolje i opsežnije razriješili slučaj.

Boeing B757-200

Zrakoplov je bio opremljen:

- s dva VOR-DME uređaja
- inercijskim navigacijskim sustavom
- dva FMS-a.

Gore spomenuta navigacijska oprema dostavlja podatke FMS-u, koji se mogu spojiti na autopilot. [15]

Tupolev TU154M

Zrakoplov je bio opremljen:

- Dva VOR-DME uređaja
- Doppler navigacijski sustav
- Usmjereni sustav žiroskopa
- GPS (nije integriran u sustav).

Osim GPS-a, gore spomenuta navigacijska oprema dostavlja podatke analognom navigacijskom računalu, koje se može povezati s autopilotom. [15]

5.4. KOMUNIKACIJA IZMEĐU ZRAKOPLOVA I KONTROLE ZRAČNE PLOVIDBE

Radijske komunikacije između kontrole zračne plovidbe Zurich i zrakoplova B757-200 i TU154M bile su provedene na engleskom jeziku na frekvenciji 128.050 MHz. Sve letačke posade mogle su slušati radio komunikacije pod uvjetom da su bile na toj frekvenciji u isto vrijeme. Posada B757-200 mogla je slušati kompletnu radio komunikaciju između posade TU154M i kontrole zračne plovidbe Zurich jer su već bili na frekvenciji 128.050 kada je TU154M prvi put kontaktirao kontrolu u Zurich. Posada TU154M, međutim, nije mogla čuti ništa od B757-200 jer nije bilo radio komunikacije između njih i kontrole zračne plovidbe nakon prvog kontakta u 21:30:11 sati. Kontrola zračne plovidbe Zurich je nadzirala samo ova dva zrakoplova na ovoj frekvenciji u vremenskom razdoblju neposredno prije nesreće. Kontrolor u Zurichu je također morao rješavati odgođeni pristup Airbusa A320 do Friedrichshafena na frekvenciji 119.920 MHz. Letačke posade na frekvencijama 128.050 MHz i 119.20 MHz nisu se mogle čuti, što je ponekad rezultiralo istovremenim prijenosom. Često kontrolor nije reagirao na te prijenose ili je reagirao tek nakon ponavljanja poziva. Četiri frekvencije gornjih sektora prebačene su na radnu stanicu (radarsko planiranje) pomoću funkcije spajanja. Spajanje frekvencija osigurava da korisnici frekvencija mogu čuti jedni druge. Da bi se izbjegle smetnje, treba spojiti samo četiri frekvencije. Frekvencija pristupa za Friedrichshafen, 119.920 MHz, prebačena je na radnu stanicu (radarsko izvršavanje). Radio komunikacije na svim radnim mjestima provedene su pomoću stolnih mikrofona i zvučnika. Kompletne radiokomunikacije su zabilježene u svrhu daljnje analize i u ovom slučaju za istraživanje zrakoplovne nesreće. U 21:35:38 i 21:35:44 sati CVR sustav oba zrakoplova i uređaja u kontroli zračne plovidbe u

Zürichu snimili su kratke zvučne signale slične Morseovim signalima. Istraga koju je provela jedinica kontrole zračne plovidbe nije mogla nedvosmisleno pojasniti jesu li zvučni signali bili Morseovi signali ili iz kojeg izvora potječu. Pretpostavlja se da potječu iz jednog od zrakoplova. [15]

5.5. TIJEK ISTRAGE ZRAKOPLOVNE NESREĆE

Snimači podataka o letu (FDR) i snimači govora u kokpitu (CVR) iz oba zrakoplova su pronađeni prvog dana istrage i prebačeni u Braunschweig, od strane istražitelja zrakoplovne nesreće, na daljnju istragu. Pokazalo se da je FDR pronađen u zrakoplovu TU154M bio neinstalirani snimač koji se nalazio samo kao rezervni dio. Daljnja potraga za snimačem koji je bio potreban dio za istragu ubrzo je pronađen. Svi podaci su pročitani u laboratoriju za istraživanje. [15]

Boeing 757-200

FDR - Bio je to magnetski snimač s osam traka, koji je zabilježio 335 parametara. Nakon sudara zrakoplova, FDR je zabilježio korisne podatke još jednu sekundu i podatke za daljnje razdoblje od osam sekundi. Međutim, ti podaci nisu se mogli analizirati jer je traka oštećena. [15]

CVR - bio je analogni trakasti uređaj s četiri trake koji je zabilježio posljednjih 30 minuta leta. Nakon sudara, CVR je bilježio daljnje razdoblje od devet sekundi. Navedeni uređaji, uključujući trake, bili su teško oštećeni tijekom nesreće i mogli su ih pročitati samo nakon opsežnog popravka. [15]

Tupolev TU154M

FDR - Bio je to magnetski snimač s 28 traka, koji je zabilježio 107 parametara. Snimač je bio u izvrsnom, gotovo neoštećenom stanju i podaci su se mogli pročitati bez problema. Nakon sudara, FDR je zabilježio podatke koji se mogu analizirati još 3,5 sekundi. [15]

CVR - bio je analogni trakasti uređaj s četiri trake koji je zabilježio posljednjih 30 minuta leta. Nakon sudara, CVR je bilježio daljnje razdoblje od 01:55 minuta. Snimač s trakom teško je oštećen u nesreći, a očitavanje je bilo moguće samo nakon opsežnog popravka. [15]

Peti dan istrage čitali su se svi snimači i pohranjivali podaci za daljnju analizu. Početna analiza potvrdila je sve tada poznate činjenice o nesreći. Tim za ispitivanje u Friedrichshafenu bio je detaljno obaviješten o rezultatima. Vrednovanje FDR-ova oba zrakoplova provedeno je uglavnom u okviru istrage „Operativne“ radne skupine. CVR zrakoplova Boeing B757-200 pročitani su zaposlenici u laboratoriju za snimanje podataka o letu u suradnji s zapovjednikom B757-200, koji je član tima Kraljevine Bahrein. Transkripcija koju su odobrili svi sudionici dokumentira posljednjih 30 minuta leta. CVR Tupoljeva TU154M su pročitani članovi iz laboratorija za snimanje podataka o letu i stručnjaci tima Ruske Federacije. Na taj su način glasovi dodijeljeni uključenim osobama, a ruske riječi prevedene na engleski. Snimke su dokumentirane transkripcijom i rekonstruirane te ovjerene od strane osoblja LBA čiji je materinji jezik ruski. Rezultat je bio prijepis posljednjih sedam minuta leta koje su odobrili svi uključeni. CVR-ovi oba zrakoplova ocijenjena su u okviru istraživanja od strane istraživačke „Operativne“ radne skupine. Radna skupina „Ljudski čimbenici“ istraživala je svih 30 minuta koje je zabilježio CVR. Vrednovanje FDR-ova oba zrakoplova ogleda se u istraživanjima koje su provele radne istraživačke skupine koje su sudjelovale u istraživanju ove zrakoplovne nesreće. [15]



Slika 20: Rekonstrukcija zrakoplovne nesreće, [15]

Radarski sustav koji je koristila kontrola zračne plovidbe Zurich istraživao je švicarski zavod za istraživanje zrakoplovnih nesreća u Bernu nakon nesreće. Glavni fokus ovog istraživanja bio je pojašnjenje arhitekture sustava i njegove tehničke konfiguracije u vrijeme nesreće. Istraživanje je obuhvatilo analizu funkcionalnosti sustava za prikaz radarskih podataka u rezervnom načinu rada. [15]

Tim stručnjaka iz Eurocontrola za TCAS sustav analizirali su nesreću na temelju tri TCAS simulacije. Korištena su tri različita izvora podataka i dva različita alata za analizu TCAS sustava. Iz predmetne studije izvukli su se važni uvidi:

- Analiza je potvrdila da su naredbe TCAS-a u oba zrakoplova pokrenute
- Simulacija i analiza niza upozorenja pokazali su da bi se osiguralo sigurno vertikalno odvajanje oba zrakoplova da su obje posade točno slijedile upute.

U okviru istraživanja pročitani su podaci o nestalom spremniku TU154M TCAS računala. Unatoč velikoj šteti zbog utjecaja, bilo je moguće identificirati memorijski čip uz podršku TCAS proizvođača i čitati ga malo po malo. Podaci su uključivali izmjerene vrijednosti zrakoplova (visine, udaljenosti i slično), kao i formiranje visina s transpondera B757-200 čije je TCAS računalo potpuno uništeno. TCAS je izračunao brzinu uspona i spuštanja s primljenih podataka o visini i pohranio ih. Dostupni su važni podaci za rekonstrukciju putanje leta oba zrakoplova i za procjenu TA/RA koje je proizveo TCAS u oba zrakoplova. [15]

Nadalje, što se tiče tijeka istrage prve procjene FDR-a, CVR-a, radio komunikacija i radarskih podataka pokazale su u prvom tjednu istrage da nije bilo tehničkih nedostataka ni u jednom zrakoplovu koji bi mogli biti relevantni za nesreću. Stoga je istražni tim odlučio ne provoditi detaljnije istrage u tom pogledu. To se, međutim, ne odnosi na ispitivanje TCAS sustava.

Meteorološki uvjeti nisu bili relevantni za nesreću. Iznad FL 280 prevladavali su vizualni meteorološki uvjeti s vidljivošću većom od 10 km, zvjezdano nebo i bez vidljivosti na tlu.

Obdukcije svih sedam članova letачke posade oba zrakoplova nisu ukazivale na nikakva fiziološka ili druga oštećenja zdravlja. Isto vrijedi i za uzorke krvi i urina uključenog kontrolora iz kontrole zračne plovidbe Zürich. [15]

Istraživanja su pokazala:

- Oba zrakoplova su propisno certificirana za zračni prijevoz.
- Istraga nije utvrdila tehničke nedostatke na dva zrakoplova.
- Oba zrakoplova su opremljena TCAS II verzijom 7 (ACSS TCAS 2000). Kao optički prikaz korišten je VSI / TRA indikator.
- U oba zrakoplova nije bilo dokaza o neispravnosti TCAS-a.
- B757-200 TCAS računalo je uništeno silama sudara, tako da procjena više nije bila moguća. Bilo je moguće analizirati bitne podatke oba zrakoplova iz TCAS računala zrakoplova TU154M.
- U vrijeme nesreće prevladavali su vizualni meteorološki uvjeti u mračnoj noći.
- Zbog velike brzine zatvaranja od 702 kt - 718 kt (361 -369 m/s) i tame, vizualni manevar izbjegavanja nije bio u mogućnosti za niti jednu od letачkih posada da spriječe katastrofu.
- Putanja leta pri sudaru je bila pod pravim kutom. B757-200 imao je sjeverni smjer (004°), a TU154M zapadni smjer (274°). Do sudara je došlo na nadmorskoj visini od 34 890 ft.
- Prvi kontakt dogodio se između vertikalnog repa B757-200 i lijevog krila koje je pojačano lijevom stranom trupa TU154M u području izlaza za slučaj opasnosti.
- Oštećenje trupa TU154M rezultiralo je eksplozivnom dekompresijom.
- Zbog oštećenja konstrukcije TU154 se više nije mogao kontrolirati nakon sudara. Došlo je do raspada tijekom leta, a neke od komponenti su se zapalile.
- Tijekom sudara uništeno je oko 80% vertikalnog repa B757-200. Nakon toga avion je postao nekontroliran i pao je u šumu s negativnim kutom nagiba od oko 70°.

- Nesreća ta dva zrakoplova je završila fatalna.
- Nesreća se dogodila na njemačkom teritoriju. U skladu s pismom o suglasnosti, kontrola zračne plovidbe Zurich (Švicarska) je bila odgovorna za kontrolu zračnog prometa u ovom području.
- Uprava tvrtke za pružanje usluga u zračnoj plovidbi u Zürichu uvela je novu sigurnosnu politiku od 23. listopada 2001. Ova načela pokazuju da treba razviti kulturu sigurnosti u kojoj su menadžeri i zaposlenici bili svjesni svoje ključne važnosti za sigurno poslovanje. Također su poduzeti organizacijski koraci za provedbu tih načela.
- U okviru kontrole zračne plovidbe Zurich provedeni su sektorski radovi kako bi se kontrolne sekcije preuredile u noći od 1. do 2. srpnja 2002. Tijekom tog vremena radarski sustav je radio u „rezervnom modu“, a minimum razdvajanja je povećan od 5 do 7 NM. Na taj način radarsko računalo MV9800 nije bilo dostupno kontrolorima, stoga nije bilo moguće automatsko povezivanje ciljeva letova.
- Direktne telefonske veze sa susjednim jedinicama kontrole zračne plovidbe nisu bile dostupne kontroloru u Zürichu u vremenu od 21:23 do 21:34:37 sati. Automatsko prebacivanje dolaznih poziva u sustav prenosnice nije postojalo. U 21:34:44 registriran je prvi od ukupno četiri poziva, tri poziva iz Karlsruhea i jedan poziv iz Friedrichshafena. Na ove pozive nije odgovoreno.
- Bilo je pisanih smjernica koje se odnose na obavljanje posla, ali nisu sadržavale objašnjenja o učincima koje bi rad imao na dostupnost tehničke opreme.
- Rad na sektorizaciji nije bio usklađen sa susjednim jedinicama kontrole zračne plovidbe.
- Prema rasporedu rada, dva kontrolora bila su odgovorna za kontrolu nad zračnim prostorom u kontroli zračne plovidbe Zürich tijekom noćne smjene. Morali su preuzeti zadatke upravljanja usuglašenošću, osiguranja razdvajanja i upravljati zagušenjima. Stoga nije osigurano kontinuirano upravljanje različitim zadacima. Nije provedena procjena koja bi smanjila rizike tijekom noćne smjene.
- Kontrolori su bili dužni pročitati smjernice za obavljanje rada sustava. Ali oni ih nisu čitali. Dva pomoćnika bila su na raspolaganju kontrolorima kako bi im pružila podršku u rutinskim i koordinacijskim zadacima, međutim, nisu imali ovlaštenje za preuzimanje bilo kakvih funkcija kontrole prometa.
- Nakon što se protok zračnog prometa smanjio, jedan kontrolor se povukao u mirovanje oko 21:15 h, a oko 10 minuta kasnije jedan pomoćnik se povukao kako bi se odmorio.

Obično se ne bi vratili u kontrolnu sobu do ranog jutra, što znači da je jedan kontrolor morao preuzeti sve funkcije planiranja i izvršavanja.

- Uprava i osiguranje kvalitete tvrtke za pružanje usluga u zračnoj plovidbi godinama su znali i tolerirali da je tijekom noći u razdobljima niskog protoka prometa samo jedan kontrolor obavljao sve poslove kontrole prometa, dok je drugi kontrolor odmarao.
- Oba kontrolora su kvalificirana i licencirana u skladu s važećim propisima.
- U vrijeme nesreće kontrolor je morao kontrolirati tri zrakoplova:
 - B757-200 u izravnom pristupu Tango VOR-u na FL 360
 - TU154M u izravnom prilazu Trasadingenu VOR-u na FL 360 i
 - odgođenom Airbusu A320 koji se približavao Friedrichshafenu.

Airbus je kontroliran na 119.920 MHz, a druga dva na 128.050 MHz. Stoga se nisu mogli čuti što je rezultiralo istovremenim prijenosom. Za sve letove kontrolne trake bile su na raspolaganju kontroloru na vrijeme. Iz kontrolnih traka predstojeća konfliktna situacija (B757-200 i TU154M) bila je prepoznatljiva samo u kombinaciji s radarskim prikazom. Kontrolor je bio jedini odgovoran za cijelu kontrolu zračne plovidbe u Zürichu.

- Tijekom posljednjih pet minuta prije sudara, kontrolor je posvetio više pozornosti Airbusu A320 u pristupu Friedrichshafenu.
- Telefonski sustav premošćivanja imao je privremenu tehničku grešku, tako da se nužna koordinacija s Friedrichshafenom nije mogla obaviti telefonom.
- U 21:33:24 h radarski kontrolor iz Karlsruhea bio je upozoren od strane njegovog STCA zbog situacije sukoba. Njegovi pokušaji da telefonski upozori kontrolora u Zürichu nije bio uspješan jer nije bilo moguće uspostaviti telefonsku vezu.
- Kontrolor nije na vrijeme primijetio neizbježnu povredu razdvajanja. On je naredio posadi TU154M u 21:34:49 h (43 sekunde prije sudara) da se spusti do FL 350 što je bilo prekasno da osigura potrebnu razdvojenost od B757-200. Korištena frazeologija nije odgovarala hitnosti situacije.
- U 21:34:56 h prekršeno je propisano odvajanje od 7 NM.

Kontrolor nije na vrijeme primijetio neposrednu povredu razdvajanja. Uputa za spuštanje TU154M dana je u vrijeme kada propisano odvajanje od B757-200 više nije bilo moguće osigurati. Posada TU154M slijedila je instrukcije kontrolora kako bi se spustila i

nastavila s tim, čak i nakon što ih je TCAS savjetovao da se penju. Taj je manevar obavljen suprotno generiranom TCAS naredbi.

Integracija TCAS-a u sustav zrakoplovstva bila je nedovoljna i nije se odrazila u svim točkama filozofije sustava. Propisi o TCAS-u koje je objavila ICAO i kao posljedica toga propisi nacionalnih zrakoplovnih vlasti, operativne i proceduralne upute proizvođača TCAS-a i operateri nisu bili standardizirani, nepotpuni i djelomično proturječni.

Upravljanje i osiguranje kvalitete tvrtke za pružanje usluga u zračnoj plovidbi nisu osigurali da tijekom noći na svim otvorenim radnim stanicama stalno rade kontrolori.

Oba operatera pružila su programe osposobljavanja za TCAS, a letačke su posade, koliko je to bilo potrebno, završile odgovarajuću obuku. Praktična TCAS obuka letačke posade TU154M u simulatoru leta nije bila moguća, budući da simulatori nisu bili odgovarajuće opremljeni. Priručnici za letačke operacije oba operatera sadržavali su naredbe za rukovanje TCAS-om. Priručnici za letačke operacije oba operatera nisu sadržavali detaljne opise zadataka pojedinih članova letačke posade u slučaju TCAS događaja. U operativnom priručniku za TU154M tekst opisa TCAS-a bio je takav da je kontrola zračne plovidbe imala najviši prioritet u izbjegavanju sudara. [15]

5.6. ANALIZA I PROCJENA RIZIKA ZRAKOPLOVNIH NESREĆA U SLUČAJU OTKAZA KOMUNIKACIJSKOG I NAVIGACIJSKOG SUSTAVA

Pri procesu upravljanja rizicima potrebno je identificirati, analizirati i tretirati rizike. Što znači da je potrebno identificirati na koji način pronaći rizik, procese, tehnike i metode za analiziranje i samim time tretiranje rizika. U svim granama industrija, tako i u zrakoplovstvu, koje su tijekom svog životnog ciklusa podložne velikim opasnostima, identifikacija velikih opasnosti te procjena njihovih rizika ključni su procesi. Ukoliko se prepoznavanje opasnosti ili njihova procjena pokažu nedosljednima, neizbježne posljedice su neprimjerne kontrolne mjere te neodgovarajući sustav upravljanja sigurnošću i zaštitom okoliša. Rizici se moraju procijeniti za sve iznenadne događaje, kao i velike nesreće ili velike opasnosti koje uključuju situacije u kojima je moguće stvaranje oštećenja na objektima i povezanoj infrastrukturi koju uzrokuje zrakoplov ili oprema s zrakoplova, kada dolazi do problema u kontroli samog leta zrakoplova,

eksplozija i požara, ispuštanja štetnih tvari u količinama u kojima su radno okruženje te okoliš ugroženi, kao i za nesreće koje uključuju gubitak kontrole nad zrakoplovom, otkazivanje sustava i slično. Dakle, rizik je prognoza moguće pojave štete ili opasnosti od štete na ljudima, okolišu ili materijalnoj imovini koju treba spriječiti ili ograničiti u skladu s propisima sigurnosti i zaštite. Sam rizik se mora umanjiti do najveće moguće opravdane razine, gdje smanjivanje rizika podrazumijeva da odgovorna osoba izabere ona tehnička, operativna i organizacijska rješenja koja prema individualnoj i ukupnoj procjeni mogućih šteta te sadašnjoj i budućoj upotrebi daju najbolje rezultate. Za definiranje opasnosti od velikih nesreća u sustavu potrebno je uzeti u razmatranje sve događaje koji bi mogli pridonijeti razvoju nesreće, poput tehničkih kvarova, pogrešaka upravljanja i održavanja, nadzora pogrešaka i vanjskih događaja, prirodnih ili ljudskih faktora, jer će se osobe smatrati ključnim elementima u provedbi sigurnosnih postupaka kao potencijalni uzrok velike nesreće ili njenog razvoja. [21]

Procjena rizika predstavlja proces koji obuhvaća identifikaciju rizika, analizu rizika i evaluaciju rizika, a opisano je na sljedeći način:

- Identifikacija rizika je proces koji se sastoji od prepoznavanja svih opasnosti koje mogu uzrokovati nepoželjne učinke, u ovom slučaju se tim smatra rizik od otkaza komunikacijskog i navigacijskog sustava te prekid komunikacije između zrakoplova i kontrole zračne plovidbe,
- Procjena i vrednovanje rizika je proces koji se sastoji se od utvrđivanja učinka aktivne opasnosti i vjerojatnosti da se opasnost dogodi, i
- Određivanje i implementacija mjera za upravljanje rizicima je odluka da li je potrebno ili ne poduzeti mjere, te kako brzo ih treba poduzeti sa svrhom smanjenja ili eliminiranja istog. [22]

Kod analize i procjene rizika koriste se matrice kao metode procjene pomoću kojih se označava određeno stanje događaja, što je prikazano u nastavku u tablici 3.

Tablica 3. Metoda procjene rizika

| OZBILJNOST POSLJEDICA DOGAĐAJA | VJEROJATNOST DA SE DOGAĐAJ DESI | | | | |
|---|--|-----------------|-------------|------------------|--------------|
| | IZUZETNO NEZNATNA (1) | NEZNATNA (2) | RIJETKA (3) | POVREMENA (4) | UČESTALA (5) |
| NEZNATNA (E) | 1E | 2E | 3E | 4E | 5E |
| MALA (D) | 1D | 2D | 3D | 4D | 5D |
| ZNATNA (C) | 1C | 2C | 3C | 4C | 5C |
| OPASNA (B) | 1B | 2B | 3B | 4B | 5B |
| KATASTROFALNA (A) | 1A | 2A | 3A | 4A | 5A |

Izvor: [22]

Zelenom bojom označena su polja gdje je rizik prihvatljiv i u granicama. Žutom bojom označena su polja gdje je rizik prihvatljiv uz suglasnost odgovorne osobe i crvena boja predstavlja rizike koji su neprihvatljivi. Vjerojatnost da se neki događaj dogodi klasificira se prema sljedećoj tablici 4.

Tablica 4. Vjerojatnost da se događaj dogodi

| VJEROJATNOST DA SE DOGAĐAJ DOGODI | VRIJEDNOST |
|--|-------------------|
| Izuzetno neznatna | 1 |
| Neznatna | 2 |
| Rijetka | 3 |
| Povremena | 4 |
| Učestala | 5 |

Izvor: [22]

Ozbiljnost posljedica događaja klasificira se s obzirom na moguću posljedicu ako se opasna situacija ostvari, prema sljedećoj tablici 5.

Tablica 5. Ozbiljnost posljedica događaja

| OZBILJNOST OPASNE SITUACIJE | VRIJEDNOST | OPIS |
|-----------------------------|------------|---|
| KATASTROFALNA | A | Nesreća sa smrtnim posljedicama i uništenjem zrakoplova i/ili imovine |
| OPASNA | B | Nesreća s ozbiljnim ozljedama i velikom štetom na zrakoplovu i/ili imovini |
| ZNATNA | C | Nezgodna s ozljedama i/ili štetom na zrakoplovu i/ili imovini |
| MALA | D | Nezgodna s manjim ozljedama i/ili manjom štetom na zrakoplovu i/ili imovini |
| NEZNATNA | E | Nezgodna bez ozljeda i/ili štete na zrakoplovu i/ili imovini |

Izvor: [22]

Rizici koji su klasificirani kao visoki rizici (neprihvatljivi) moraju se umanjiti na prihvatljivu razinu implementacijom prikladnih mjera umanjenja rizika. Cilj smanjenja rizika je da se osmisle ili pronađu postupci koji će smanjiti izloženost na minimum. Strategije smanjenja rizika uključuju izbjegavanje rizika, optimiziranje ili smanjenje utjecaja riziku. [22]

Navedena procedura procjene rizika nesreće između ta dva zrakoplova izvodi se na temelju određenog broja pojave takvih te se vrši kategorizacija postojećih rizika. Nakon prikupljenih podataka i informacija, te komunikacije sa nadležnim organizacijama nakon nesreće između zrakoplova B757-200 i TU154M može se izvesti procjena rizika. Nakon završne faze istrage te nesreće, rizici koji su doveli do takve katastrofalne nesreće su loša komunikacija između zrakoplova i kontrole zračne plovidbe te naslijeđene upute sustava unutar zrakoplova. Navedeni sustavi su komunikacijski i navigacijski sustav, koji su u tom slučaju bili ispravni, što znači da je vrlo mala vjerojatnost da će se dogoditi nesreća zrakoplova. Za daljnju analizu izdvajaju se sljedeći rizici koji su doveli do nesreće. To su rizici radi loše komunikacije između zrakoplova i kontrole zračne plovidbe, te naslijeđene upute navigacijskog sustava koji je u najvećem srazmjeru doveo do katastrofe. Njih se može označiti sa niskom vjerojatnosti da će se nesreća dogoditi u budućnosti, kao što je u današnje vrijeme jako je mali udio ovakvih nesreća, radi uvedenih preporuka i naredbi koje su jednake za svakog operatera u zrakoplovstvu, osim što može doći do otkaza nekog od zrakoplovnog sustava, što je također

rijetko jer se sve više pridonosi poboljšanju i usavršavanju svih sustava kao i komunikacijskog i navigacijskog. U ovom slučaju između zrakoplova B757-200 i TU154M nesreća se dogodila i bila je katastrofalna, posljedice i ozbiljnost događaju su smrtnost i uništenje oba zrakoplova. Prema matrici rizika ispada da je ovaj događaj još uvijek u normalnim granicama i prihvatljiv ali uz suglasnost odgovorne osobe. Važno je da informacije i procjene rizika budu na visokoj razini točnosti. Samo kvalitetna i točna analiziranja rizika omogućiti će primjenu odgovarajućih mjera i preporuka što su navedeni u sljedećem poglavlju kako bi se rizici nalazili na prihvatljivoj razini.

6. PREPORUKE ZA POBOLJŠANJE KOMUNIKACIJSKIH I NAVIGACIJSKIH SUSTAVA S CILJEM SPRJEČAVANJA ZRAKOPLOVNE NESREĆE

Istraživanje prethodno analizirane nesreće dovela je u pitanje sigurnost zračnog prometa, što znači da bi se trebale uvesti promjene i preporuke da se osigura sigurno odvijanje letova. Kao rezultat ove nesreće u pitanje se dovela nesuglasnost svih sudionika u prometu, što znači da bi se trebale uvesti mjere i preporuke jednake za sve operatere, kontrolu zračnog prometa i ostale sudionike. Europska Unija je vrlo brzo mobilizirala zrakoplovne zajednice i osigurala djelovanja u smjeru da se takav tragičan događaj ne ponovi.

Navedene preporuke s ciljem sprječavanja zrakoplovne nesreće za poboljšanje komunikacijskih i navigacijskih sustava te komunikacije sa kontrolom zračne plovidbe su:

- ICAO treba promijeniti međunarodne zahtjeve tako da se od pilota zrakoplova zahtijeva da poštuju i slijede TCAS preporuke za razrješenje, bez obzira na to da li je suprotna instrukcija od kontrole zračne plovidbe dana prije, tijekom, ili nakon izdavanja naredbe. Osim ako je situacija preopasna za pridržavanje, pilotsko letenje treba biti u skladu s naredbom sve dok TCAS sustav ne pokaže da je zrakoplov izbjegao sukob. [15]
- U sustavu kontrole zračne plovidbe treba se osigurati da u svakoj smjeni odrađuju dva kontrolora dok je treći na odmoru. Treba biti jedan planerski kontrolor, i jedan izvršni kontrolor leta, koji će međusobno surađivati i kontrolirati promet kako ne bi došlo do sukoba.
- ICAO bi trebao omogućiti svim kontrolorima teorijsku i praktičnu obuku i provoditi to s vremenom, kako bi se kontrolor mogao nositi sa potencijalnim sukobima.
- Piloti bi također trebali imati minimalno jednu godišnju obuku i treninge na simulatorima u slučaju potencijalnih opasnosti što se tiče komunikacijskih i navigacijskih sustava. Kako se u zrakoplovstvu često uvode neke nove promijene, i poboljšavaju se sustavi, piloti bi sa time trebali biti upoznati i imati praktičnu nastavu.
- ICAO bi trebao uvesti standard koji bi od svih proizvođača zrakoplova zahtijevao da svaki zrakoplov različitog proizvođača ima jednake komunikacijske i navigacijske uređaje, ugrađene kao sustav zrakoplova, kako bi se svi piloti i kontrolori pridržavali

jednakih pravila, što bi uvelike smanjilo mogućnost pojave zabune bilo pilota ili kontrolora zračne plovidbe tijekom nekih potencijalnih događaja.

7. ZAKLJUČAK

Komunikacija je proces razmjene informacija preko dogovorenog sistema znakova, odnosno proces slanja informacija sebi ili bilo kojem drugom entitetu. Što znači da je komunikacija u slučaju zrakoplovstva bitna stavka, jer zrakoplov na taj način komunicira sa svim drugim entitetima u prostoru. Osim komunikacije, da bi zrakoplov u nekom vremenu prevalio određeni put mora biti opremljen uređajima za navigiranje istoga. Ti uređaji koriste se za operacije poput kontinuiranog penjanja i spuštanja, a prostorom navigira uz pomoć zamišljenih točaka kojima je pozicija poznata. Postoje mnogi zemaljski sustavi navigacije i nadzora, ali poseban naglasak se stavlja na dodatni razvoj satelitskih tehnologija u bliskoj budućnosti koje će biti globalno dostupne. U današnje vrijeme još uvijek nije moguće u potpunosti osloniti se na satelitske sustave zbog nepreciznosti istih. Spomenuti sustavi će se uglavnom koristiti zajedno sa zemaljskim sustavima dok ne budu razvijeni u zadovoljavajućim normama.

Iako postoje mnogobrojni sustavi, pogreške se i dalje događaju te su potrebna daljnja ulaganja u razvijanje modernih tehnologija za komunikacijske i navigacijske sustave. U zračnom prometu vrlo velika važnost se pridodaje sigurnosti i sprječavanju nezgoda i opasnih situacija. Zrakoplovna industrija vremenom sve više raste, i dolazi do velike zagušenosti u prometu, stoga se događaju nesreće i nezgode u zrakoplovnom svijetu. Iz tog razloga razvijaju se planovi i unaprjeđuju sustavi jer pitanje prihvatljive razine sigurnosti je tekući problem koji se neprestano usavršava i zahtjeva punu angažiranost svih uključenih strana. Da bi se nesreće i nezgode, koje se događaju u zrakoplovstvu, u potpunosti smanjile, trebalo bi eliminirati sve uzroke koji utječu na nesigurnost leta, što je nemoguće. Stoga se pokušavaju uvesti jednake procedure i pravila kojih bi se svaki entitet u zračnom prometu trebao pridržavati. U zadnjih par godina broj zrakoplovnih nesreća se smanjio, a udjel čimbenika zrakoplov odnosno otkazi zrakoplovnih uređaja i sustava kao primarni uzrok zrakoplovnih nesreća sveden je u posljednjim godinama na oko 10%.

Stoga da bi se smanjio broj nesreća zrakoplova, jedan od čimbenika koji se koriste za pomoć su komunikacijski i navigacijski uređaji koji, prateći let zrakoplova, upozoravaju pilote na moguće greške i opasnosti. Upravo je iz tog razloga vrlo važno planski razvijati sustave i tehnologije u zrakoplovstvu. Da bi se to postiglo, bitno je ujednačiti pravila, norme i propise na globalnoj razini pomoću najznačajnije zrakoplovne organizacije ICAO.

Na taj način se povećava i sigurnost zrakoplovstva što će u budućnosti rezultirati sigurnom zračnom plovidbom.

LITERATURA

- [1] ICAO. Manual of Aircraft Accident and Incident Investigation, Part I.-Organization and planning. Canada; 2000.
- [2] Steiner S. Elementi sigurnosti zračnog prometa. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 1998.
- [3] ICAO. Manual of Aircraft Accident and Incident Investigation, Part II. Canada; 2012.
- [4] Steiner S., Vidović A., Bajor I., Pita O., Štimac I. Zrakoplovna prijevozna sredstva 1. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 2008.
- [5] Kayton M., Fried W., R. Avionics Navigation Systems. John Wiley & Sons, Inc.; 1997.
- [6] ICAO. Istraživanje nesreća i nezgoda zrakoplova, Dodatak 13. Canada; 2001.
- [7] Introduction to communication and navigation. Preuzeto sa: <https://www.flight-mechanic.com/introduction-to-communication-and-navigation/>, (pristupljeno: travanj, 2019.)
- [8] Bombardier Challenger 605. Preuzeto sa: <http://www.smartcockpit.com/docs/CL605-COMMUNICATIONS.pdf>, (pristupljeno: travanj, 2019.)
- [9] Aircraft radio systems. Preuzeto sa: <https://soaneemrana.org/onewebmedia/AIRCRAFT%20RADIO%20SYSTEM%20BY%20J%20POWEL.pdf>, (pristupljeno: travanj, 2019.)
- [10] Instrument Landing system. Preuzeto sa: [https://www.skybrary.aero/index.php/Instrument_Landing_System_\(ILS\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Instrument_Landing_System_(ILS)), (pristupljeno: svibanj, 2019.)
- [11] Distance Measuring Equipment. Preuzeto sa: <https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2018/january/flight-training-magazine/how-it-works-distance-measuring-equipment>, (pristupljeno: svibanj, 2019.)
- [12] ADF. Preuzeto sa: <https://www.thebalancecareers.com/the-ADF-ndb-navigation-system-282773>, (pristupljeno: svibanj, 2019.)
- [13] TCAS. Preuzeto sa: http://navigationguidance.blogspot.com/2015/04/navigation-and-guidance_19.htm, (pristupljeno: svibanj, 2019.)
- [14] Safety Report. Preuzeto sa: <https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/4431.pdf>, (pristupljeno: svibanj, 2019.)
- [15] Final Report. Preuzeto sa: https://cfapp.icao.int/fsix/sr/reports/02001351_final_report_01.pdf, (pristupljeno: lipanj, 2019.)

- [16] Communications, Navigation and Surveillance, Eurocontrol. Preuzeto sa: <https://www.eurocontrol.int/communications-navigation-and-surveillance>, (pristupljeno: lipanj, 2019.)
- [17] ICAO. Annex 10, Aeronautical telecommunications. Canada; 2012.
- [18] Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents. Preuzeto sa: https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/company/about_bca/pdf/statsum.pdf, (pristupljeno: svibanj, 2019.)
- [19] Static discharge. Preuzeto sa: <http://precolumbianweapons.com/aircraft-static-discharge-wicks/aircraft-static-discharge-wicks-fresh-a320-series-walkaround/>, (pristupljeno: srpanj, 2019.)
- [20] Tupolev-TU154M. Preuzeto sa: <https://www.airliners.net/photo/Slovakia-Government/Tupolev-Tu-154M/108718>, (pristupljeno: srpanj, 2019.)
- [21] Smjernice za procjenu rizika. Preuzeto sa: <https://www.azu.hr/media/1094/smjernice-za-procjenу-rizika.pdf>, (pristupljeno: kolovoz, 2019.)
- [22] Upute za izradu operativnog priručnika. Preuzeto sa: http://www.ccaa.hr/download/documents/read/upute-za-izradu-operativnog-prirucnika_3926, (pristupljeno: kolovoz, 2019.)

POPIS SLIKA

| | |
|--|----|
| Slika 1: Stopa nesreća i smrtnih slučajeva po godinama, [18]..... | 5 |
| Slika 2. Organizacijska shema istrage za velike nesreće zrakoplova,..... | 11 |
| Slika 3: Komunikacijski sustav na primjeru zrakoplova Bombardier Challenger 605, [8] | 16 |
| Slika 4: Snimač glasa u kokpitu, [8] | 19 |
| Slika 5: Lokacija na kojoj se nalazi snimač glasa u kokpitu, [8] | 19 |
| Slika 6: Statičko pražnjenje na zrakoplovu, [8] | 20 |
| Slika 7. Statičko pražnjenje na primjeru zrakoplova A320, [19]..... | 21 |
| Slika 8: VOR antena na zrakoplovu, [9] | 22 |
| Slika 9: VOR sustav, [8] | 23 |
| Slika 10: Dopler navigacijski sustav, [9] | 26 |
| Slika 11: Kontrolna zaslonska jedinica CDU, [9]..... | 27 |
| Slika 12: Izbjegavanje potencijalne prijetnje od sudara pomoću TCAS sustava, [13] | 28 |
| Slika 13: Unutrašnjost kokpita zrakoplova Boeing 757-200, [15]..... | 36 |
| Slika 14. Kokpit zrakoplova B757-200, [19] | 36 |
| Slika 15: Unutrašnjost kokpita zrakoplova Tupolev 154 M, [15]..... | 37 |
| Slika 16.Kokpit zrakoplova TU154M, [20] | 38 |
| Slika 17. Prednji dio trupa zrakoplova, [15] | 41 |
| Slika 18. Središnji presjek krila zrakoplova, [15] | 41 |
| Slika 19. Stražnji dio trupa zrakoplova, [15] | 42 |
| Slika 20: Rekonstrukcija zrakoplovne nesreće, [15]..... | 46 |

POPIS DIJAGRAMA

| | |
|--|----|
| Dijagram 1: Nesreće prema kategorijama, [14] | 31 |
|--|----|

POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Podaci o zrakoplovnoj nesreći zrakoplova B757-200 i TU154M..... | 32 |
| Tablica 2. Ljudske ozljede nakon nesreće zrakoplova B757-200 i TU154M..... | 40 |
| Tablica 3. Metoda procjene rizika..... | 52 |
| Tablica 4. Vjerojatnost da se događaj dogodi..... | 52 |
| Tablica 5. Ozbiljnost posljedica događaja..... | 53 |



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ diplomski 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.

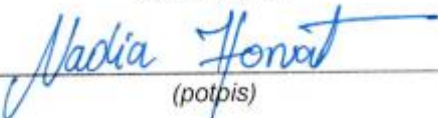
Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ diplomskog rada
pod naslovom **ANALIZA I PROCJENA RIZIKA ZRAKOPLOVNIH NESREĆA**

U SLUČAJU OTKAZA KOMUNIKACIJSKOG I NAVIGACIJSKOG SUSTAVA

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

U Zagrebu, 29.08.2019 _____

Student/ica:



(potpis)