Analiza i procjena rizika zrakoplovnih nesreća uzrokovanih nepovoljnim meteorološkim uvjetima

Matulić, Lana

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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:119:197851

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-29**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

ANALIZA I PROCJENA RIZIKA ZRAKOPLOVNIH NESREĆA UZROKOVANIH NEPOVOLJNIM METEOROLOŠKIM UVJETIMA

RISK ANALYSIS AND ASSESSMENT OF AIRCRAFT ACCIDENTS CAUSED BY UNFAVOURABLE WEATHER CONDITIONS

Mentor: Doc. dr. sc. Igor Štimac

Student: Lana Matulić
JMBAG: 0135232363

Zagreb, rujan 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 7. ožujka 2022.

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

DIPLOMSKI ZADATAK br. 6619

Pristupnik: **Lana Matulić (0135232363)**
Studij: Promet
Smjer: Zračni promet

Zadatak: **Analiza i procjena rizika zrakoplovnih nesreća uzrokovanih nepovoljnim meteorološkim uvjetima**

Opis zadatka:

U prvom dijelu rada potrebno je definirati utjecaje meteoroloških čimbenika na sigurnost leta te u nastavku analizirati učestalosti istih kao i procijeniti rizike zrakoplovnih nesreća koje su se dogodile zbog tih meteoroloških čimbenika. U radu je potrebno statistički i analitički obraditi povijesne podatke zrakoplovnih nesreća zbog nepovoljnih meteoroloških uvjeta te kategorizirati uzroke istih. Na temelju proučenog potrebno je navesti preporuke u cilju preventive zrakoplovnih nesreća uzrokovanih nepovoljnim meteorološkim uvjetima u budućnosti.

Mentor:

doc. dr. sc. Igor Štimac

Predsjednik povjerenstva za diplomski ispit:

SAŽETAK

Nepovoljni meteorološki uvjeti predstavljaju veliki rizik za sigurnost leta i nastanak zrakoplovnih nesreća. U nepovoljne meteorološke uvjete ubrajaju se turbulencija, smicanje vjetra, zaleđivanje, grmljavinsko nevrijeme, itd. U pogledu kategorija zrakoplovnih nesreća, najčešće nesreće su kontrolirani let u teren, gubitak kontrole nad zrakoplovom u letu te izlijetanje zrakoplova s uzletno-sletne staze. Gledano u postotnom doprinosu, a s obzirom na meteorološke čimbenike, na kontrolirani let u teren najviše utječe smanjena vidljivost. Gubitku kontrole nad zrakoplovom u letu u najvećoj mjeri doprinose smicanje vjetra i zaleđivanje, a u pogledu izlijetanja zrakoplova s uzletno-sletne staze, najveći utjecaj imaju smicanje vjetra te grmljavinsko nevrijeme. Za prevenciju nesreća uzrokovanih nepovoljnih meteoroloških uvjetima, važni su edukacija pilota te brzo i točno meteorološko informiranje, a od značajne pomoći su i tehnološki sustavi poput zrakoplovnog meteorološkog radara i reaktivnog sustava za detekciju smicanja vjetra.

KLJUČNE RIJEČI: nepovoljni meteorološki uvjeti; zrakoplovna nesreća; smicanje vjetra; smanjena vidljivost; zaleđivanje

SUMMARY

Unfavourable weather conditions present great safety risk upon flight safety and aircraft accident occurrence. Unfavourable weather conditions are turbulence, wind shear, icing, thunderstorm, ect. By categories of aircraft accidents, most frequent accidents are controlled flight into terrain, loss of control – in flight and runway excursion. Based on percentage contribution, in case of unfavourable weather conditions, controlled flight into terrain is mostly affected by poor visibility. Loss of control – in flight is mostly affected by wind shear and icing, and runway excursion mostly by wind shear and thunderstorm. In order to mitigate risk of accidents caused by unfavourable weather conditions, pilots education, frequent and correct weather information are important, with great help by means of technologies like on-board weather radar and reactive wind-shear system.

KEY WORDS: unfavourable weather conditions; aircraft accident; wind shear; poor visibility; icing

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. UTJECAJ METEOROLOŠKIH ČIMBENIKA NA SIGURNOST LETA 3
2.1. Turbulencija 5
2.2. Smicanje vjetra 9
2.3. Planinski valovi 9
2.4. Kiša i tuča 10
2.5. Snijeg 10
2.6. Zaleđivanje 11
2.7. Magla i niska naoblaka 13
2.8. Naoblaka i oluja 13
2.9. Pješčana oluja i vulkanski pepeo 16
3. ANALIZA UČESTALOSTI I PROCJENA RIZIKA ZRAKOPLOVNIH NESREĆA UZROKOVANIH NEPOVOLJNIM METEOROLOŠKIM UVJETIMA 19
3.1. Analiza rizika 19
3.1.1. Identifikacija rizika 20
3.1.2. Vjerojatnost rizika 21
3.1.3. Procjena i smanjenje rizika 21
3.2. Statistika zrakoplovnih nesreća 23
3.2.1. ICAO statistika zrakoplovnih nesreća i nezgoda 23
3.2.2. IATA statistika zrakoplovnih nesreća i nezgoda 30
3.3. Utjecaj čimbenika na učestalost i rizik nesreća 31
3.3.1. Utjecaj čimbenika na rizik od kontroliranog leta u teren 32
3.3.2. Utjecaj čimbenika na rizik od gubitka kontrole u letu 33
3.3.3. Utjecaj čimbenika na rizik od izlijetanja s USS-e 34
4. PROCES ISTRAGE ZRAKOPLOVNE NESREĆE UZROKOVANE NEPOVOLJNIM METEOROLOŠKIM UVJETIMA 36
4.1. Zakonska regulativa 37
4.2. Nadležnost u pokretanju istrage zrakoplovne nesreće 38
4.3. Istraga velikih zrakoplovnih nesreća 39
4.4. Istraga manjih zrakoplovnih nesreća ili nezgoda 41

4.5. Istraga zrakoplovne nesreće Air France 447 42
4.5.1. Povijest leta..... 46
4.5.2. Podaci o posadi 48
4.5.3. Podaci o zrakoplovu..... 49
4.5.4. Opis rada sustava vezanih za let zrakoplova 51
4.5.4.1. Sustav mjerenja zračne brzine 51
4.5.4.2. Sustav grijanja Pitot cijevi 52
4.5.4.3. Sustav autopilota, upravitelja leta i automatskog potiska 53
4.5.4.4. Zakoni upravljanja 53
4.5.4.5. Zaštita od velikih napadnih kutova 54
4.5.5. Meteorološki uvjeti 56
4.5.5.1. Nastanak olujnog klastera 57
4.5.5.2. Analiza olujnog klastera na ruti leta zrakoplova A330-203 58
4.5.6. Analiza nesreće zrakoplova A330-203..... 63
4.5.7. Preporuke za povećanje sigurnosti 65
5. PREPORUKE U CILJU PREVENTIVE ZRAKOPLOVNIH NESREĆA UZROKOVANIH NEPOVOLJNIM METEOROLOŠKIM UVJETIMA 66
5.1. Mjere u cilju preventive zrakoplovnih nesreća uzrokovanih nepovoljnim meteorološkim uvjetima..... 66
5.2. Preporuke za poboljšanje mjera u cilju preventive zrakoplovnih nesreća uzrokovanih nepovoljnim meteorološkim uvjetima 70
6. ZAKLJUČAK 72
POPIS LITERATURE 74
POPIS SLIKA 77
POPIS TABLICA..... 78
POPIS GRAFIKONA..... 79
POPIS KRATICA 80

1. UVOD

Nepovoljni meteorološki uvjeti su čimbenici koji utječu na sigurnost leta, a u kombinaciji s ostalim čimbenicima, uvelike doprinose nastanku zrakoplovnih nesreća i nezgoda. Osim toga, nepovoljni meteorološki uvjeti mogu biti i jedini uzrok zrakoplovne nesreće ili nezgode. Predstavljaju opasnosti na koje se ne može utjecati, već ih se samo može predviđati, a rizike koji nastaju pokušati smanjiti. Isti su prepoznati kao čimbenici koji povećavaju operativni rizik i za koje su dane preporuke s ciljem prevencije nastanka nesreća. Stoga, neki od meteoroloških čimbenika kategorizirani su kao opasne pojave koje se posebno prate. Unatoč tehnološkom napretku u zrakoplovstvu, nepovoljni meteorološki uvjeti mogu se samo izbjegavati.

U ovom diplomskom radu dan je pregled nepovoljnih meteoroloških čimbenika i njihov utjecaj na sigurnost leta, kao i statistički pregled utjecaja istih na pojave zrakoplovnih nesreća na svjetskoj razini. Svrha rada jest prikazati u kojem opsegu meteorološki uvjeti utječu na nastanak zrakoplovnih nesreća. Nadalje, prikazan je proces istrage zrakoplovnih nesreća uz detaljan prikaz istrage zrakoplovne nesreće kod koje su nepovoljni meteorološki uvjeti imali veliki utjecaj na ishod. Na kraju rada, dan je osvrt na trenutne mjere i preporuke za poboljšanje istih s ciljem smanjenja zrakoplovnih nesreća uzrokovanih nepovoljnim meteorološkim uvjetima.

Diplomski rad podijeljen je u šest poglavlja:

1. Uvod
2. Utjecaj meteoroloških čimbenika na sigurnost leta
3. Analiza učestalosti i procjena rizika zrakoplovnih nesreća uzrokovanih nepovoljnim meteorološkim uvjetima
4. Proces istrage zrakoplovne nesreće uzrokovane nepovoljnim meteorološkim uvjetima
5. Preporuke u cilju preventive zrakoplovnih nesreća uzrokovanih nepovoljnim meteorološkim uvjetima
6. Zaključak

U uvodnom dijelu rada obrazložena je tema, definirani su svrha i cilj istraživanja te je prikazana struktura rada prema poglavljima.

U drugom su poglavlju rada navedeni meteorološki čimbenici te je objašnjen njihov utjecaj na sigurnost leta.

Treće poglavlje prikazuje analizu učestalosti i procjenu rizika kao proces, uz statistički pregled nesreća prema Međunarodnoj organizaciji civilnog zrakoplovstva (engl. *International Civil Aviation Organization* – ICAO) te Međunarodnoj udruzi zračnih prijevoznika (engl. *International Air Transport Association* – IATA). Statistički je prikazano u kojim režimima leta su nesreće uzrokovane nepovoljnim meteorološkim uvjetima najčešće te u kojem opsegu doprinose nastanku istih.

U četvrtom poglavlju opisani su tijek i analiza istrage zrakoplovne nesreće povezane s utjecajem nepovoljnih meteoroloških uvjeta.

Peto poglavlje daje pregled te poboljšanja postojećih mjera u cilju preventive zrakoplovnih nesreća uzrokovanih nepovoljnim meteorološkim uvjetima.

U zadnjem poglavlju dan je zaključak na temu rada prema prethodno navedenim poglavljima.

2. UTJECAJ METEOROLOŠKIH ČIMBENIKA NA SIGURNOST LETA

Dva glavna izvora opasnosti za sigurnost leta su tehnička neispravnost letjelice i diskontinuiteti u mediju kroz koji se leti, odnosno meteorološki čimbenici. [1] Od svih čimbenika koji mogu utjecati na sigurnost leta, meteorološki čimbenici, kao posljedica karakteristika i ponašanja zemljine atmosfere, predstavljaju čimbenike koje nije moguće predvidjeti i na koje nije moguće utjecati. [2]

Opasne meteorološke pojave koje mogu dovesti do pojave zrakoplovnih nesreća ili nezgoda su:

- turbulencija
- zaleđivanje aerodinamičkih i upravljačkih površina
- smanjena vidljivost
- jake oborine
- vjetar
- itd.

Navedene meteorološke pojave mogu dovesti do neželjenih posljedica kao što su:

- izlijetanje zrakoplova s uzletno-sletne staze (USS): utjecaj meteoroloških uvjeta na stanje površine USS-e ili utjecaj bočnog vjetra na upravljivost zrakoplova;
- kontrolirani let u teren: npr. zrakoplov se nalazi u oblaku ili je nastupila smanjena vidljivost što u kombinaciji s ljudskim faktorima može dovesti do smanjenja situacijske svijesti;
- gubitak kontrole nad zrakoplovom: izravna posljedica turbulencije, smicanja vjetra ili zaleđivanja aerodinamičkih i upravljačkih površina. [2]

Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva (ICAO) daje podjelu zrakoplovnih nesreća prema tablici 1. Prema podacima ICAO-a, turbulencija, zaleđivanje te smicanje vjetra i oluja statistički se obrađuju kao zasebne kategorije uzroka zrakoplovnih nesreća i nezgoda.

Tablica 1. ICAO kodovi za kategorije zrakoplovnih nesreća i nezgoda

Kod	Opis	
ADRM	Aerodrome	Aerodrom
AMAN	Abrupt Maneuver	Nagli manevar
ARC	Abnormal Runway Contact	Neadekvatan kontakt s USS-om
BIRD	Bird	Udar ptice
CABIN	Cabin Safety Events	Događaji vezani za sigurnost u kabini
CFIT	Controlled Flight into or Towards Terrain	Kontrolirani let u ili prema terenu
CTOL	Collision with Obstacles During Take-off and Landing	Sudar s preprekama prilikom polijetanja i slijetanja
EVAC	Evacuation	Evakuacija
F-NI	Fire or Smoke – Non-Impact	Vatra ili dim – bez udara
F-POST	Fire or Smoke – Post-Impact	Vatra ili dim – nakon udara
GCOL	Ground Collision	Sudar na zemlji
ICE	Icing	Zaleđivanje
LOC-I	Loss of Control – in Flight	Gubitak kontrole u letu
LOC-G	Loss of Control – Ground	Gubitak kontrole na zemlji
OTHR	Other	Ostalo
RAMP	Ground Handling	Opsluživanje zrakoplova na zemlji
RE	Runway Excursion	Izlijetanje s USS-e
SCF-NP	System or Component Failure – Non-Powerplant	Kvar na sustavima zrakoplova
SCF-PP	System or Component Failure – Powerplant	Kvar na pogonskim sustavima zrakoplova
TURB	Turbulence Encounter	Turbulencija
UNK	Unknown or Undetermined	Nepoznato ili neutvrđeno
USOS	Undershoot or Overshoot	Podbacivanje ili premašivanje USS-e prilikom slijetanja
WILD	Wildlife	Životinje
WSTRW	Wind Shear or Thunderstorm	Smicanje vjetra ili oluja

Izvor: [3]

Prema ICAO-u, meteorološki čimbenici predstavljaju faktor rizika koji može dovesti do pojave zrakoplovnih nesreća ili nezgoda uzrokovanih gubitkom kontrole nad zrakoplovom, ali i oštećenja zrakoplova u letu i na zemlji. Također, utjecaj meteoroloških čimbenika može dovesti do promjene stanja površine USS-e, što povećava rizik od gubitka kontrole nad zrakoplovom na zemlji i izlijetanja zrakoplova s USS-e. [4]

Nepovoljni meteorološki uvjeti mogu predstavljati veliku prijetnju za sigurnost leta te mogu dovesti do kašnjenja i smanjenja efikasnosti zračnog prometa. [5]

U nastavku je dan pregled najznačajnijih meteoroloških pojava te utjecaj istih na sigurnost leta.

2.1. Turbulencija

Turbulencija je kaotično kretanje čestica zraka u relativno malom području i relativno kratkom vremenu. Ponekad je turbulencija samo neugodna pojava koja uzrokuje trešnju zrakoplova, a ponekad je puno jača i opasnija pa može izazvati i rušenje, prvenstveno manjih zrakoplova. Turbulencija se pojavljuje u oblacima i njihovoj blizini, a najizraženije su u onim grmljavinskim. [6]

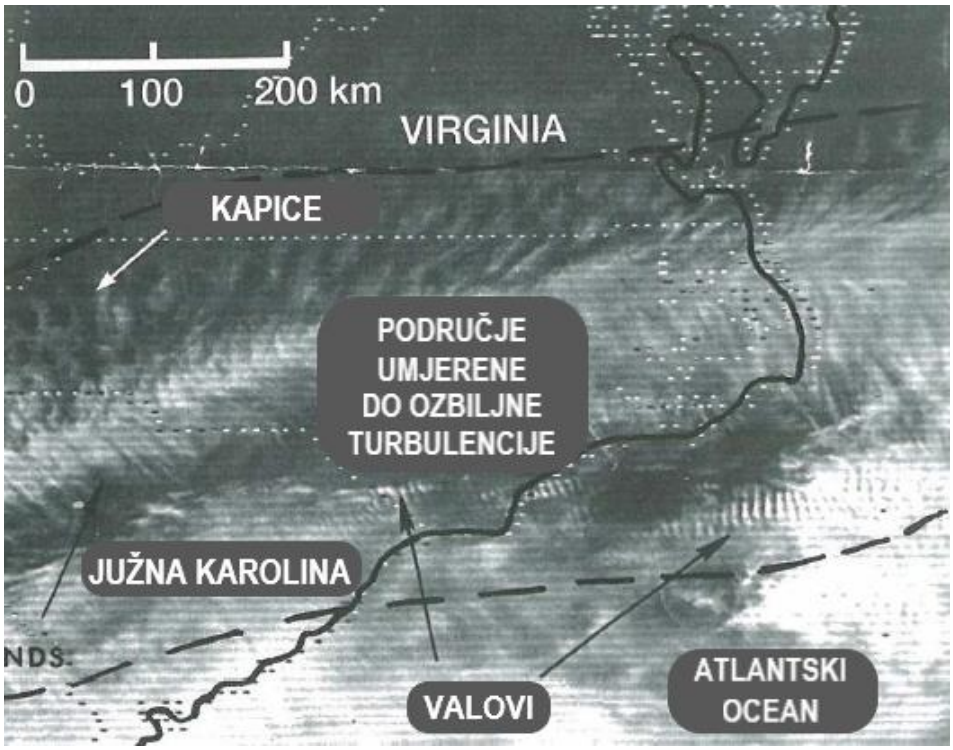
Turbulencija se prema intenzitetu dijeli na:

- slabu;
- umjerenu: dolazi do umjerene promjene u visini leta zrakoplova, variranje u pokazivanju zračne brzine, promjene u očitavanju akcelerometra;
- ozbiljnu: nagle promjene u visini leta zrakoplova, mogući kratkotrajni gubitak upravljivosti nad zrakoplovom, variranje pokazivanja indicirane zračne brzine;
- ekstremnu: izraženije amplitude u odnosu na prethodnu kategoriju. [5]

Također, turbulencija se može javiti i na srednjim i velikim visinama pri vedrom nebu u područjima izraženog smicanja zraka, pri čemu ju je teško detektirati (engl. *Clear Air Turbulence* – CAT). Navedena vrsta turbulencije se najčešće pojavljuje kod nastanka mlaznih struja koje su posljedica sudaranja hladne i tople zračne mase na:

- hladnoj strani mlazne struje, ispod središta mase gdje je smicanje najizraženije;
- toploj strani mlazne struje iznad središta mase;
- mjestima gdje dolazi do nagle promjene smjera strujanja;
- vršnim dijelovima maksimalne brzine strujanja uslijed zakrivljenosti. [5]

Indikator nastanka CAT turbulencije predstavljaju područja s razvojem valovitih oblaka cirus koji nastaju kao posljedica slamanja mlaznog strujanja (odnosno sudara toplog i hladnog mlaznog strujanja) u turbulentni oblik (slika 1).

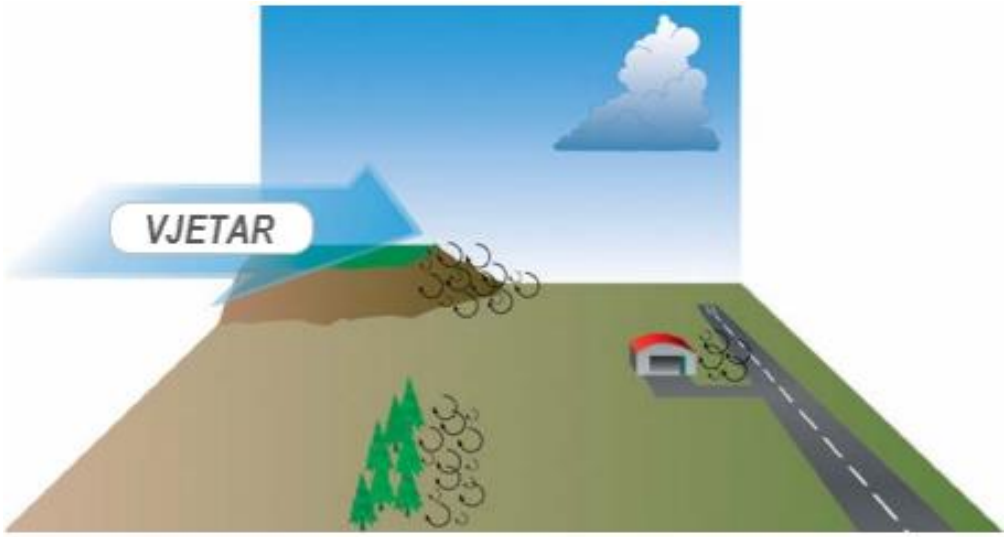


Slika 1. Područje CAT turbulencije, [5]

Iako CAT turbulencija nastaje na većim visinama i zrakoplov ima vremena reagirati, ovisno o intenzitetu turbulencije, može doći do strukturalnih oštećenja zrakoplova i ozljeđivanja posade i putnika.

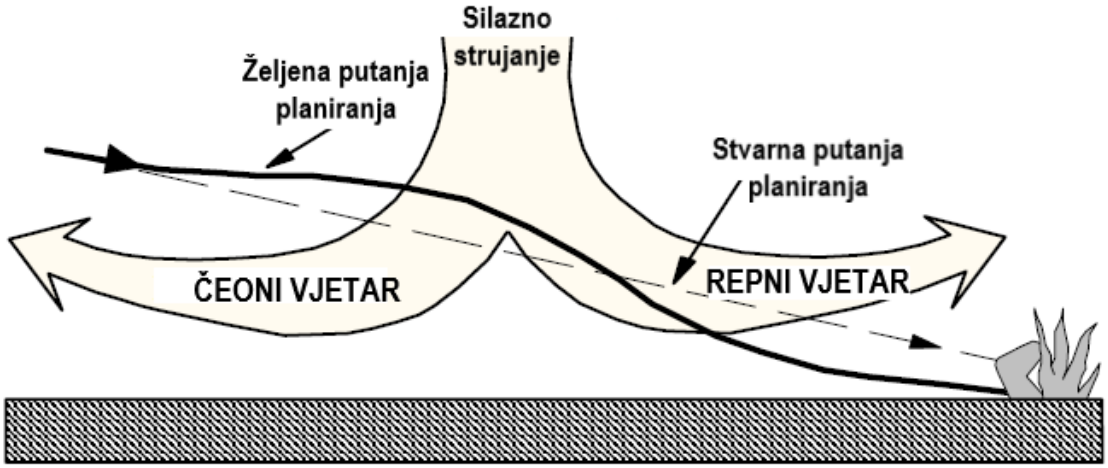
Konvekcija zraka je najčešće usko povezana s nastankom turbulencije pa se takva turbulencija naziva konvekcijska turbulencija. Uzrok nastanka može biti različit: konvekcijski stupovi u nastajanju mogu uzrokovati strujanja koja će se rasprostirati radijalno ili vertikalno, a uzrok mogu biti i termički stupovi uslijed isparavanja ili nastanak silaznog strujanja zraka popraćeno olujnim nevremenom uz pljuskove. [5]

Turbulencija također može nastati mehaničkim putem kao rezultat smicanja zraka. Navedena vrsta turbulencije nastaje na malim visinama nailaskom na fizičke prepreke pri čemu dolazi do smanjenja brzine strujanja zraka uslijed trenja (slika 2). Intenzitet mehaničke turbulencije ovisi o jačini vjetra, površinskoj hrapavosti prepreke i atmosferskoj stabilnosti neposredno oko površine. Što je strujanje zraka izraženije, a površina hrapavija, turbulencija će biti veća. [5]



Slika 2. Mehanička turbulencija, [7]

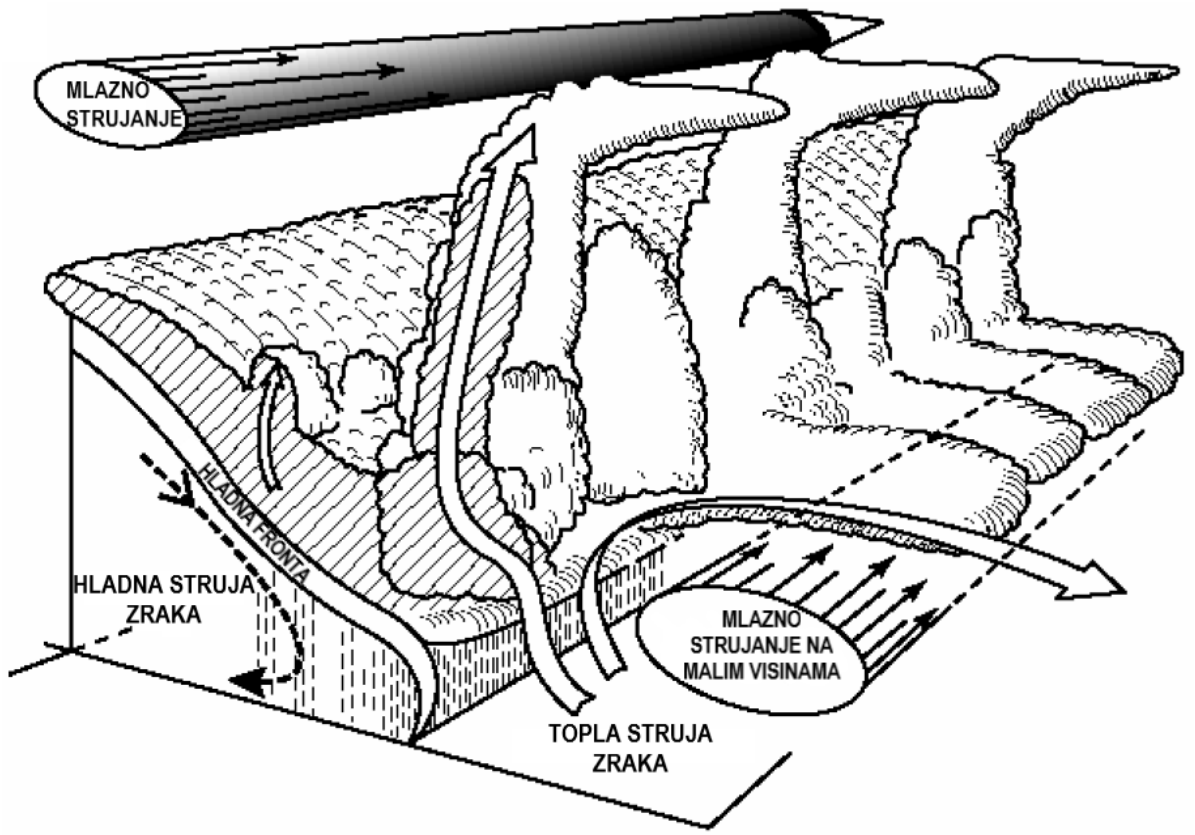
U najboljem slučaju, konvekcijska turbulencija će uzrokovati manje oscilacije u visini leta zrakoplova. Brzina uzlaznog strujanja uslijed konvekcije se mijenja duž cijelog uzlaznog strujanja, stoga bi zrakoplov prolaskom kroz takvo strujanje bio izložen ubrzanjima. U slučaju silaznog strujanja, kao posljedica urušavanja hladnog zraka unutar toplog zraka, dolazi do sudara zračne mase u teren i radijalnog raspršivanja mase zraka. Najopasnije područje silaznog strujanja je ono ispod baze oblaka, gdje se ne nailazi samo na silazno strujanje, već i na smicanje zraka na mjestima radijalnog strujanja. Na slici 3 je prikazan scenarij silaznog strujanja i radijalnog smicanja zraka. Za prikazanu putanju zrakoplova, zrakoplov bi prvo bio izložen jakom čeonom vjetru uslijed kojeg bi došlo do podizanja nosa, potom snažno silazno strujanje iza kojeg dolazi snažan repni vjetar. Ako se nastalim silama ne kontrira, čeoni i repni vjetar popraćeni su velikim propadanjem zrakoplova. Silazna strujanja mogu dovesti do zrakoplovne nesreće posebno kod manjih zrakoplova. Jačina ulaznog strujanja varira od 1 m/s u kumulusu, 5 m/s kod kišnih oblaka i preko 65 m/s u kumulonimbusu. [5]



Slika 3. Konceptualni prikaz konvekcijske turbulencije, [5]

U slučaju mehaničke turbulencije, zrakoplov će biti izložen oscilacijama u visini. Što je brzina zrakoplova veća, to će biti veće vertikalno ubrzanje, a što je visina leta manja, to je manje vremena za reakciju.

Osim na velikim visinama, mlazno strujanje se može pojaviti i niže u troposferi, bliže terenu, kao posljedica sudara tople struje zraka uslijed isparavanja i hladne struje zraka (slika 4). Ova vrsta mlaznog strujanja je tubularnog oblika i uobičajeno prati kretanje hladne mase zraka. Međutim, zanimljiva je i pojava mlaznog strujanja uslijed noćne temperaturne inverzije. Javlja se noću, uslijed prestanka radijacijskog zagrijavanja površine. Površina terena se hladi, a uz to i zrak uz teren, čime mu se povećava gustoća. Vertikalno gledano, porastom visine, temperatura zapravo raste te se stvaraju dva sloja zračne mase, površinski i stabilni granični sloj te prijelazni sloj na većoj visini. Granični sloj može poprimiti debljinu do 1.000 m visine. Do turbulencije dolazi zbog miješanja slojeva smicanjem zraka. [8]



Slika 4. Konceptualni prikaz mlaznog strujanja na malim visinama, [5]

Nadalje, turbulencija uslijed mlaznog strujanja na malim visinama može dovesti do značajnog smanjivanja lateralne i vertikalne dekonflikcije zrakoplova s terenom, osobito ugrožavajući sigurnost zrakoplova prilikom slijetanja. Isto vrijedi i za pojavu noćnog mlaznog strujanja. Sigurnost zrakoplova nije ugrožena sve dok se let odvija iznad graničnog sloja, no tranzicijom može doći do turbulencije koja je opasna za zrakoplov u fazi polijetanja ili slijetanja. [5]

Također, uz navedene mehanizme i tipove turbulencija, jedan tip turbulencije nastaje kao posljedica vrtložnog strujanja uslijed samih zrakoplova. Ova vrsta turbulencije se naziva vrtložna turbulencija. Kao posljedica leta zrakoplova kroz medij, na vrhovima krila stvaraju se vrtložna strujanja koja zaostaju iza zrakoplova. Vrtložna strujanja, također, stvaraju i helikopteri uslijed rotacije rotora. Vrtložna turbulencija nije meteorološkog podrijetla i funkcija su mase, veličine i oblika zrakoplova. Nakon nastanka gubi na visini brzinom od 1 do 2 m/s i prati smjer strujanja zračne mase. [5]

2.2. Smicanje vjetra

Smicanje vjetra u zrakoplovstvu predstavlja opasnu meteorološku pojavu posebno za letove koji se odvijaju na manjim visinama te prilikom slijetanja zrakoplova. Ovisno o smjeru leta u odnosu na strujanje i brzinu strujanja smicanja vjetra, navedeno se može osjetiti kao turbulencija ili naglo propadanje zrakoplova. [5]

Smicanje vjetra je jedno od najčešćih uzroka nastanka turbulencije. Nastaje u situacijama kada na različitim točkama, koje mogu biti i međusobno vrlo malo udaljene, puše vjetar različite brzine ili smjera. Smicanje vjetra može biti horizontalno ili, češće, vertikalno. U tim situacijama zrakoplov naglo mijenja aerodinamičke postavke leta pa se naglo propinje ili naglo propada. [6]

2.3. Planinski valovi

Planinski, odnosno zavjetrinski valovi nastaju kada zrak prelazi preko neke prepreke (planina, brdo) te se javljaju u obliku silaznih i uzlaznih strujanja. Mogu se razviti i pri stabilnim atmosferskim uvjetima. Indikatori planinskih valova su jaki vjetrovi (jači od 40 km/h) i smjer vjetra pod kutom od 30° u odnosu na brid planine. Vrlo su opasni za male zrakoplove, balone, jedrilice, zmajeve, itd. [5]

Planinski valovi istovremeno mogu biti korisna, ali i opasna pojava u zrakoplovstvu. U slučaju jedrilica, planinski valovi su korisni jer služe za penjanje zrakoplova, dok je nekoliko opasnosti u drugom slučaju:

- Mogućnost snažnog silaznog strujanja koje može dovesti do nesreće, osobito ako zrakoplov leti paralelno s planinskim vrhom;
- Strujanje zraka preko planinskih vrhova se lomi te stvara rotacijsko strujanje pri čemu je zrakoplov izložen snažnoj turbulenciji. Može doći do izostanka stvaranja kumulusa u tom području koji signaliziraju rotacijsko strujanje;
- U slučaju kratkih valova u strujanju, zrakoplovi koji lete većom indiciranom zračnom brzinom bit će izloženi oscilacijama vertikalne brzine. [5]

2.4. Kiša i tuča

Ne postoji međunarodno dogovorena kategorizacija kiše prema intenzitetu. U nekim literaturama se pljuskovima nazivaju oborine intenziteta većeg od 4 mm/h dok se jakim pljuskovima smatraju oborine intenziteta većeg od 10 mm/h. Pljuskovi najviše utječu na vidljivost u letu koji, a u kombinaciji s već nekim postojećim meteorološkim čimbenikom, mogu u potpunosti smanjiti vidljivost. Ovo je izuzetno važno za VFR[1] zrakoplove, koji se mogu naći u IMC[2] uvjetima leta što može biti jako opasno. Pljuskovi mogu dovesti do narušavanja uvjeta na USS-i te smanjenja efikasnosti i asimetričnosti kod kočenja zrakoplova. [5]

Tuča nastaje kao posljedica uzlaznog strujanja oblaka kumulonimbus. Što je brzina uzlaznog strujanja i vertikalno rasprostiranje oblaka veće, veće će biti dimenzije tuče. Tuča malih dimenzija ne uzrokuje oštećenje konstrukcije zrakoplova, no može utjecati na vidljivost u letu. Tuča većih dimenzija može oštetiti oplatu zrakoplova i utjecaja na aerodinamiku. Uz navedeno, značajno može oštetiti lopatice propelera i elise, ali i lopatice kompresora kod mlaznih motora. Također, nagla pojava tuče može dovesti do smanjenja koeficijenta trenja USS-e. [5]

2.5. Snijeg

Snijeg predstavlja čvrstu oborinu koja nastaje u oblacima kristalizacijom vodene pare pri temperaturama nižim od 0 °C. Snijeg čak i kod slabijeg intenziteta padanja uzrokuje smanjenje vidljivosti, a veličina i intenzitet nastajanja pahulja ovisi o temperaturi i ostalim uvjetima pri kojima nastaje.

Pri nižim temperaturama ne dolazi do otapanja pahulja u kontaktu s dijelovima zrakoplova što može dovesti do stvaranja prepreka pri strujanju zraka u motor zrakoplova ili može doći do otežanog izvlačenje stajnog trapa. Za vrijeme dok je zrakoplov na zemlji, akumuliranje snijega na aerodinamičkim površinama može dovesti do narušavanja aerodinamičkih svojstava zrakoplova i povećanje same mase zrakoplova. Također, može doći do začepljivanja Pitot cijevi što može uzrokovati krivo mjerenje indicirane zračne brzine. „Mokri snijeg“ je manje podložan deflektiranju uslijed strujanja zraka pri kontaktu s podlogom te se lakše „lijepi“ za podlogu. Ovakva vrsta snijega također može narušiti rad motora i aerodinamička svojstva zrakoplova. [5]

Uz gore navedeno, snijeg na USS-i značajno smanjuje sposobnost zaustavljanja zrakoplova odnosno smanjuje se efikasnost kočionog sustava. Također, snijeg može dovesti do smanjenog uočavanja svjetala na USS-i.

---

[1] VFR (engl. *Visual Flight Rules*) pravila vizualnog letenja

[2] IMC (engl. *Instrument Meteorological Conditions*) instrumentalni meteorološki uvjeti

Snijeg se obavezno mora ukloniti sa zrakoplova prije polijetanja te je pogrešno smatrati kako će strujanje zraka pri polijetanju i u letu ukloniti snijeg s površina zrakoplova.

2.6. Zaleđivanje

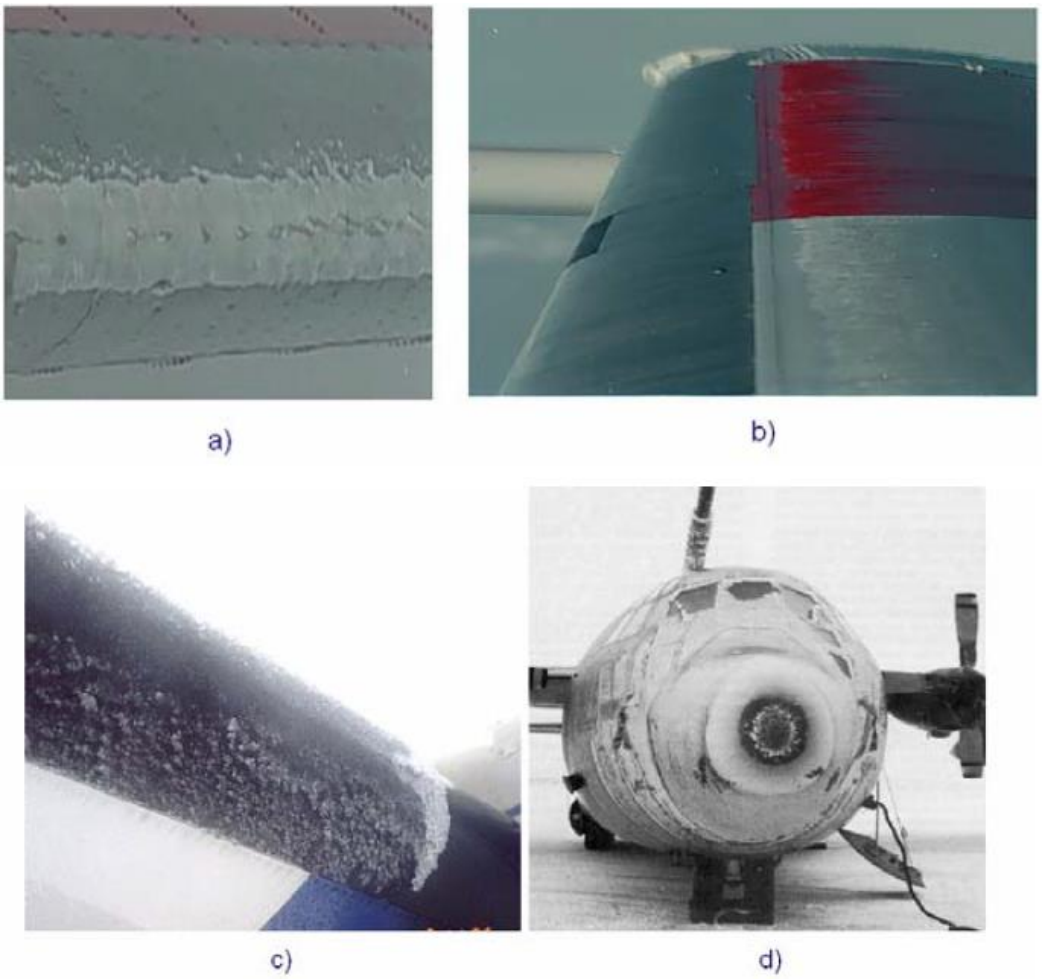
Zaleđivanje zrakoplova se može dogoditi u letu ili na zemlji. Svaki zrakoplov mora biti kategoriziran za stupanj zaleđivanja, odnosno mora biti definirano u kojem stupnju zaleđivanja smije obavljati operacije, mora imati odgovarajuću opremu protiv zaleđivanja i za odleđivanje te svaki zrakoplov treba biti očišćen od leda prije polijetanja.

Zaleđivanje zrakoplova događa se zbog fizikalnih svojstava atmosfere, na temperaturama zraka ispod 0 °C i uz postojanje vode u obliku vodenih kapljica. Do zaleđivanja može doći čak i kada zrakoplov ponire kroz topli zrak jer je oplata zrakoplova i dalje zagrijana na temperaturu ispod temperature smrzavanja.

Za zaleđivanje je nužno postojanje super ohlađene vode u atmosferi, veća količina vode povećava rizik od zaleđivanja, a analogno tome i veličina vodenih kapljica. Na temperaturi nižoj od 20 °C drastično pada koncentracija super ohlađenih kapljica vode, stoga je rizik od zaleđivanja najveći na temperaturama između 0 °C i −15 °C. Super ohlađene kapljice vode ne postoje na temperaturama nižim od −40 °C. [5]

Nekoliko je tipova zaleđivanja, a prikazani su na slici 5:

a) Inje: porozna i krhka nakupina leda koja narušava opstrujavanje aerodinamičkih površina, a događa se na temperaturama nižim od 10 °C i pri niskom udjelu vlage;
b) Ledena glazura: prozirna, gusta i glatka ledena naslaga s minimalnim utjecajem na opstrujavanje aerodinamičkih površina. Zaleđivanje se događa pri relativno visokim temperaturama (>10 °C) i visokim udjelom vlage pri čemu nastaje djelomično tekuća naslaga, mješavina tekuće vode i leda uslijed dužeg vremena prijenosa topline zbog povišene temperature okoline;
c) Ledena rosulja: super ohlađene kapljice vode promjera između 50 i 500 μm, nakon nasjedanja na površinu zrakoplova mogu ući u zaštićene dijelove krila i tamo se zalediti;
d) Mraz: nastaje kada je zrakoplov na zemlji u uvjetima bez oborina. [5]



Slika 5. a) Inje; **b)** Ledena glazura; **c)** Ledena rosulja; **d)** Mraz, [5]

Super ohlađene kapljice vode malog radijusa se zaleđuju gotovo odmah u kontaktu sa zrakoplovom pri čemu nastaje inje na bridovima zrakoplova. U slučaju kapljica većih dimenzija, vrijeme do zaleđivanje je duže pri čemu kapljice putuju po zrakoplovu do trenutka zaleđivanja.

Intenzitet zaleđivanja može se opisati kao:

- blago zaleđivanje kod kojeg dolazi do zaleđivanja u letu nakon jednog sata;
- umjereno zaleđivanje kod kojeg i kratko vrijeme izloženosti može biti opasno (zrakoplov mora biti opremljen opremom protiv zaleđivanja);
- ozbiljno zaleđivanje kod kojeg je brzina akumuliranja oborina toliko velika da oprema protiv zaleđivanja postaje neefikasna, a zrakoplov je potrebno preusmjeriti iz tog područja. [5]

Osim meteoroloških uvjeta, na stupanj zaleđivanja utječu i karakteristike samog zrakoplova. Brži zrakoplovi, tankog poprečnog presjeka krila podložniji su zaleđivanju pri čemu dolazi do smanjenja aerodinamičkih performansi. Zaleđivanje zrakoplova, uz navedeno, može povećati težinu zrakoplova i smanjiti uravnoteženje zrakoplova, blokirati uvodnike motora, dovesti do problema izvlačenja stajnog trapa, blokiranja uvodnika Pitot cijevi, dovesti do poteškoća u komunikacijskom sustavu itd. [5]

2.7. Magla i niska naoblaka

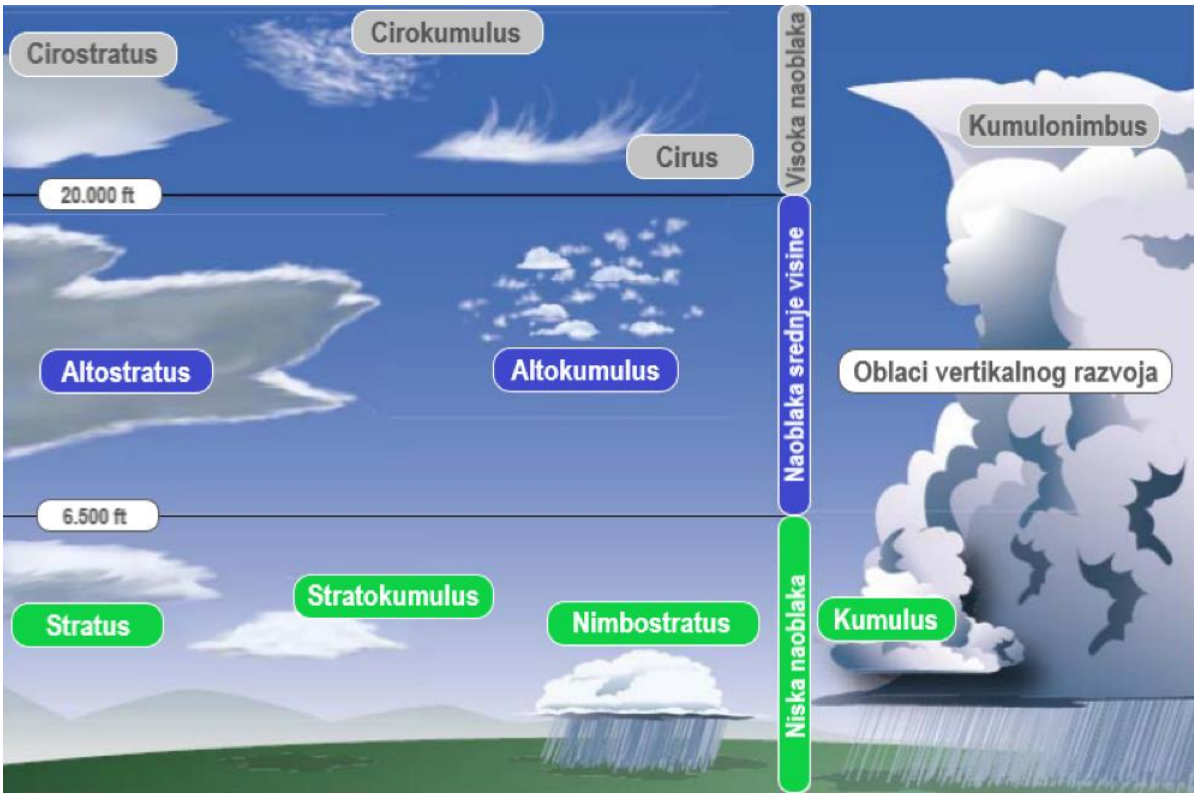
Magla predstavlja nakupinu mikroskopskih kapljica vode promjera manjeg od 10 μm ili u slučaju ledene magle, čestica leda. [5] Baza magle se nalazi unutar 15 metara od tla i nastaje u uvjetima temperature zraka u intervalu od +/−2 °C oko temperature rosišta. Prema mehanizmu nastanka razlikujemo stvaranje magle u nižim predjelima okruženim kotama u uvjetima vlažnih noći visokog tlaka zraka. Ova vrsta magle nestaje izlaskom sunca. Advekcijska magla nastaje uslijed gibanja zraka preko hladne podloge. Povećanjem brzine vjetra povećava se i intenzitet magle, pri čemu je brzina vjetra iznad 25 km/h do stvaranja oblaka stratus. Nadalje, magla može nastati uslijed uzdizanja vlažnog zraka preko reljefa, a takva magla ne nestaje izlaskom sunca i može se zadržati nekoliko dana. [7]

U zrakoplovstvu, magla predstavlja uvjete kod kojih je horizontalna vidljivost manja od 1.000 m. Magla značajno smanjuje vidljivost u letu i ostalim režimima leta, a ponekad čak do te mjere da zrakoplov ne može sigurno sletjeti. Kod ledene magle, uz navedeno, postoji dodatna opasnost od zaleđivanja manevarskih površina. Piloti u uvjetima magle mogu steći lažnu sigurnost prilikom prelijetanja aerodroma s obzirom na to kako vertikalna vidljivost može biti puno bolja u odnosu na kosu i horizontalnu vidljivost kod planiranja i slijetanja.

Utjecaj niske naoblake i smanjene vidljivosti na sigurnost leta uvelike ovisi o opremi zrakoplova i sposobnosti pilota. Niska naoblaka može dovesti do smanjenja vidljivosti ispod minimuma što skraćuje vrijeme reakcije izbjegavanja prirodnih ili umjetnih prepreka te ostalih sudionika u zračnom prostoru. [5]

2.8. Naoblaka i oluja

Tri su osnovne vrste oblaka: stratus, kumulus i cirus, a prema visini pojave dijele se na nisku, srednju i visoku naoblaku te oblake vertikalnog razvoja (slika 6).



Slika 6. Osnovne vrste oblaka, [7]

U nisku naoblaku spadaju stratusi, nimbostratusi i stratokumulusi. Stratusi su slojevita vrsta oblaka koja nastaje u stabilnim uvjetima zraka iznad hladne površine. Stratusi su sive boje jednolikog izgleda i prekrivaju veliku površinu. Iako je intenzitet turbulencije u ovoj vrsti oblaka nizak, stratusi ograničavaju vidljivost zbog niske donje baze, a zaleđivanje je moguće pri temperaturi zaleđivanja. Nimbostratusi su oblaci sive ili crne boje, a debljina sloja iznosi do nekoliko stotina metara. Sadrže izuzetno veliku količinu vlage te donose kišu ili snijeg. Mogu uzrokovati značajno zaleđivanja zrakoplova pri temperaturama ispod temperature zaleđivanja. Stratokumulusi su bijele boje i nastaju uslijed uzdizanja stabilne mase zraka. [5]

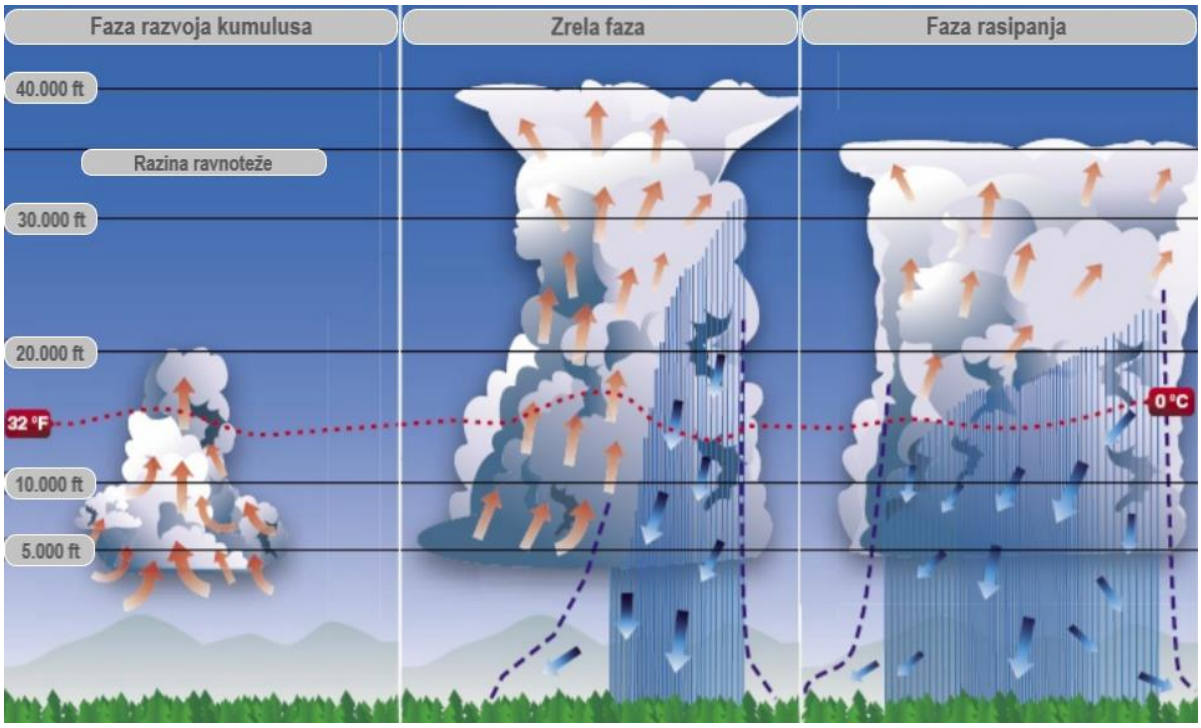
U naoblaku srednje visine spadaju altostratusi i altokumulusi. Altostratusi su ravni i gusti oblaci koji prekrivaju veliko područje. Uzrokuju minimalnu turbulenciju, ali mogu prouzročiti umjereno zaleđivanje zrakoplova. Altokumulusi su sivi ili bijeli oblaci koji nastaju kao posljedica razbijanja altostratusa. Prekrivaju široko područje, uzrokuju slabu turbulenciju i mogu sadržavati super ohlađene kapljice vode. [5]

Naoblaku na velikim visinama čine cirusi, cirostratusi i cirokumulusi. Cirusi nastaju u stabilnim uvjetima zraka na velikim visinama, tankog su presjeka i u većini slučajeva se nalaze na visinama iznad 10.000 metara. Cirostratusi su također oblaci tankog presjeka te pokrivaju velika područja, no udio vlage u njima je nizak i ne predstavljaju opasnost po zaleđivanje zrakoplova. Cirokumulusi su bijeli nejednoliki oblaci i nastaju kao posljedica konvekcijskog strujanja na velikim visinama te mogu stvoriti slabe turbulencije. [5]

Oblake vertikalnog razvoja čine kumulusi i kumulonimbusi. Kumulusi su oblaci koji nastaju kao posljedica konvekcijskog strujanja uslijed zagrijavanja površine. Za njih je karakteristična ravna baza i vrh kupolastog oblika. Visoka koncentracija razbacanih kumulusa ukazuje na relativno stabilno vrijeme, a mogu se očekivati slabe turbulencije uz slabo zaleđivanje i oborine. Kumulonimbusi odnosno olujni oblaci su veliki oblaci koji nastaju u uvjetima izrazito nestabilnog polja zraka. Navedena vrsta oblaka predstavlja izrazito opasan meteorološki čimbenik za sigurnost leta. [5]

Oluja nastaje zadovoljavanjem sljedećih uvjeta: izvor uzlaznog strujanja, nestabilno polje zraka i visok udio vlage. Nastanak oluje dijeli se u tri faze (slika 7):

- faza razvoja kumulusa (6-15 km);
- zrela faza (10-20 km);
- faza rasipanja (10-14 km). [5]



Slika 7. Faze nastanka oluje, [7]

U prvoj fazi se kumulus vertikalno razvija uslijed konvekcijskog strujanja, odnosno dolazi do njegovog dizanja u visinu. S vremenom kumulus prelazi u visoki kumulus uz daljnje uzlazno strujanje zraka te je moguća pojava minimalne količine oborina. Nakon toga, razvoj oluje ulazi u drugu, zrelu fazu u kojoj i dalje traje uzlazno strujanje uz pojavu oborina i silaznog strujanja zraka. Silazno strujanje na tlu uzrokuje stvaranja naleta vjetra. U ovoj fazi postoji najveća vjerojatnost pojave obilnih kiša, tuče ili munja. S vremenom, silazno strujanje prevladava te oluja ulazi u završnu fazu razvoja u kojoj slijedi slabljenje i prestanak oluje. Jaki udari vjetra razmiču dotok tople mase zraka koja je u početnoj fazi uzrokovao uzlazno strujanje. [9]

2.9. Pješčana oluja i vulkanski pepeo

Pješčane oluje su mjesta podignutih čestica pijeska i prašine uslijed vjetra, pri čemu se čestice podižu na različite visine ovisno o turbulenciji i nestabilnosti zraka. Veličina čestica se kreće od mikro do makro vrijednosti, pri čemu se manje čestice podižu na veće visine i duže se zadržavaju. Navedeno za posljedicu ima smanjenje vidljivosti, ali također može dovesti i do kvara pogonskog sustava zrakoplova.

Uobičajene visine sezanja pješčanih oluja su visine od 1.000 do 2.000 m. Na smjer i udaljenost odnošenja čestica pijeska uvelike utječe vjetar, stoga prizemni vjetar ne mora davati dobru indikaciju za smjer i udaljenost raznošenja čestica pijeska i prašine. Vrijeme slijeganja čestica pijeska i prašine iznosi otprilike 300 m/h. Kiša pozitivno utječe na navedenu pojavu tako što imobilizira podizanje pijeska i prašine otprilike 24 h i pridonosi brzini slijeganja čestica pijeska i prašine u zraku. [5]

Vulkanski pepeo su male krute čestice veličine do 2 mm, izbačene u zrak uslijed erupcije vulkana. Pri erupciji vulkana velika količina navedenih čestica je izbačena na velike visine i zadržava se mjesecima. Čestice vulkanskog pepela se na velikim visinama akumuliraju u oblake te se kreću u smjeru vjetra. Iste nisu vidljive na meteorološkom radaru zbog svoje male veličine.

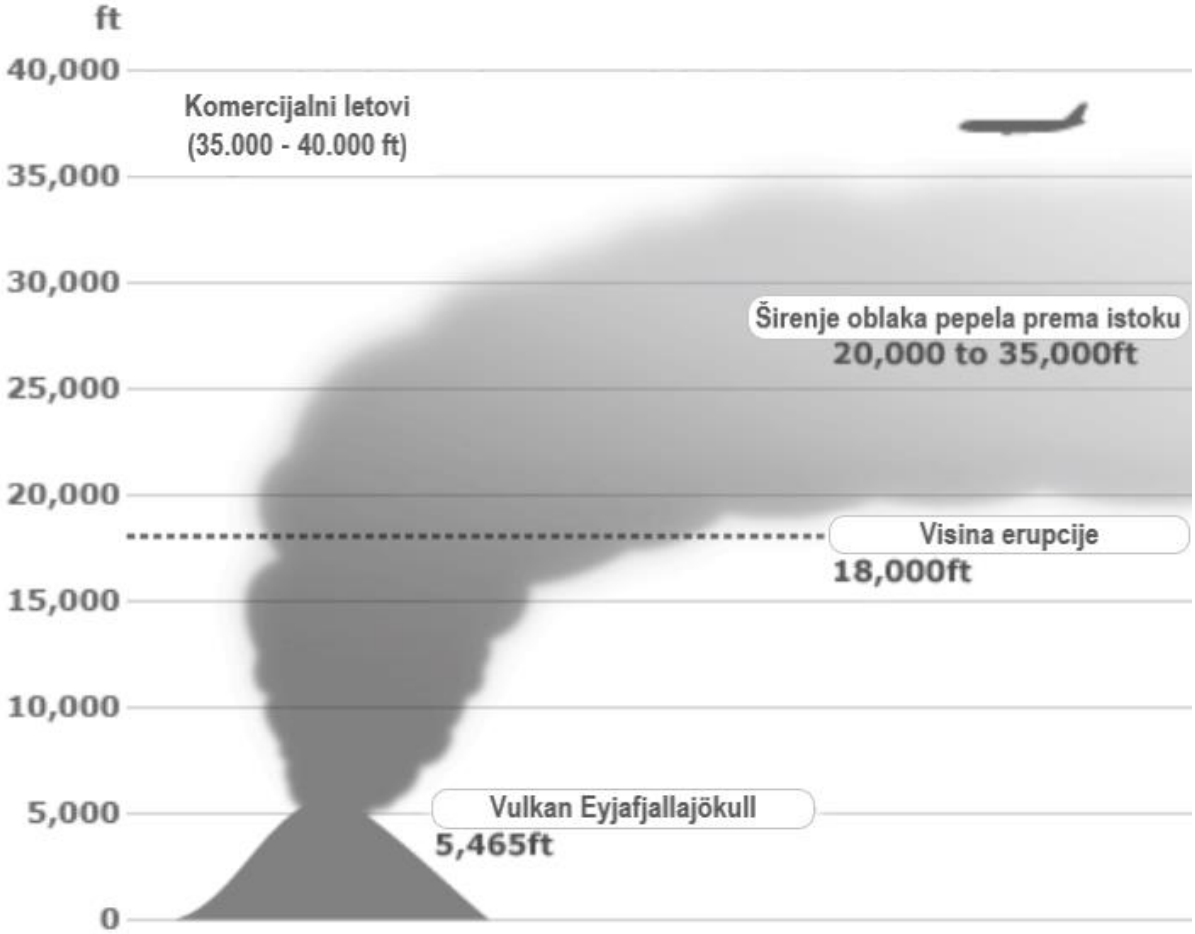
Čestice vulkanskog pepela su električki nabijene i kao takve mogu dovesti do pojave munja neposredno iznad mjesta erupcije. Indikator letenja u vulkanskom pepelu može biti električno pražnjenje u obliku vatre svetog Elma (engl. *St. Elmo's Fire*, slika 8), ali i osjet sumporastog mirisa u kabini. Ovo je vrsta vidljivog električnog pražnjenja oko dijelova zrakoplova pri dovoljnoj razlici električnog potencijala u odnosu na zrakoplov čime nastaje pražnjenje u obliku plazme (najčešće plave i ljubičaste boje) između zrakoplova i okolnog nabijenog zraka.

Slika 8. Vatra svetog Elma, [10]

Vulkanski pepeo je najopasniji za pogonski sustav zrakoplova jer može dovesti do pojave neispravnosti u radu motora, oštećenja motora uslijed trošenja lopatica turbine, ali i površinske korozije (slika 9). U pogledu neispravnosti rada motora, opasnost od letenja u vulkanskom pepelu proizlazi iz taljenja pepela koji se sastoji od silikata temperature taljenja od 1.100 °C, što je značajno niža temperatura od radne temperature mlaznog motora. Dolazi do taljenja vulkanskog pepela u vrućoj sekciji motora i nakupljanja na turbinskim lopaticama pri čemu dolazi do nepravilnog rada motora ili gašenja. [11]

Godine 2010., erupcija vulkana Eyjafjallajökull na Islandu zatvorila je većinu zračnog prostora iznad zapadne i sjeverne Europe. Gusti oblak pepela širio se brzinom od 200 km/h te se dizao 7-10 km uvis zbog čega komercijalni zrakoplovi nisu mogli dostići razinu leta bez prolaska kroz oblak pepela (slika 10).

Slika 9. Oštećenje motora uzrokovano vulkanskim pepelom, [12]



Slika 10. Visina oblaka pepela nakon erupcije vulkana Eyjafjallajökull (2010.), [13]

3. ANALIZA UČESTALOSTI I PROCJENA RIZIKA ZRAKOPLOVNIH NESREĆA UZROKOVANIH NEPOVOLJNIM METEOROLOŠKIM UVJETIMA

Analiza učestalosti i procjena rizika su dio procesa upravljanja rizicima, odnosno analize rizika. Upravljanje rizikom označava proces identifikacije, analize, eliminacije (ili smanjenja na zadovoljavajuću razinu) opasnosti koje prijete nekom sustavu, procesu ili organizaciji. Cilj procesa upravljanja rizikom je identifikacija, procjena i kontrola opasnosti unutar zadovoljavajućih granica prihvatljivosti. Potpuna eliminacija rizika u zrakoplovstvu nije moguća. [14]

Upravljanje rizikom je ključni element Sustava upravljanja sigurnošću (engl. *Safety Management System* – SMS) koje provode pružatelji usluga u zrakoplovstvu. SMS se sastoji od četiri komponente koje predstavljaju minimalne zahtjeve za implementaciju sustava:

- Sigurnosna politika i ciljevi;
- Upravljanje rizicima;
- Osiguranje sigurnosti;
- Promocija sigurnosti. [14]

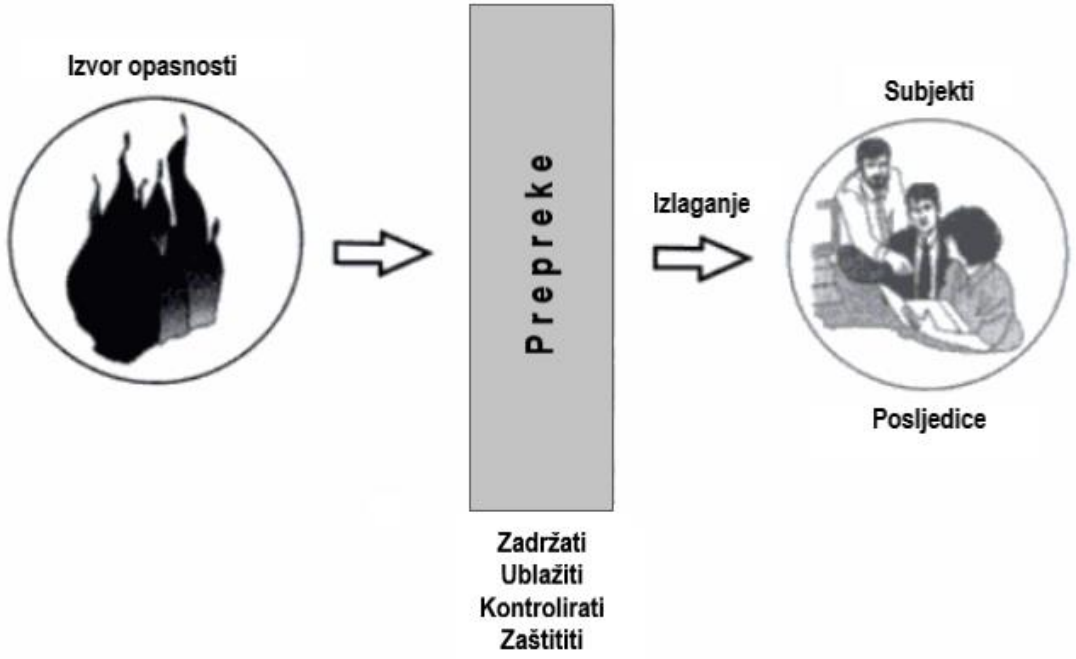
S obzirom na sve veću kompleksnost svjetskog zrakoplovnog prijevoza, ICAO provodi neprekidnu evoluciju i strategiju s ciljem poboljšavanja sigurnosti leta. Strategija počiva na programu upravljanja sigurnošću koji se provodi stvaranjem politika sigurnosti, uvođenjem standarda, implementacijom prethodnog, praćenjem i izvješćivanjem postignutog te promocijom sigurnosti. [15]

3.1. Analiza rizika

Analiza rizika predstavlja proces, odnosno analitičku metodu identifikacije opasnosti i procjenu rizika koji proizlaze iz istih. Pod opasnošću se misli na potencijal kao uzrok nastanka neželjenog događaja bez obzira na učestalost i vjerojatnost pojavljivanja. Primjerice, jak vjetar sam po sebi ne mora predstavljati opasnost za sigurnost leta ako je čeoni, ali ako se radi o bočnom vjetru, isti može dovesti do izlijetanja zrakoplova s USS-e. Stoga, jak vjetar predstavlja opasnost koja se može povezati s izlijetanjem zrakoplova s USS-e. Rizik ne označava samu pojavu izlijetanja zrakoplova s piste, već i vjerojatnost da se taj događaj dogodi. [16]

Proces analize rizika se sastoji od identifikacije opasnosti, analize učestalosti ponavljanja, procjene rizika i određivanja tolerantnosti za navedeni rizik. Analiza rizika može biti kvalitativna ili kvantitativna. Kvalitativna analiza ne zahtijeva prikupljanje podataka i zasniva se na pristupu rangiranja aproksimacija vjerojatnosti i posljedica. Ova vrsta analize daje pregled svih aspekta rizika i služi za bolje

shvaćanje uzročno-posljedičnih veza između elemenata nekog rizičnog procesa ili sustava. Slikom 11 je dan shematski prikaz elemenata analize rizika. [16]



Slika 11. Shematski prikaz elemenata analize rizika, [16]

3.1.1. Identifikacija rizika

Prvi korak analize rizika je identifikacija odnosno prepoznavanje opasnosti. U zrakoplovstvu, izvori opasnosti su neizbježan element svih aktivnosti, a isti mogu biti prihvatljivi ako se kontroliraju. U ovom koraku je bitno uočiti sve izvore opasnosti i razumjeti njihove korelacije u promatranom sustavu kao i posljedice do kojih mogu dovesti. Kod identifikacije, u fokusu su uvjeti ili objekti koji mogu uzrokovati ili doprinijeti narušavanju sigurnosti leta. Cilj identifikacije je uviđanje svih potencijalnih opasnosti koje mogu dovesti do uzroka nastanka zrakoplovnih nesreća ili nezgoda. Identifikaciju opasnosti može provoditi neka organizacija samostalno, a u slučaju nepostojanja sustava praćenja opasnosti, za isto mogu poslužiti agencije ili organizacije kao što je ICAO, koje daju pregled najrelevantnijih opasnosti. Izvješćivanje o nesrećama i nezgodama može poslužiti za praćenje i identifikaciju mogućih opasnosti. Osim opasnosti unutar operativnih aktivnosti organizacije, na koje sama organizacija može utjecati, potrebno je voditi računa i o opasnostima na koje se ne može utjecati. Primjer takvih opasnosti su nepovoljni meteorološki uvjeti i vulkanske aktivnosti. [17]

Neki od primjera opasnosti za sigurnost leta su istrošene oznake na USS-i, pogrešna konfiguracija polijetanja, zapaljivi teret, zaleđivanje, itd.

U pogledu meteoroloških uvjeta navode se sljedeći nepovoljni uvjeti kao izvor opasnosti po sigurnost leta:

- jak vjetar;
- zaleđivanje zrakoplova;
- smicanje vjetra;
- planinski valovi;
- smanjena vidljivost;
- grmljavinska oluja. [6]

3.1.2. Vjerojatnost rizika

Vjerojatnost prikazuje kolika je mogućnost da će se neki nesiguran događaj ili situacija dogoditi u stvarnosti. Osim identifikacije izvora opasnosti provodi se i identifikacija opasnosti i prepreka. Nakon navedenog, pristupa se analizi vjerojatnosti da će se određena opasnost dogoditi. Analizi se može pristupiti kvantitativno, mjerenjem ponavljanja, ili kvalitativno. [16]

Kvalitativno opisivanje vjerojatnosti rizika prikazano je tablicom 2 u nastavku. U tablici je prikazano pet razina vjerojatnosti pojave događaja, a svakoj je razini dodijeljen broj odnosno vrijednost.

Tablica 2. Prikaz vjerojatnosti događaja

Vjerojatnost	Značenje	Vrijednost
Učestalo	Vjerojatno će se dogoditi više puta (često se događa)	5
Povremeno	Vjerojatno će se dogoditi nekoliko puta (nerijetko se događa)	4
Rijetko	Malo vjerojatno, ali se događa (rijetko se događa)	3
Neznatno	Vrlo mala vjerojatnost događaja (ne zna se da li je bilo ovakvih događaja)	2
Izuzetno neznatno	Skoro nezamislivo da će se ikada dogoditi	1

Izvor: [17]

3.1.3. Procjena i smanjenje rizika

Nakon analize učestalosti provodi se procjena utjecaja, odnosno težine posljedica u odnosu na izvor opasnosti. Pri klasifikaciji težine posljedica treba uzeti u obzir:

- smrt ili teže ozljede;

- oštećenja.

U tablici 3 navedena je ozbiljnost posljedica događaja kroz 5 razina.

Tablica 3. Prikaz ozbiljnosti rizika

Ozbiljnost posljedica	Značenje	Vrijednost
Katastrofalna	Nesreća sa smrtnim posljedicama i uništenjem zrakoplova i/ili opreme	A
Opasna	Nesreća s ozbiljnim ozljedama i velikim oštećenjem zrakoplova i/ili opreme	B
Znatna	Nezgoda s ozljedama i/ili oštećenjem zrakoplova i/ili opreme	C
Mala	Nezgoda s manjim ozljedama i/ili manjim oštećenjem zrakoplova i/ili opreme	D
Neznatna	Nezgoda bez ozljeda i/ili oštećenja zrakoplova i/ili opreme	E

Izvor: [17]

Kombinacijom rezultata matrice vjerojatnosti i matrice ozbiljnosti utjecaja opasnosti može se izvršiti matrica procjene rizika. Matrica procjene rizika služi za dobivanje tolerantnosti rizika. Primjer matrice procjene rizika dan je tablicom 4.

Tablica 4. Matrica procjene rizika

Vjerojatnost rizika	Ozbiljnost rizika				
	Katastrofalna A	Opasna B	Znatna C	Mala D	Neznatna E
Učestalo 5	5A	5B	5C	5D	5E
Povremeno 4	4A	4B	4C	4D	4E
Rijetko 3	3A	3B	3C	3D	3E
Neznatno 2	2A	2B	2C	2D	2E
Izuzetno neznatno 1	1A	1B	1C	1D	1E

Izvor: [17]

Zelenom bojom su označena polja gdje je rizik prihvatljiv na trenutnoj razini. Žutom bojom su označena polja gdje je rizik prihvatljiv na osnovi ublažavanja istog uz

suglasnost odgovorne osobe, dok su crvenom bojom označena polja neprihvatljivog (visokog) rizika. Tako primjerice, indeks 5A pripada u neprihvatljivu kategoriju, čija je učestalost velika, a posljedice značajne. U tom je slučaju, za navedeni rizik, potrebno poduzeti mjere prevencije, smanjenja ili kontrole rizika:

- smanjiti vjerojatnost pojave opasnosti koja uzrokuje rizik na prihvatljivu razinu;
- smanjiti veličinu utjecaja na prihvatljivu razinu;
- ili smanjiti oboje. [17]

Cilj smanjenja rizika je da se osmisle ili pronađu postupci koji će smanjiti izloženost riziku na minimum. U nastavku su u tablici 5 navedene predložene radnje za pojedinu razinu rizika.

Tablica 5. Prikaz razina prihvatljivosti rizika

Indeks rizika	Opis rizika	Predložene radnje
5A, 5B, 5C, 4A, 4B, 3A	Neprihvatljivo područje	Potrebno je poduzeti mjere kako bi se ublažio rizik ili zaustavila aktivnost. Potrebno je izvršiti prioritetno ublažavanje sigurnosnog rizika kako bi se indeks sigurnosnog rizika sveo na podnošljiv.
5D, 5E, 4C, 4D, 4E, 3B, 3C, 3D, 2A, 2B, 2C, 1A	Podnošljivo područje	Može se tolerirati na temelju ublažavanja sigurnosnog rizika. Može zahtijevati odluku uprave da prihvati rizik.
3E, 2D, 2E, 1B, 1C, 1D, 1E	Prihvatljivo područje	Prihvatljivo takvo kakvo je. Nije potrebno daljnje ublažavanje sigurnosnog rizika.

Izvor: [17]

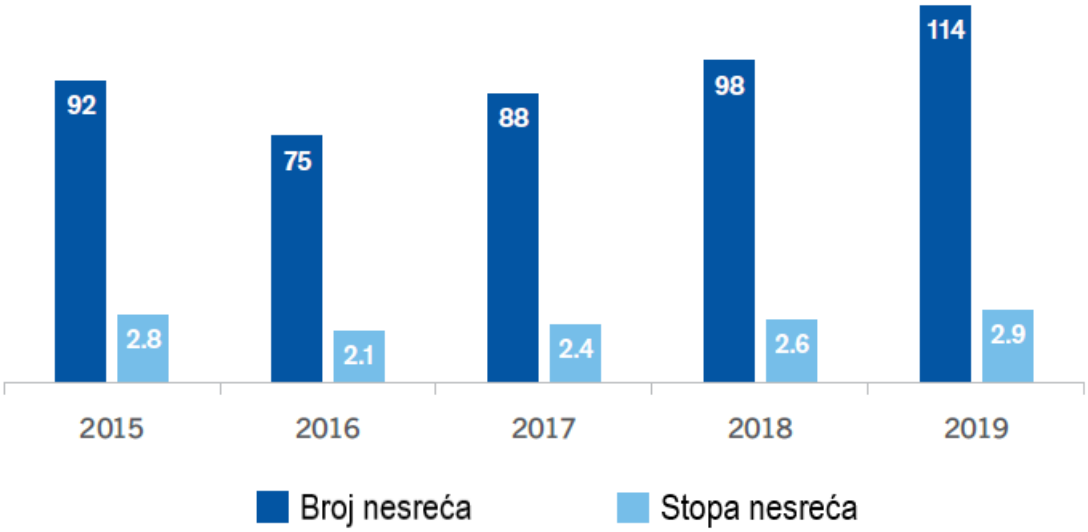
3.2. Statistika zrakoplovnih nesreća

Na godišnjoj razini provode se statističke obrade podataka zrakoplovnih nesreća i nezgoda u određenom vremenu te po fazama leta. Na temelju obrađenih podataka dobivaju se sigurnosni indikatori koji služe za razvoj planova sigurnosti. S obzirom na prirodu događaja, ICAO dijeli rizične događaje s obzirom na učestalost te prirodu nesreća i nezgoda. ICAO iste naziva visokorizičnim kategorijama događaja (engl. *High-risk Categories of Occurrences* – HRC).

3.2.1. ICAO statistika zrakoplovnih nesreća i nezgoda

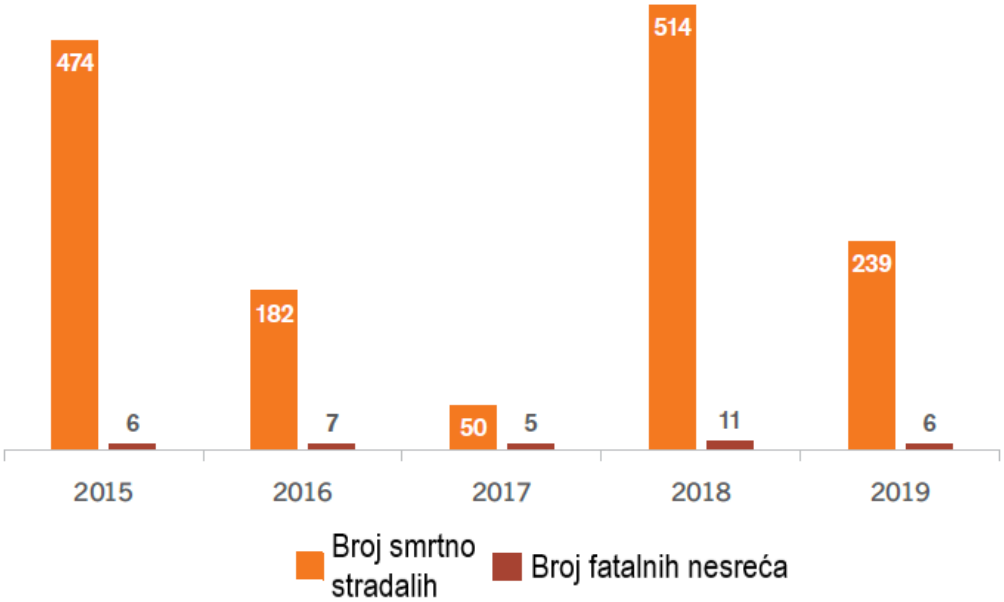
Godišnje statistike ICAO-a bilježe porast ukupnog broja nesreća kao i globalne stope nesreća u 2019. godini. Prema izvještajima država, od 2018. do 2019. godine, ukupan broj nesreća porastao je za 16%. Godišnja stopa nesreća porasla je za 12%

u odnosu na godišnju stopu nesreća iz 2018. godine, kao što je prikazano u grafikonu 1. Nesreće korištene za navedene statistike odnose se na komercijalne letove zrakoplova s najvećom dopuštenom masom u polijetanju (MTOM[3]) većom od 5.700 kg, kako je definirano u ICAO Dodatku 13. [3]



Grafikon 1. Broj i stopa zrakoplovnih nesreća (2015.−2019.), [3]

Nesreće u komercijalnom zračnom prometu uzrokovale su 239 smrtnih slučajeva u 2019. godini, što je značajan pad u odnosu na 514 smrtnih slučajeva u 2018. godini. Broj fatalnih zrakoplovnih nesreća u 2019. godini također bilježi pad s 11 na 6 nesreća u odnosu na 2018. godinu, kao što je prikazano na grafikonu 2.



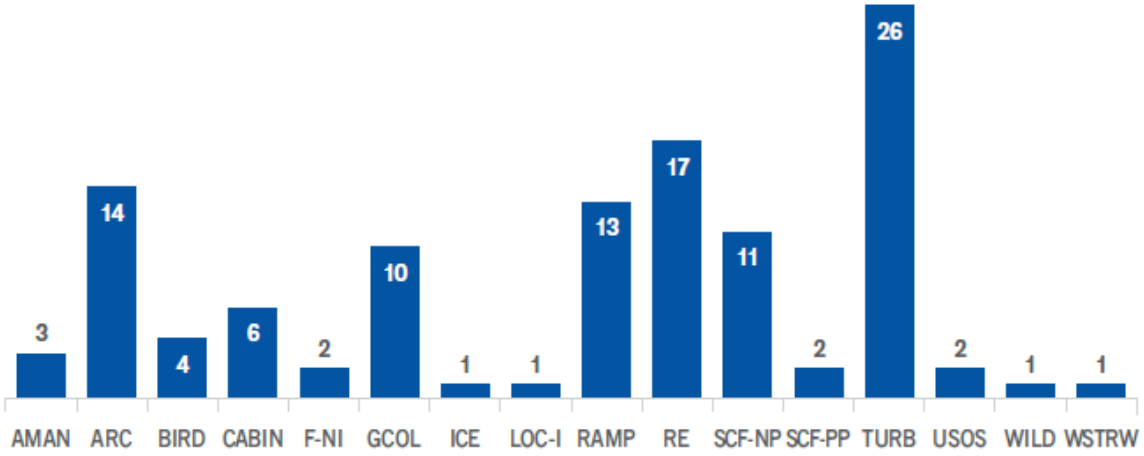
Grafikon 2. Zrakoplovne nesreće sa smrtnim posljedicama (2015.−2019.), [3]

[3] MTOM (engl. *Maximum Take-off Mass*) maksimalna masa zrakoplova pri polijetanju

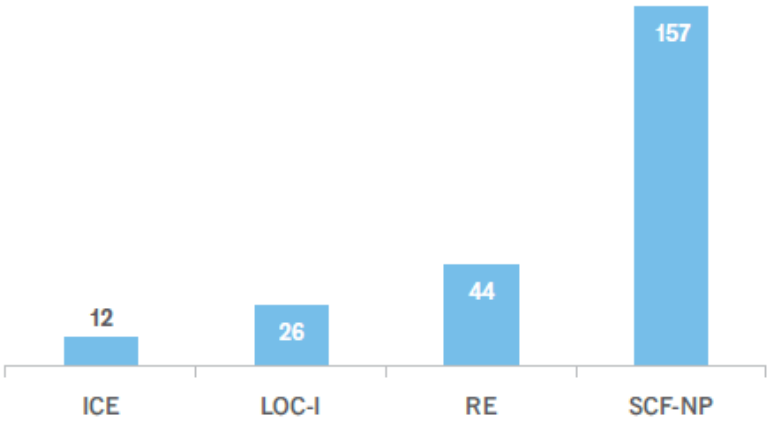
Na temelju analize podataka o zrakoplovnim nesrećama, ICAO je za period od 2020. do 2022. godine utvrdio pet visokorizičnih kategorija događaja, a to su:

- kontrolirani let u teren;
- gubitak kontrole u letu;
- sudar zrakoplova u letu;
- izlijetanje s USS-e;
- upad na USS-u. [3]

Na grafikonu 3 je vidljivo da je turbulencija, koja se također nalazi u visokorizičnoj kategoriji događaja, u 2019. godini bila najčešći uzrok zrakoplovnih nesreća koje su za posljedicu imale ozbiljne ozljede putnika i posade. Gubitak kontrole nad zrakoplovom u letu (LOC-I), izlijetanje s USS-e (RE), zaleđivanje (ICE) i kvar na zrakoplovnim sustavima (SCF-NP) su također kategorije događaja visokog rizika s najvećim brojem smrtno stradalih (grafikon 4). [3]

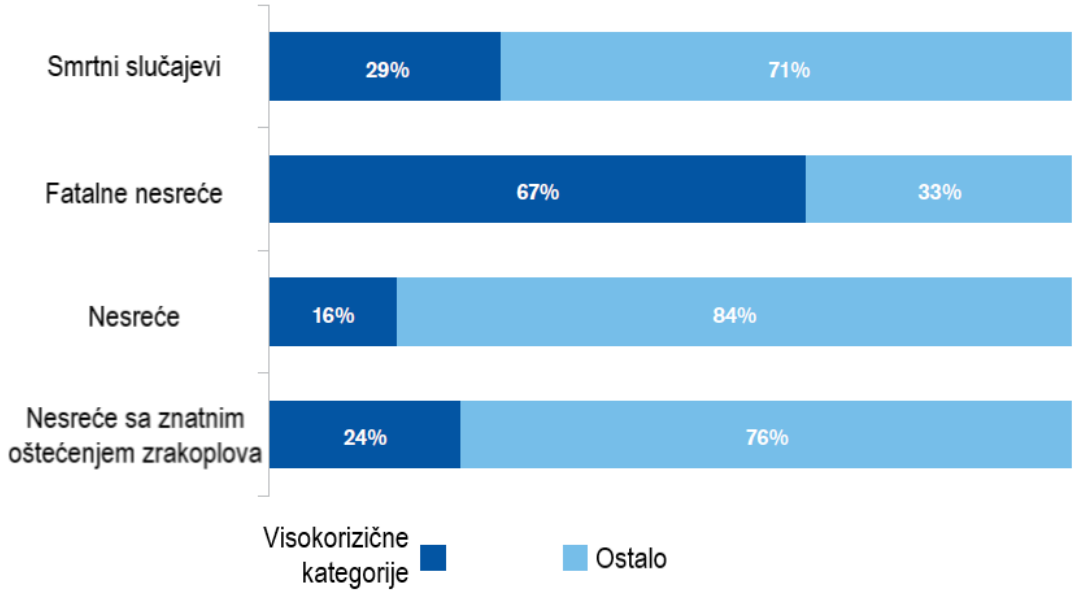


Grafikon 3. Zrakoplovne nesreće prema ICAO kategorijama (2019.), [3]



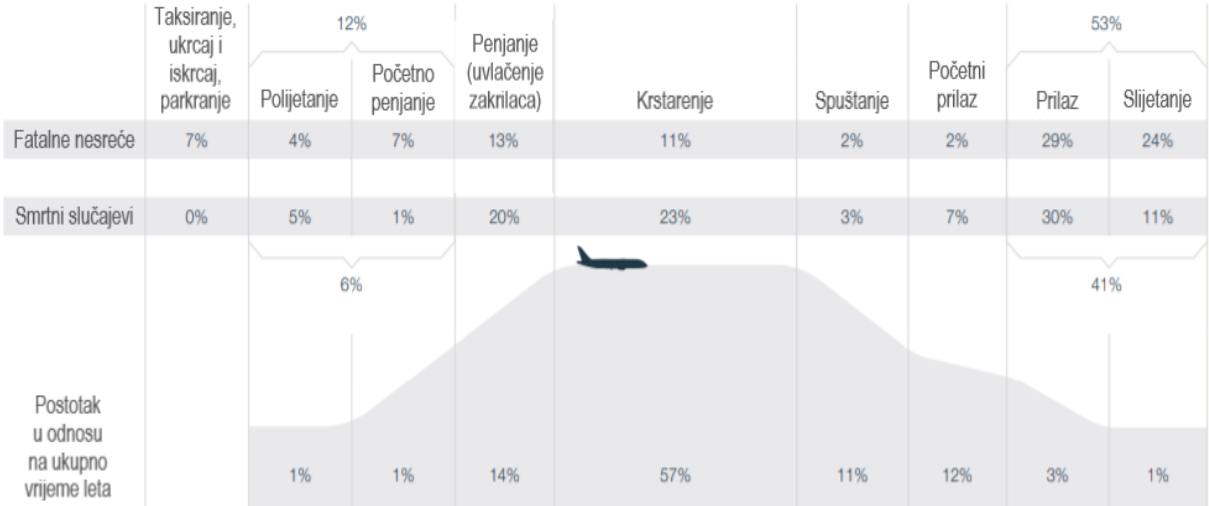
Grafikon 4. Broj smrtno stradalih prema ICAO kategorijama (2019.), [3]

Grafikon 5 u nastavku prikazuje kako je pet ranije navedenih visokorizičnih kategorija događaja uzrokovalo 29% smrtnih slučajeva, 67% fatalnih nesreća, 16% ukupnog broja nesreća te 24% nesreća u kojima je zrakoplov uništen ili je pretrpio znatna oštećenja.



Grafikon 5. Visokorizične kategorije kao uzrok zrakoplovnih nesreća, [3]

Grafikon 6 prikazuje postotak fatalnih nesreća i smrtnih slučajeva po fazama leta od 2010. godine do 2019. godine. Statistički gledano, krstarenje je najsigurnija faza leta. Oko 7% smrtnih slučajeva u zrakoplovstvu se dogodi prije polijetanja, dok se 12% javlja tijekom polijetanja i početnog penjanja. Preko polovice svih smrtnih slučajeva se dogodi za vrijeme prilaza i slijetanja. Iako stvarni brojevi ostaju niski, većina tehnoloških poboljšanja usmjerena su na taksiranje, penjanje, prilaz i slijetanje, kao presudne čimbenike sigurnosti.



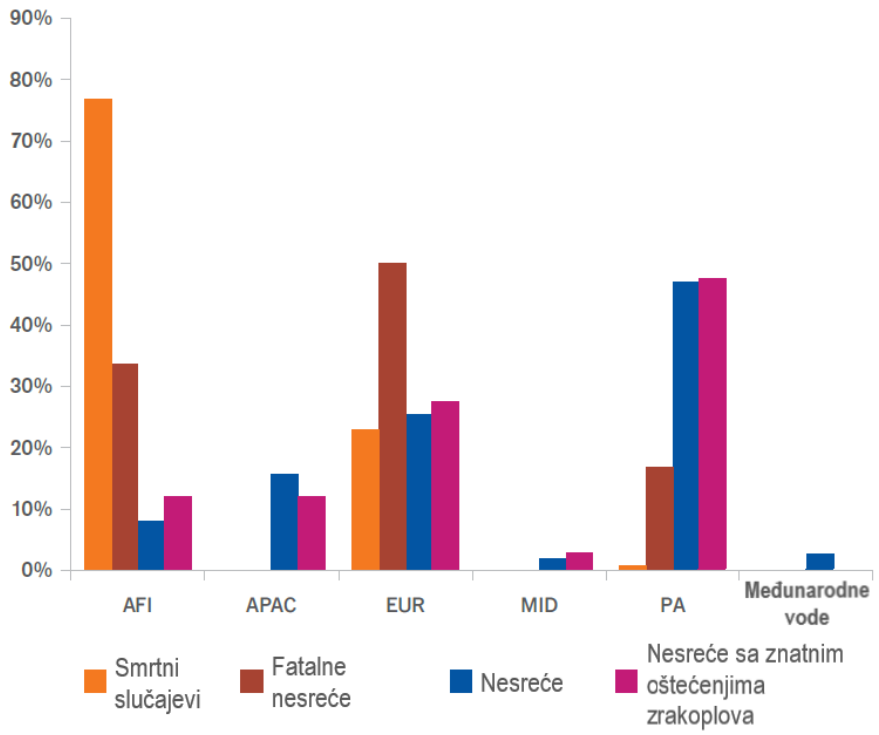
Grafikon 6. Postotak fatalnih nesreća i smrtnih slučajeva po fazama leta (2010.–2019.), [18]

ICAO bilježi analizu nesreća i smrtnih slučajeva za komercijalne letove zrakoplova prema RASG[4] regijama. Iz tablice 6 je vidljivo kako najveći udio nesreća obuhvaća Pan Američka regija (PA) s 47,4%, dok je najveći udio smrtnih slučajeva u regiji Afrike i Indijskog oceana (AFI) s 76,6%. Regija Azije i Pacifika (APAC) te regija Bliskog istoka (MID) nemaju zabilježen niti jedan smrtni slučaj. Europska regija (EUR) u 2019. godini bilježi 29 nesreća za zrakoplove teže od 5.700 kg. Od 29 nesreća, tri su bile fatalne, pri čemu je ukupno bilo 55 smrtnih slučajeva (tablica 7). Podaci iz tablice 6 prikazani su i grafikonom 7 u nastavku.

Tablica 6. Nesreće prema RASG regijama (2019.)

RASG regija	Udio prometa (%)	Udio nesreća (%)	Udio smrtnih slučajeva (%)
Regija Afrike i Indijskog oceana	2,9	7,9	76,6
Regija Azije i Pacifika	32,6	14,9	0
Europska regija	25,3	25,4	23
Regija Bliskog istoka	3,4	1,8	0
Pan Američka regija	35,7	47,4	0,4

Izvor: [3]



Grafikon 7. Nesreće prema RASG regijama (2019.), [3]

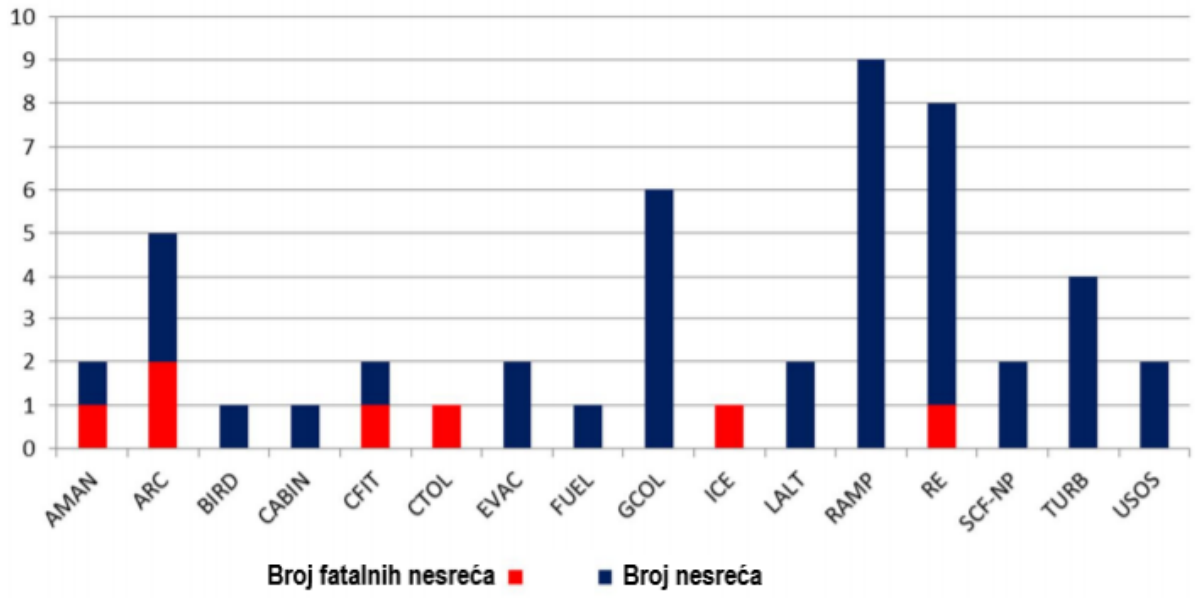
[4] RASG (engl. *Regional Aviation Safety Group*) regionalna zrakoplovna sigurnosna grupa

Tablica 7. Pregled nesreća za Europsku regiju (2019.)

Godina	Odlasci (milijun)	Broj nesreća	Stopa nesreća (za milijun polijetanja)	Fatalne nesreće	Smrtni slučajevi
2013.	7,79	21	2,7	2	71
2014.	7,98	24	3,01	2	300
2015.	8,19	25	3,06	1	150
2016.	8,62	24	2,79	2	64
2017.	9,06	14	1,54	3	46
2018.	9,49	26	2,74	2	72
2019.	**9,79**	**29**	**2,96**	**3**	**55**

Izvor: [19]

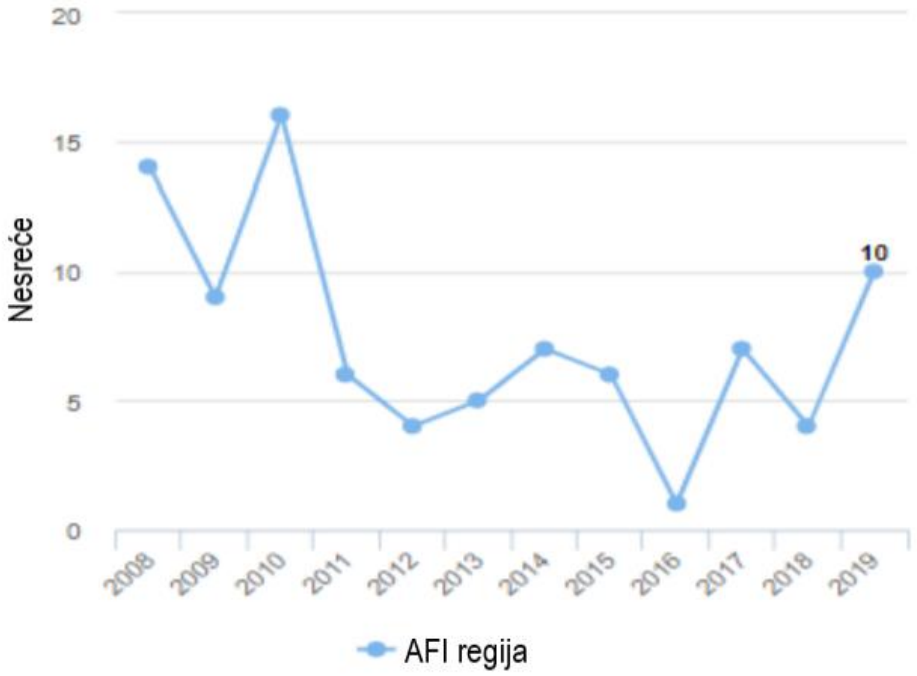
U Europskoj regiji najveći broj nesreća dogodio se prilikom operacija zrakoplova na zemlji, nakon čega je najzastupljenija kategorija izlijetanja zrakoplova s USS-e. U pogledu fatalnih nesreća, najveći broj (dvije fatalne nesreće) dogodio se kao posljedica nepravilnog kontakta s USS-om. Ostale fatalne nesreće spadaju pod kategorije naglog manevra, kontroliranog leta u teren, sudara s preprekama i zaleđivanja (grafikon 8).



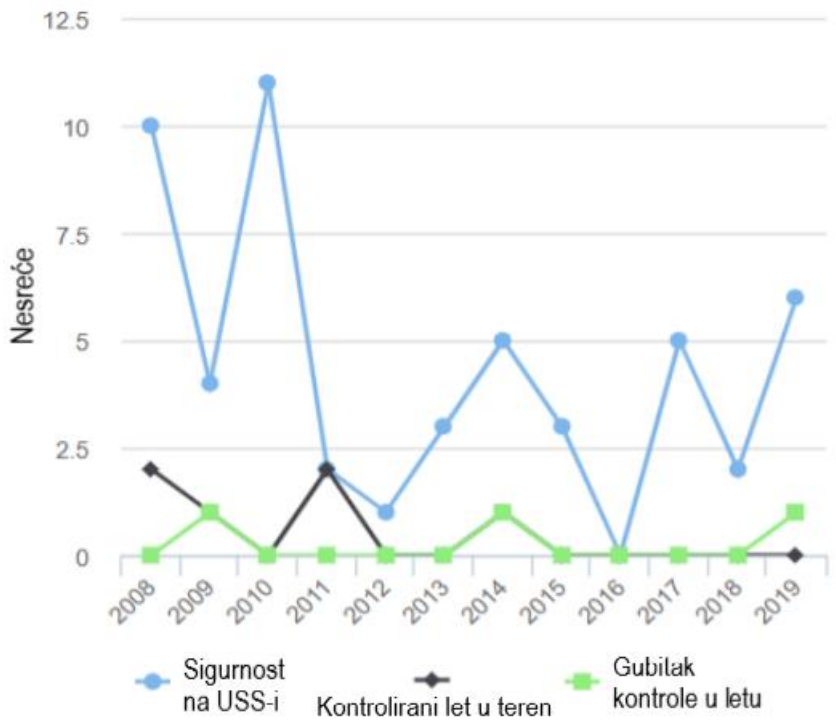
Grafikon 8. Broj nesreća prema kategorijama događaja za Europsku regiju, [19]

Prema ICAO-u najveći broj nesreća dogodio se u Pan Američkoj regiji. U visokorizične kategorije događaja u Pan Američkoj regiji ubrajaju se gubitak upravljanja nad zrakoplovom u letu i kontrolirani let u teren.

U pogledu regije Afrike i Indijskog oceana, statistički pregled od 2008. do 2019. godine ukazuje na stopu nesreća od 10,34 u odnosu na svjetski prosjek od 2,76 (grafikon 9). Nesreće kategorija izlijetanja s USS-e i upada na USS-u bilježe pad od 66% (sa 5,0 u 2017. godini na 1,7 u 2019. godini. Nadalje, gubitak upravljanja u letu bilježi porast preko 100% u 2019. godini. U regiji Afrike i Indijskog oceana, dominantna kategorija nesreća su i dalje događaji vezani za sigurnost na USS-i te gubitak kontrole u letu (grafikon 10). U 2019. godini zabilježeni su smrtni slučajevi u deset nesreća. Šest fatalnih nesreća je povezano sa sigurnosti na USS-i (izlijetanje s USS-e i upad na USS-u), jedna s gubitkom kontrole u letu, jedna vezana za kvar sustava, jedna nesreća uzrokovana sudarom sa životinjom i jedna smicanjem vjetra i olujnim nevremenom. [20]



Grafikon 9. Nesreće zrakoplova iznad 5.700 kg za regiju Afrike i Indijskog oceana, [20]



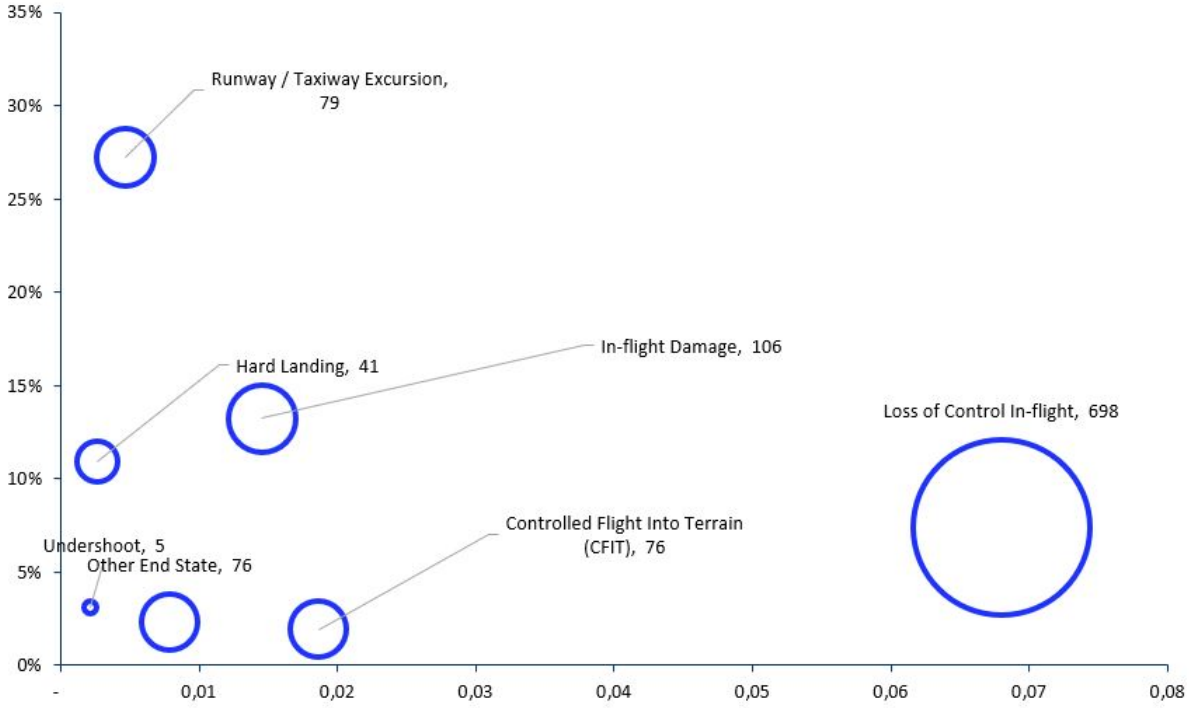
Grafikon 10. Nesreće prema kategorijama događaja za regiju Afrike i Indijskog oceana, [20]

3.2.2. IATA statistika zrakoplovnih nesreća i nezgoda

IATA u 2020. godini izdvaja i bilježi najrizičnije kategorije prema broju smrtno stradalih sljedećim redom: oštećenje zrakoplova u letu, izlijetanje s USS-e i kontrolirani let u teren. Prema učestalosti nesreća redoslijed je sljedeći: izlijetanje s USS-e, tvrdo slijetanje, slijetanje s uvučenim stajnim trapom, oštećenje zrakoplova u letu i oštećenje zrakoplova na zemlji. Nadalje, regija Afrike i Indijskog oceana bilježi najveću stopu nesreća u iznosu od 22,27 nesreća na milijun polijetanja. [21]

Izlijetanje s USS-e, kontrolirani let u teren, gubitak kontrole nad zrakoplovom u letu i sudar zrakoplova u letu su prema IATA-i glavni prioriteti u pogledu operativnih rizika.

Statistički gledano, najučestaliju visokorizičnu kategoriju predstavlja izlijetanje s USS-e, a zatim slijedi oštećenje zrakoplova u letu. Gubitak kontrole nad zrakoplovom u letu, iako manje učestalo od prethodnih kategorija, predstavlja najrizičniju kategoriju u pogledu broja smrtno stradalih (grafikon 11). [21]



Grafikon 11. Pregled zrakoplovnih nesreća prema kategorijama (2016.−2020.), [21]

3.3. Utjecaj čimbenika na učestalost i rizik nesreća

Na učestalost pojave neželjenih posljedica u pogledu zrakoplovnih nezgoda, nesreća i fatalnih nesreća utječu čimbenici poput latentnih stanja, izravnih opasnosti vezanih za operativni rizik, ljudskih faktora odnosno greške zrakoplovne posade i neželjena stanja zrakoplova.

U latentna stanja ubrajaju se:

- regulativni nadzor;
- neadekvatne operativne procedure;
- greške u upravljanju sigurnošću;
- financijski rezovi u upravljanju sigurnošću;
- neadekvatan program selekcije;
- neadekvatan trening posade;
- neadekvatnost zrakoplovne opreme. [21]

Čimbenike ljudskih faktora obuhvaća:

- nepridržavanje standardnih operativnih postupaka;
- neadekvatna komunikacija između pilota;
- nepridržavanje kontrolne liste;
- pogrešno izračunata masa i uravnoteženje zrakoplova;
- održavanje zrakoplova. [21]

Čimbenici neželjenog stanja zrakoplova koji doprinose povećanju rizika i učestalosti nesreća obuhvaćaju:

- vertikalna i lateralna devijacija, devijacija u brzini zrakoplova;
- let izvan ograničenja zrakoplova;
- nepotrebno prodiranje loših meteoroloških uvjeta;
- nestabilan prilaz;
- nagli manevar zrakoplovom;
- nastavak slijetanja nakon nestabilnog prilaza;
- itd. [21]

Izvori opasnosti, kao čimbenici koji pridonose riziku i učestalosti zrakoplovnih nesreća mogu biti prirodne naravi ili proizlaziti iz samih procedura i tehničkih karakteristika zrakoplova. Pod prirodnim opasnostima misli se na meteorološke uvjete među kojima su redoslijedom najzastupljeniji: olujno nevrijeme, zaleđivanje, smanjena vidljivost, smicanje vjetra, itd. U ostale izvore opasnosti ubrajaju se mogući kvarovi na zrakoplovu, pogreške u održavanju zrakoplova, operativno zagušenje pri provođenju letačkih operacija, itd. [22]

3.3.1. Utjecaj čimbenika na rizik od kontroliranog leta u teren

Kontrolirani let u teren označava sudar zrakoplova s terenom, vodom ili preprekama bez indikacije na gubitak kontrole nad zrakoplovom. Ova kategorija obuhvaća sve događaje kod kojih se nesreća dogodila neovisno o situacijskoj svijesti posade. Na kontrolirani let u teren utječu faktori poput neadekvatne operativne procedure, dezorijentacije pilota i nepovoljnih meteoroloških uvjeta. Usprkos rijetkoj učestalosti pojave ove kategorije, ista predstavlja kategoriju s najvećim rizikom smrtnog stradavanja posade i putnika. [23]

Glavni čimbenici, odnosno izvori opasnosti koji doprinose riziku od kontroliranog leta u teren prikazani su tablicom 8 u nastavku.

Tablica 8. Pregled čimbenika – kontrolirani let u teren (2016.–2020.)

Izvori opasnosti	Postotni doprinos
Meteorološki uvjeti	**100%**
Smanjena vidljivost	**100%**
Operativni stres	60%
Gubitak vizualne reference	60%
Navigacijska sredstva	60%
Kvar navigacijskih sustava na zemlji	60%
Teren/prepreke	60%
Kontrola zračne plovidbe	40%
Dokumentacija	20%
Priručnici/karte/kontrolne liste	20%
Zračne luke	20%
Umor	20%
Vjetar/smicanje vjetra/nalet vjetra	**20%**
Loše osvjetljenje/vidljivost znakova	20%

Izvor: [21]

3.3.2. Utjecaj čimbenika na rizik od gubitka kontrole u letu

Gubitak kontrole nad zrakoplovom u letu označava značajnu situaciju devijacije zrakoplova od željene putanje leta. Ova kategorija nesreća rezultira katastrofalno, s jako malo preživjelih, ukoliko ih uopće ima. Stoga, rizik od stradavanja za ovu kategoriju je jako visok. Glavni čimbenici koji utječu na ovu kategoriju nesreća su: neispravnost sustava zrakoplova, meteorološki uvjeti, ljudski faktor/greška pilota ili kombinacija svega od navedenog. [23]

Glavni čimbenici, odnosno izvori opasnosti koji doprinose riziku od gubitka kontrole nad zrakoplovom u letu prikazani su u tablici 9 u nastavku.

Tablica 9. Pregled čimbenika – gubitak kontrole u letu (2016.−2020.)

Izvori opasnosti	Postotni doprinos
Meteorološki uvjeti	**47%**
Kvar na zrakoplovu	37%
Nekritičan kvar na pogonskom sustavu	26%
Smanjena vidljivost	**21%**
Gubitak vizualne reference	16%
Prostorna dezorijentacija	16%
Vjetar/smicanje vjetra/nalet vjetra	**16%**
Umor	16%
Zaleđivanje	**16%**
Operativni stres	16%
Događaji na tlu	11%
Održavanje zrakoplova	11%
Avionika	11%
Dokumentacija	11%
Aerodrom	5%
Priručnici/karte/kontrolne liste	5%
Minimalna oprema	5%
Životinje	5%
Grmljavinsko nevrijeme	**5%**
Blizina ostalih objekata	5%
Kontrola zračne plovidbe	5%

Izvor: [21]

3.3.3. Utjecaj čimbenika na rizik od izlijetanja s USS-e

Izlijetanje s USS-e predstavlja događaj nezaustavljanja zrakoplova do kraja USS-e ili bočno izlijetanje zrakoplova, a događa se prilikom polijetanja ili slijetanja zrakoplova. Izlijetanje s USS-e je statistički najučestaliji događaj, a iako većina izlijetanja nije fatalna, izlijetanje s USS-e i dalje predstavlja veliki sigurnosni rizik. [23]

Glavni čimbenici, odnosno izvori opasnosti koji doprinose riziku od izlijetanja zrakoplova s USS-e prikazani su tablicom 10 u nastavku.

Tablica 10. Pregled čimbenika – izlijetanje s USS-e (2016.−2020.)

Izvori opasnosti	Postotni doprinos
Meteorološki uvjeti	**55%**
Aerodrom	55%
Kontaminirana USS-a	37%
Vjetar/smicanje vjetra/nalet vjetra	**37%**
Grmljavinsko nevrijeme	**30%**
Kvar na zrakoplovu	23%
Smanjena vidljivost	**17%**
Blizina ostalih objekata	15%
Operativni stres	12%
Održavanje zrakoplova	8%
Loše osvjetljenje/vidljivost znakova	8%
Navigacijska sredstva	7%
Zaleđivanje	**7%**
Optičke iluzije	7%
Kvar zemaljskih navigacijskih sredstava	7%
Umor	7%
Pneumatik	5%
Kontrola zračne plovidbe	5%
Minimalna oprema	5%
Nekritičan kvar pogonskog sustava	5%
Životinje	3%
Teren/prepreke	3%
Kontrola perimetra aerodroma	3%
Kvar hidrauličkog sustava	3%
Kočnice	3%
Gubitak vizualne reference	2%
Kvar na električnoj mreži	2%
Nedostatak posade	2%
Vatra/dim (kokpit/putnički prostor/kargo)	2%
Primarni upravljački sustav	2%
Upravljački sustav	2%

Izvor: [21]

4. PROCES ISTRAGE ZRAKOPLOVNE NESREĆE UZROKOVANE NEPOVOLJNIM METEOROLOŠKIM UVJETIMA

Zrakoplovna nesreća ili nezgoda ukazuje na opasnosti i/ili propuste u zrakoplovstvu. Istraga zrakoplovne nesreće predstavlja sustavni proces u kojem se svi uzroci neželjenog događaja analiziraju, procjenjuju i uklanjaju pojedinačno, sve dok se ne utvrde uzroci primjenjivi na tu istragu. 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. Svrha istrage nije dodijeliti krivnju ili odgovornost.

Nesreća je događaj povezan s letenjem zrakoplova koji se odvija između trenutka kada se bilo koja osoba ukrca u zrakoplov s namjerom leta sve do trenutka kada se takve osobe iskrcaju, u kojem: [24]

a) je osoba smrtno ili teško ozlijeđena kao posljedica:
    - Bivanja u zrakoplovu;
    - Izravnog kontakta s bilo kojim dijelom zrakoplova, uključujući dijelove koji su se odvojili od zrakoplova;
    - Izravnoj izloženosti mlaznom udaru;
    - Osim kada su ozljede prirodno uzrokovane, samo nanesene ili su ih nanijele druge osobe ili kada se ozlijede slijepi putnici koji se skrivaju izvan područja koji je redovno raspoloživ putnicima i posadi
b) zrakoplov pretrpi oštećenje ili strukturalni kvar koji:
    - Nepovoljno utječe na strukturalnu čvrstoću, radnu uspješnost ili letne karakteristike zrakoplova;
    - U pravilu zahtjeva veći popravak ili zamjenu oštećenog dijela;

    Osim otkazivanja ili oštećenja motora pri kojima je oštećenje ograničeno na motor, njegove metalne poklopce ili dodatne dijelove; ili za oštećenje ograničeno na propelere, vrhove krila, antene, gume, kotača, kočnice, oplate, male rezove ili rupe u površini zrakoplova;
c) zrakoplov nestane ili je potpunosti nedostupan.

Nezgoda je događaj, osim nesreće, povezan s letenjem zrakoplova koji utječe ili bi mogao utjecati na sigurnost leta. [24]

Ozbiljna nezgoda je nezgoda koja uključuje okolnosti koje upućuju na to da je gotovo došlo do nesreće, a razlika između nesreće i ozbiljne nezgode je samo u ishodu. [24]

4.1. Zakonska regulativa

Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva (ICAO) je vladina organizacija koja s Europskom agencijom za sigurnost zračnog prometa (engl. *European Aviation Safety Agency* – EASA) predlaže niz pravila i programa za usavršavanje koji se temelje na dobivenim informacijama, statistikama te analizama podataka vezanih za sigurnost.

Glavni dokumenti koji se koriste za istraživanje zrakoplovnih nesreća su:

- ICAO Dodatak 13 – *Aircraft Accident and Incident Investigation*;
- ICAO Dodatak 9 – *Facilitation*;
- *Manual of Aircraft Accident and Incident Investigation* (Doc 9756);
- Priručnik (ICAO Doc 9962) – *Manual on Accident and Incident Investigation Policies and Procedures*;
- Priručnik (ICAO Doc 9946) – *Manual on Regional Accident and Incident Investigation Organization*;
- Priručnik (ICAO Doc 9683) – *Human Factors Training Manual*;
- Priručnik o medicini u civilnom zrakoplovstvu (ICAO Doc 8984);
- Opasnosti na lokaciji zrakoplovne nesreće (Okružnica 315);
- Smjernice za obuku istražitelja zrakoplovnih nesreća (Okružnica 298);
- Zbornik ljudskih faktora broj 7 – Istraživanje utjecaja ljudskog faktora u nesrećama i nezgodama. [25]

Uz navedene dokumente, u Republici Hrvatskoj se koriste i Zakon o zračnom prometu te Uredba (EU) br. 996/2010 Europskog parlamenta i Vijeća od 20. listopada 2010. godine o istragama i sprečavanju nesreća i nezgoda u civilnom zrakoplovstvu. Institucija koja provodi istrage zrakoplovnih nesreća u Republici Hrvatskoj naziva se Agencija za istraživanje nesreća u zračnom, pomorskom i željezničkom prometu te je ista u potpunosti preuzela sve važeće segmente od ICAO-a, nacionalne te europske regulative. [26]

Najznačajniji ICAO dokument koji se odnosi na istraživanje zrakoplovnih nesreća i nezgoda je Dodatak 13 (*Annex 13*). U njemu su sadržane obveze i preporučeni postupci za istraživanje zrakoplovnih nesreća, a podijeljen je u četiri dijela:

- Organizacija i planiranje;
- Procedure i provjere;
- Istraživanje;
- Izvještavanje. [25]

4.2. Nadležnost u pokretanju istrage zrakoplovne nesreće

U skladu s Člankom 26 Konvencije o međunarodnom civilnom zrakoplovstvu dužnost zemlje u kojoj se dogodila zrakoplovna nesreća je ta da ustanovi ispitivanje okolnosti nesreće, a navedeno se može 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. [24]

Osnovano tijelo za istraživanje zrakoplovnih nesreća mora biti strogo objektivno i posve nepristrano te ga javnost također mora smatrati nepristranim. Tijelo mora biti ustrojeno tako da može izdržati političko uplitanje i bilo kakvo drugo uplitanje ili pritisak. [24]

U skladu s ICAO Dodatkom 13, zemlja koji 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 tome, ništa ne sprečava da se uloga glavnog istražitelja ne dodjeli povjerenstvu ili nekom drugom tijelu. [24]

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. [25]

Kao potpora istrazi i samom glavnom istražitelju, objedinjuje se tim s 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 veličini istrage, uključuju: [25]

- zamjenika glavnog istražitelja
- koordinatora središnjeg ureda
- administrativnog koordinatora
- koordinatora za odnose s javnošću

- koordinatora za sigurnost mjesta događaja.

Ovisno o razmjeru i okolnostima događaja te broju kvalificiranog osoblja, nekada je nepraktično pristupiti svakoj fazi istrage s punim istraživačkim timom. To znači da svaki glavni istražitelj određuje sastav istraživačke skupine, koje se obično mogu podijeliti u dvije kategorije: [25]

1. operativnu kategoriju
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 te skupinu za sigurnost kabine. 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 ili nezgode. [25]

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 pet navodi uvjete pod kojima te države imaju pravo imenovati ovlaštenog predstavnika, uključujući obveze i prava pristupa, između ostalog, mjestu nesreće, relevantnim dokazima i svoj ostaloj dokumentaciji koja je povezana s događajem. [25]

4.3. Istraga velikih zrakoplovnih nesreća

Istraga velikih zrakoplovnih nesreća zahtjeva veliki tim istražitelja koji će pokriti sve aspekte događaja. Navedeni tim bi trebao voditi glavni istražitelj odnosno osoba koja u potpunosti razumije međunarodne standarde, preporučene prakse, smjernice i protokole te ima iskustvo u provedbi istraga nesreća u kojima sudjeluju veliki zrakoplovi. Glavni istražitelj bi trebao biti viši istražitelj istražnog tijela države odgovorne za istragu nesreće. Također, odgovoran je za upravljanje i vođenje svih aspekata istrage od početka istrage do predaje Završnog izvješća koje se podnosi na odobrenje državnom istražnom tijelu. Ovisno o veličini i opsegu nesreće, glavni istražitelj bi, kao što je već ranije spomenuto, trebao razmotriti osnivanje istraživačkih skupina koje bi pokrivale razna funkcionalna područja istrage. Potreban broj skupina te osoblja ovisi o vrsti i složenosti zrakoplovne nesreće. Članovi istražnih skupina trebaju imati pristup svim informacijama koje su otkrivene tijekom istrage te bi trebali

nastaviti sudjelovati u istrazi do trenutka završetka izvješća. Stručnjaci koji su uključeni u istragu trebaju imati pristup informacijama potrebnih za davanje savjeta u svom području stručnosti. [25]

Velika nesreća je uvijek događaj od značajne važnosti 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. [25]

Trenutna obavijest o nesreći od značajne je važnosti 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. [25]

Što se tiče dokumentacije, 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 nužne za provođenje istrage. Dokumenti mogu biti dostavljeni elektronskim putem (e-pošta) ili se mogu prevesti na mjesto nesreće kao osobna prtljaga u zrakoplovu. [25]

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 i zaštitu mjesta događaja. Također, koordinator uspostavlja granice, sigurnost i procedure za kontrolu pristupa mjestu događaja. [25]

Nakon terenske faze, preostaju značajni istražni radovi, a glavni istražitelj mora raditi na održavanju i upravljanju napretkom istrage. Post-terenska faza uključuje kontinuirano prikupljanje i potvrđivanje dokaza, ispitivanje svih relevantnih osoba, kompanija, zrakoplova, ustanova, vladinih i drugih evidencija, ispitivanje izabranih dijelova olupine u laboratoriju, testiranje odabranih komponenti i sustava, čitanje i analizu snimki, provođenje daljnjih intervjua, određivanja slijeda događaja, analiziranje svih informacija o istrazi te završetak tehničkih i grupnih izvještaja, ako ih ima. Post-terenska faza može potrajati mjesecima, ovisno o veličini i složenosti istrage. [25]

Proces istrage treba napredovati i nakon terenske faze, prvenstveno zato što članovi istražnih timova nisu više na istoj lokaciji stoga je bitno da glavni istražitelj održava komunikaciju između timova kako bi se istraga nesreće mogla provesti do kraja. Glavni istražitelj bi trebao organizirati česte i redovite sastanke na kojima se donose bitne pretpostavke i odluke.

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

4.4. Istraga manjih zrakoplovnih nesreća ili nezgoda

Istraživanje manjih nesreća i nezgoda 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, a također je aktivan i u istražnim radnjama koje odgovaraju njegovoj stručnosti. [25]

Organizacija provođenja manje istrage će se razlikovati od događaja do događaja. 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. Također, za nezgode koje se javljaju za vrijeme leta ili na manevarskim površinama zračne luke, može doći do značajnog pritiska premještanjem zrakoplova i što ranijem povratku u normalne operacije. U obje navedene 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. [25]

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. Istražitelj treba osigurati snimke leta, ispravno ih zaštititi, a zatim odrediti jesu li snimke potrebne za provođenje istrage, preuzeti snimke i otpustiti zrakoplov kako bi isti mogao nastaviti s normalnim operacijama.

Glavni istražitelj već u ranom stadiju istrage manjih nezgoda ili nesreća, kao i kod velikih nesreća, mora osigurati dokumente o operacijama i održavanju zrakoplova koji je predmet istrage, kao i sve ostale dokumente koji su relevantni za događaj. 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 sl. [25]

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 velik broj operatora ima opremu za kopiranje zapisa uređaja za snimanje leta (engl. *Flight Data Recorder* – FDR) i uređaja za snimanje komunikacije u kokpitu (engl. *Cockpit Voice Recorder* – CVR) bez potrebe za uklanjanjem snimača iz zrakoplova. [25]

Prilikom dolaska na mjesto događaja, istražitelji bi se trebali sastati s voditeljima vatrogasnih i spasilačkih timova, policijom i drugim službenicima za utvrđivanje situacije na mjestu događaj te utvrditi tko ima kontrolu, što je učinjeno i što još nije učinjeno. 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, zato što to olakšava rad istražitelja i omogućuje im da se usredotoče na druge aspekte istrage. [25]

Nakon terenske faze glavni istražitelj mora 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 sl. [25]

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. [25]

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.

4.5. Istraga zrakoplovne nesreće Air France 447

U nastavku rada detaljno je prikazana analiza nesreće zrakoplova Airbus 330-203 kojim je Air France upravljao na redovnom putničkom letu AF447 od Rio de Janeira (zračna luka Galeao) do Pariza (zračna luka Charles de Gaulle) u instrumentalnim

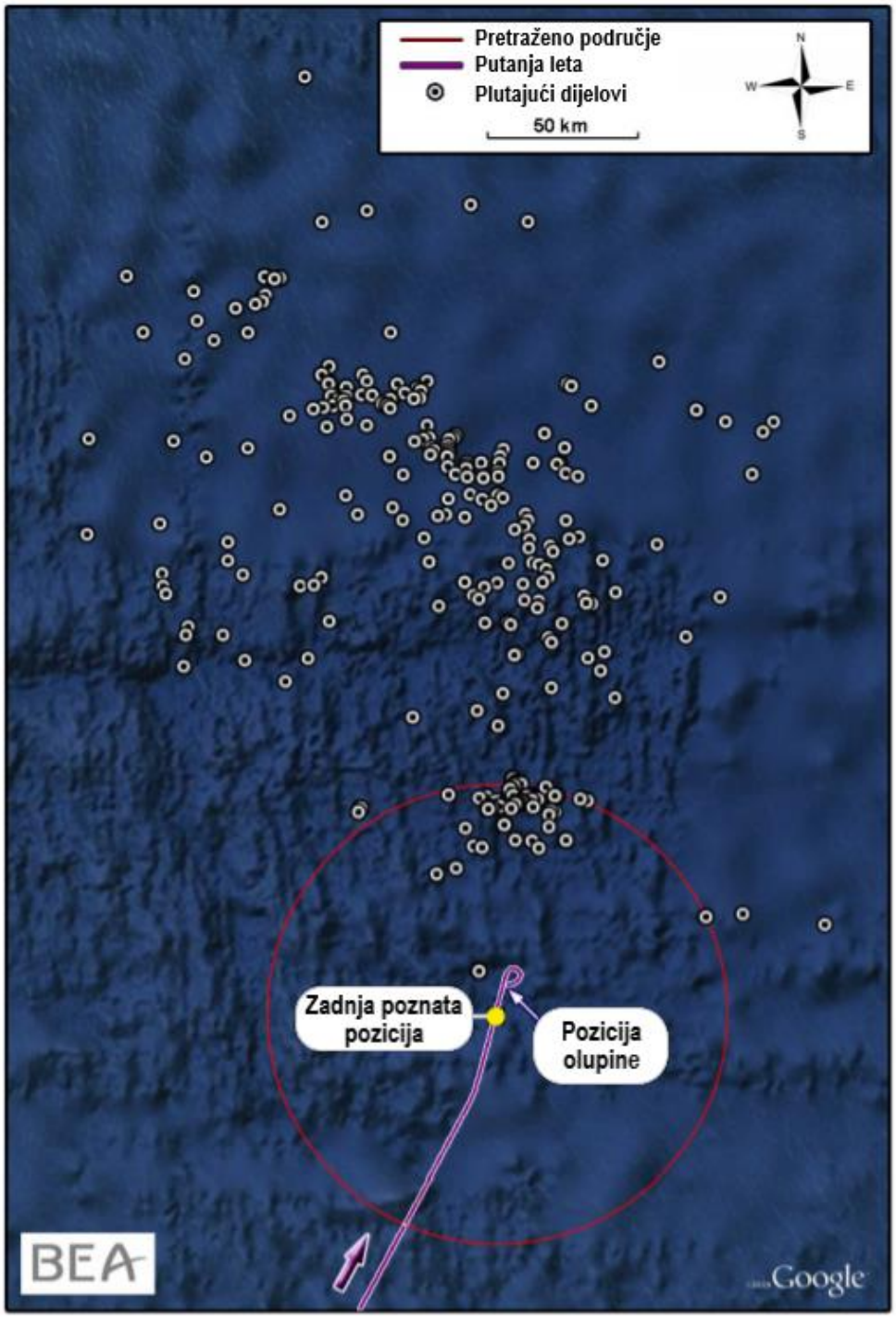
meteorološkim uvjetima. Zrakoplov je trebao letjeti kroz zračni prostor Brazila, Senegala, Kabo Verdea, Španjolske (Kanarski otoci), Maroka, Španjolske (Madrid) i Francuske. Zračni prostor kontroliran od strane Atlantika (Brazil) i Dakara (Senegal) nije bio pokriven radarom i VHF komunikacijom. Nesreća se dogodila 1. lipnja 2009. godine u međunarodnim vodama Atlantskog oceana, spletom okolnosti nakon zaleđivanja i nakupljanja kristalića leda u Pitot cijevi zrakoplova. Nesreća je rezultirala smrtnim stradavanjem svih 228 putnika i posade.

Prema zadnjoj zabilježenoj komunikaciji između kontrole leta i zrakoplova prošlo je više od tri i pol sata do inicijalne aktivacije procesa traganja i spašavanja, a više od devet sati za upućivanje prvog zrakoplova s navedenom zadaćom.

Istraga nesreće izvedena je pod vodstvom francuske organizacije za istragu i analizu zrakoplovnih nesreća (*Bureau d'Enquetes et d'Analyses* – BEA). U skladu s Dodatkom 13, u provođenju istrage sudjelovali su akreditirani predstavnici iz Brazila, SAD-a, Njemačke i Senegala, uz ostale promatrače država čiji su državljani poginuli na letu.

BEA je inicijalno oformila četiri istraživačke skupine s ciljem prikupljanja informacija u sljedećim područjima: pretraživanje podmorja, održavanje zrakoplova, operacije te sustavi i oprema zrakoplova. Navede skupine započele su s radom 1. lipnja 2009. godine.

Cijela istraga provedena je u pet faza. Prve dvije faze sastojale su se od istraživanja općih informacija o zrakoplovu, sustavima i opremi, iskustvu posade, meteorološkim uvjetima koji su vladali za vrijeme leta te posljednjih poruka koje su stigle kroz ACARS sustav. Također, kroz navedene dvije faze izvršena su pretraživanja podmorja u svrhu pronalaska tijela stradalih te olupine zrakoplova. Prva tijela stradalih i dijelovi zrakoplova pronađeni su pet dana nakon nesreće, 6. lipnja 2009. godine. Na slici 12 prikazani su svi plutajući dijelovi zrakoplova (pronađeni između 6. i 26. lipnja 2009. godine), zadnja poznata pozicija zrakoplova te pozicija olupine.

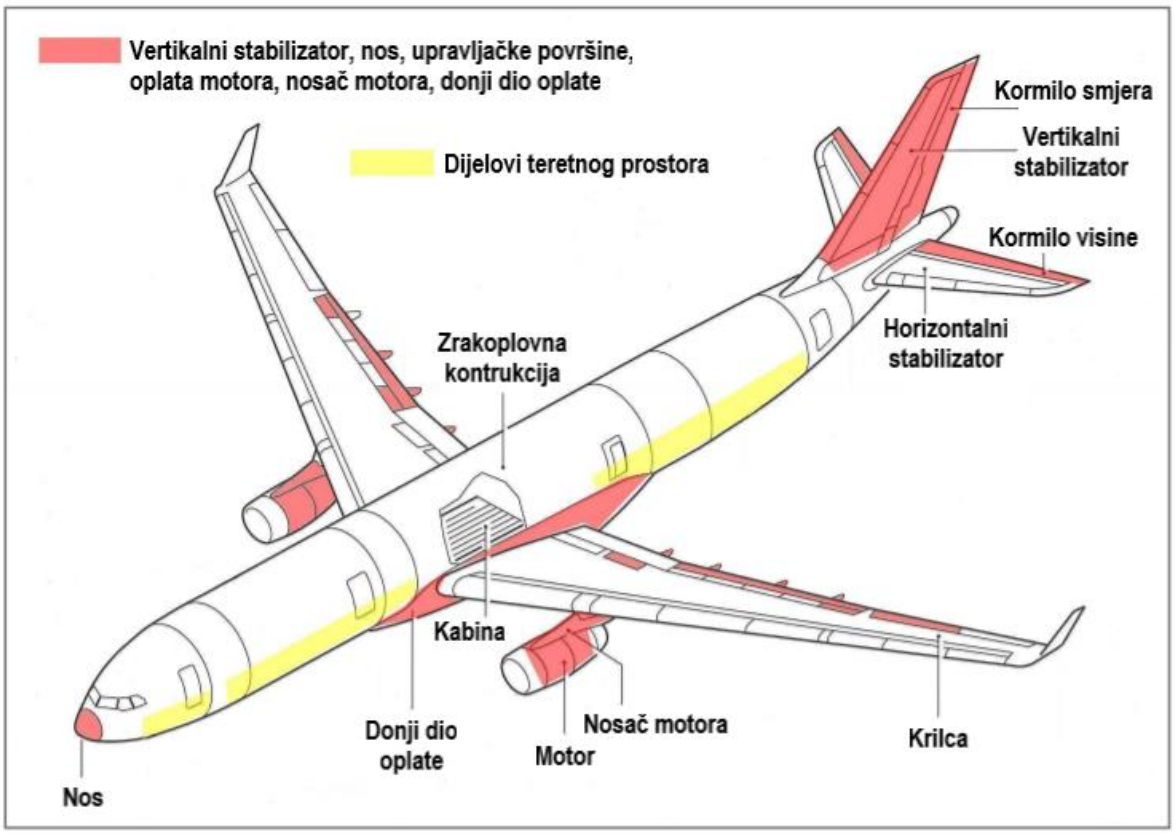


Slika 12. Plutajući dijelovi zrakoplova, zadnja poznata pozicija i pozicija olupine, [27]

Treća faza se provodila od 2. do 25. travnja te od 3. do 24. svibnja 2010. godine. U ovoj fazi je pretraženo područje Atlantskog oceana površine 6.300 km^2 s ciljem pronalaska snimača leta, ali neuspješno. Iduća faza odvila se od 23. ožujka do 12 travnja 2011. godine. U ovoj fazi je pronađen ostatak podvozja zrakoplova, 13 km sjeveroistočno od zadnje poznate lokacije zrakoplova. U petoj fazi, koja je započela 22. travnja 2011. godine, izvučeni su snimači leta: FDR (na slici 13 lijevo) i CVR (na slici 13 desno).

Slika 13. Snimači leta (FDR i CVR), [27]

U nastavku završne faze istrage nastavilo se s izvlačenjem ostataka zrakoplova i tijela stradalih putnika. Završetak pete faze značio je ujedno i završetak pretraživanja mjesta nesreće te je time započeo analitički rad na podacima dobivenih sa snimača leta. Na slici 14 su prikazani pronađeni dijelovi zrakoplova (unutarnji i vanjski).



Slika 14. Pronađeni dijelovi zrakoplova A330-203, [27]

Krajem srpnja 2011. godine utvrđene su sve okolnosti i uzroci nesreće, ali je također oformljena i još jedna istraživačka skupina koja je bila orijentirana na ljudske faktore kako bi se što bolje razumjeli postupci posade. Završno izvješće objavljeno je 5. srpnja 2012. godine.

4.5.1. Povijest leta

Dana 31. svibnja 2009. godine, zrakoplov Airbus 330-203 Air Francea imao je zakazani let iz Rio de Janeira do Pariza. Na letu je bilo ukupno 12 članova posade (od toga tri člana letačkog osoblja i devet članova kabinskog osoblja) i 216 putnika. Polijetanje je bilo planirano za 22:00 sata. Oko 22:15 posada je dobila dozvolu za pokretanje motora i napuštanje stajanke. Polijetanje je izvršeno u 22:29 sati. Zrakoplovom je upravljao jedan od kopilota.

Neposredno prije nesreće, nešto iza ponoći, zrakoplov se nalazio u stabilnoj konfiguraciji na razini leta FL 350. Autopilot i sustav automatskog potiska su bili uključeni. Let je bio miran.

U 01:35 sati zrakoplov je stigao do INTOL točke pri čemu nije uspjelo povezivanje s Dakarom. Neposredno nakon, kopilot je promijenio prikaz na navigacijskom prikazniku s 320 NM na 160 NM i uočio odraz meteorološkog radara. Kapetan je isto potvrdio te su se složili kako visoka temperatura zraka onemogućava penjanje na razinu leta FL 370. U 01:45 sati zrakoplov je ušao u turbulentno područje, nešto prije dolaska na točku SALPU (slika 15).

Kopilot je, po smanjenju osvijetljenosti u kokpitu, uočio kako ulaze u oblačni sloj te kako bi bilo dobro da povećaju visinu leta. Ubrzo nakon toga, došlo je do povećanja u intenzitetu turbulencije. Po prestanku turbulencije, kopilot je ponovno skrenuo kapetanu pozornost na REC MAX visinu koja je u tom trenutku bila izračunata za razinu leta FL 370.

Oko 02:00 sata kapetan je svoju poziciju prepustio drugom kopilotu te sudjelovao na kratkom brifingu. Zrakoplov se približavao ORARO točki, letio je na razini leta FL 350 pri brzini 0,82 Macha. Uzdužni nagib zrakoplova iznosio je 2,5°. Kopiloti su ponovno komentirali temperaturu zraka i vrijednost REC MAX. Intenzitet turbulencije se malo povećao.

U 02:06 sati kopilot koji je upravljao zrakoplovom obavijestio je putnike i kabinsko osoblje o turbulentnom području kroz koje će proći. U 02:08 sati, kopilot koji nije upravljao zrakoplovom je predložio devijaciju u kursu s obzirom na odraz meteorološkog radara. Izvršena je korekcija smjera autopilota za 12° u odnosu na rutu leta (u lijevu stranu). Donesena je odluka o smanjenju brzine na 0,8 Macha (preporučena brzina za prolazak kroz turbulentno područje) i aktiviran je sustav odleđivanja motora.

U 02:10:05 sati deaktivirao se autopilot, a odmah nakon i sustav automatskog potiska, pri čemu je ručno upravljanje nad zrakoplovom preuzeo kopilot koji je u tom trenutku upravljao zrakoplovom. Zrakoplov se uslijed turbulencije počeo naginjati udesno, nakon čega je kopilot izvršio korekciju nagiba ulijevo te podigao nos aviona. Dva puta se, nakratko, oglasilo upozorenje gubitka uzgona. Zabilježeni su parametri pada zračne brzine s 275 čvorova na 60 čvorova na primarnom i integriranom

pilotskom prikazniku. Upravljanje zrakoplova rekonfigurirano je iz normalnog u alternativni zakon upravljanja. Posada nije isključila upravitelj leta[5] (engl. *Flight Director* – FD), ali prikaznici na instrumentu su nestali.

U 02:10:16 sati kopilot koji nije upravljao zrakoplovom uočava gubitak indikacije zračne brzine i prebacivanje na alternativo upravljanje. Kopilot koji je upravljao zrakoplovom, izvršio je nekoliko korekcija u nagibu zrakoplova, ali i podizanje nosa zrakoplova do 11° u deset sekundi. Kopilot koji nije upravljao zrakoplovom je u nekoliko navrata naglasio kopilotu da spusti nos zrakoplova s obzirom na to kako je zrakoplov u penjanju. Tada se dogodilo nekoliko spuštanja nosa što je rezultiralo smanjenjem vertikalne brzine, a zrakoplov se u tom trenutku nalazio na razini leta FL 370 i nije se prestao penjati.

Oko 02:10:47 indicirana brzina postala je ponovno važeća i prikazana je na primarnom pilotskom prikazniku te je zrakoplov tada imao zračnu brzinu od 223 čvorova (brzina na integriranom prikazniku i dalje nije bila prikazana). Zrakoplov je izgubio 50 čvorova od trenutka kada se autopilot isključio.

U 02:10:47 ručice snage motora povučene su na 2/3 IDLE razine. Dvije sekunde kasnije nagib zrakoplova je bio nešto iznad 6°, a napadni kut je iznosio nešto manje od 5°.

Od 02:10:50 kopilot koji nije upravljao zrakoplovom u nekoliko je navrata pozvao kapetana. Sekundu kasnije, ponovno se aktivirao sustav za upozorenje gubitka uzgona. Ručice gasa ponovno su postavljene u TO položaj, a kopilot je izvršio nekoliko podizanja nosa zrakoplova. Napadni kut nastavljao je rasti. Trimer na horizontalnom stabilizatoru postavljen je s 3° na 13° i ostao u tom položaju do kraja leta.

U 02:11:05 brzine na sva tri prikaznika postale su ponovno važeće i pokazivale brzinu od 185 čvorova. Zrakoplov je dosegao visinu od FL 380, a napadni kut je iznosio 16°.

U 02:11:37 sati, kopilot koji nije upravljao zrakoplovom, preuzeo je kontrolu nad zrakoplovom i pokušao spustiti nos zrakoplova. U istom trenutku, drugi kopilot je i dalje podizao nos zrakoplova pri čemu su se naredbe međusobno poništavale.

U 02:11:42 u kabinu ponovno ulazi kapetan. U tom trenutku sve brzine ponovno postaju nevažeće i alarm za gubitak uzgona, koji je trajao 54 sekunde, prestaje se oglašavati. Zrakoplov se tada nalazio na razini FL 350, napadni kut je bio veći od 40°, a vertikalna brzina je iznosila −10.000 ft/min.

U 02:12:02 ručice snage motora su bile u položaju IDLE, a N1 je iznosio 55%. Petnaest sekundi kasnije kopilot koji je upravljao zrakoplovom je izvršio nekoliko

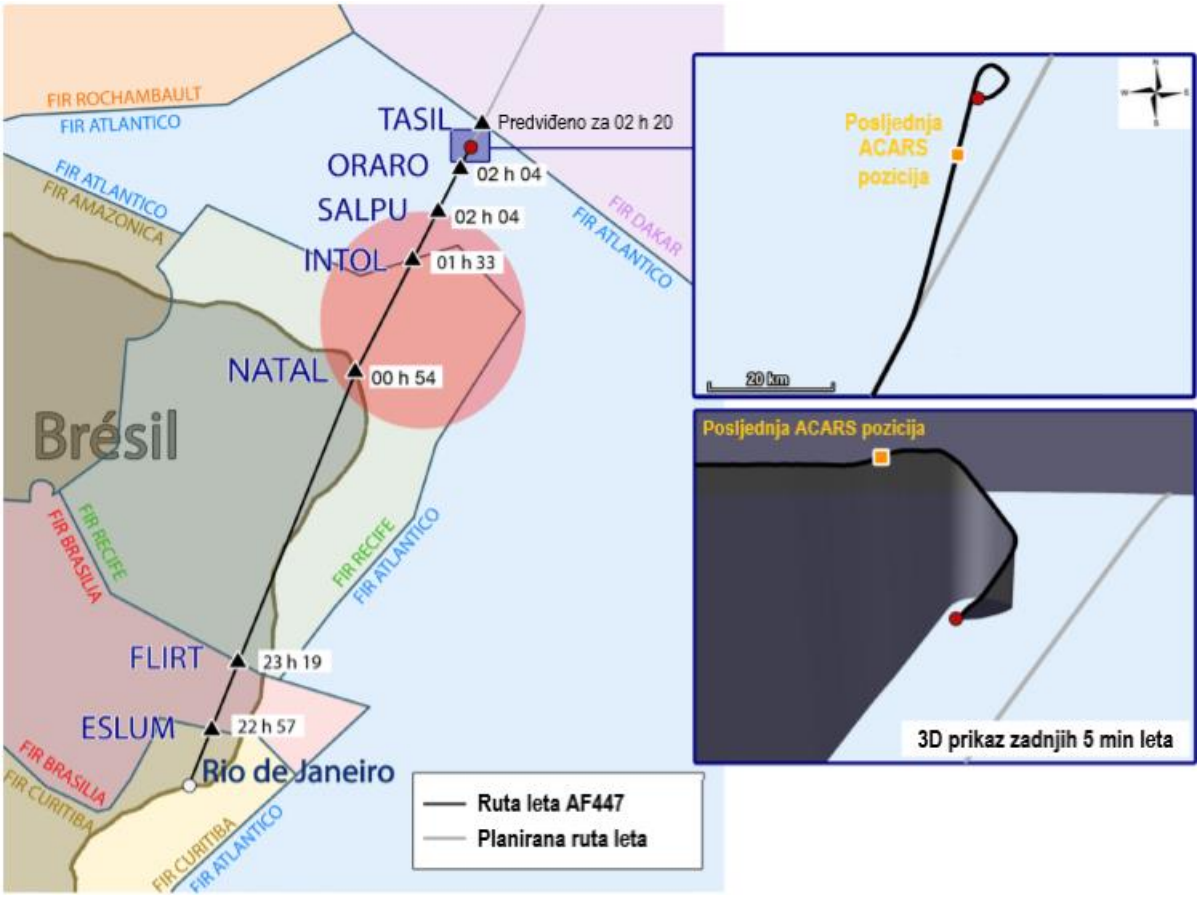
[5] Integrirani upravljačko-prikaznički sustav za optimalno vođenje zrakoplova koji pilotu osigurava vizualni prikaz podataka i komanda potrebnih za upravljanje letom te navigaciju preko odgovarajućih elektromehaničkih prikaznika.

spuštanja nosa zrakoplova. Napadni kut se smanjio, brzine su postale važeće te je ponovno došlo do oglašavanja upozorenja od gubitka uzgona.

U 02:13:32 zrakoplov se nalazio na visini od 10.000 ft. Napadni kut, kada je bio važeći, nikada nije bio manji od 35°.

U 02:14:17 oglasio se sustav upozorenja približavanja tlu.

U 02:14:28 prestaje bilježenje na snimaču leta. Zadnje zabilježene vrijednosti su vertikalna brzina od −10.912 ft/min, brzina u odnosu na tlo u iznosu od 107 čvorova, kut nosa zrakoplova od 16,2° i nagib u iznosu od 5,3° ulijevo.



Slika 15. Ruta leta AF447, [27]

4.5.2. Podaci o posadi

S obzirom na duljinu trajanja planiranog leta, a u skladu s regulativom Air Francea, posada je imala pridodanog jednog člana odnosno kopilota. U vrijeme nesreće, zrakoplovom su upravljali kopiloti, pri čemu je kopilot koji je sjedio na desnom sjedalu aktivno mijenjao kapetana. Posada je napustila Pariz 28. svibnja 2009. godine i stigla u Rio de Janeiro u večernjim satima istog dana. Pregled iskustva i obučenosti posade prikazan je u tablici 11.

Tablica 11. Prikaz letačkog iskustva članova posade

		KAPETAN (59 godina)	KOPILOT (lijevo sjedalo, 37 godina)	KOPILOT (desno sjedalo, 32 godine)
ISKUSTVO	Ukupni nalet	10.988 h, od toga 6.258 kao kapetan	6.547 h	2.936 h
	Nalet na A330	1.747 h, sve kao kapetan	4.479 h	807 h
	Nalet u proteklih 6 mjeseci	346 h, 18 slijetanja, 15 polijetanja	204 h, 9 slijetanja, 11 polijetanja	368 h, 16 slijetanja, 18 polijetanja
	Nalet u protekla 3 mjeseca	168 h, 8 slijetanja, 6 polijetanja	99 h, 6 slijetanja, 5 polijetanja	191 h, 7 slijetanja, 8 polijetanja
	Nalet u proteklih 30 dana	57 sati, 3 slijetanja, 2 polijetanja	39 sati, 2 slijetanja, 2 polijetanja	61 sati, 1 slijetanje, 2 polijetanja
OBUKA		Nepouzdan IAS, gubitak uzgona, let na neuobičajenim visinama, upravljanje u alternativnom zakonu	Nepouzdan IAS, gubitak uzgona	Nepouzdan IAS, gubitak uzgona

Izvor: [27]

4.5.3. Podaci o zrakoplovu

Zrakoplov A330-203 je bio u vlasništvu Air France-a koji ga je kupio potpuno novog u travnju 2005. godine. Tablicom 12 prikazani su opći podaci o navedenom zrakoplovu.

Tablica 12. Opći podaci o zrakoplovu A330-203

Proizvođač	Airbus
Tip	A330-203
Serijski broj	0660
Registracija	F-GZCP
Ulazak u službu	Travanj 2005.
Certifikat plovidbenosti	N°122424/1 od 18. travnja 2005., izdao DGAC
Provjera plovidbenosti	2009/122424/1, vrijedi do 17. travnja 2010.
Eksploatacija do 31. svibnja 2009.	18.870 sati naleta i 2.644 ciklusa

Izvor: [27]

Motori su proizvođača General Electric, tip CF6-80-E1A3, a parametri rada motora prate se u realnom vremenu. Prema podacima sa snimača leta i onih odaslanih na dan nesreće, nije utvrđena neispravnost u radu motora. Tablicom 13 su dani opći podaci o motorima zrakoplova.

Tablica 13. Opći podaci o motorima zrakoplova

	Motor broj 1	**Motor broj 2**
Serijski broj	811296	811297
Datum ugradnje	1. listopad 2004.	1. listopad 2004.
Ukupno sati rada	18.870 sati rada i 2.644 ciklusa	18.870 sati rada i 2.644 ciklusa

Izvor: [27]

Na zrakoplovu su provedeni redoviti dnevni i tjedni tehnički pregledi. Tip A periodičkog pregleda na Airbusu 330-203 provodi se svakih 800 sati naleta, što je otprilike svaka dva mjeseca. Ova vrsta pregleda se sastoji od:

- provjere sustava operativnim testovima
- podmazivanja
- provjere razine ulja
- vizualne provjere strukturalnih dijelova bez njihove demontaže.

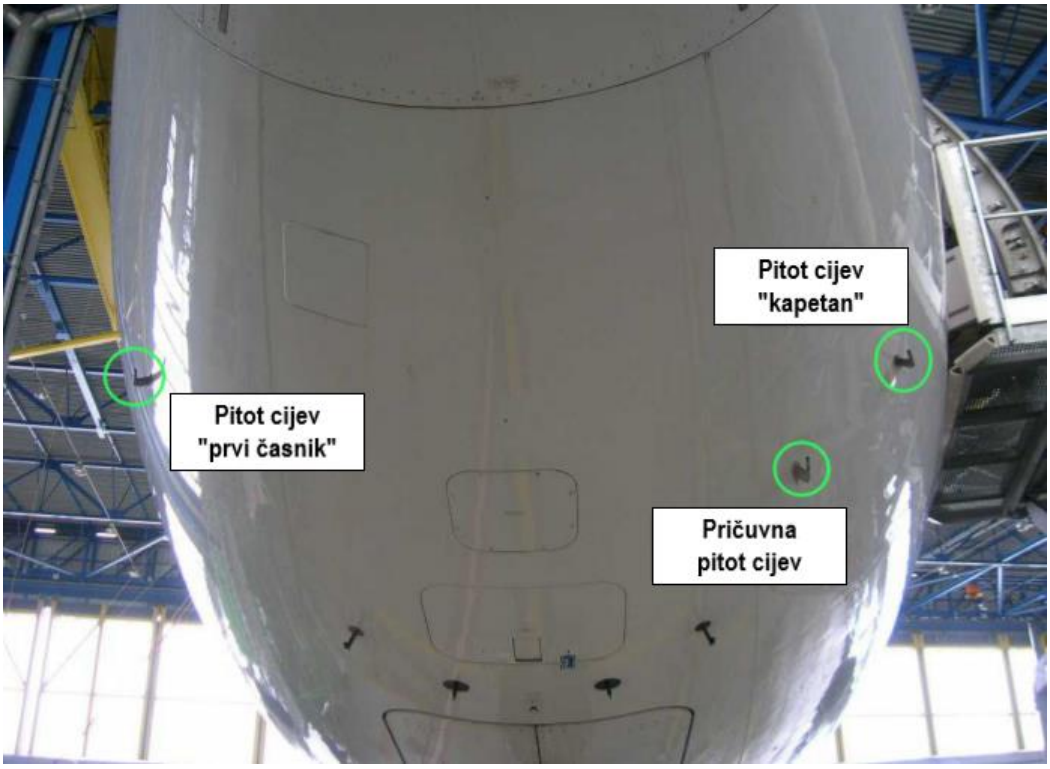
Zadnja tri pregleda ove vrste provedena su u redovitim rokovima u skladu s priručnikom za održavanje od strane proizvođača. Tijekom zadnjih pregleda nisu uočene nikakve anomalije.

4.5.4. Opis rada sustava vezanih za let zrakoplova

U nastavku će biti objašnjen i opisan rad sustava koji su povezani s letom zrakoplova nakon inicijalnog događaja nestanka indikacije zračne brzine i aktiviranja prvog upozorenja o gubitku uzgona. Opis rada sustava važan je za shvaćanje ponašanja instrumenata koji su u konačnici rezultirali (ne)shvaćanjem situacije u kojoj su se našli piloti zrakoplova.

4.5.4.1. Sustav mjerenja zračne brzine

Airbus A330 ima tri Pitot cijevi za mjerenje ukupnog tlaka (slika 16) i šest statičkih otvora za mjerenje statičkog tlaka. Pitot cijevi su opremljene drenažnim otvorima koji omogućavaju istjecanje vode, ali i sustavom grijanja koje sprječava njihovo zaleđivanje.



Slika 16. Pozicije Pitot cijevi na A330, [27]

Mjerenje tlaka pretvara se u električni signal putem osam modula zračnih podataka (engl. *Air Data Module* – ADM). Kalibrirana zračna brzina (engl. *Calibrated Airspeed* – CAS) i Machov broj su glavni izvor podataka o brzini zrakoplova koji se koriste prilikom upravljanja zrakoplovom. Navedeni podaci o brzini se dobivaju obradom tri računala koja se nazivaju računala zračnih i inercijalnih podataka (engl. *Air Data Inertial Reference Unit* – ADIRU), a sastoji se od:

- modula za izračun zračnih podataka (engl. *Air Data Reference* – ADR) koji izračunava aerodinamičke podatke poput CAS-a i Machovog broja;
- modula za izračun inercijalnih podataka (engl. *Inertial Reference* – IR) koji izračunava inercijalne podatke poput brzine u odnosu na tlo i položaj zrakoplova. [27]

Stoga, postoje tri neovisna sustava izračunavanja brzine zrakoplova: Pitot cijev „kapetan“ opslužuje ADR 1, Pitot cijev „prvi časnik“ ADR 2, a pričuvna Pitot cijev ADR 3. Pričuvni instrumenti prikazuju podatke dobivene direktno od pričuvne Pitot cijevi i statičkog otvora, odnosno ne konvertiraju se u električni signal putem ADM-a i ADR-a. Integrirani pričuvni instrumentalni sustav (engl. *Integrated Standby Instrument System* – ISIS) prikazuje zračne i inercijalne podatke u zrakoplovu, a iste dobiva iz senzora statičkog i ukupnog tlaka kao ADR 3 modul.

Izmjerene brzine tj. podatke dobivene putem ADR-ova, koriste sljedeći sustavi:

- *Fly-by-Wire* sustav upravljanja;
- sustav upravljanja radom motora;
- sustav upravljanja letom;
- sustav upozorenja od približavanju tlu;
- transponder;
- sustav upravljanja pretkrilcima i zakrilcima. [27]

4.5.4.2. Sustav grijanja Pitot cijevi

Sustav grijanja Pitot cijevi služi za zaštitu cijevi od zaleđivanja. Tri neovisna računala nadziru i kontroliraju rad grijača Pitot cijevi, senzora ukupne temperature zraka, senzora statičkog tlaka te senzora napadnog kuta. Jedno računalo vrši navedeno za sustav senzora „kapetan“, jedno za sustav senzora „prvi časnik“ i jedno za sustav pričuvnih senzora. Tijekom leta, senzori se kontinuirano griju. Istraga nije utvrdila neispravnost u radu grijača. [27]

U slučaju specifičnih meteoroloških uvjeta, u kojima su prisutni kristalići leda, može doći do neispravnosti u radu Pitot cijevi. Pri velikim visinama leta (iznad 30.000 ft) i u uvjetima zaleđivanja, može doći do neispravnosti u radu Pitot cijevi koja je privremena i reverzibilna. U spomenutim uvjetima, ne dolazi do vidljivog nakupljanja leda na Pitot cijevi, već kristalići leda udaraju u površinu zrakoplova, a postoji mogućnost i da isti ulete u otvor Pitot cijevi. Ovisno o brzini i visini leta, temperaturi zraka te ako je koncentracija kristalića leda veća od sposobnosti odleđivanja grijača i drenažnih otvora, može doći do nakupljanja istih unutar Pitot cijevi. Navedeno za posljedicu ima blokiranje struje zraka u Pitot cijev i nemogućnost mjerenja ukupnog tlaka. U trenutku kada koncentracija kristalića leda postane manja od sposobnosti odleđivanja grijača, isti se otapaju što omogućuju ponovno mjerenje zračne brzine. Opisano blokiranje Pitot cijevi uobičajeno traje 1-2 minute. [27]

Jedna od posljedica blokiranja Pitot cijevi jest pad indiciranog Machovog broja i CAS-a. Pad Machovog broja za posljedicu ima pad izmjerene visine leta s obzirom na to kako ADR više ne može izračunati korekciju za statički tlak u odnosu na Machov broj. Pad je za svaki ADR različit: u uvjetima leta vrijednost pada u visini iznosi 300-350 ft za ADR 1 i 2, a 80 ft za ADR 3. [27]

Između veljače 2005. i ožujka 2009. godine Airbus je izviješten od strane deset korisnika Airbusa A330 o 16 incidenata prilikom krstarenja zrakoplova, pri čemu je došlo do gubitka indikacije zračne brzine uslijed blokiranja protoka na najmanje dvije Pitot cijevi istovremeno. Navedeni problemi događali su se na letovima velikih visina u uvjetima zaleđivanja. Airbus je bez dodatnih obrazloženja izdao preporuku o zamjeni postojećeg modela Pitot cijevi, ali ista nije bila obavezna. Isti stav je zauzela i EASA. [27]

4.5.4.3. Sustav autopilota, upravitelja leta i automatskog potiska

Sustavi autopilota, upravitelja leta i automatskog potiska osiguravaju se putem dva računala za upravljanje letom (engl. *Flight Management Guidance and Envelope Computer* – FMGEC), a spregnuti su s računalom za upravljanje (engl. *Flight Control Computer* – FCU) koji vrši izvršne radnje. Naredbe FD-a prikazane na primarnom pilotskom zaslonu s lijeve strane daje FMGEC 1, a one prikazane na primarnom pilotskom zaslonu s desne strane FMGEC 2. Kako bi FD pravilno izdavao naredbe za ovojnicu[6] leta, FMGEC treba podatke s bar dva ADR-a i IR-a, pri čemu ih mora smatrati važećima. FMGEC vrši usporedbu podataka iz ADR-ova i traži devijaciju podataka jednog u odnosu na drugi ADR. Ako, primjerice, jedan podatak ADR-a znatno odstupa od vrijednosti istog podatka preostala dva ADR-a, taj se podatak smatra nevažećim i ne koristi se. Ako su podaci s dva ADR-a nevažeći, FMGEC više ne može izračunati putanju za FD i pokazivači će nestati, pri čemu se FD ne isključuje. U navedenom slučaju će, ako su uključeni, doći do automatskog isključivanja autopilota i automatskog potiska. U slučaju važećih podataka o zračnoj brzini, indikatori FD-a se ponovno pojavljuju na instrumentu, a autopilot i automatski potisak je potrebno ponovno fizički uključiti. [27]

4.5.4.4. Zakoni upravljanja

Airbus A330 posjeduje *Fly-by-Wire* sustav upravljanja. Upravljanje zrakoplovom se vrši pomicanjem upravljačke palice, čiji se pomaci pretvaraju u električni signal i šalju u računalo za upravljanje. Zrakoplov posjeduje tri primarna i tri sekundarna računala za upravljanje. Njihova uloga je izračunati položaj upravljačkih površina kao funkciju pomaka upravljačke palice. Ova transformacija se temelji na zakonima

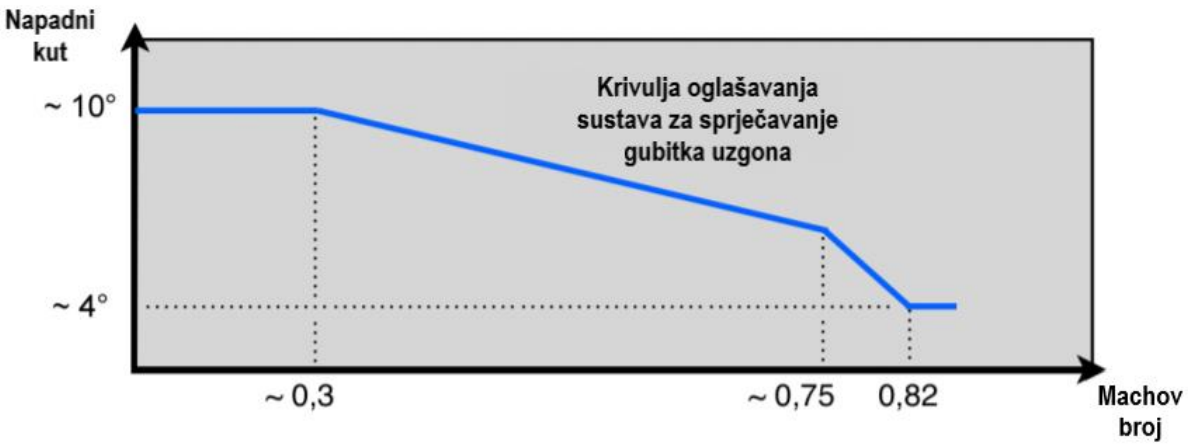
[6] Ograničenje leta promatrane letjelice koje se tiče ostvarive brzine i visine leta.

upravljanja. U normalnim operativnim uvjetima, zakon upravljanja se naziva normalnim, a uz to postoje još i; alternativni zakon 1, alternativni zakon 2 i izravni zakon. Normalni zakon pruža potpunu zaštitu ovojnice leta u pogledu položaja zrakoplova i opterećenja kod velikih brzina i velikih napadnih kutova. Alternativni zakoni pružaju manju zaštitu: alternativni zakon 1 i dalje kontrolira brzinu nagiba zrakoplova, dok se u alternativnom zakonu 2 naredbe putem upravljačke palice izdaju izravno krilcima. Kod izravnog zakona ne postoje zaštite i naredbe se vrše izravno prema upravljačkim površinama. [27]

Kao i FMGEC računalo, primarna računala vrše validaciju parametara za postizanje normalnog rada. U slučaju devijacije podataka o zračnoj brzini, računalo odbacuje isti te izračunava prosječnu vrijednost preostala dva podatka o brzini. U slučaju da postoji odstupanje u sva tri podatka o zračnoj brzini, dolazi do automatske rekonfiguracije u alternativni zakon 2. Osim toga, do automatske rekonfiguracije u alternativni zakon 2 dolazi kada zračna brzina padne za više od 30 čvorova u vremenu manjem od jedne sekunde. U alternativnim i izravnom zakonu ne postoji zaštita od velikih napadnih kutova, već samo oglašavanje o gubitku uzgona pri kritičnim napadnim kutovima. [27]

4.5.4.5. Zaštita od velikih napadnih kutova

Normalni zakon *Fly-by-Wire* sustava upravljanja na A330 daje zaštitu od postizanja velikih napadnih kutova, pri čemu se ne dopušta približavanje kritičnom napadnom kutu koji bi doveo do sloma uzgona. Zrakoplov ne može izgubiti uzgon čak ni u slučaju da pilot cijelo vrijeme upravljačkom palicom daje naredbu o podizanju nosa zrakoplova. U slučaju kada vrijednost izmjerene CAS brzine iznosi manje od 60 čvorova, vrijednosti izmjerenog napadnog kuta se smatraju nevažećima i dolazi do isključenja sustava za sprječavanje gubitka uzgona. Protok struje zraka mora biti dovoljan kako bi izmjerena vrijednost napadnog kuta bila važeća te kako ne bi došlo do pogrešnog uzbunjivanja. Prag sustava za sprječavanje gubitka uzgona na zrakoplovu A330 ovisi o Machovom broju i oglašava se prije podrhtavanja upravljačke palice (slika 17). [27]



Slika 17. Prag sustava za sprječavanje gubitka uzgona u ovisnosti o Machovom broju, [27]

Gubitak zračne brzine povećanjem napadnog kuta ovisi o režimu leta, a prikazan je tablicom 14.

Tablica 14. Gubitak zračne brzine u ovisnosti o režimu leta i napadnom kutu

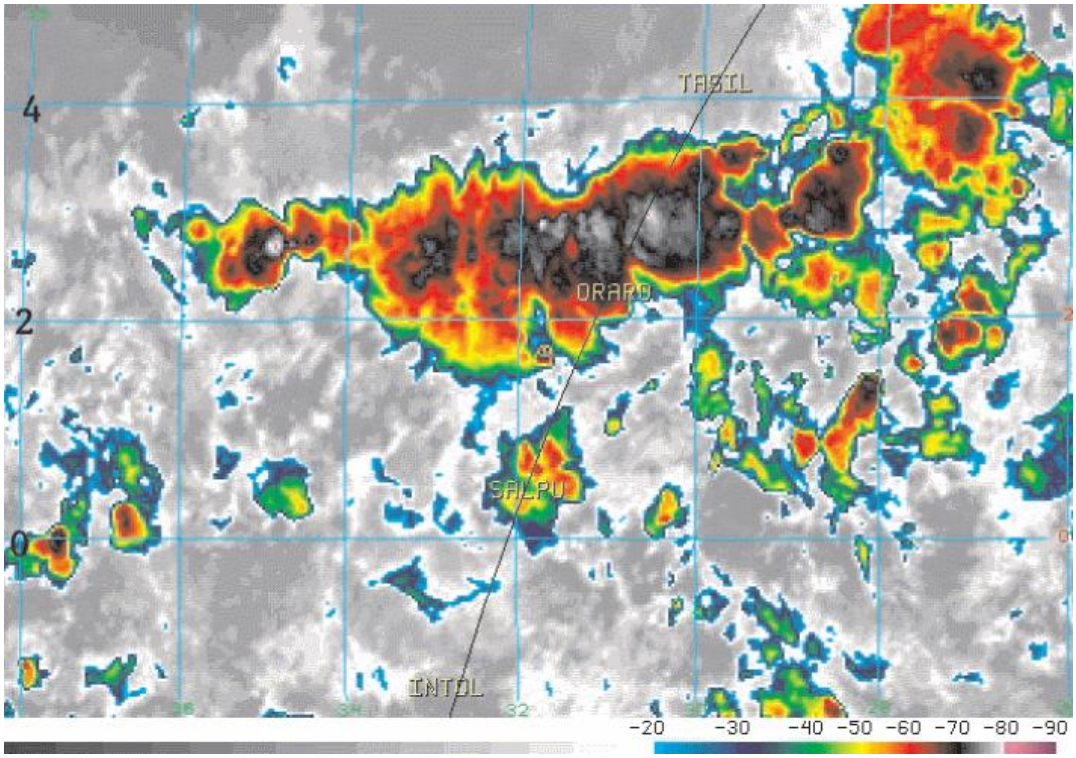
Režim leta	Krstarenje	Polijetanje/prilaz
Smanjenje indicirane brzine za povećanje napadnog kuta u iznosu od 1°	25 čvorova	5 čvorova

Izvor: [27]

Napadni kut nije izravno prikazan pilotu, već se kao parametar koristi za sustav za sprječavanje gubitka uzgona. Kada su podaci dobiveni putem ADR-a nevažeći, sustav se isključuje.

4.5.5. Meteorološki uvjeti

Na planiranoj ruti leta AF447 postojala je jaka grmljavinska oluja usred Atlantskog oceana u intertropskoj zoni konvergencije[7] (slika 18).



Slika 18. Intertropska zona konvergencije, [28]

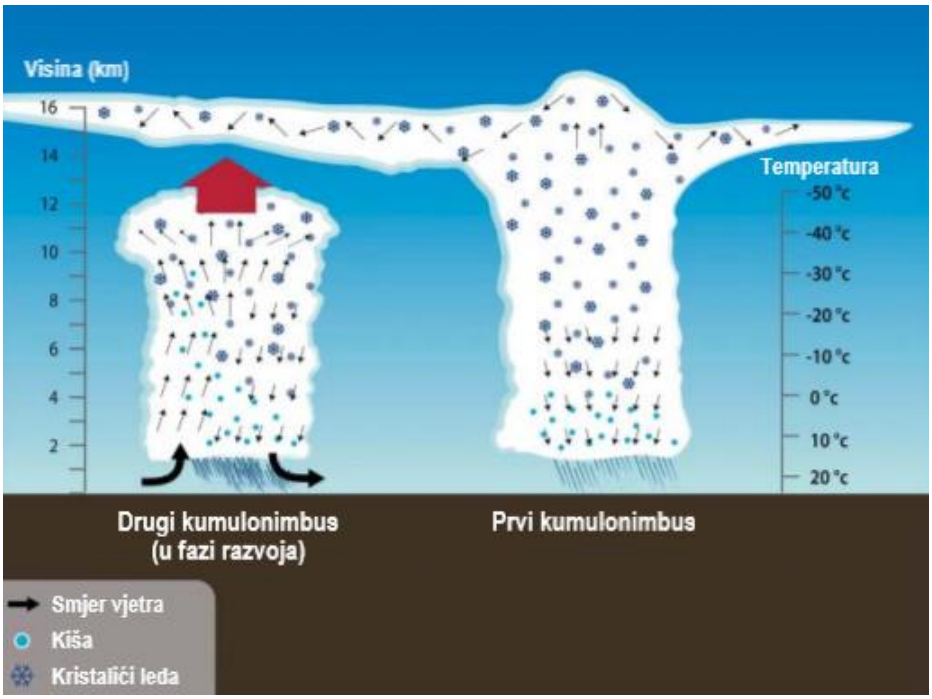
Olujna ćelija imala je značajan vertikalni razvoj pri čemu se prostirala do 55.000 ft u visinu, a temperatura na gornjoj granici oblaka je iznosila −78 °C. [28] Na temelju satelitske snimke u infracrvenom (engl. *Infrared* – IR) spektru nije moguće utvrditi da

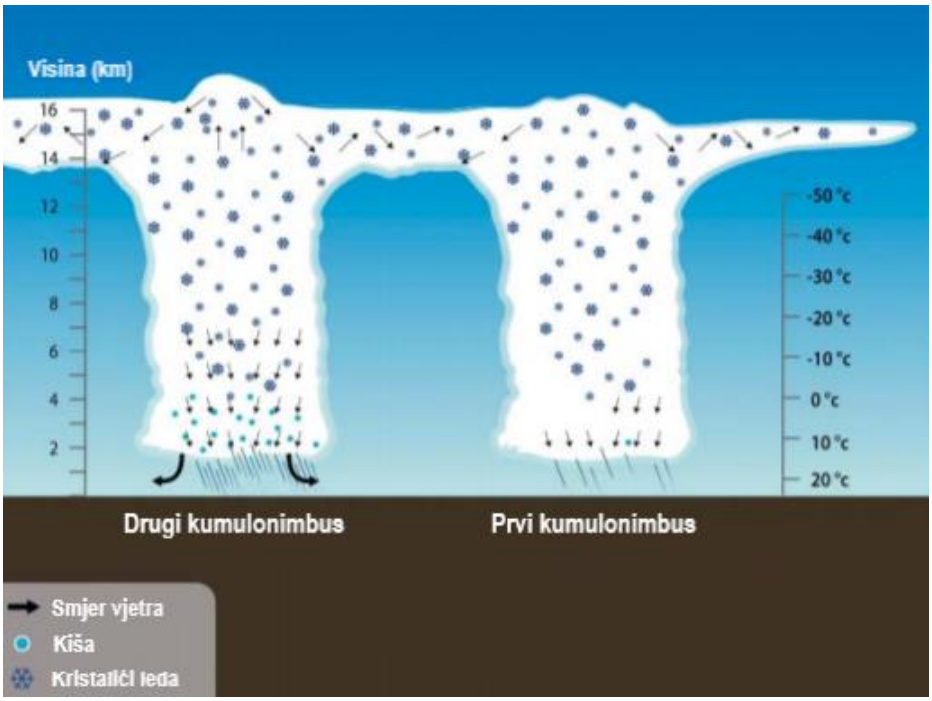
[7] Također se naziva ekvatorska konvergencijska zona, a odnosi se na pojas ekvatora i uglavnom ga karakteriziraju snažne grmljavinske oluje na širokom području.

je olujna aktivnost bila toliko ozbiljna da je dovela do pada zrakoplova A330-203, ali se može uočiti stvoreni klaster jakih kumulonimbusa koji su bili vidljivi od 00:30 h nadalje. Navedeni olujni klaster je nastao kao posljednja spajanja četiri manja olujna klastera, a prostirao se 400 km u smjeru istok-zapad. Prema analizi satelitskih snimki smatra se kako je do 02:00 h kumulonimbus napredovao do zrele faze, a moguće je da su na razini leta FL 350 postojala područja intenzivnije turbulencije. Također, postojala je mogućnost značajnog električnog pražnjenja, ali na navedenoj razini leta mala je vjerojatnost od značajnih količina super ohlađenih kapljica vode.

4.5.5.1. Nastanak olujnog klastera

Vertikalni razvoj kumulonimbusa ograničen je tropopauzom, čija je visina u intertropskoj zoni konvergencije uobičajeno između 15 i 18 km. Kada gornja baza kumulonimbusa dostigne tropopauzu u svojoj zreloj fazi, gornji sloj oblaka započinje horizontalno širenje na visini tropopauze te se stvara „nakovanj“. Zrak koji „hrani“ kumulonimbus se širi i hladi u penjanju i pri određenoj visini, kada se približava tropopauzi, postaje hladniji od okoline te započinje silazno strujanje koje prvo usporava, a potom i zaustavlja daljnji vertikalni razvoj kumulonimbusa. U tom uzlaznom strujanju oblaci mogu privremeno probiti tropopauzu i ta se pojava naziva iskakanje. Strujanje u gornjem dijelu kumulonimbusa, u njegovoj fazi razvoja, može doseći brzine uzlaznog strujanja od 110 km/h i silaznog strujanja od 50 km/h. Brzina navedenog strujanja može varirati unutar samog oblaka za više od 70 km/h na udaljenosti od samo 2 km. Super ohlađene kapljice vode uobičajeno se nalaze u donjem središnjem dijelu oblaka gdje vladaju temperature između 0 i −25 °C, no mogu se pojaviti i na −40 °C. Kumulonimbusi se mogu spojiti međusobno i stvoriti olujni klaster (slika 19).





Slika 19. Razvoj klastera kumulonimbusa, [29]

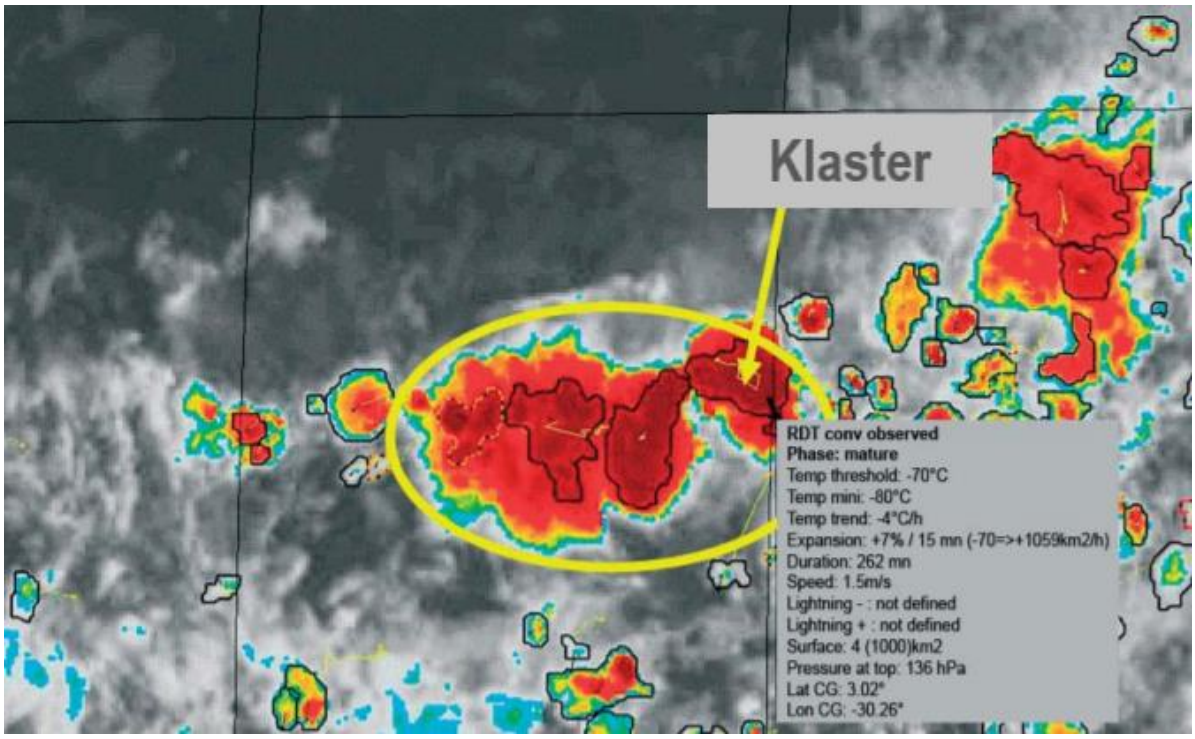
U intertropskoj zoni konvergencije komercijalni zrakoplovi lete na visinama ispod „nakovanja“ kumulonimbusa.

4.5.5.2. Analiza olujnog klastera na ruti leta zrakoplova A330-203

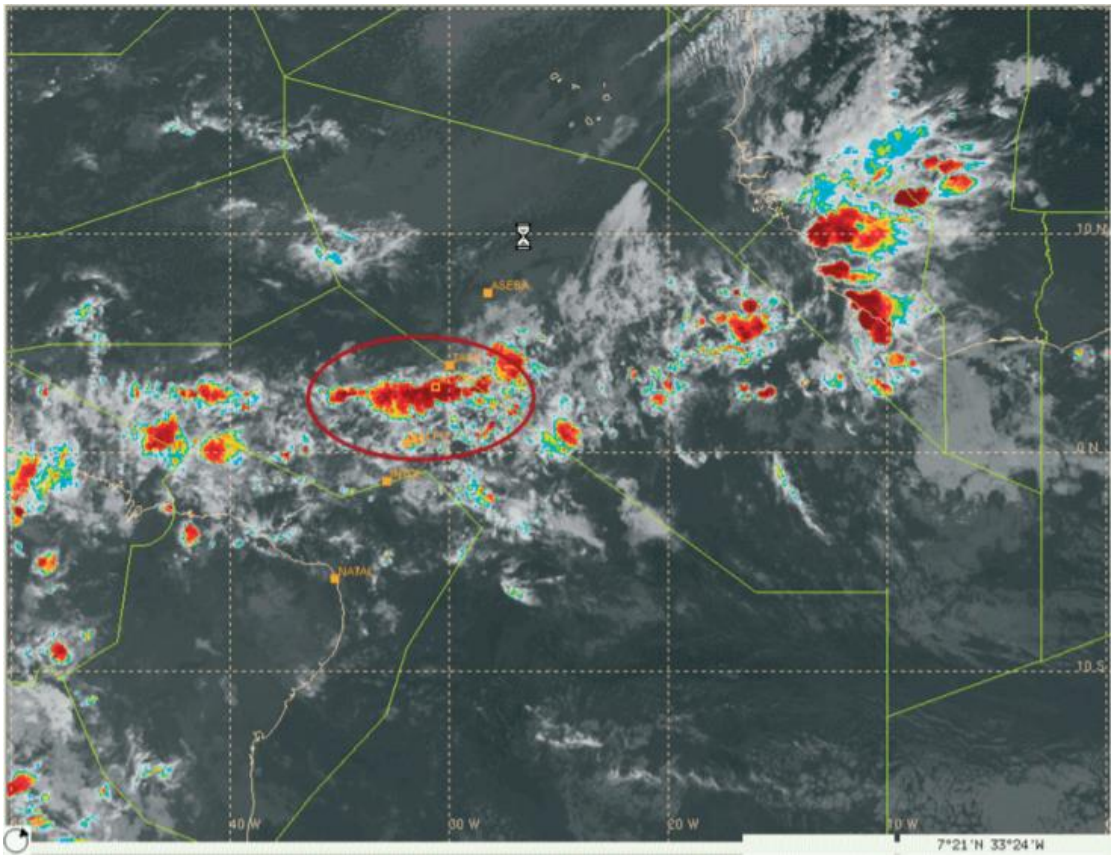
Između 00:30 i 03:00 sati, snimke u infracrvenom spektru pokazale su formiranje klastera kumulonimbusa orijentacije istok-zapad koji se nalazio na ruti leta AF447, raspona 400 km (slika 20). Oko 02:00 h klaster je obuhvatio neke od snažnijih kumulonimbusa na tom području koji su imali jak vertikalni razvoj. Međutim, sa satelitskih snimki se ne može uočiti postojanje značajnog odstupanja u temperaturi vrha kumulonimbusa i tropopauze koje bi ukazivalo na pojavu iskakanja kumulonimbusa i stvaranja vrlo ozbiljnih turbulencija.

Slika 21 u nastavku prikazuje snimku u infracrvenom spektru satelita Meteosat 9 (u 02:07 h), na kojem obojena područja prikazuju oblake temperature niže od −40°C. Klaster označen crvenom elipsom pokazuje područje na kojem je bio planiran let zrakoplova A330-203 temeljem javljanja putem ACARS[8] sustava.

[8] ACARS (engl. *Aircraft Communications, Addressing and Reporting System*) sustav za zrakoplovnu komunikaciju, adresiranje i izvještavanje

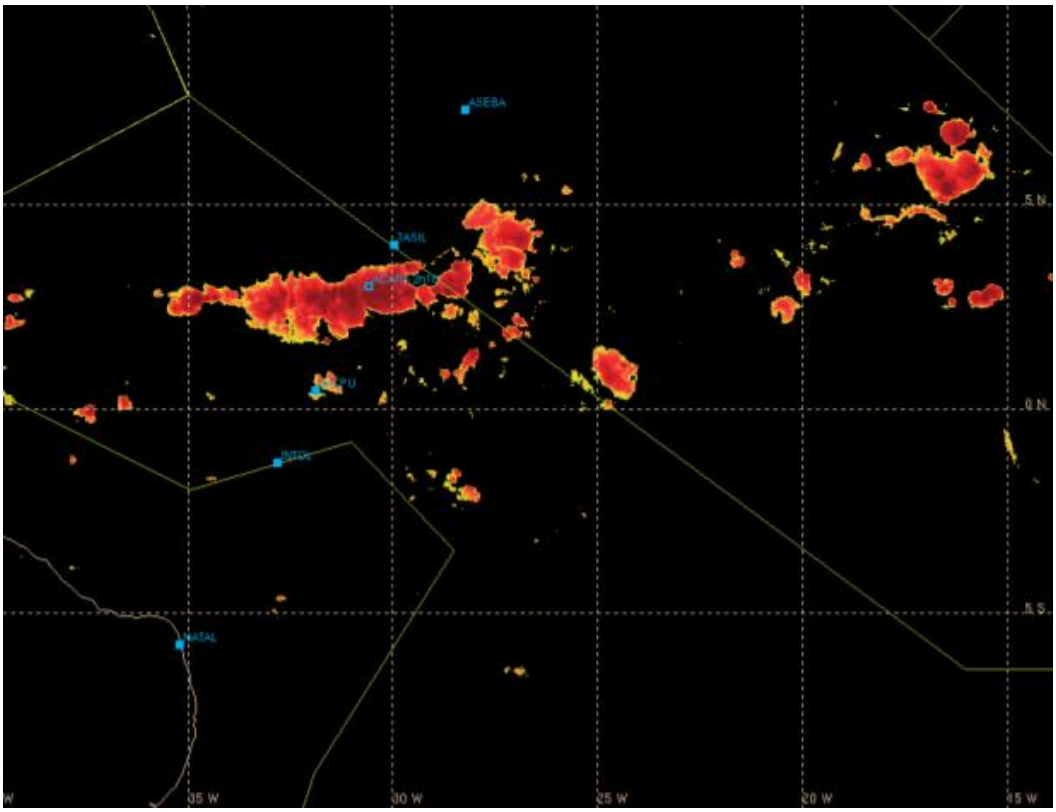


Slika 20. Satelitska snimka u IR spektru razvoja klastera (00:37 h), [29]

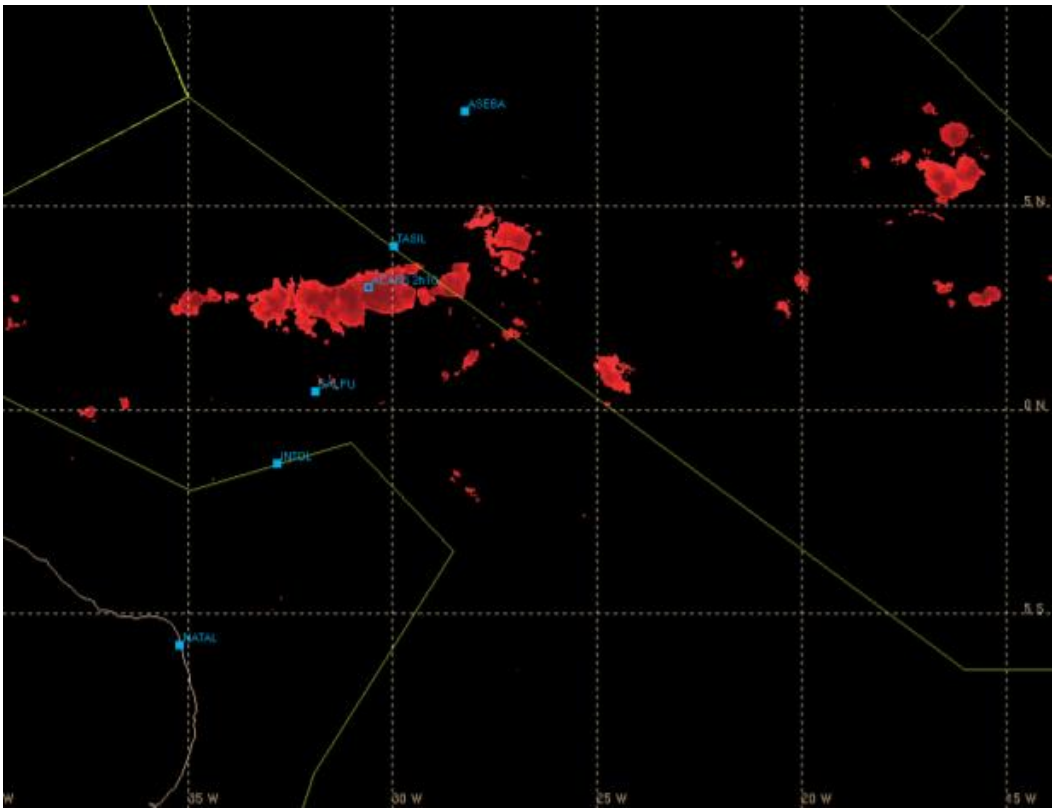


Slika 21. Satelitska snimka u IR spektru (02:07 h), [29]

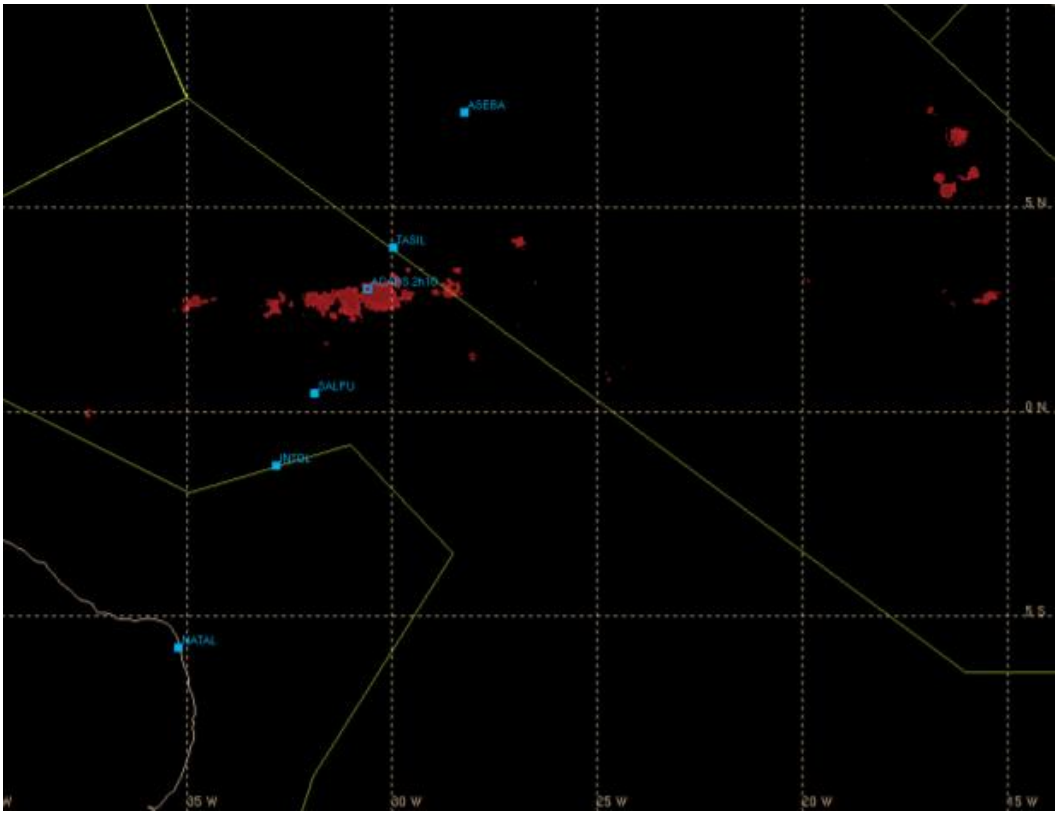
Slike 22, 23, 24 i 25 u nastavku prikazuju satelitske snimke u infracrvenom spektru s filtriranim temperaturama oblaka od −50 °C, −60 °C, −70 °C i −75 °C te točke javljanja posade leta 447 putem ACARS sustava.



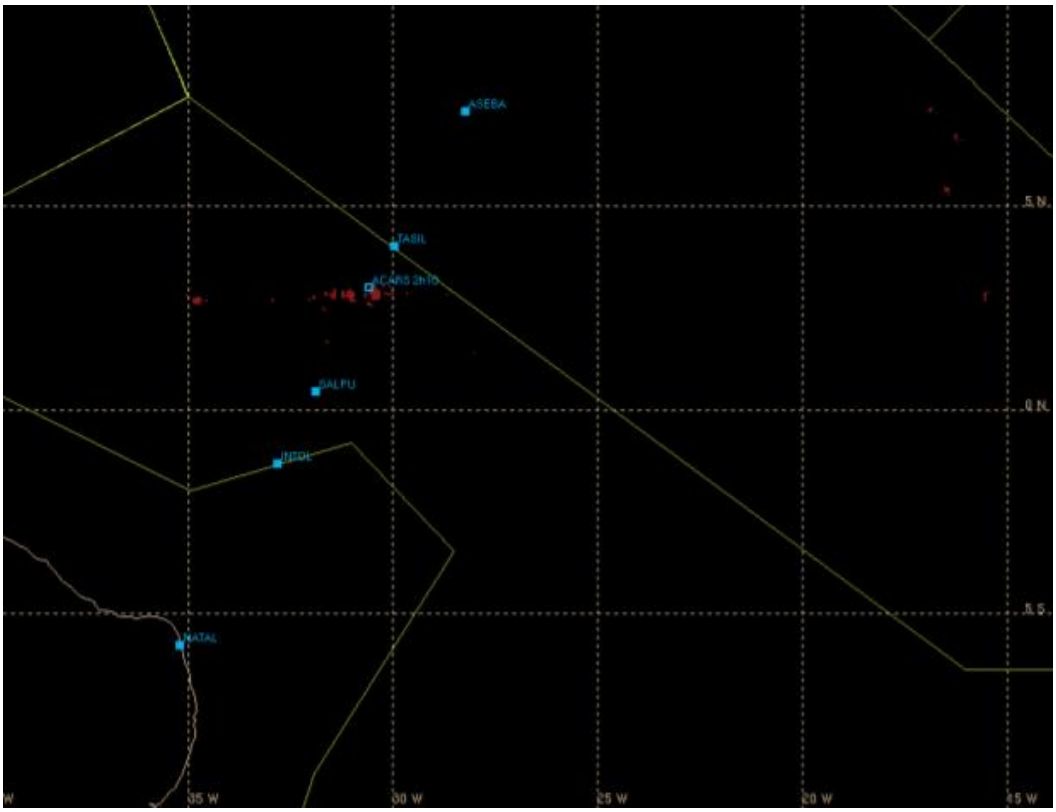
Slika 22. Snimka u IR spektru s filtriranim temperaturama nižim od −50 °C, [29]



Slika 23. Snimka u IR spektru s filtriranim temperaturama nižim od −60 °C, [29]

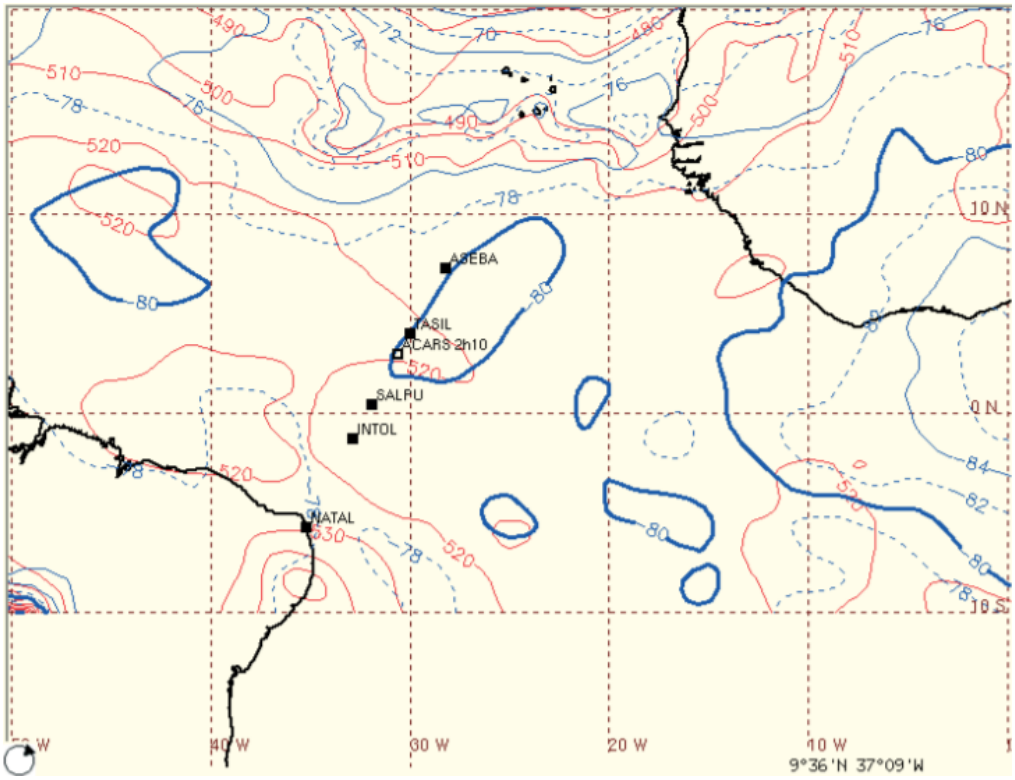


Slika 24. Snimka u IR spektru s filtriranim temperaturama nižim od −70 °C, [29]



Slika 25. Snimka u IR spektru s filtriranim temperaturama nižim od −75 °C, [29]

Prema satelitskim snimkama u infracrvenom spektru je vidljivo da je u 02:07 sati najniža temperatura iznosila −75 °C. Tropopauza se u tom trenutku nalazila na visinama između razina leta FL 500 i FL 520 (slika 26). S obzirom na zabilježenu temperaturu oblaka, vidljivo je kako su kumulonimbusi u klasteru došli do faze sazrijevanja, ali s obzirom na temperaturu od −75 °C nije moguće utvrditi da je nastupila pojava iskakanja koja bi uzrokovala vrlo ozbiljne turbulencije.



Slika 26. Temperatura i visina tropopauze 1. lipnja 2009. u 0:00 h, [29]

4.5.6. Analiza nesreće zrakoplova A330-203

Nesreća zrakoplova A330-203 rezultat je spleta okolnosti i nerazumijevanja situacije u kojoj se posada našla, kao posljedica nakupljanju kristalića leda u Pitot cijevi koji su doveli do nemogućnosti mjerenja ukupnog tlaka. Mogući problem u neispravnosti rada Pitot cijevi kod leta na velikim visinama i uvjetima zaleđivanja bio je poznat zrakoplovnoj zajednici, a smatralo se kako ne predstavlja velik problem za sigurnosti leta. Sukladno uputama proizvođača zrakoplova (procedura u slučaju gubitka indikacije brzine), problem je privremen i pristupa mu se odgovarajućim podizanjem nosa zrakoplova i postavkom snage motora.

Prije isključenja autopilota, zrakoplov se nalazio u stabilnom režimu krstareći brzinom 0,8 Macha koja je bila preporučena za probijanje turbulentnih područja. Nakupljanje kristalića leda u Pitot cijevi dovelo je do gubitka indikacija brzine zrakoplova i isključenja autopilota. S obzirom na stanje posade i njihovu okupiranost taktikom pristupanja turbulenciji, isključenje autopilota nisu doživjeli kao posljedicu gubitka zračnih brzina uslijed blokiranja Pitot cijevi kristalićima leda.

Po isključenju autopilota, a uslijed turbulencije došlo je do nagiba zrakoplova u desnu stranu, na što je pilot, koji je upravljao zrakoplovom, iznenađeno reagirao naglim pomakom palice u lijevu stranu i oscilacijama u pokušaju ravnanja zrakoplova.

Oscilacije su posljedica prilagodbe pilota na upravljanje pri velikim visinama i u alternativnom zakonu kod kojeg ne postoje zaštite i jači su odzivi zrakoplova na pomak palice. Nadalje, pilot je zadao nepotrebno i naglo podizanje nosa zrakoplova što je za zadani režim leta bilo prekomjerno i označavalo je položaj gubitka uzgona zrakoplova. Ovo je dovelo do oglašavanja sustava za sprječavanje gubitka uzgona. Oba pilota su oglašavanje vjerojatno zanemarila zbog efekta iznenađenja situacijom i prvotnim ne primjećivanjem da se nalaze u alternativnom zakonu upravljanja koji ne posjeduje zaštitu od prekomjernog napadnog kuta.

Po izvršenju prethodnih radnji posada je pristupila identifikaciji problema te su tek desetak sekundi nakon isključenja primijetili gubitak indikacije brzine. U tim trenucima niti jedan od pilota nije shvaćao situaciju u kojoj se nalaze. Po vraćanju prikaznika upravitelja leta na primarnom instrumentu (koji su pokazivali spuštanje nosa zrakoplova), pilot koji nije upravljao zrakoplovom davao je upute pilotu koji je upravljao da pazi na brzinu i nos zrakoplova, s obzirom na to kako je zrakoplov bio u penjanju. Iako je pilot koji je upravljao zrakoplovom u nekoliko navrata spuštao nos zrakoplova, uzdužni nagib zrakoplova je i dalje bio preko 10°. Ubrzo nakon toga, prikaznici upravitelja leta pokazali su potrebu za podizanjem nosa zrakoplova, zbog čega je pilot koji je upravljao nastavio podizati nos zrakoplova uz istovremeno smanjenje snage motora. Prema navedenim postupcima, može se zaključiti kako je pilot koji je upravljao zrakoplovom bio svjestan da je zrakoplov u penjanju, ali s obzirom na to kako nije u potpunosti shvaćao situaciju, mislio je kako postoji opasnost od prekoračenja brzine zrakoplova. Zrakoplov se u ovom trenutku i dalje nalazio u penjanju.

Četiri sekunde prije drugog oglašavanja gubitka uzgona (po ponovnom uspostavljanju protoka u Pitot cijev), upravitelj leta pokazivao je na potrebnu vrijednost vertikalne brzine od +1400 ft/min, a prikaznik je bio nešto iznad nosa zrakoplova na umjetnom horizontu. Pilot koji je upravljao je dodatno podizao nos zrakoplova čime je dodatno povećavao napadni kut. U trenutku drugog oglašavanja gubitka uzgona zrakoplov je imao uzdužni nagib od 7° i povećavao se. Pilot koji je upravljao je ponovno povećao snagu motora te je pokušavao održati horizontalan let zrakoplova. No, s obzirom na to kako nije posjedovao podatak o brzini moguće je kako je mislio da je zrakoplov u prekoračenju brzine s obzirom na aerodinamičku buku, vibriranje palice i indikator trenda brzine koji je tom trenutku ukazivao na ubrzavanje. Nagib zrakoplova je cijelo vrijeme bio na oko 12,5° kako je pokazivao upravitelj leta. Pilot je vjerojatno pokušavao pratiti prikaznike te mu je u podsvijesti bio navedeni nagib zrakoplova s obzirom na to da je to nagib koji se u procedurama pojavljuje kod gubitka uzgona na polijetanju. Pilot koji nije upravljao preuzeo je kontrole od drugog pilota i pokušao izvršiti spuštanje nosa zrakoplova. U tom trenutku, bez objašnjenja, drugi pilot je i dalje držao upravljačku palicu prema sebi što je dovelo do poništavanja naredbi.

Kada se kapetan vratio u kabinu, sigurno je vidio nagib zrakoplova od otprilike 15° kao i oglašavanje sustava na gubitak uzgona i visinu zrakoplova koja je bila nešto

ispod visine leta kada je napustio kabinu. Dodatno je bilo zbunjujuće ponovno paljenje i gašenje sustava za uzbunjivanje o gubitku uzgona, što je bilo posljedica velikih napadnih kutova. Sustav se nije oglašavao kada je napadni kut bio prekoračen u toj mjeri da ga je sustav smatrao nevažećim.

U 02:12, zrakoplov je padao kroz razinu leta FL 315, a prosječni napadni kut je iznosio 40°. Tek nakon izjave pilota koji je upravljao zrakoplovom, kako ne razumije što se događa i kako je cijelo vrijeme podizao nos zrakoplova, kapetan shvaća situaciju u kojoj se nalaze. No ubrzo nakon toga, oglašava se sustav približavanju tlu i zrakoplov pada u ocean.

Nesreća je stoga posljedica uzastopnih događaja:

- Privremeno ne mjerenje zračne brzine uslijed blokiranja Pitot cijevi kristalićima leda, što je dovelo do isključivanja autopilota i rekonfiguracije u alternativni zakon upravljanja.
- Neprimjereni pomaci upravljačke palice koji su doveli do poremećaja stabilnosti zrakoplova.
- Ne identifikacija gubitka uzgona zrakoplova.
- Nedostatak potrebnih radnji koje bi izvele zrakoplov iz gubitka uzgona.

4.5.7. Preporuke za povećanje sigurnosti

Nakon provedene istrage zrakoplovne nesreće BEA je, uz 16 preporuka koje su već izdane u Preliminarnim izvješćima 2 i 3, izdala 25 novih sigurnosnih preporuka koje uključuju:

- Informiranje i obuku posade u svrhu:
    - Poboljšanja znanja o zrakoplovnim sustavima i promjenama njihovih karakteristika u degradiranim ili neuobičajenim situacijama.
    - Završetka praktične obuke posade i poboljšanja primjene teorijskih osnova, uključujući performanse i mehaniku leta.
    - Razvitka i održavanja kapaciteta upravljanja resursima posade.
    - Poboljšanja pouzdanosti simulatora za realnu simulaciju neuobičajenih situacija.
- Ergonomija zrakoplova u cilju lakšeg prepoznavanja i rješavanja neuobičajenih situacija od strane posade;
- Mehanizmi povratnih informacija za poboljšanje analize operativnih rizika povezanih s ljudskim čimbenicima te promjena postupaka i sadržaj obuke;
- Nadzor operatora u svrhu poboljšanja njegove učinkovitosti;
- Uvođenje SAR usluga i lokalizacija olupina:
    - Kako bi se ubrzala primjena pouzdanih sredstava komunikacije, uključujući i područja u kojima nije dostupna hitna medicinska pomoć.
    - Poboljšanje organizacije traganja i spašavanja u slučaju nesreće na moru. [30]

5. PREPORUKE U CILJU PREVENTIVE ZRAKOPLOVNIH NESREĆA UZROKOVANIH NEPOVOLJNIM METEOROLOŠKIM UVJETIMA

Meteorološke pojave, odnosno nepovoljni meteorološki uvjeti predstavljaju izvore opasnosti za nastanak zrakoplovnih nesreća ili nezgoda. Kao što je već spomenuto, u velikom postotku čine čimbenike koji doprinose riziku od nastanka navedenih događaja ili su glavni uzrok u manjem udjelu zrakoplovnih nesreća ili nezgoda. Na meteorološke pojave se ne može utjecati, ali se može utjecati indirektno mjerama kojima će se smanjiti rizik i učestalost nastanka nesreća ili nezgoda. Prevencija nastanka nesreća uzrokovanih nepovoljnim meteorološkim uvjetima zahtjeva korake poboljšanja sustava informiranja o meteorološkoj situaciji, edukacije te razvoja tehnologije za indiciranje meteoroloških parametra (na zrakoplovu ili na aerodromu) koji označavaju nastanak opasnih meteoroloških uvjeta.

5.1. Mjere u cilju preventive zrakoplovnih nesreća uzrokovanih nepovoljnim meteorološkim uvjetima

Izbjegavanje nestabilnih područja u kojima vladaju nepovoljni, odnosno opasni meteorološki uvjeti, predstavlja glavnu mjeru smanjenja rizika od nesreća uzrokovanih nepovoljnih meteorološkim uvjetima. Kako bi izbjegavanje bilo uspješno, potrebno je provoditi kvalitetno informiranje prije i za vrijeme leta. Informiranje se vrši putem izvješća dobivenih od strane nadležne meteorološke službe kao što su TAF[9], SIGMET[10], METAR[11], satelitske snimke, meteorološke karte, itd. Za vrijeme leta informiranje se vrši putem:

- meteoroloških radara na zrakoplovu;
- ostale opreme za indikaciju meteoroloških parametara (npr. sustav za detekciju zaleđivanja);
- komunikacijskim kanalom. [31]

Meteorološki radar je primarni izvor informacija o meteorološkim uvjetima pri čemu se pružaju informacije pilotu o npr. količini oborina i konvekcijskoj aktivnosti u pogledu kumulonimbusa. Meteorološki radar skenira prostor ispred zrakoplova emisijom i detekcijom povratnog elektromagnetskog vala. Tehnologija meteorološkog radara se neprekidno usavršava kako bi se što bolje identificirali parametri poput: agregatnog stanja oborine (tekuće ili kruto agregatno stanje), detekcije tuče te

[9] TAF (engl. *Terminal Aerodrome Forecast*) prognoza meteoroloških uvjeta na zračnoj luci
[10] SIGMET (engl. *Significant Meteorological Information*) meteorološko izvješće od posebnog značaja
[11] METAR (engl. *Meteorological Aerodrome Report*) izvještaj o trenutačnom stanju meteoroloških elemenata na zračnoj luci

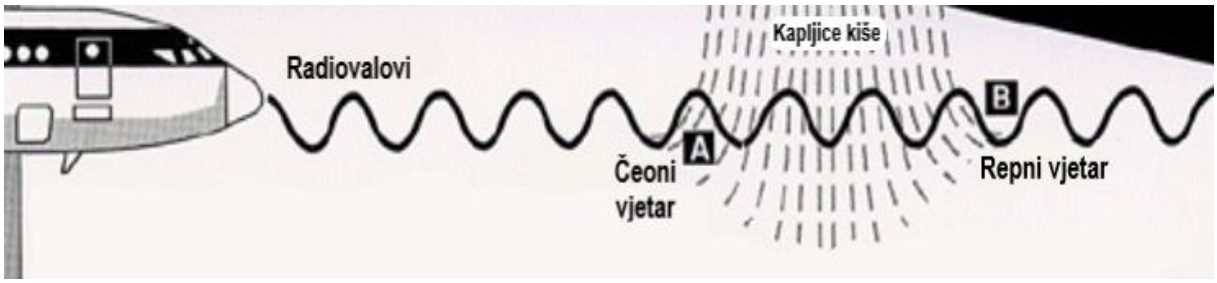
područja u kojima se pojavljuju udari munja. Time pilot u kokpitu izravno dobiva meteorološku sliku koja mu omogućava donošenje taktičke odluke kako bi što bolje identificirao opasna područja te izbjegao ista. Prosječni domet meteorološkog radara iznosi 60 do 160 km, a u kombinaciji s radarima posljednje generacije moguće je skenirati prostor do 640 km u dubinu. Meteorološki podaci dobiveni s meteorološkog radara integriraju se s podacima dobivenih prije leta (npr. SIGMET) i onih za vrijeme leta (ATIS[12], ACARS). Neki meteorološki radari imaju mogućnost ranog upozoravanja na smicanje vjetra, a ograničeni su na davanje identifikacije u režimu polijetanja i slijetanja zrakoplova. [31]

U ostalu opremu za identifikaciju opasnih meteoroloških uvjeta ubrajaju se, primjerice, sustavi za detekciju zaleđivanja, sustavi detekcije smicanja vjetra i sustav detekcije udara munja.

Sustavi za detekciju zaleđivanja uključuju sustave protiv zaleđivanja ili sustave za odleđivanje jednom kada se led na aerodinamičkim površinama već nakupio.

Sustavi za detekciju smicanja vjetra mogu se nalaziti na zrakoplovu ili na zemlji, odnosno aerodromu te mogu biti reaktivni ili prediktivni. Reaktivni sustav detekcije smicanja vjetra koristi algoritme koji, na temelju podataka dobivenih od strane senzora na zrakoplovu, vrše identifikaciju nastanka smicanja vjetra. Drugim riječima, sustav koristi podatke dobivene od strane senzora na zrakoplovu kako bi usporedio aerodinamičke i inercijalne podatke. Na temelju dobivene razlike detektira se gubitak energije zrakoplova što označava pojavu nastanka smicanja vjetra. Drugu vrstu sustava čine prediktivni sustavi koji svoj rad temelje na principu Doppler efekta. Senzor koji vrši detekciju u ovom slučaju, je Doppler radar koji vrši emisiju elektromagnetskog vala. Po nailasku elektromagnetskog vala na oborine (kapljice kiše) u gibanju uslijed smicanja vjetra, dolazi do promjene frekvencije odbijenog radiovala što označava pojavu smicanja vjetra (slika 27). Ograničenje ove vrste sustava je to što radi u uvjetima pojave smicanja zraka uz pojavu oborina. Također, postoje i infracrveni te Doppler LIDAR sustavi detekcije smicanja vjetra. Doppler LIDAR sustav detektira promjene frekvencije reflektirane svjetlosne zrake, a glavna razlika nalazi se u tome što se vrši mjerenje refleksije u odnosu na aerosol u zraku, a ne u odnosu na oborine. Ograničenje ove vrste sustava je to što ne radi dobro u uvjetima jakih oborina. Rad infracrvenog sustava temelji se na mjerenju toplinskog zračenja odnosno promjene temperature u zraku ispred zrakoplova. Detektirana promjena temperature može označavati promjenu u brzini vjetra u pogledu smicanja zraka ili pojave turbulencije. [32]

[12] ATIS (engl. *Automatic Terminal Information Service*) automatska usluga informacija o terminalu

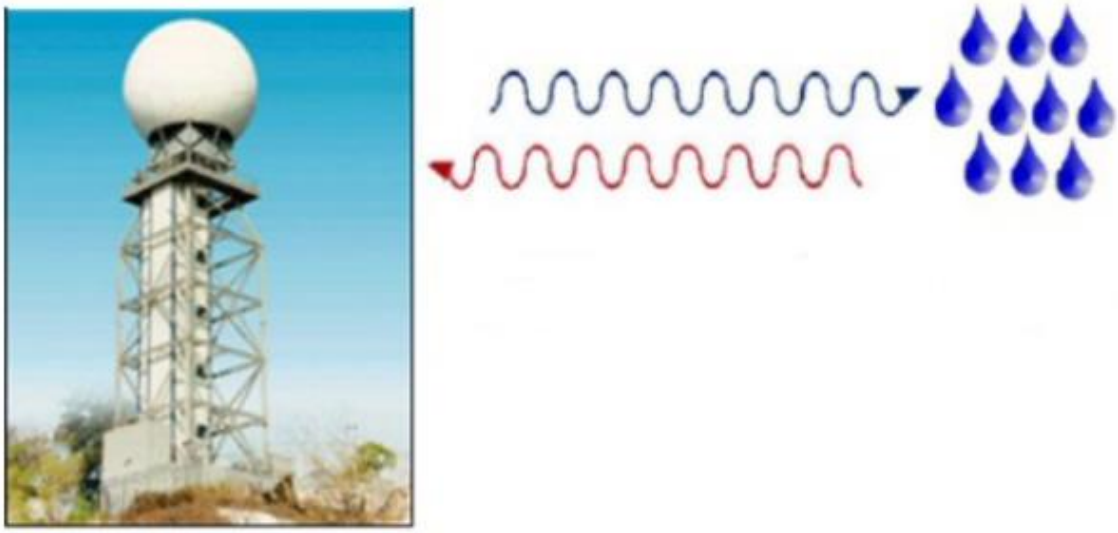


Slika 27. Shematski prikaz rada zrakoplovnog meteorološkog radara, [32]

Također, postoje i sustavi za detekciju smicanja vjetra u prizemnim slojevima na aerodromima koji uzbunjuju kontrolu zračne plovidbe, a ista obavještava pilota u prilazu. Sustav se koristi za detekciju smicanja vjetra na pragovima piste za zrakoplove u polijetanju ili slijetanju. Primjer aerodroma s implementiranim sustavom je aerodrom u Hong Kongu. Sustav za detekciju smicanja vjetra sastoji se od osnovnih elemenata:

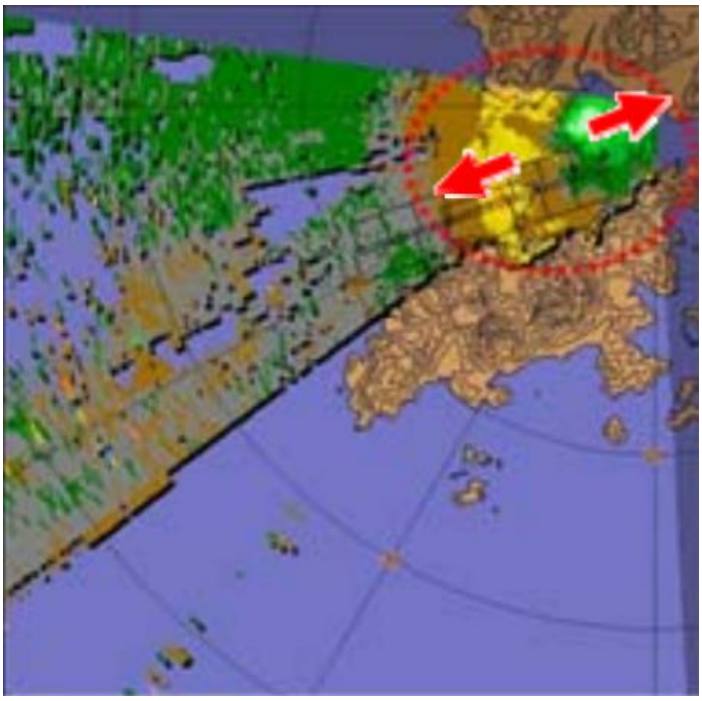
- terminalni Doppler meteorološki radar;
- mreža anemometara;
- mreže profilera vjetra;
- Doppler LIDAR radara. [33]

Terminalni Doppler meteorološki radar vrši detekciju oborina u zraku i njihovo gibanje što daje indikaciju za postojanje smicanja vjetra (slika 28).



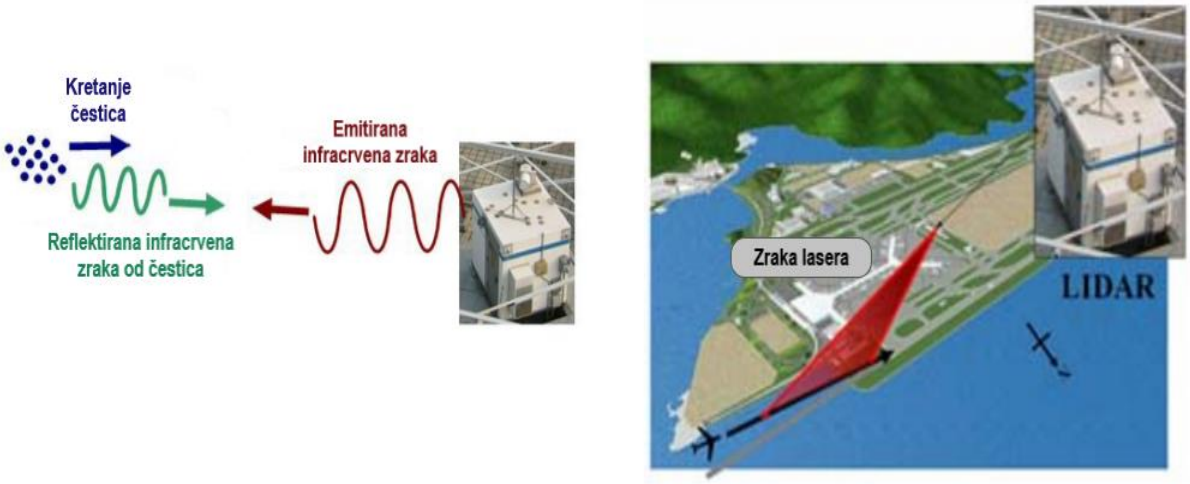
Slika 28. Shematski prikaz rada terminalnog Doppler radara, [33]

Na slici 29 je prikazana detekcija smicanja vjetra: tople boje (smeđa i žuta) pokazuju radijalno strujanje zraka od radara, dok hladne boje (plava i zelena) pokazuju mjesta radijalnog strujanja prema radaru. [33]



Slika 29. Detekcije smicanja vjetra, [33]

Anemometarska mreža predstavlja niz automatskih postaja za mjerenje brzina vjetra. Profileri vjetra su u osnovi vertikalno usmjereni Doppler radari pri čemu se mjeri brzina vjetra na različitim visinama. Doppler LIDAR radar u osnovi je nadopuna za mikrovalni Doppler radar s obzirom na to kako je on ograničen na rad u „mokrim“ uvjetima, odnosno u uvjetima postojanja oborina. LIDAR radar omogućava detekciju smicanja vjetra čak i u uvjetima bez oborina, a usmjeren je u oba smjera USS-e. Na slici 30 je prikazan shematski prikaz rada LIDAR radara. [33]



Slika 30. Shematski prikaz rada LIDAR radara, [33]

Glavna funkcija sustava za detekciju udara munja na zrakoplovu je detekcija i izbjegavanje olujnih nevremena koja mogu predstavljati veliki problem prilikom leta zrakoplova. Sustav putem senzora odnosno radio prijamnika detektira elektrostatičko pražnjenje uslijed udara munje. Očitani podaci se obrađuju u računalu, a njihov

položaj se prikazuje na ekranu. Uređaji prikazuju točan kut pod kojim dolazi do elektrostatičkog pražnjenja, ali su manje točni kod prikazivanja udaljenosti. Jaka elektrostatička pražnjenja obično su prikazana bliže nego što zapravo jesu, a slabija su prikazana dalje. Također, sustavi pružaju pogled na svih 360° oko zrakoplova i mogu se koristiti i na zemlji prije polijetanja. Sustave za detekciju udara munja nadopunjuje meteorološki radar na zrakoplovu s obzirom na to kako meteorološki radar ne bilježi udare munja. [34]

Informiranje o meteorološkim uvjetima se također odvija preko komunikacijskog kanala ATIS. Na ovaj način posada sluša informacije o meteorološkim uvjetima i bilježe iste. Nadalje, informacije se mogu dobiti i putem ACARS sustava. Ova vrsta informacija je ograničene duljine sadržaja o meteorološkim uvjetima. [31]

5.2. Preporuke za poboljšanje mjera u cilju preventive zrakoplovnih nesreća uzrokovanih nepovoljnim meteorološkim uvjetima

Piloti imaju potpunu odgovornost za sigurnost posade i putnika, a ponekad im nije pruženo dovoljno informacija o meteorološkim uvjetima. Razlog navedenom može biti limitiranost meteoroloških izvješća, svojstava komunikacijskih sustava ili opreme zrakoplova. Prvi element poboljšanja mjera počiva na poboljšanju dostupnosti informacija o meteorološkim uvjetima pilotima u kokpit. Drugi element sveukupnog pristupa učinkovitosti mjera nalazi se u poboljšavanju svijesti o meteorološkim uvjetima i razumijevanje istih. Poboljšanje informacija o meteorološkim uvjetima uključuje:

- poboljšanje meteorološkog informiranja prije leta;
- poboljšanja opreme zrakoplova;
- frekventnija ažuriranja meteorološkog stanja;
- dostupnost meteoroloških informacija. [31]

Meteorološka situacija se može izmijeniti do trenutka polijetanja, posebice ako se radi o dugim letovima. Uz to, informacije se dobivaju u pred-definiranim formatima koji su bili odgovarajući u povijesti. Meteorološko informiranje trebalo bi biti dinamičnije u više interaktivnim formatima. Nadalje, informiranje komunikacijskim kanalima je jednostrano što znači da piloti mogu samo slušati informacije o vremenu. Pilot može tražiti i nadopunu meteoroloških informacija preko ACARS-a, a ograničenje kod navedenog je brzina i količina podataka koji se mogu primiti. Također, potrebno je spomenuti kako ACARS nije obavezan na svim zrakoplovima. Neki zrakoplovi posjeduju internetski protokol preko satelitske komunikacije koji može biti iskorišten za primanje većih meteoroloških informacija od onih koji stižu preko ACARS-a. Uz informacije dobivene od nadležne meteorološke službe, postoji još niz

neregulirani pružatelja meteoroloških informacija, čije informacije mogu koristiti za upotpunjavanje cjelokupne slike o meteorološkim uvjetima koji vladaju. [31]

Drugi element poboljšanja mjera uključuje:

- edukaciju pilota;
- uvođenje meteoroloških radara zadnjih generacija;
- grafičko poboljšanje meteoroloških informacija;
- integraciju meteorološkog informiranja. [31]

Edukacija pilota je nužna za bolje razumijevanje meteoroloških uvjeta i mogućnosti nastanka opasnih pojava. Uz navedeno, edukacija pilota uključuje potrebnu obuku i osposobljavanje za rad i razumijevanje sustava meteorološkog radara i njegovih ograničenja. Nadalje, meteorološke informacije moraju biti pružane na jednostavan način, s ciljem smanjenja opterećenosti pilota tako da se koristi odgovarajuća grafika. Kombinacija boja, filtera i simbola na adekvatan način može smanjiti vrijeme razumijevanja informacija i ubrzati donošenje odluke pilota. Također, meteorološke informacije mogu biti integrirane u kokpit sustavom „elektroničke torbe“ kojom pilot može pristupiti dinamičkim i interaktivnim meteorološkim kartama. [31]

6. ZAKLJUČAK

Meteorološki uvjeti predstavljaju izvore rizika nastanka zrakoplovnih nesreća. Kao takvi, ponekad predstavljaju nevidljive ili iznenadne opasnosti na koje se ne može utjecati već ih se samo može izbjegavati ili pokušati smanjiti. Meteorološki čimbenici mogu biti čimbenici koji uz ostale čimbenike doprinose nastanku zrakoplovnih nesreća ili su uzrok nesreća kao samostalni čimbenici. U najopasnije meteorološke čimbenike ubrajaju se turbulencija, smicanje vjetra, zaleđivanje zrakoplova, smanjena vidljivost te grmljavinska oluja.

U pogledu kategorija zrakoplovnih nesreća, kao visokorizične kategorije događaja s obzirom na učestalost i veličinu rizika od nastanka žrtava smatraju se kontrolirani let u teren, gubitak kontrole nad zrakoplovom u letu te izlijetanje zrakoplova s uzletno-sletne staze. Najveći udio nesreća događa se u Pan Američkoj regiji (47%), dok je najveći udio smrtno stradalih, čak 76,6%, u regiji Afrike i Indijskog oceana. Najveći rizik stradavanja otpada na gubitak kontrole u letu, dok je izlijetanje s USS-e najučestaliji događaj u periodu od 2016. do 2020. godine. Najveći broj nesreća događa se u režimu polijetanja, prilaza i slijetanja.

Nadalje, s obzirom na nesreće koje su se dogodile u periodu od 2016. do 2020. godine, ustanovljeno je kako udio meteoroloških čimbenika koji doprinose nastanku nesreća iznosi 37% u odnosu na sve ostale uzroke nesreća. Kada se promatra utjecaj meteoroloških čimbenika na pojavu kontroliranog leta u teren, postotni doprinos za smanjenu vidljivost je 100%, a za smicanje vjetra 20%. U slučaju gubitka kontrole u letu postotni doprinos za smanjenu vidljivost iznosi 21%, za smicanje vjetra i zaleđivanje 16%, a za grmljavinsko nevrijeme 5%. Kod izlijetanje s uzletno-sletne staze postotni doprinos smicanja vjetra iznosi 37%, grmljavinskog nevremena 30%, smanjene vidljivosti 17% te zaleđivanja 7%.

Meteorološki čimbenici neizostavan su element prilikom svakog leta i izravno utječu na njegovu sigurnost. Dodatna opasnost proizlazi iz činjenice kako se meteorološki uvjeti mogu drastično promijeniti za vrijeme leta, a njihova procjena može biti poprilično ograničena. Kao što je vidljivo iz opisane analize nesreće zrakoplova A330-203 na letu AF447, tehnologija ponekad ne može parirati snazi meteoroloških uvjeta. Nepovoljni meteorološki uvjeti, u najboljem slučaju, ne moraju utjecati na stabilnost zrakoplova već samo na rad senzora, što na kraju ipak može dovesti do neželjenih posljedica. Uzimajući u obzir kako su nepovoljni meteorološki uvjeti na letu AF447 dodatno otežali operativni rad posade i pojačali pogrešan dojam o nastaloj situaciji, može se zaključiti kako isti u kombinaciji s ostalim operativnim rizicima itekako mogu povećati opasnost od nastanka nesreće.

U pogledu tehnologija, najveću mjeru prevencije predstavljaju kvalitetna i brza meteorološka izvješća, u kombinaciji sa zrakoplovnim meteorološkim radarom i reaktivnim sustavom detekcije smicanja vjetra. Kako bi let bio što sigurniji, potrebna je odgovarajuća edukacija pilota o meteorološkim uvjetima kao i informiranje o

meteorološkim uvjetima prije i za vrijeme leta. Tumačenjem podataka s meteorološkog radara, moguće je sigurno izbjegavati nestabilna i opasna područja, a sustavi detekcije smicanja vjetra na zrakoplovu, ali i na aerodromima mogu smanjiti pojavu nesreća prilikom polijetanju i slijetanja. Za što bolju prevenciju nastanka nesreća uzrokovanih nepovoljnih meteoroloških uvjetima, potrebno je spregnuti modernu tehnologiju s ažurnim i što točnijim meteorološkim informacijama te integrirati navedeno u kokpit.

POPIS LITERATURE

[1] McAdie A. Weather Hazards in Aviation, 1929. Preuzeto sa: http://www.jstor.org/stable/14823 [Pristupljeno: svibanj 2021.]

[2] SKYbrary. Preuzeto sa: https://www.skybrary.aero/index.php/Weather [Pristupljeno: svibanj 2021.]

[3] ICAO. Safety Report, 2020. Preuzeto sa: https://www.icao.int/safety/Pages/Safety-Report.aspx [Pristupljeno: svibanj 2021.]

[4] ICAO. MIDANPIRG/17 and RASG-MID/7 Meeting, 2019. Preuzeto sa: https://www.icao.int/MID/MIDANPIRG/Documents/MID17%20and%20RASG7/WP39.pdf#search=midanpirg%2F17 [Pristupljeno: svibanj 2021.]

[5] World Meteorological Organization. Aviation Hazards. Secretariat of the World Meteorological Organization. Geneva, 2007. Preuzeto sa: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9359 [Pristupljeno: svibanj 2021.]

[6] Hrvatska kontrola zračne plovidbe. Zrakoplovna meteorologija. Preuzeto sa: https://www.crocontrol.hr/usluge/zrakoplovna-meteorologija/najznacajnije-meteoroloske-pojave-opasne-za-zrakoplovstvo/ [Pristupljeno: svibanj 2021.]

[7] Reisser S. Groundschool ppt, 2015. Preuzeto sa: https://groundschool.weebly.com/uploads/2/3/6/7/2367787/24__weather_factors_and_hazards.pdf [Pristupljeno: svibanj 2021.]

[8] Donda J. M. M. Collapse of Turbulence in the Nocturnal Atmospheric Boundary, 2015. Preuzeto sa: https://research.tue.nl/en/publications/collapse-of-turbulence-in-the-nocturnal-atmospheric-boundary-laye [Pristupljeno: svibanj 2021.]

[9] The National Severe Storms Laboratory. Preuzeto sa: https://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/thunderstorms/ [Pristupljeno: svibanj 2021.]

[10] Airliners. Preuzeto sa: https://www.airliners.net/photo/VietJet-Air/Airbus-A320-214/2283467 [Pristupljeno: svibanj 2021.]

[11] SKYbrary. Preuzeto sa: https://www.skybrary.aero/index.php/Volcanic_Ash#Volcanic_Ash [Pristupljeno: svibanj 2021.]

[12] SKYbrary. Preuzeto sa: https://www.skybrary.aero/index.php/File:Erosion_due_to_Volcanic_Ash.jpg [Pristupljeno: srpanj 2021.]

[13] BBC News. Preuzeto sa: http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/8634944.stm [Pristupljeno: srpanj 2021.]

[14] SKYbrary. Preuzeto sa: https://www.skybrary.aero/index.php/Risk_Assessment [Pristupljeno: lipanj 2021.]

[15] ICAO. Safety Management. Preuzeto sa: https://www.icao.int/safety/safetymanagement/Pages/default.aspx [Pristupljeno: lipanj 2021.]

[16] Modarres M. Risk Analysis in Engineering (Techniques, Tools and Trends). Boca Raton: CRC Press, 2006.

[17] ICAO. Safety Management Manual. Fourth Edition, 2018. Preuzeto sa: https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/5863.pdf [Pristupljeno: lipanj 2021.]

[18] Boeing. Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents, 2020. Preuzeto sa: https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/company/about_bca/pdf/statsum.pdf [Pristupljeno: lipanj 2021.]

[19] ICAO. EUR 2019 Annual Safety Report, 2020. Preuzeto sa: https://www.icao.int/EURNAT/EUR%20and%20NAT%20Documents/EUR%20Documents/EUR%20Annual%20Safety%20Reports/RASG-EUR-ASR-2019.pdf [Pristupljeno: lipanj 2021.]

[20] ICAO. RASG-AFI Annual Safety Report 2019, 2020. Preuzeto sa: https://www.icao.int/safety/afiplan/Documents/23rd%20Steering%20Committee%20Meeting/6th%20Edition%20of%20RASG-AFI%20ASR.pdf [Pristupljeno: lipanj 2021.]

[21] IATA. Safety Report 2020, 2021. Preuzeto sa: https://www.iata.org/en/publications/safety-report/ [Pristupljeno: lipanj 2021.]

[22] ICAO. RASG-PA Annual Safety Report 2020, 2021. Preuzeto sa: https://www.icao.int/RASGPA/RASGPADocuments/ASR2020.pdf [Pristupljeno: lipanj 2021.]

[23] ICAO. Global Aviation Safety Plan 2020–2022, 2019. Preuzeto sa: https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/5783.pdf [Pristupljeno: lipanj 2021.]

[24] ICAO. Manual of Aircraft Accident and Incident Investigation – Part I, 2015. Preuzeto sa: https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/3282.pdf [Pristupljeno:

lipanj 2021.]

[25] ICAO. Manual of Aircraft Accident and Incident Investigation – Part II, 2012. Preuzeto sa: http://aaib.gov.mn/wp-content/uploads/2018/12/Doc-9756-Part-II-Procedures-And-Checklists.pdf [Pristupljeno: lipanj 2021.]

[26] Agencija za istraživanje nesreća u zračnom, pomorskom i željezničkom prometu. Preuzeto sa: http://azi.hr/About [Pristupljeno: lipanj 2021.]

[27] BEA. Final Report, 2012. Preuzeto sa: https://www.bea.aero/docspa/2009/f-cp090601.en/pdf/f-cp090601.en.pdf [Pristupljeno: lipanj 2021.]

[28] Bottyan Z, Palik M. The Accident of AF-447 Flight – Analysis and Reconstruction of Weather Situation, 2010. Preuzeto sa: https://www.researchgate.net/publication/259396900_The_accident_of_AF-447_flight_-_analysis_and_reconstruction_of_weather_situation_along_the_flight_path [Pristupljeno: lipanj 2021.]

[29] BEA. Interim report, 2009. Preuzeto sa: http://understandingaf447.com/extras/1stinterimreport.pdf [Pristupljeno: lipanj 2021.]

[30] BEA. Safety Investigation Following the Accident on 1ST June 2009 to the Airbus A300-203, Flight AF 447 - Summary, 2012. Preuzeto sa: https://www.bea.aero/enquetes/vol.af.447/note05juillet2012.en.pdf [Pristupljeno: lipanj 2021.]

[31] EASA. Weather Information to Pilots Strategy Paper, 2018. Preuzeto sa: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EASA-Weather-Information-to-Pilot-Strategy-Paper.pdf [Pristupljeno: srpanj 2021.]

[32] NASA. Making the Skies Safe from Windshear, 2008. Preuzeto sa: https://www.nasa.gov/centers/langley/news/factsheets/Windshear.html [Pristupljeno: srpanj 2021.]

[33] Li P. W. Windshear – Its Detection and Alerting, 2006. Preuzeto sa: https://www.hko.gov.hk/hko/publica/reprint/r636.pdf [Pristupljeno: srpanj 2021.]

[34] SKYbrary. Preuzeto sa: https://www.skybrary.aero/index.php/Airborne_Wind_Shear_Warning_Systems [Pristupljeno: srpanj 2021.]

POPIS SLIKA

Slika 1. Područje CAT turbulencije 6
Slika 2. Mehanička turbulencija 7
Slika 3. Konceptualni prikaz konvekcijske turbulencije 7
Slika 4. Konceptualni prikaz mlaznog strujanja na malim visinama 8
Slika 5. a) Inje; **b)** Ledena glazura; **c)** Ledena rosulja; **d)** Mraz 12
Slika 6. Osnovne vrste oblaka 14
Slika 7. Faze nastanka oluje 15
Slika 8. Vatra svetog Elma 17
Slika 9. Oštećenje motora uzrokovano vulkanskim pepelom 18
Slika 10. Visina oblaka pepela nakon erupcije vulkana Eyjafjallajökull (2010.) 18
Slika 11. Shematski prikaz elemenata analize rizika 20
Slika 12. Plutajući dijelovi zrakoplova, zadnja poznata pozicija i pozicija olupine 44
Slika 13. Snimači leta (FDR i CVR) 45
Slika 14. Pronađeni dijelovi zrakoplova A330-203 45
Slika 15. Ruta leta AF447 48
Slika 16. Pozicije Pitot cijevi na A330 51
Slika 17. Prag sustava za sprječavanje gubitka uzgona u ovisnosti o Machovom broju 55
Slika 18. Intertropska zona konvergencije 56
Slika 19. Razvoj klastera kumulonimbusa 58
Slika 20. Satelitska snimka u IR spektru razvoja klastera (00:37 h) 59
Slika 21. Satelitska snimka u IR spektru (02:07 h) 59
Slika 22. Snimka u IR spektru s filtriranim temperaturama nižim od −50 °C 60
Slika 23. Snimka u IR spektru s filtriranim temperaturama nižim od −60 °C 61
Slika 24. Snimka u IR spektru s filtriranim temperaturama nižim od −70 °C 61
Slika 25. Snimka u IR spektru s filtriranim temperaturama nižim od −75 °C 62
Slika 26. Temperatura i visina tropopauze 1. lipnja 2009. u 0:00 h 63
Slika 27. Shematski prikaz rada zrakoplovnog meteorološkog radara 68
Slika 28. Shematski prikaz rada terminalnog Doppler radara 68
Slika 29. Detekcije smicanja vjetra 69
Slika 30. Shematski prikaz rada LIDAR radara 69

POPIS TABLICA

Tablica 1. ICAO kodovi za kategorije zrakoplovnih nesreća i nezgoda 4
Tablica 2. Prikaz vjerojatnosti događaja 21
Tablica 3. Prikaz ozbiljnosti rizika 22
Tablica 4. Matrica procjene rizika 22
Tablica 5. Prikaz razina prihvatljivosti rizika 23
Tablica 6. Nesreće prema RASG regijama (2019.) 27
Tablica 7. Pregled nesreća za Europsku regiju (2019.) 28
Tablica 8. Pregled čimbenika – kontrolirani let u teren (2016.–2020.) 33
Tablica 9. Pregled čimbenika – gubitak kontrole u letu (2016.−2020.) 34
Tablica 10. Pregled čimbenika – izlijetanje s USS-e (2016.−2020.) 35
Tablica 11. Prikaz letačkog iskustva članova posade 49
Tablica 12. Opći podaci o zrakoplovu A330-203 50
Tablica 13. Opći podaci o motorima zrakoplova 50
Tablica 14. Gubitak zračne brzine u ovisnosti o režimu leta i napadnom kutu 56

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Broj i stopa zrakoplovnih nesreća (2015.−2019.) 24
Grafikon 2. Zrakoplovne nesreće sa smrtnim posljedicama (2015.−2019.) 24
Grafikon 3. Zrakoplovne nesreće prema ICAO kategorijama (2019.) 25
Grafikon 4. Broj smrtno stradalih prema ICAO kategorijama (2019.) 25
Grafikon 5. Visokorizične kategorije kao uzrok zrakoplovnih nesreća 26
Grafikon 6. Postotak fatalnih nesreća i smrtnih slučajeva po fazama leta (2010.−2019.) 26
Grafikon 7. Nesreće prema RASG regijama (2019.) 27
Grafikon 8. Broj nesreća prema kategorijama događaja za Europsku regiju 28
Grafikon 9. Nesreće zrakoplova iznad 5.700 kg za regiju Afrike i Indijskog oceana 29
Grafikon 10. Nesreće prema kategorijama događaja za regiju Afrike i Indijskog oceana 30
Grafikon 11. Pregled zrakoplovnih nesreća prema kategorijama (2016.−2020.) 31

POPIS KRATICA

ACARS	(Aircraft Communications, Addressing and Reporting System) sustav za zrakoplovnu komunikaciju, adresiranje i izvještavanje
ACCID	(Accident) nesreća
ADIRU	(Air Data Inertial Reference Unit) računalo zračnih i inercijalnih podataka
ADM	(Air Data Module) modul zračnih podataka
ADR	(Air Data Reference) modul za izračun zračnih podataka
ADRM	(Aerodrome) aerodrom
AMAN	(Abrupt Maneuver) nagli manevar
ARC	(Abnormal Runway Contact) neadekvatan kontakt s USS-om
ATIS	(Automatic Terminal Information Service) automatska usluga informacija o terminalu
BEA	(Bureau d'Enquetes et d'Analyses) francuska organizacija za istragu i analizu zrakoplovnih nesreća
BIRD	(Bird) udar ptice
CABIN	(Cabin Safety Events) događaji vezani za sigurnost u kabini
CAS	(Calibrated Airspeed) kalibrirana zračna brzina
CAT	(Clear Air Turbulence) turbulencija u vedrom zraku
CFIT	(Controlled Flight into or Towards Terrain) kontrolirani let u ili prema terenu
CTOL	(Collision with Obstacles During Take-off and Landing) sudar s preprekama prilikom polijetanja ili slijetanja
CVR	(Cockpit Voice Recorder) uređaj za snimanje komunikacije u kokpitu
EASA	(European Aviation Safety Agency) Europska agencija za sigurnost zračnog prometa
EVAC	(Evacuation) evakuacija
F-NI	(Fire or Smoke – Non-Impact) vatra ili dim – bez udara
F-POST	(Fire or Smoke – Post-Impact) vatra ili dim – nakon udara
FCU	(Flight Control Computer) računalo za upravljanje
FD	(Flight Director) upravitelj leta

FDR	(Flight Data Recorder) uređaj za snimanje leta
FMGEC	(Flight Management Guidance and Envelope Computer) računalo za upravljanje letom
GCOL	(Ground Collision) sudar na zemlji
HRC	(High-risk Categories of Occurrences) visokorizične kategorije događaja
IATA	(International Air Transport Association) Međunarodna udruga zračnih prijevoznika
ICAO	(International Civil Aviation Organization) Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva
ICE	(Icing) zaleđivanje
IMC uvjeti	(Instrument Meteorological Conditions) instrumentalni meteorološki
INCID	(Incident) nezgoda
IR	(Inertial Reference) modul za izračun inercijalnih podataka
ISIS	(Integrated Standby Instrument System) integrirani pričuvni instrumentalni sustav
LOC-I	(Loss of Control – in Flight) gubitak kontrole u letu
LOC-G	(Loss of Control – Ground) gubitak kontrole na zemlji
METAR	(Meteorological Aerodrome Report) izvještaj o trenutačnom stanju meteoroloških elemenata na zračnoj luci
OTHR	(Other) ostalo
RAMP	(Ground Handling) opsluživanje zrakoplova na zemlji
RASG	(Regional Aviation Safety Group) regionalna zrakoplovna sigurnosna grupa
RE	(Runway Excursion) izlijetanje s USS-e
SCF-NP	(System or Component Failure – Non-Powerplant) kvar na sustavima zrakoplova
SCF-PP	(System or Component Failure – Powerplant) kvar na pogonskim sustavima zrakoplova
SIGMET	(Significant Meteorological Information) meteorološko izvješće od posebnog značaja
SMS	(Safety Management System) Sustav upravljanja sigurnošću

TAF	(Terminal Aerodrome Forecast) prognoza meteoroloških uvjeta na zračnoj luci
TURB	(Turbulence Encounter) turbulencija
UNK	(Unknown or Undetermined) nepoznato ili neutvrđeno
USOS	(Undershoot or Overshoot) podbacivanje ili premašivanje USS-e prilikom slijetanja
VFR	(Visual Flight Rules) pravila vizualnog letenja
WILD	(Wildlife) životinje
WSTRW	(Wind Shear or Thunderstorm) smicanje vjetra ili oluja

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4
10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je _____**diplomski rad**_____
(*vrsta rada*)
isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da 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 uzrokovanih nepovoljnim meteorološkim uvjetima**, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 09.09.2022.

Matulić
_____
(*potpis*)