Analiza uzroka nesreća zrakoplova Boeing B737-8 MAX

Šojić, Lovro

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:119:261888

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

ANALIZA UZROKA NESREĆA ZRAKOPLOVA BOEING B737-8 MAX

BOEING B737-8 MAX AIRCRAFT ACCIDENT CAUSE ANALYSIS

Mentor: doc. dr. sc. Igor Štimac

Student: Lovro Šojić

JMBAG: 0135247256

Zagreb, srpanj 2022.

Sažetak

Od samog početka komercijalnog letenja do danas, u zračnom prometu događale su se zrakoplovne nesreće. Razvoju zrakoplovnih tehnologija povezanih s povećanjem sigurnosti počelo se posvećivati sve više pozornosti, što je pridonijelo aktualnoj kulturi u kojoj je sigurnost prioritet. Dvije značajne zrakoplovne nesreće nove generacije Boeinga 737 MAX s visokim brojem smrtnih slučajeva dogodile su se u Etiopiji i Indoneziji. Zbog duopola Boeinga i Airbusa, postoji intenzivno suparništvo, što stvara pritisak na nove, cjenovno pristupačnije zrakoplove koji trebaju sve brže i bolje generirati dobit. Boeing je na tržište plasirao zrakoplov koji zbog jakog pritiska i konkurencije nije bio sasvim siguran za letenje što je dovelo do predmetne dvije zrakoplovne nesreće, koje će biti istražene u ovome diplomskom radu.

KLJUČNE RIJEČI: zrakoplovne nesreće; istraga nesreća; sigurnosne preporuke; Boeing 737 MAX

From the very beginning of commercial flying till the present, aircraft accidents have happened in commercial air travel. Development of aviation technology, associated with increase of safety, began to receive more and more attention, which contributed to the current culture in which safety is prioritized. Two significant aircraft accidents using the new generation Boeing 737 MAX with high fatality rates occurred in Ethiopia and Indonesia. Due to the duopoly between Boeing and Airbus, there is intense rivalry, which puts pressure on new, more affordable planes to generate money faster and better. Boeing offered an airplane that, due to strong pressure and competition was not entirely safe to fly which led to the two aircraft accidents in question, which will be investigated in this thesis.

KEYWORDS: aircraft accidents; accident investigation; safety recommendations; Boeing 737 MAX

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 4. svibnja 2022.

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

DIPLOMSKI ZADATAK br. 6607

Pristupnik: **Lovro Šojić (0135247256)**
Studij: Promet
Smjer: Zračni promet

Zadatak: **Analiza uzroka nesreća zrakoplova Boeing B737-8 MAX**

Opis zadatka:

U prvom dijelu rada potrebno je uvodno opisati povijest razvoja zrakoplova B737 uz paralelni osvrt na aktivnosti glavnog konkurenta Airbusa. U nastavku potrebno je opisati probleme koji su nastali kod proizvodnje zrakoplova B737-MAX te na primjeru odabranih studija slučaja detaljno analizirati zrakoplovne nesreće predmetnog zrakoplova. U početku opisa analize zrakoplovnih nesreća potrebno je opisati proces istraživanja zrakoplovne nesreće. Na temelju istraživanja, predmetnih studija slučaja potrebno je opisati korektivne mjere koje su implementirane u cilju sprječavanja budućih nesreća serije zrakoplova B737-MAX. Prije samoga zaključka potrebno je analizirati kako su problemi s zrakoplovom B737-MAX utjecali na poslovanje tvrtke Boeing. Na kraju rada potrebno je izraditi zaključak.

Mentor:

doc. dr. sc. Igor Štimac

Predsjednik povjerenstva za diplomski ispit:

Sadržaj

1. Uvod 1
2. Povijest razvoja zrakoplova Boeing B737 2
   2.1. Počeci tvrtke Boeing 2
   2.2. Prvi komercijalni zrakoplovi na mlazni pogon B707 i B727 3
   2.3. Boeing 737-100/200 Original 4
   2.4. Boeing B737-300/400/500 Classic 6
   2.5. Boeing B737-600/700/800/900 *Next Generation* 8
   2.6. Boeing 737 MAX 11
3. Regulatorni okvir i definiranje procesa istraživanja zrakoplovnih nesreća 15
   3.1. Regulativa za istragu zrakoplovnih nesreća 15
      3.1.1. ICAO regulativa 15
      3.1.2. Regulativa Europske Unije 17
   3.2. Proces istraživanja zrakoplovnih nesreća 18
      3.2.1. Organizacija i planiranje istrage 18
         3.2.1.1. Osoblje i oprema 19
         3.2.1.2. Planiranje istrage 20
         3.2.1.3. Obavijesti o nesrećama i incidentima 20
         3.2.1.4. Aktivnosti na mjestu nesreće 21
      3.2.2. Procedure i kontrolni popisi 24
      3.2.3. Istraga 26
         3.2.3.1. Istraga olupine 27
         3.2.3.2. Operativni procesi istrage 28
         3.2.3.3. Podaci o nesreći 29
         3.2.3.4. Snimači leta 31
      3.2.4. Izvještavanje 34
4. Analiza zrakoplovnih nesreća letova B737 MAX 36
   4.1. Studija slučaja - JT610 prijevoznika Lion Air 36
      4.1.1. Događaji prije leta 36
      4.1.2. Zrakoplovna nesreća leta JT610 37
      4.1.3. Analiza sustava Boeinga 737-8 MAX koji su sudjelovali u nesreći 40

4.1.3.1. Senzor napadnog kuta 40
4.1.3.2. Sustav za povećanje manevarskih karakteristika – MCAS 42
4.1.4. Istraga nesreće leta JT610 44
4.1.5. Nalazi istrage 48
4.2. Studija slučaja - ET302 Ethiopian Airlines 51
4.2.1. Zrakoplovna nesreća leta ET302 52
4.2.2. Istraga nesreće zrakoplova ET-AVJ 54
4.2.3. Nalazi istrage 57
5. Analiza korektivnih mjera za sprječavanje budućih nesreća zrakoplova B737 MAX 59
5.1. Aktivnosti vezane za sigurnost provedene nakon nesreće u Indoneziji 59
5.2. Sigurnosne preporuke Nacionalnog odbora za sigurnost prometa Indonezije 61
5.2.1. Sigurnosne preporuke zračnom prijevozniku Lion Air 61
5.2.2. Sigurnosne preporuke tvrtki Batam Aero Technic (BAT) 62
5.2.3. Sigurnosne preporuke tvrtki AirNav Indonesia 62
5.2.4. Sigurnosne preporuke tvrtki Xtra Aerospace 62
5.2.5. Sigurnosne preporuke Boeingu 62
5.2.6. Sigurnosne preporuke Glavne uprave za civilno zrakoplovstvo Indonezije 63
5.2.7. Sigurnosne preporuke Saveznoj upravi za civilno zrakoplovstvo 64
5.3. Sigurnosne aktivnosti provedene nakon nesreće u Etiopiji 64
5.4. Prizemljenje zrakoplova Boeing 737 MAX 65
6. Utjecaji nesreća zrakoplova Boeing B737 MAX na poslovanje tvrtke Boeing 66
7. Zaključak 69
Literatura 70
Popis kratica 74
Popis slika 76
Popis tablica 77
Popis grafikona 78

1. Uvod

Zrakoplovne nesreće su se u komercijalnom zračnom prometu javljale od prvih dana komercijalnog komercijalnih letova do danas. U početnim fazama, zbog većih utjecaja tehnoloških napredaka na let nesreća je bilo više, sve dok se nove tehnologije nisu dovoljno modificirale za siguran let. Tehnološkim napretkom zračnog prometa sve se veća težina počela dodavati sigurnosti što je dovelo do današnje kulture gdje je sigurnost na prvom mjestu. To je učinilo zračni promet najsigurnijom granom prometa, no i danas se nesreće javljaju zbog raznih razloga. Razvojem nove generacije Boeinga 737 MAX, došlo je do dvije velike nesreće u Indoneziji i Etiopiji s velikom smrtnošću čiji će se uzroci analizirati u ovom diplomskom radu. Diplomski rad je podijeljen u sljedećih sedam cjelina:

1. Uvod
2. Povijest razvoja zrakoplova Boeing B737
3. Regulatorni okvir i definiranje procesa istraživanja zrakoplovnih nesreća
4. Analiza zrakoplovnih nesreća letova B737 MAX
5. Analiza korektivnih mjera za sprječavanje budućih nesreća zrakoplova B737 MAX
6. Utjecaji nesreća zrakoplova Boeing B737 MAX na poslovanje Boeinga
7. Zaključak.

U prvome poglavlju prikazana je struktura rada te je opisan cilj istraživanja.

U drugom poglavlju je detaljno analiziran razvoj Boeing 737 zrakoplova kroz četiri generacije. Analiza uključuje opis povijesnog nastanka tvrtke s fokusom na zrakoplove koji su bili temelj razvoja 737 modela te obradu tehničkih inovacija kroz svaku generaciju. Od prve 737 *Original*, do posljednjeg 737 MAX generacije.

Treće poglavlje obrađuje regulativu koja se koristi prilikom istraga zrakoplovnih nesreća na svjetskoj, ali i europskoj razini. U nastavku poglavlja detaljno su razrađena sva četiri dijela Dodatka 13 Međunarodne organizacije civilnog zrakoplovstva u kojem su opširno opisani svi elementi i procedure koje se moraju obaviti prilikom istrage nesreće.

Detaljna analiza dvije nesreće Boeing 737-8 MAX zrakoplova u Indoneziji i Etiopiji obrađena je u četvrtom poglavlju. Za svaku od nesreća opisani su događaji prije i za vrijeme kobnih letova te su navedeni nalazi tijela za istraživanje nesreća u Indoneziji i Etiopiji koji su objavljeni nakon same istrage. U poglavlju vezanom za nesreću Lion Aira, obrađeni su i sustavi koji su igrali ulogu u prouzrokovanju dvije nesreće.

U petom poglavlju navedene su korektivne mjere i sigurnosne preporuke koje su iznesene od strane tijela za istragu nesreća Etiopije i Indonezije, kako bi se spriječile buduće nesreće i incidenti vezani za Boeing B737 MAX generaciju.

U šestom poglavlju analiziran je utjecaj samih nesreća na financijsko poslovanje Boeinga, novčane kazne koje je proizvođač morao platiti, prizemljenje i vračanje u operativu te utjecaj na dostave novih 737 MAX zrakoplova.

Na kraju slijedi zaključak predmetnog istraživanja.

2. Povijest razvoja zrakoplova Boeing B737

Tvrtka Boeing (engl. *The Boeing Company*) je uz Airbus najveći proizvođač civilnih zrakoplova današnjice. Tvrtku je za vrijeme prvog svjetskog rata 1916. osnovao tadašnji trgovac drvom William Edward Boeing. U početnim fazama, točnije tijekom prvog svjetskog rata, Boeing je projektirao amfibijske zrakoplove za potrebe američke mornarice, dok su 20-ih i 30-ih godina prešli na proizvodnju borbenih, torpednih i bombarderskih patrolnih zrakoplova, zrakoplova za obuku pilota te promatračkih letjelica.

2.1. Počeci tvrtke Boeing

Kasnijih 20-ih godina Boeing je započeo s prijevozom pošte, što je slijedilo osnutkom tvrtke *Boeing Airplane & Transport Corporation*. Krovne tvrtke koja se bavila i zračnim prijevozom i proizvodnjom zrakoplova. Godine 1929. tvrtka se udružila u *United Aircraft and Transport Corporation* s nekoliko američkih proizvođača među kojima je bio i jedan od najvećih proizvođača zrakoplovnih motora današnjice *Pratt & Whitney.* Godine 1931. podružnici transporta pridružilo se nekoliko manjih zračnih prijevoznika, no zbog američke legislative Boeing je trebao razdvojiti proizvodnju od transporta što je i rezultiralo u nastanku današnjeg United Airlinesa.

U razdoblju prije i tijekom drugog svjetskog rata Boeing je bio poznatiji po proizvodnji vojnih nego civilnih zrakoplova. Sa svojim svjetski poznatim B-17 *Fiyng Fortress* i B-27 *Superfortress* bombarderima Boeing je preuzeo ključnu ulogu u vojnom zrakoplovstvu SAD-a za vrijeme drugog svjetskog rata. S druge strane, u civilnom zrakoplovstvu, Douglas je bio vodeći proizvođač na tržištu sa svojim Douglas DC-3 zrakoplovom. Boeing je DC-3 zrakoplovu konkurirao s dvomotornim Boeing Modelom 247 prikazanim na slici 1[1].

[1] Weiss S. I., Amir A. R. Encyclopædia Britannica, Boeing Company. Preuzeto s: https://www.britannica.com/topic/Boeing-Company/Rockwell-International-Corporation [Pristupljeno: 13. ožujka 2022.].



Slika 1. Boeing Model 247, [2]

Zrakoplov je imao kapacitet od deset putnika i 182 kilograma pošte, a prvi let se dogodio 8. veljače 1933. godine[3]. Uz Model 247, Boeing je od civilnih zrakoplova proizvodio i amfibiju Model 314 te Model 307 *Stratoliner*, prvi komercijalni zrakoplov s prešurizacijom kabine[1].

2.2. Prvi komercijalni zrakoplovi na mlazni pogon B707 i B727

Usprkos svojoj pojavi na komercijalnom tržištu Boeing je zaostajao za Lockheedom i Douglasom. Kako bi dostigao svoje konkurente Boeing se okrenuo na razvoj turbomlaznog zrakoplova koji bi omogućio prelet Atlantskog oceana. Ideja nije privukla većinu zračnih prijevoznika koji su se fokusirali na regionalni promet elisnomlaznim zrakoplovima, no uspjeh Boeingovog KC-135 *Stratotanker* zrakoplova u službi američke vojske potaknuo je Boeing da razvije četveromotorni mlazni zrakoplov B707.

[2] AirHistory.net. *NR257Y*. 2019. Preuzeto s: https://www.airhistory.net/photo/141988/NR257Y [Pristupljeno: 13. ožujka 2022.].
[3] Boeing. Model 247/C-73 Transport. Preuzeto s: https://www.boeing.com/history/products/model-247-c-73.page [Pristupljeno: 14. ožujka 2022.].



Slika 2. Boeing B707, [4]

Pogonjen s četiri *Pratt & Whitney* JT3C-6 turbomlazna motora Boeing B707 je prvi puta poletio 20. prosinca 1957. Kapacitetom od 181 putnika, maksimalnom brzinom od 966 kilometara na sat te dometom od 4.828 kilometara B707 odigrao je veliku ulogu u razvoju komercijalnog zračnog prijevoza[5].

Nakon komercijalnog uspjeha četveromotornog B707 zrakoplova, Boeing je 1963. na tržište uveo tromotorni B727. Prvi komercijalni zrakoplov prodan u više od tisuću primjeraka. Zrakoplov je prvi puta poletio 1963., a proizveden je za opsluživanje manjih zračnih luka s kraćim uzletno-sletnim stazama (USS). Boeingovi konkurenti su 1960-ih bili američki Lockeed, Convair i Douglas, kanadski de Haviland, britanski *British Aircraft Corporation* (BAC) te francuski proizvođač *Sud Aviation*. Uvođenje zrakoplova B727 na tržište bio je rizičan potez od strane Boeinga, s prvobitnim planom proizvodnje 250 zrakoplova. Unatoč tomu B727 je stekao visoku popularnost kod zračnih prijevoznika, pogotovo nakon pristavljanja većeg 727-200 modela s kapacitetom od 189 putnika. Boeing je na kraju proizveo 1.832 zrakoplova u svojoj tvornici u Rentonu[6].

2.3.Boeing 737-100/200 Original

Nakon četveromotornog B707 i tromotornog B727 zrakoplova Boeing je razvio i dvomotorni Boeing B737 predstavljen 17. siječnja 1967. Proizvodnja zrakoplova je započela u tvornici *Plant 2* na *Boeing Fieldu* u Seattleu poznatoj po konstrukciji B-17 *Flying Fortressa* i

[4] Polaneczky B. *PP-VJJ*. 2007. Preuzeto s: https://www.jetphotos.com/photo/5993485 [Pristupljeno: 14. ožujka 2022.].
[5] Boeing. 707/720 Commercial Transport. Preuzeto s: https://www.boeing.com/history/products/707.page [Pristupljeno: 14. ožujka 2022.].
[6] Boeing. 727 Commercial Transport. Preuzeto s: https://www.boeing.com/history/products/727.page [Pristupljeno: 26. ožujka 2022.].

B-52 *Stratofortressa*. Prvu proizvedenu 737-100 varijantu preuzela je Lufthansa u prosincu 1967., a do 1987. Boeing 737 postaje najprodavaniji komercijalni zrakoplov u povijesti. Karakteristike Boeinga B737-100/200 prikazani su u tablici 1.

Tablica 1. Generalne karakteristike modela zrakoplova B737-100 i B737-200

Karakteristika	B737-100	B737-200
Maksimalna poletna masa (engl. Maximum Takeoff Mass – MTOM)	49.895 kg	52.390 kg
Maksimalna masa plaćenog tereta	12.701 kg	15.966 kg
Putnički kapacitet	124 putnika	136 putnika
Maksimalni volumen tereta	18.4 m^3	24.8 m^3
Dužina	28,63 m	30,53 m
Maksimalna brzina	943 km/h	943 km/h
Dolet (s maksimalnim plaćenim teretom)	2.855 km	3.520 km
Raspon krila	28,35 m	28,35 m
Pogon (turboventilatorski motori)	Dva P&W JT8D-7 motora	Dva P&W JT8D-9A, -15, -17 ili -17R motora

Izvor: [7], [8]

Unatoč svojoj veličini, tvornica nije bila dovoljno visoka za 737-ov rep koji je morao biti pričvršćen pomoću dizalice na parkiralištu. Kako bi uštedio vrijeme proizvodnje i što prije plasirao svoj dvomotorac na tržište, Boeing je za B737 iskoristio isti gornji dio trupa od B707 i B727-a. To je omogućilo da sva tri navedena aviona mogu prevoziti teretne palete u gornjoj kabini. Boeing 737-200 je također usvojio konverzijske karakteristike od B727-a što je omogućilo 737-200 modelu da se preobrati iz putničkog u teretni zrakoplov. Boeing je sa svojim novim zrakoplovom poprilično konkurirao Douglasu, zato što je putnički model Boeinga 737 imao je kapacitet od šest sjedala u jednom redu, što je jedan više od konkurentnog DC-9 zrakoplova. Povećanje kapaciteta omogućeno je postavljanjem motora ispod krila za razliku od DC-9 koji je imao postavljene motore na zadnjem kraju trupa. Takav raspored motora je također smanjio buku te prigušio vibracije, a zrakoplov je imao mogućnost samostalno polijetati i slijetati s malih zračnih luka[9].

Osim 100 i 200 modela, Boeing je također razvio B737-200 *Advanced*, B737-200(C) te (QC) varijantu. Boeing 737-200 *Advanced* je nadograđena verzija 737-200 modela s većom bruto masom i značajnim poboljšanjima kao što su veći kapacitet plaćenog tereta, veći domet te smanjena potrebna duljina za slijetanje. Što se tiče konvertiranih zrakoplova, njihov sufiks u imenu označava namjenu, tj. vrstu operacija za koje se koristi. Tako se B737-200(C) koristi isključivo za prijevoz tereta (engl. *Cargo*), a B737-200(QC) koristi za brzu pretvorbu iz putničke u teretnu konfiguraciju i obratno (engl. *Quick Change*). Razlika ovih modela od

[7] Boeing. *737 Airplane Characteristics for Airport Planning.* Boeing Commercial Airplanes; 2013. Preuzeto s: https://www.boeing.com/assets/pdf/commercial/airports/acaps/737.pdf [Pristupljeno: 3. travnja 2022.].
[8] Airliners.net. *Aircraft Technical Data & Specifications*. Preuzeto s: https://www.airliners.net/aircraft-data [Pristupljeno: 3. travnja 2022.].
[9] Boeing. 737 Commercial Transport. Preuzeto s: https://www.boeing.com/history/products/737-classic.page [Pristupljeno: 3. travnja 2022.].

putničkih je ta što imaju, veću čvrstoću poda, teretna vrata veličine 2,18 x 3,40 m za utovar i istovar tereta te šine za lakše vađenje sjedala[7].

2.4.Boeing B737-300/400/500 Classic

Nakon komercijalnog uspjeha *Original* serije zrakoplova uslijedila je takozvana *Classic* serija koja se sastojala od varijanti B737-300, -400 i -500. Prvo je razvijena varijanta 737-300, kao nadogradnja -200 modelu. Novi model je bilo veći, povoljniji, tiši te je sadržavao mnoštvo novih značajki. Prema njegovom su se dizajnu iskoristile mnoge aerodinamičke, strukturne i kabinske inovacije razvoj novih 757 i 767 modela.



Slika 3. Boeing B737-300, [10]

Jedna od značajki koje su učinile Boeing 737 uspješnim bila je njegova laka zamjena za novije modele. To je realizirano razvijanjem novijih modela na temelju konstrukcija starijih, za razliku od proizvodnje potpuno novog zrakoplova. Tako je 737-300 model dijelio 67% dijelova s -200 modelom što je zračnim prijevoznicima značajno smanjilo troškove održavanja, zamjenskih dijelova te alata. Na taj način Boeing je uspio zadržati postojeće, ali i privući nove kupce.

Jedna od najznačajnijih inovacija u *Classic* generaciji je implementacija novih motora. Boeing 737 *Classic* generaciju pogone dva CFM-56 motora visoke optočnosti proizvođača *General Electric*, za koje je utvrđeno da su 20% učinkovitiji od JT8D motora. Prilikom razvoja nove generacije zrakoplova javio se problem udaljenosti motora od tla. Taj se problem javio zbog korištenja konstrukcije starije generacije zrakoplova koja je za pogon trebala motore male optočnosti. Rješenje se javilo u razmještaju pojedinih komponenti na donjim dijelovima motora

[10] Van Belleghem R. *PH-BDC.* 2002. Preuzeto s: https://www.jetphotos.com/photo/193 [Pristupljeno: 11. travnja 2022.].

što je gondolama dao karakterističnо plosnato dno, što je vidljivo na slici 4. Motori su također pomaknuti prema naprijed, podignuti te nagnuti za 5% prema gore što je na kraju i pridonijelo performansama polijetanja te smanjilo mogućnost pregrijavanja gondola.



Slika 4. Razlika između gondole Boeinga 737-200 (lijevo) i 737-300 (desno), [11], [12]

Što se tiče konstrukcije, kompozitni materijali su korišteni na svim kontrolnim površinama, dok su se na ramenjačama krila, dijelovima stajnog trapa i grede kobilice trupa koristile legure aluminija povećavši čvrstoću za 12% te sami vijek trajanja[13].

Tablica 2. Generalne karakteristike modela zrakoplova B737-300, -400 i -500

Karakteristika	B737-300	B737-400	B737-500
MTOM	63.276 kg	68.039 kg	61.689 kg
Maksimalna masa plaćenog tereta	15.404 kg	19.427 kg	15.182 kg
Putnički kapacitet	149 putnika	189 putnika	149 putnika
Maksimalni volumen tereta	22.4 m^3	31.1 m^3	15.5 m^3
Dužina	33,40 m	36,45 m	31,01 m
Maksimalna brzina	908 km/h	912 km/h	912 km/h
Dolet (s maksimalnim plaćenim teretom)	3.362 km	4.005 km	3.330 km
Raspon krila	28,88 m	28,88 m	28,88 m
Pogon (turboventilatorski motori)	Dva GE CFM56-3B1 ili CFM56-3B2 motora	Dva GE CFM56-3B2 ili CFM56-3C1 motora	Dva GE CFM56-3B1 ili CFM56-3C1 motora

Izvor: [7], [8]

[11] Davidelit. *Engine inlet of a CFM56-3 engine on a Boeing 737-400 series showing the noncircular design*. 2008. Preuzeto s: https://en.wikipedia.org/wiki/Boeing_737_Classic#/media/File:Boeing_737-400_Engine.JPG [Pristupljeno: 11. travnja 2022.].
[12] Stumpf A. G. *Boeing 737-200 (Brasilia Air Base).* 2009. Preuzeto s: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Boeing_737-200_(Brasilia_Air_Base).jpg [Pristupljeno: 11. travnja 2022.].
[13]The 737 information site. Classics. Preuzeto s: http://www.b737.org.uk/737classic.htm [Pristupljeno: 11. travnja 2022.].

S druge strane, u istom periodu (kao i Boeing svoju *Classic* seriju), europski proizvođač Airbus plasirao je na tržište uskotrupnu inačicu zrakoplova za 130-188 putnika. Bio je to Airbus A320, treći proizvođačev zrakoplov nakon širokotrupnih A300 i A310. Airbus A320 je Boeingu 737 konkurirao većom brzinom (od oko 1.030 km/h), a najviše inovacijom *fly-by-wire* sustava**.** *Fly-by-wire* sustav je prebacio komande pilota s volana (koji se i dalje može naći u Boeingovim zrakoplovima) na bočne palice. Pomoću palica pilot šalje elektroničke signale prema središnjem, glavnom računalu koje te signale zatim pretvara u mehaničke pomake kontrolnih površina. Implementacijom *fly-by-wire* sustava Airbus je smanjio težinu zrakoplova, ali i povećao razinu sigurnosti jer piloti više nisu imali priliku unositi komande izvan okvira sigurnosti leta[14].

2.5. Boeing B737-600/700/800/900 *Next Generation*

Do 1993. godine prijevoznici i tvrtke za najam zrakoplova su ukupno naručili 3.100 737 zrakoplova. Za to vrijeme razvijala se najnovija generacija pod nazivom *Next Generation* – NG, koja je sadržavala modele -600, -700, -800 i -900. U manje od godinu dana Boeing je certificirao i isporučio prva tri modela nove generacije. Prvi model, 737-700, predstavljen je u studenom 1993., a isporučen u prosincu 1997. godine. Kapacitet broja sjedala iznosio je 126-149. Nakon toga, 1994., slijedio je -800 model, 1998. -600 te -900 2001. godine. Njihov kapacitet iznosio je 162-189, 110-132, odnosno 177-189 putnika[9].



Slika 5. N700GS - prvi dostavljeni Boeing 737-700 zrakoplov prijevoznika Southwest, [15]

[14] Modern Airliners. Airbus A320 History – How Airbus successfully filled the short haul airliner market. Preuzeto s: https://modernairliners.com/airbus-a320-introduction/airbus-a320-history/ [Pristupljeno: 12. travnja 2022.].
[15] Kostelny B. *N700GS.* 2003. Preuzeto s: https://www.jetphotos.com/photo/178844 [Pristupljeno: 17. travnja 2022.].

Jedna od najutjecajnijih nadogradnji u novoj generaciji su sama krila zrakoplova. Krila Boeinga 737 NG imala su 25% veću površinu od *Classic* generacije, a raspon krila je bio veći za 6,92 metra. Nova krila pružala su veću aerodinamičku učinkovitost (za 22%, ponajprije zbog smanjenja otpora), a zrakoplov je mogao letjeti brže, dalje te na većim visinama. Boeing je za krila nove generacije uveo i mogućnost postavljanja tzv. *wingleta*, vertikalne površine na vrhovima krila koje smanjujući inducirani otpor poboljšavaju poletne performanse, dolet, smanjuju potrošnju goriva, troškove održavanja motora te buku.

Što se tiče utjecaja na okoliš, modeli Boeinga 737 NG emitiraju oko 60% ugljikovodika (CH), 40% ugljičnog monoksida (CO) i dima te 20% dušikovih oksida (NOx) manje gornje granice emisija prema ICAO CAEP 6 standardima. Navedeni standardi objavljeni su 2004. godine od strane odbora koje je vijeće ICAO-a osnovalo 1983. kako bi se stvorili novi standardi i preporučene prakse vezane za buku, emisije i utjecaj zračnog prometa na okoliš[16]. Buka je također znatno snižena. Konture buke oko 85 dbA ostaju unutar granica aerodroma, a -700, -800 i -900ER modeli su više od 10 dB tiši od granica *ICAO Chapter 3* standarda čime zadovoljavaju današnje standarde buke prema *Chapter 4* dokumentu. Smanjenje buke i emisija ponajprije su omogućeni novijim CFM56-7 turboventilatorskim motorima, nadogradnjom na CFM56-3 motore korištene u *Classic* generaciji[17].

Tablica 3. Generalne karakteristike modela zrakoplova B737-600, -700, -800 i -900ER

Karakteristika	B737-600	B737-700	B737-800	B737-900ER
MTOM	65.990 kg	70.080 kg	79.010 kg	85,130 kg
Putnički kapacitet	132 putnika	149 putnika	189 putnika	220 putnika
Maksimalni volumen tereta	20,4 m^3	27,3 m^3	44 m^3	51,7 m^3
Dužina	31,2 m	33,6 m	39,5 m	42,1 m
Brzina krstarenja	969,3 km/h	964,4 km/h	974,3 km/h	975,5 km/h
Dolet (s maksimalnim plaćenim teretom)	5.990 km	6.380 km	5.710 km	5.990 km
Raspon krila	34,3 m	34,3 m	34,3 m	34,3 m
Pogon (turboventilatorski motori)	CFM56-7BE	CFM56-7BE	CFM56-7BE	CFM56-7BE

Izvor: [18]

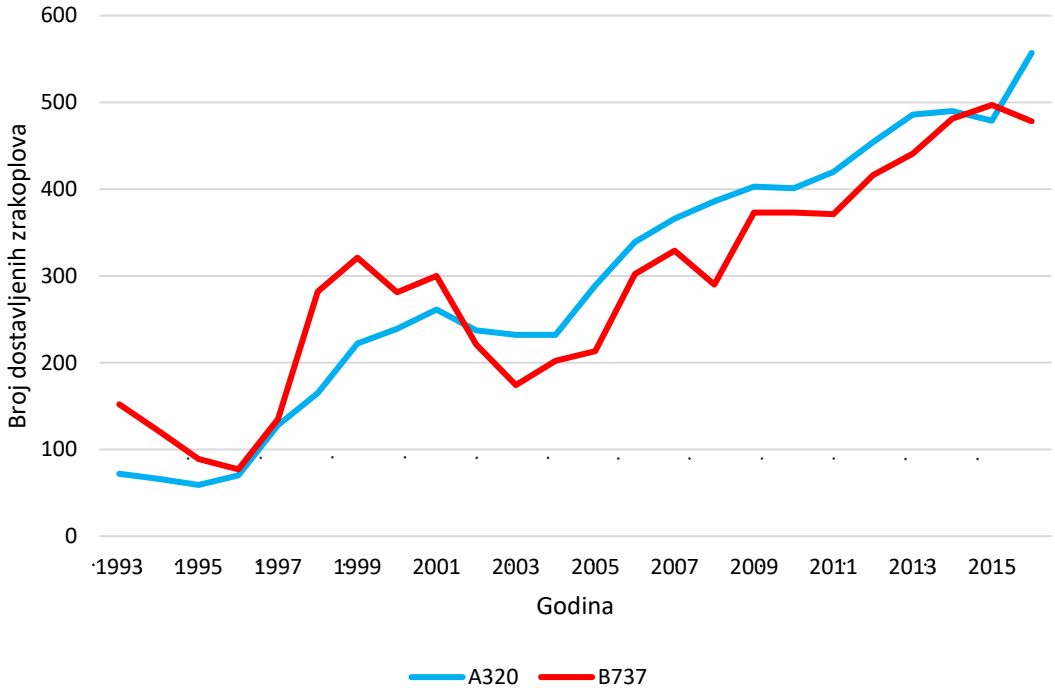
Nekoliko godina prije dolaska B737 NG-a na tržište, konkurencija između Boeinga i Airbusa sve više je rasla. Airbus A320 postajao je sve popularniji na tržištu, ponajprije zbog svojih tehnoloških inovacija. Posljedicom velikog uspjeha proizvođača na tržištu uslijedilo je

[16] Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva. *Committee on Aviation Environmental Protection (CAEP).* Preuzeto s: https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/Caep.aspx#Description [Pristupljeno: 10. srpnja 2022.].
[17] Boeing. Boeing Next-generation 737. Preuzeto s: https://www.boeing.com/commercial/737ng/ [Pristupljeno: 17. travnja 2022.].
[18] Boeing. *Commercial Airplanes: Backgrounder.* Preuzeto s: https://www.boeing.com/farnborough2014/pdf/BCA/Bck%20-%20NG%20737%20Family_June%202014.pdf [Pristupljeno: 18. travnja 2022.].

uvođenje proširenja A320 obitelji na A318, A319 i A321 zrakoplove. Poput Boeingovih *New Generation* modela, novi su se zrakoplovi podijelili prema kapacitetu putnika[19,20]:

- A321 – 186 sjedala, predstavljen u ožujku 1993.
- A319 – 124 sjedala, predstavljen u kolovozu 1995.
- A318 – 107 sjedala, predstavljen u prosincu 2002.

Od predstavljanja Airbusa A321, 1993. do 1996. godine Boeing i Airbus su se izjednačili s brojem dostavljenih, B737 odnosno A320 zrakoplova godišnje kao što je prikazano u grafu 1. Uvođenjem Boeinga 737 NG na tržište, broj dostavljenih 737 zrakoplova naglo raste, čak do 321 jedinica u 1999. Nakon 2001. godine broj dostavljenih Boeinga naglo pada zbog usporene proizvodnje i napada na Svjetski trgovački centar 11. rujna 2001.[21] S druge strane dostave A320 zrakoplova doživljavaju samo blagi pad, a 2004. počinju naglo rasti. Unatoč i svjetskoj krizi 2008. godine. Airbus nastavlja dominirati s brojem dostavljenih A320 zrakoplova te tržišnu bitku do 2016. gubi jedino godinu prije s 18 dostavljenih jedinica manje.



Graf 1. Broj dostavljenih A320, odnosno B737 zrakoplova od 1993. do 2016. godine

Izvor: [20]

[19] Airbus. Expansion (1991-1992). Preuzeto s: https://www.airbus.com/en/who-we-are/our-history/commercial-aircraft-history/expansion-1991-1992 [Pristupljeno: 18. travnja 2022.].
[20] ch-aviation. Preuzeto s: https://www.ch-aviation.com/aircraft [Pristupljeno: 18. travnja 2022.].
[21] FlightGlobal. Boeing 2001 deliveries beat forecast. Preuzeto s: https://www.flightglobal.com/boeing-2001-deliveries-beat-forecast/40919.article [Pristupljeno: 18. travnja 2022.].

2.6.Boeing 737 MAX

Nakon predstavljanja Boeinga 737 NG, tržišno natjecanje između Boeinga i Airbusa sve više raste. To se može uočiti i na grafu 1. koji prikazuje naglo povećanje broja dostavljenih A320 i B737 zrakoplova od 2004. godine. Navedeni rast broja dostavljenih zrakoplova usko je povezan i s rastom zračnog putničkog prijevoza koji također doživljava nagli uspon od početka 21. stoljeća[22]. Iznenadnim povećanjem volumena zračnog prometa u svijetu razvila se i potreba za sve efikasnijim, ali i tišim zrakoplovima. Kako bi preuzeli vodstvo na tržištu i Airbus i Boeing počinju razvijati nove generacije svojih najpopularnijih uskotrupnih zrakoplova.

Prvi od dvaju proizvođača, koji je 2010. godine najavio novu generaciju svog zrakoplova, bio je Airbus. Ime nove generacije A320 zrakoplova bilo je A320neo *(*engl. *New Engine Option).* Airbus je predstavio tri nova modela A320neo generacije, a to su[23]:

- A319neo – maksimalnog kapaciteta od 145 putnika
- A320neo – maksimalnog kapaciteta od 165 putnika i
- A321neo – maksimalnog kapaciteta od 190 putnika.

A318 model nije dobio novog predstavnika. Najutjecajnija nadogradnja na starije A320 modele bili su novi CFM LEAP-1A ili PW1100G motori koji su uz ostale inovacije osigurali smanjenje potrošnje goriva za 15%. Zrakoplov je opremljen i takozvanim *Sharkletima* na vrhovima krila, čija je funkcija jednaka Boeingovim *wingletima*. Osim na A320neo generaciji, Airbus je omogućio i ugradnju *Sharkleta* na starije A320 generacije koje su uvođenjem A320neo preimenovane u A320ceo (engl. *Current Engine Option*). A320neo je konkurirao Boeingu i s povećanjem maksimalnog plaćenog tereta za dvije tone, dometa za 500 nautičkih milja te smanjenim operativnih troškova za razliku od A320ceo generacije[24].

S druge strane Atlantskog oceana, Boeing je najavio svoju Boeing 737 MAX generaciju u kolovozu 2011. godine[25]. Generacija se sastoji od MAX 7, 8, 9 i 10 modela koji se razlikuju prema dužini trupa, odnosno putničkom kapacitetu, kao što se može vidjeti u tablici 4. Boeing je s novim modelima uveo razne tehnološke inovacije. Jedna on njih su veći zasloni instrumenata u pilotskoj kabini koji omogućuju pilotima bolji prijenos informacija. Velik broj inovacija implementiran je u putničkoj kabini kao što su veći i poboljšani prostori za prtljagu iznad sjedala, nova promjenjiva svijetla i veći prozori. Što se tiče fizičkih karakteristika najpopularnijeg MAX 8 modela, on je skoro jednake duljine kao i ekvivalent NG generacije 737-800. Ima veći raspon krila za 1,6 metara, putnički kapacitet za 21 putnika te maksimalnu poletnu masu za 3.600 kilograma.

[22] The world bank. Air transport, passengers carried. Preuzeto s: https://data.worldbank.org/indicator/IS.AIR.PSGR [Pristupljeno: 26. travnja 2022.].
[23] Modern Airliners. Airbus A320 Specs – What is behind one of the most popular short-haul airliners? Preuzeto s: https://modernairliners.com/airbus-a320-introduction/airbus-a320-specs/ [Pristupljeno: 28. travnja 2022.].
[24] Airbus. Preparing the future (2009-2010). Preuzeto s: https://www.airbus.com/en/who-we-are/our-history/commercial-aircraft-history/preparing-the-future-2009-2010 [Pristupljeno: 28. travnja 2022.].
[25] Boeing. Boeing History Chronology. Preuzeto s: https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/history/pdf/Boeing-Chronology.pdf [Pristupljeno: 28. travnja 2022.].

Tablica 4. Karakteristike Boeinga 737 MAX

Karakteristika	B737 MAX 7	B737 MAX 8	B737 MAX 9	B737 MAX 10
MTOM[20]	80.286 kg	82.645 kg	88.314 kg	89.800 kg
Putnički kapacitet	172 putnika	210 putnika	220 putnika	230 putnika
Dužina	35,56 m	39,52 m	42,16 m	43,8 m
Brzina krstarenja[20]	839 km/h	839 km/h	839 km/h	839 km/h
Maksimalni dolet	3.850 m	3.550 m	3.550 m	3.300 m
Raspon krila	35,9 m	35,9 m	35,9 m	35,9 m
Pogon (turboventilatorski motori)	CFM LEAP-1B	CFM LEAP-1B	CFM LEAP-1B	CFM LEAP-1B

Izvor: [26]

Međutim, najveći naglasak prilikom razvoja nove generacije Boeinga 737 stavljen je na ekološke inovacije. Na primjer, Boeing 737 MAX 8 ima 40% manju konturu buke 85 dbA za razliku od 737-800 modela. Uspoređujući MAX s NG generacijom, ugljične emisije i potrošnja goriva smanjeni su za 14%, a NOx emisije su za 50% manje od CAEP 6 limita. Jedno od poboljšanja koje je utjecalo na smanjenje potrošnje goriva je i novi dizajn *wingleta*. Novim proizvodnim tehnikama omogućen je laminarni tok zraka iznad krila. *Wingleti* 737 MAX-a nemaju dodatne završetke na vrhovima, već su poravnati kao što se može vidjeti na slici 6.



Slika 6. Razlika između wingleta 737 NG i 737 MAX, [27]

No, najveći utjecaj na smanjenje emisija imaju novi motori. Boeing 737 MAX modele pogone dva CFM LEAP-1B visokooptočna turboventilatorska motora, certificirana od strane Europske agencije za sigurnost zračnog prometa (engl. *European Union Aviation Safety Agency – EASA*) i Savezne uprave za civilno zrakoplovstvo (engl. *Federal Aviation Administration – FAA)* u svibnju 2016[28]. Motori su za razliku od starijih CFM56 motora aerodinamički

[26] Boeing. *737 MAX*. Preuzeto s: https://www.boeing.com/commercial/737max [Pristupljeno: 30. travnja 2022.].
[27] The Window Flyer. *5 ways to tell the difference between the 737 MAX and other Boeing 737s.* Preuzeto s: https://thewindowflyer.com/posts/737-max-vs-other-737s [Pristupljeno: 30. travnja 2022.].
[28] Boeing. *737 MAX By Design.* Preuzeto s: https://www.boeing.com/commercial/737max/by-design/#/featured [Pristupljeno: 30. travnja 2022.].

učinkovitiji i 227 kg lakši. Lopatice ventilatora u motoru su izrađene 3D printanjem RTM kompozita ugljičnih vlakana (engl. *Resin Transfer Molding - RTM*) što smanjuje njihovu masu te povećava izdržljivost. Mlaznice goriva također su lakše, za 25% od prijašnjih CFM56 modela. Osima Airbusa A320neo i Boeinga 737 MAX ovi motori se također koriste na kineskim Comac C919 zrakoplovima[29].

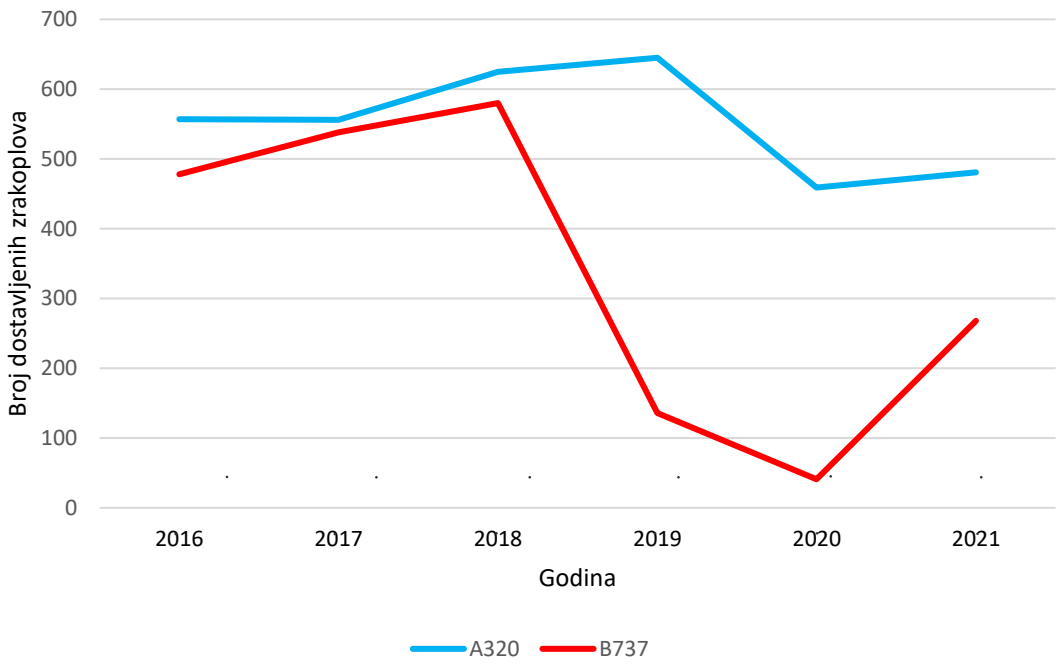


Slika 7. Razlika između motora Boeinga 737 NG (lijevo) i 737 MAX (desno), [30]

Izvor: https://leehamnews.com/2020/11/20/bjorns-corner-737-max-ungrounding-the-technical-background/, 30.04.2022.

Budući da je B737 MAX izrađen na bazi konstrukcije prve generacije Boeinga 737 visina krila od tla ostala je ista. Takva strategija Boeingu je stvorila problem jer su novi LEAP motori bili veći od onih u NG generaciji, koji su bili spljošteni na dnu, kao što je prikazano u slici 7. Zbog toga je nosač motora (engl. *pylon*) postavljen da drži motore više prema naprijed, dalje od krila, što omogućuje veći razmak od tla. Nosni stajni trap je također povišen za 20 cm kako bi se navedeni razmak povećao. Budući da su motori smješteni prema naprijed, dinamika zrakoplova u pojedinim fazama leta se promijenila. Otkriveno je da bi se u navedenim fazama leta nos zrakoplova mogao podignuti, što može rezultirati u slomu uzgona (engl. *stalling*). Boeing je zbog toga razvio novi sustav za povećanje manevarskih karakteristika (engl. *Manoeuvring Characteristics Augmentation System* – MCAS) koji detektira velike napadne kutove čija pojava može uzrokovati slom uzgona. Kada sustav detektira navedeni problem, on aktivira horizontalni stabilizator koji spušta nos zrakoplova[31].

[29] CFM International. The LEAP engine. Preuzeto s: https://www.cfmaeroengines.com/engines/leap/ [Pristupljeno: 30. travnja 2022.].
[30] Fehrm B. *Bjorn's Corner: 737 MAX ungrounding, the technical background.* Leeham News; 2020. Preuzeto s: https://leehamnews.com/2020/11/20/bjorns-corner-737-max-ungrounding-the-technical-background/ [Pristupljeno: 30. travnja 2022.].
[31] Modern Airliners. Boeing 737 Max, a new generation of this highly successful City Jet. Preuzeto s: https://modernairliners.com/boeing-737/boeing-737-max/ [Pristupljeno: 30. travnja 2022.].



Graf 2. Broj dostavljenih A320, odnosno B737 zrakoplova od 2016. do 2021.

Izvor: [20]

Upravo je navedeni sustav bio jedan od razloga pada dvaju MAX zrakoplova u Indoneziji i Etiopiji 2018. i 2019. godine, čije će nesreće biti analizirane u radu. Ishod MAX-ovih nesreća rezultirao je u prizemljenju svih zrakoplova nove generacije, ali i velik pad u broju dostavljenih zrakoplova, kao što je prikazano u grafu iznad. Broj dostavljenih zrakoplova od 2020. počinje rasti, tako je 2021. dostavljeno 268 MAX-ova, za razliku od 41 godinu prije[20,32].

[32] The Conversation. Boeing 737 Max: why was it grounded, what has been fixed and is it enough? Preuzeto s: https://theconversation.com/boeing-737-max-why-was-it-grounded-what-has-been-fixed-and-is-it-enough-150688 [Pristupljeno: 1. svibnja 2022.].

3. Regulatorni okvir i definiranje procesa istraživanja zrakoplovnih nesreća

3.1. Regulativa za istragu zrakoplovnih nesreća

3.1.1. ICAO regulativa

Temeljni dokument u međunarodnom zračnom prometu koji propisuje norme i preporučene postupke istrage zrakoplovnih nesreća je Dodatak 13. Međunarodne organizacije civilnog zrakoplovstva (engl. *International Civil Aviation Organization – ICAO*). Dodatak 13 je prvi put donesen 11. travnja 1951. godine na osnovi članka 37. Konvencije o međunarodnom civilnom zrakoplovstvu. Zatim su na 14. zasjedanju skupštine u Rimu 1962. donesene rezolucije za proučavanje mogućnosti pokretanja jedinstvenog postupka izvještavanja i istraživanja zrakoplovnih nesreća. Također je preporučeno da država proizvodnje ili država u kojoj je izdan prvi certifikat tipa unesrećenog zrakoplova stavi na raspolaganje stručnjake kao savjetnike u istrazi te da bude pravovremeno obaviještena o napretku same istrage[33].

U Dodatku 13. nalaze se sljedeće definicije koje ustanovljuju događaje ili elemente koji se mogu javiti prilikom same istrage[33]:

1) Nesreća – događaj povezan s letenjem zrakoplova koji se odvije između trenutka kada se bilo koja osoba ukrca u zrakoplov s namjerom leta sve do trenutka kada se sve takve osobe iskrcaju, u kojem:
    a. je osoba smrtno ili teško ozlijeđena kao posljedica:
        i. bivanja u zrakoplovu, ili
        ii. izravnog kontakta s bilo kojim dijelom zrakoplova, uključujući dijelove koji su se odvojili od zrakoplova, ili
        iii. izravnoj izloženosti mlaznom udaru, osim kada su ozljede prirodno uzrokovane, samonanesene ili su ih nanijele druge osobe ili kada se ozlijede slijepi putnici koji se skrivaju izvan područja koji je redovno raspoloživ putnicima i posadi; ili
    b. zrakoplov pretrpi oštećenje ili strukturni kvar koji:
        i. nepovoljno utječe na strukturalnu čvrstoću, radnu uspješnost ili letne karakteristike zrakoplova i
        ii. 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; ili
    c. zrakoplov nestane ili je u potpunosti nedostupan.

[33] Vidović, A., Štimac, I., Ozmec-Ban, M.: Materijali iz kolegija „Istraživanja zrakoplovnih nesreća“, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2021.

2) Ozbiljna nezgoda – nezgoda koja uključuje okolnosti koji upućuju na to da je gotovo došlo do nesreće.
3) Nezgoda – događaj, osim nesreće, povezan s letenjem zrakoplova koji utječe ili bi mogao utjecati na sigurnost leta.
4) Istraživanje – postupak koji se provodi u svrhu sprečavanja nesreća koji uključuje prikupljanje i analizu podataka, zaključivanje, uključujući utvrđivanje uzroka i, po potrebi, izradu sigurnosnih preporuka.
5) Uzroci – aktivnosti, propusti, događaji, uvjeti, ili njihova kombinacija, koji uzrokuju nesreću ili nezgodu.
6) Zrakoplov – svaki stroj koji se može podupirati o reakcije zraka u atmosferi osim reakcija zraka na površinu zemlje.
7) Maksimalna masa – najveća dopuštena uzletna masa.
8) Operator – osoba, organizacija ili tvrtka koje se bavi ili pruža usluge letenja zrakoplova.
9) Uređaj za snimanje leta – bilo koja vrsta uređaja za snimanje postavljena u zrakoplov u svrhu nadopune istraživanja nesreće ili nezgode.
10) Ovlašteni predstavnik – osoba koju imenuje država na temelju njegovih ili njezinih kvalifikacija u svrhu sudjelovanja u istraživanju koje provodi druga država.
11) Savjetnik – osoba koju imenuje država na temelju njegovih ili njezinih kvalifikacija u svrhu pomaganja njenom ovlaštenom predstavniku u istraživanju.
12) Glavni istražitelj – osoba zadužena, na temelju svojih kvalifikacija, za organizaciju, provedbu i nadzor istraživanja.
13) Preliminarno izvješće – priopćenje kojim se brzo distribuiraju podaci pribavljeni tijekom ranih faza istraživanja.
14) Sigurnosna preporuka – prijedlog tijela nadležnog za istraživanje nesreća države koja provodi istraživanje, donesen na temelju podataka dobivenih u istraživanju i s namjerom sprečavanja nesreća ili nezgoda.
15) Ozbiljna ozljeda – ozljeda koju osoba pretrpi u nesreći i koja:
    a. zahtijeva hospitalizaciju dulju od 48 sati, koja započinje unutar sedam dana od datuma kada je ozljeda zadobivena; ili
    b. rezultira lomom bilo koje kosti (osim jednostavnih lomova prstiju, nožnih prstiju ili nosa); ili
    c. uključuje povrede koje uzrokuju obilno krvarenje ili oštećenje živaca, mišića ili tetiva; ili
    d. uključuje ozljedu bilo kojeg unutrašnjeg organa; ili
    e. uključuje opekline drugog ili trećeg stupnja ili bilo koje opekline koje zahvaćaju više od 5 posto tjelesne površine; ili
    f. uključuje potvrđenu izloženost zaraznim tvarima ili štetnoj radijaciji.
16) Država projektiranja – država nadležna za organizaciju odgovornu za projektiranje tipa.
17) Država proizvodnje – država nadležna za organizaciju odgovornu za završno sklapanje zrakoplova.
18) Država nesreće ili nezgode – država na čijem teritoriju se dogodi nesreća ili nezgoda.
19) Država operatora – država u kojoj se nalazi glavno mjesto poslovanja operatera ili, ako takvo mjesto ne postoji, trajno boravište operatera.
20) Država registracije – država u kojoj je zrakoplov registriran.

Nadalje, ICAO radi statističke ujednačenosti, pod smrtnim ozljedama smatra ozlijede koje rezultiraju smrću unutar 30 dana od same nesreće. Također je bitno naglasiti kako svrha istrage nije dodijeliti krivnju ili odgovornost, već iskoristiti dobivena znanja kako bi se nesreće ili nezgode tog tipa spriječile[33].

Uz Dodatak 13, ICAO također propisuje Priručnik za istraživanje zrakoplovnih nesreća i incidenata podijeljen u četiri dijela. Prvi dio, pod nazivom Organizacija i planiranje (engl. *Part I. – Organization and Planning*), objavljen je 2000. godine te je fokusiran na zakone i osobe koje formiraju tijela za istraživanje zrakoplovnih nesreća. U njemu su pokrivene početne aktivnosti koje se moraju obaviti na samom mjestu nesreće, ali i postupci obavještavanja o nesrećama te priprema same istrage. U dokumentu je stavljen poseban naglasak na sigurnost samog osoblja te su popisana sva državna tijela za istraživanje nesreća, zajedno s njihovim kontaktima. Drugi dio, Procedure i kontrolni popisi (engl. *Part II. – Procedures and Checklists*), objavljen je 2012. godine. U njemu se nalaze informacije o tipičnim postupcima u istrazi, kontrolne liste za pomoć državama u istrazi te velike istražne smjernice koje se mogu koristiti prilikom provođenja značajnih istraga. Treći dio, pod nazivom Istraga (engl. *Part III — Investigation*), objavljen je 2012. godine, a opisuje postupke za istraživanje tehničkih aspekata zrakoplovnih nesreća i incidenata kao što su: ispitivanje struktura i sustava, istraživanje olupine, analiza snimača leta te performansi zrakoplova. Za kraj, Četvrti dio, pod nazivom Izvještavanje (engl. *Part IV. – Reporting*) uključuje opsežna pravila o izradi i obradi sigurnosnih preporuka, određuje strukturu i sadržaj završnog izvješća, ali i postupke njegovog objavljivanja, distribucije i diseminacije[34].

3.1.2. Regulativa Europske Unije

U Europskoj uniji, temeljni dokument za istraživanje i sprječavanje nesreća te incidenata u civilnom zrakoplovstvu je Uredba 996/2010. Uredba 996 donesena je od strane Europskog parlamenta i Vijeća Europske unije 2010. godine te izvan snage stavlja Direktivu 94/56/EU koja je uspostavila temeljna pravila provođenja istraga zrakoplovnih nesreća i nezgoda u Europskoj uniji. Istrage nesreća unutar EU se i dalje moraju provoditi prema standardima i preporučenim praksama (engl. *Standards and Recommended Practices – SARP*) Dodatka 13.

S obzirom da se sigurnost zračnog prometa uređuje na razini EU, u istragama koje se na nju odnose, mora sudjelovati Europska agencija za sigurnost zračnog prometa. Razlog tome je EASA-in doprinos u efikasnosti i osiguranju sigurnosti projektiranja zrakoplova bez utjecaja na neovisnost istrage. Između ostalog, EASA sudjeluje u razmjeni i analizi informacija sustava za izvješćivanje o događajima (kako bi se izbjegao sukob interesa) te, u skladu s Dodatkom 13. obavlja i zadaće država proizvodnje, projektiranja i registracije, kada se one odnose na odobravanje projekata. Uredba 996 primjenjuje se na istrage nesreća i ozbiljnih nezgoda[33]:

1) koje su se dogodile na području zemalja Europske unije;
2) koje su se dogodile izvan područja zemalja EU, ali u kojima su sudjelovali zrakoplovi koji su registrirani u zemlji EU ili kojima upravlja tvrtka sa sjedištem u zemlji EU;

[34] ICAO. Documents. Preuzeto s: https://www.icao.int/safety/airnavigation/aig/pages/documents.aspx [Pristupljeno: 5. svibnja 2022.].

3) u slučaju kada je zemlja EU ovlaštena (na temelju međunarodnih standarda i preporučenih praksi) imenovati ovlaštenog predstavnika kako bi sudjelovala u istrazi;
4) u slučaju kada je zemlja koja provodi istragu dopustila zemlji EU, koja zbog smrtnih slučajeva ili ozbiljnih ozljeda svojih državljana ima poseban interes, imenovati stručnjaka.

Cilj Uredbe 996 je promicati sigurnost zračnog prometa u Europi, osiguravajući visok stupanj hitnosti, učinkovitosti te kvalitete u istragama vezanim za sigurnost civilnog zrakoplovstva. Uredba istodobno pokušava unaprijediti pomoć žrtvama zrakoplovnih nesreća i njihovim obiteljima te utvrđuje smjernice za brzo javljanje o svim osobama i opasnom teretu zrakoplova koji je doživio nesreću[33].

3.2. Proces istraživanja zrakoplovnih nesreća

3.2.1. Organizacija i planiranje istrage

Prema ICAO-ovom Djelu 3 Priručnika za istraživanje zrakoplovnih nesreća tijelo za istragu mora biti potpuno nepristrano i objektivno te se treba formirati na način da izdrži političke pritiske. Mnoge su države postigle ovaj cilj kreiranjem posebnog zakonodavnog tijela ili organizacije za istraživanje zrakoplovnih nesreća. To tijelo je uglavnom zasebno, tj. odvojeno od agencije civilnog zrakoplovstva (engl. *Civil Aviation Authority – CAA*) te države. U Hrvatskoj je to Agencija za istraživanje nesreća u zračnom, pomorskom i željezničkom prometu (AIN) čiji je zadatak provođenje istraga radi utvrđivanja uzroka nesreća te davanje sigurnosnih preporuka[35].

Prema Dodatku 13, država koja provodi istragu imenuje nadležnog istražitelja (po mogućnosti iz tijela za istraživanje nesreća) koji je odgovoran za vođenje, kontrolu i organizaciju istrage. Za vrijeme trajanja istrage, stručnjaci koje je imenovala agencija civilnog zrakoplovstva moraju se javljati glavnom istražitelju što nije idealno jer CAA može negativno reagirati na nalaze u završnom izvješću. U tom slučaju, države bi trebale poduzeti korake kako bi ublažile svaku mogućnost odmazde. Odgovornost tijela za istraživanje nesreća je istražiti uzroke i/ili čimbenike koji su pridonijeli nesreći ili nezgodi te ponuditi sigurnosne preporuke, dok je odgovornost CAA da se navedene preporuke zakonski provedu.

Tijelo za istraživanje zrakoplovnih nesreća posebnom legislativom mora imati definirane odgovornosti i prava te neposredan i neograničen pristup svim potrebnim dokazima bez prijašnje suglasnosti pravosudnih tijela. Legislativom se također trebaju zaštititi pojedini dokumenti i informacije prikupljeni u istrazi od javnosti, a to su[36]:

1) sve izjave osoba koje je prikupilo tijelo za istragu nesreća tijekom same istrage,
2) svu komunikaciju s osobama koje su bile uključene u operacije zrakoplova,

[35] Agencija za istraživanje nesreća u zračnom, pomorskom i željezničkom prometu. Preuzeto s: https://www.ain.hr/ [Pristupljeno: 7. svibnja 2022.].
[36] Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva. *Priručnik za istraživanje zrakoplovnih nesreća i nezgoda – Dio 1 – organizacija i planiranje. Izdanje: 2.* Montreal; 2015.

3) medicinske i privatne informacije osoba koje su bile uključene u nesreću ili nezgodu,
4) snimke snimača zvuka u pilotskoj kabini te transkripte istih,
5) snimke i transkripte snimaka pružatelja usluga u zračnoj plovidbi,
6) videosnimaka snimača slike u pilotskoj kabini (engl. *Airborne Image Recorders – AIR*) i transkripte istih te
7) iznesena mišljenja prilikom analize informacija, uključujući informacije.

Sve navedene informacije se mogu objaviti u završnom izvješću, ali samo ako su značajne za analizu same nesreće ili nezgode. Razlog tomu je mogućnost njihovog neprimjerenog iskorištavanja za provođenje disciplinarnih, civilnih, administrativnih ili kaznenih postupaka protiv uključenih osoba. To bi moglo rezultirati u neradom otkrivanju informacija od strane ispitivanih osoba što bi omelo istražni proces i značajno smanjilo razinu sigurnosti u zrakoplovstvu.

3.2.1.1. Osoblje i oprema

Istraga zrakoplovnih nesreća izazovan je proces kojim bi se trebali baviti iskusni istražitelji, no u mnogim državama ne postoje zaposlenici koji su dovoljno posvećeni istraživanju nesreća. U tim slučajevima potrebno je nominirati osoblje koje će proći edukaciju kako bi moglo sudjelovati u istrazi. Potrebno je da navedeni istražitelji imaju iskustva u zrakoplovstvu, bilo to kao piloti, inženjeri održavanja zrakoplova ili aeronautike zbog razumijevanja infrastrukture i mogućnosti povezivanja sa svakim od različitih područja. Osim tehničkih znanja, bitno je da istražitelji posjeduju posebne ljudske kvalitete, kao što su to integritet, nepristranost, analitička sposobnost. pribranost u suočavanju sa širokim rasponom ljudi koji su bili uključeni u traumatično iskustvo te ustrajnost u ispitivanju. Istražiteljima se, između ostalog, moraju osigurati zakonodavne ovlasti kao što su[36]:

1) nadležnost na mjestu nesreće,
2) posjedovanje dokaza,
3) mogućnost testiranja zaplijenjenih stvari te
4) pravo pristupa svim relevantnim dokumentima.

Planiranje i priprema ključni su za omogućavanje brzog dolaska istražitelja na mjesto nesreće i imaju značajan utjecaj na učinkovitost istrage. Istražitelji nesreća trebali bi pripremiti svoju terensku opremu za istragu i važne osobne stvari i spremni za odlazak na mjesto nesreće što je prije moguće. Zbog mogućih loših vremenskih uvjeta ili nepovoljnog terena na mjestu nesreće, istražitelji trebaju biti u dobroj fizičkoj spremi te opremljeni u skladu s uvjetima. Njihova obuća i odjeća treba biti vjetrootporna i vodootporna te je potrebno nositi odgovarajuću kacigu. Istražitelji također moraju imati dovoljno zaliha za prostor koji treba pokriti (pribor za prvu pomoć, hrana, voda, oprema za kampiranje i komunikaciju i sl.) te iskusnog vodiča u slučaju da moraju ići u divljinu ili planine.

Spremnost tijela za istraživanje zrakoplovnih nesreća, osim od gore navedenih resursa, ovisi i o njegovoj dokumentiranoj politici, procedurama, planovima i kontrolnim listama potrebnima za istragu. Tijela rijetko kada imaju dovoljno resursa, a pogotovo ako se radi o velikoj ili složenoj nesreći, tako da mora imati raspisan plan za pribavljanje dodatnih sredstava

i osoblja. To osoblje može biti iz državnih istražnih tijela, CAA-a, zračnih prijevoznika ili proizvođača zrakoplova, no potrebno je raspisati plan kako bi oni smjesta bili dostupni za istragu. Kako bi se to osiguralo istražno tijelo trebalo bi sklopiti radne sporazume i/ili memorandume o razumijevanju s drugim državama i vladinim agencijama koje mogu pružati podršku u istrazi[36].

3.2.1.2. Planiranje istrage

Kako bi se determinirala veličina istražnog tima te stekla potrebna stručnosti i sredstva, potrebno je dovoljno rano utvrditi opseg istrage i složenost dužnosti. Za formiranje istražnog tima, dodjeljivanje poslova članovima te nadzor napretka istrage izravno je odgovoran glavni istražitelj. Uz plan istrage je također potrebno priložiti odgovarajući kontrolni popis. Kako bi se učinkovito pokrili svi aspekti istrage velike nesreće potrebno je organizirati veći broj istražitelja u skupine od kojih svaka ima svoje specijalno područje. U istragama nekih nesreća uzroci se mogu vrlo rano uočiti. U tim slučajevima potrebno je istragu usmjeriti u ograničena i specijalizirana područja, usprkos tomu potrebno je istražiti sve elemente koji su mogli pridonijeti nesreći. U slučaju manjih nesreća i nezgoda, broj ljudi u istrazi bit će manji, ali funkcije ostaju iste.

Nesreće velikih i kompleksnih zrakoplova zahtijevaju veliki tim istražitelja, tako da je potrebno razviti sustav upravljanja istragom (engl. *Investigation Management System*) koji se temelji na sveobuhvatnom planu, kontrolnim listama i dijagrama tokova za praćenje istrage. Dijagram toka sustava za upravljanje istragom potrebno je postepeno pratiti kako bi se osigurao pravilan slijed događaja te moglo provjeriti koji su sve koraci izvršeni. Za svaki događaj sustava upravljanja dostupne su i kontrolne liste koje treba pregledavati da bi se zajamčilo kako su zadaci u skladu s državnim propisima i prikladni za tu organizaciju. Navedeni dijagrami toka i kontrolne liste osiguravaju (osim glavnom istražitelju) i voditeljima pojedinih skupina kvalitetnu organizaciju njihovog rada.

Što se tiče odnosa s javnošću, u nekim slučajevima potrebno je angažirati lokalne medije da ne odaju detalje o mjestu nesreće dok se ne provedu odgovarajuće mjere za kontrolu gomile. Mediji u istrazi mogu poslužiti i za davanje informacija o lokalnom području, imenima potencijalnih svjedoka ili javne pomoći za pronalaženje nestalih dijelova olupine. Kako bi se promicalo širenje činjenica te umanjilo širenje glasina, medijima je potrebno javljati sve dostupne informacije koje ne mogu ugroziti istragu. To se najčešće realizira postavljanjem jedinstvene kontaktne točke za upite medija glavnom istražitelju. Za kraj, potrebno je uspostaviti propise i procedure koje osiguravaju, da u slučaju nesreće, sve snimke komunikacije kontrole zračnog prometa i dokumenti povezani s letom ostanu osigurani i sigurno pohranjeni dok se ne dobiju daljnje upute tijela za istragu nesreća[36].

3.2.1.3. Obavijesti o nesrećama i incidentima

Budući da je za propisno provođenje istrage potreban brz dolazak istražitelja na mjesto nesreće, potrebno je što prije obavijestiti nadležno tijelo za istragu o nesreći ili nezgodi. Zbog mogućeg brisanja tragova olupine na tlu, narušavanja iskaza svjedoka (zbog njihove

međusobne komunikacije), krađe, premještanja, nepravilnog rukovanja olupinom, korodiranja ili vremenskih utjecaja na istu, svako kašnjenje glavnog istražitelja može dovesti do propadanja navedenih kritičnih dokaza.

Prve osobe koje saznaju za događaj nesreće su svjedoci i preživjeli putnici. U slučaju zrakoplovne nesreće oni najčešće obavijeste policiju, nadležne službenike zračne luke ili vojsku koja dalje izravno informira tijelo za istragu nesreća, dok je odgovornost članova posade je da sprovedu hitne procedure. U slučajevima kada pružatelji usluga u zračnom prometu prvi saznaju za događaj nesreće oni pokreću postupak obavješćivanja. Postupak obavješćivanja mora biti učinkovit i jednostavan, a najčešće se sprovodi korištenjem najbržih sredstava komunikacije kao što su telefon, elektronička pošta ili faks. Popis državnih tijela prema prioritetu trebao bi biti dostupan u svim uredima pružatelja usluga, upravitelja zračnih luka ili policijskim odjelima.

Kada se na teritoriju države dogodi nesreća ili ozbiljni incident koji uključuje zrakoplov registriran u drugoj državi, država u kojoj se dogodila nesreća obavještava državu registracije, operatora, projektiranja i proizvodnje zrakoplova što je prije moguće. Nadalje, u nesrećama ili ozbiljnim incidentima koje uključuju zrakoplove s MTOM-om većim od 2.250 kg ili zrakoplove na mlazni pogon, obavijest se također mora poslati ICAO-u. Država u kojoj se dogodila zrakoplovna nesreća bi također trebala obavijestiti državu, čiji su građani pretrpjeli teške ozlijede ili poginuli, o nesreći. Te države imaju pravo imenovati stručnjaka koji može posjetiti mjesto nesreće, dobiti presliku završnog izvješće te imati pristup relevantnim činjenicama koje je država koja provodi istragu, odobrila za javno objavljivanje.

Tijelo za istraživanje nesreća u svakoj od država koje prime obavijest o nesreći treba u što kraćem roku i poželjno istim komunikacijskim sredstvom[36]:

1) potvrditi primitak obavijesti,
2) dostaviti državi u kojoj se dogodila nesreća sve relevantne i dostupne tražene informacije,
3) obavijestiti državu nesreće namjerava li sudjelovati u istrazi i
4) poslati imena, titule i vrijeme dolaska svih licenciranih predstavnika i tehničkih savjetnika na mjesto nesreće ili u sjedište tijela za istragu nesreće države nesreće.

3.2.1.4. Aktivnosti na mjestu nesreće

Na mjesto nesreće najčešće prvo stignu vatrogasci i policijski službenici s kojima je potrebno surađivati kako se bitni dokazi ne bi izgubili prilikom rukovanja s olupinom. U slučaju zrakoplovne nesreće, policijske i vatrogasne službe trebaju biti obaviještene o onome što ih očekuje, a njihove dužnosti bi trebale biti isplanirane prije da se što prije izvrše, a to su[36]:

1) obavještavanje koordinacijskog centra za spašavanje, tijela za istragu zrakoplovnih nesreća i druge potrebna tijela,
2) osiguranje olupine od požara i daljnjeg oštećenja,
3) provjeravanje prisutnosti opasnog tereta, kao što su npr. radioaktivni ili otrovni teret,
4) postavljanje zaštitara koji osiguravaju da se s olupinom ne manipulira ili ju se ometa,

5) fotografirati mjesto nesreće kako bi svi dokazi promjenjive naravi (kao što su dim, led i čađa) bili očuvani te
6) nabaviti kontaktne informacije svih svjedoka čiji bi iskazi mogli pomoći u istrazi.

Osim navedenih mjera, olupinu treba ostaviti onakvu kakva je do dolaska istražnog tima. Tijela ljudi poginulih u nesreći trebala bi se, kada je to moguće, ostaviti na svom mjestu radi pregleda dokumentacije od strane tima za identifikaciju žrtava katastrofe. Spašavanje i pomoć preživjelima te zaštita imovine (kada je to moguće) ključne su brige osoblja koje prvo stigne na mjesto nesreće. Osobe koje sudjeluju u izvlačenju žrtava iz olupine trebaju što prije dokumentirati svoja zapažanja, što uključuje lokaciju na kojoj su preživjeli otkriveni i koje je dijelove olupine bilo potrebno premjestiti tijekom spašavanja. Ako okolnosti dopuštaju, tijela poginulih treba ostaviti na mjestu na kojem su pronađena dok se ne zabilježi njihova lokacija i stanje te dok se ne fotografiraju radi daljnjeg analiziranja. Istražitelji trebaju utvrditi te zabilježiti da li je došlo do kakvog ometanja olupine prilikom spasilačkih operacija.

Kada se nesreća prijavi, glavni istražitelj mora brzo provjeriti jesu li poduzete mjere za zaštitu sigurnosti olupine koje najčešće provode policija ili vojska. Organizacija koja štite mjesto nesreće treba dobiti jasne i detaljne upute o važnosti točne identifikacije ovlaštenog osoblja. U slučajevima da olupina nije razbacana na velikom području, ona se može ograditi sigurnosnom trakom kao što je prikazano u slici 8.



Slika 8. Osiguranje olupine sigurnosnom trakom, [37]

Što se tiče sigurnosti na mjestu nesreće, istražitelji trebaju biti svjesni potencijalnih opasnosti koje se mogu na njemu javiti. Zbog toga, neke države delegiraju koordinatora za

[37] Al Arabiya Network. *The wreckage of Pegasus Airlines Boeing 737 airplane that skidded off the runway upon landing at the Sabiha Gokcen airport, in Istanbul, on February 6, 2020.* Preuzeto s: https://english.alarabiya.net/News/middle-east/2020/02/08/US-investigators-inspect-site-of-fatal-plane-crash-in-Turkey-s-Istanbul [Pristupljeno: 11. svibnja 2022.].

sigurnost na mjestu nesreće. Preporučuje se da koordinator s istražnim timom prođe kroz sve poznate i moguće opasnosti te da utvrdi sigurnosne prakse. Također je bitna koordinacija s vatrogasnim timom i stručnjacima za opasne terete. U slučaju da se mjesto nesreće nalazi u urbanom području, neke od opasnosti mogu biti: srušeni dalekovodi, građevine koje su radi nesreće postale strukturno neispravne te curenje prirodnog plina, propana ili drugih zapaljivih plinova ili tekućina. Zbog česte pojave požara na mjestu nesreće, oprema za gašenje požara mora biti dostupna dokle god postoji visok rizik od zapaljenja dijelova olupine. Požar mogu uzrokovati i baterije zrakoplova koje se moraju isključiti, a u slučaju da su spremnici goriva ostali čitavi, oni se moraju isprazniti. Količina goriva koja se izvadi iz spremnika treba biti zabilježena, a ukoliko postoji veći izljev goriva istražitelji moraju kontrolirati sve aktivnosti koje bi mogle uzrokovati požar.

Sigurnost mjesta nesreće može biti narušena i opasnim teretom, ukoliko ga je zrakoplov prevozio. Tijelo za istragu treba preliminarnom provjerom teretnog manifesta može utvrditi letio li je zrakoplov s opasnim teretom. Opasni teret u zrakoplovu mogu biti: radioaktivne pošiljke, eksplozivi, korozivne tekućine, oružje i municija, tekući i čvrsti otrovi ili bakterijske kulture. Među nabrojanim opasnim teretima, radioaktivni se materijali sve češće prevoze zračnim putem. U slučaju da se radioaktivni teret nalazio u unesrećenom zrakoplovu, on se mora što prije moguće ukloniti od strane kvalificiranih radnika, kako bi se izbjegla radioaktivna opasnost za sve ljude u neposrednoj blizini olupine. Radijacija će malo vjerojatno predstaviti prijetnju ukoliko su ambalaža i zaštitni materijal ostali netaknuti, ali postoji opasnost od vatre koja može uništiti ambalažu i tako pretvoriti radioaktivni materijal u plinovito stanje, što omogućuje širenje zračenja.

Rukovanje olupinom izrazito je opasno te zahtjeva korištenje zaštitne odjeće i opreme. Olupine se na mjestu nesreće mogu pomaknuti, prevrnuti ili visiti s drveća, što zahtjeva njeno osiguranje. Veliki se komadi olupine moraju premjestiti pod nadzorom istražitelje i iskusnih radnika koristeći odgovarajuću opremu. To je osobito izraženo kada se za pomicanje olupine koriste dizalice. U tim slučajevima, istražitelji se trebaju držati uz vjetar krhotine kako ne bi bili izloženi čađi, prašini i drugih kontaminanta. Akumulatori, generatori, kanistri pod tlakom (npr. aparati za gašenje požara, boce s kisikom) i signalne rakete su rizični elementi koji se mogu naći u olupini te moraju biti osigurani i uklonjeni.

Ukoliko se olupina zrakoplova nalazi u vodi (kao što je to bio slučaj u nesreći Boeinga 737 MAX u Indoneziji), potrebno je potražiti najbolju dostupnu tehničku pomoć čim se otkrije da je olupina potopljena. Nakon toga potrebno se konzultirati s pomorskim vlastima, pomorskim službama za spašavanje i drugim tijelima za istraživanje zrakoplovnih nesreća koje imaju iskustva u ovoj vrsti istrage. Osim navedenih tijela, preporuke se mogu dobiti i od oceanografa i ribara koji najbolje poznaju lokalne uvjete kao što su konfiguracija morskog dna, jezera i lokalnih struja. Prvi korak u istrazi nesreće u vodi je procijeniti točku udara pomoću izvješća svjedoka, plutajućih dijelova olupine, izvješća o potrazi i spašavanju te radarskih snimki. Na procijenjenu točku udara potrebno je postaviti plutače, a ako se nesreća dogodila u plitkim vodama (dubine manje od 60 m) korištenje ronioca za istragu može biti učinkovito. U slučaju da se nesreća dogodila u dubokim vodama ili ako su uvjeti za ronioce loši potrebno je koristiti[36]:

1) podvodnu opremu za detektiranje snimača leta i uređaja za podvodno lociranje,
2) podvodne kamere i fotoaparate,
3) sonarnu opremu s mogućnosti bočnog skeniranja i
4) podmornice s posadom ili bez posade.

Okolnosti će odrediti je li spašavanje olupine izvedivo. Ako se smatra da će dokazi opravdati troškove i trud operacije (što je dogodi u većini slučajeva) spašavanja olupinu je potrebno izvući. U slučaju da olupina sadržava dokaze koji će biti značajni za sigurnost u zračnom prometu onda tijelo za istragu nesreće mora dati poticaj kako bi se osiguralo brzo vraćanje olupine. Postoji nekoliko slučajeva u kojima su olupine zrakoplova uspješno izvučene iz duboke vode, što je rezultiralo u utvrđivanju uzroka same nesreće (npr. glavni dijelovi Air Franceovog Airbusa A330 iz Atlantskog oceana na dubini od 3.900 m)[36].

3.2.2. Procedure i kontrolni popisi

Prema Dodatku 13, jedina svrha istrage zrakoplovnih incidenata ili nesreća je spriječiti ponavljanje istih. U skladu s odredbama Dodatka 13 tijelo nadležno za istraživanje nesreće ili nezgode je neovisno u ima neograničenu ovlast nad samom istragom koja uključuje[38]:

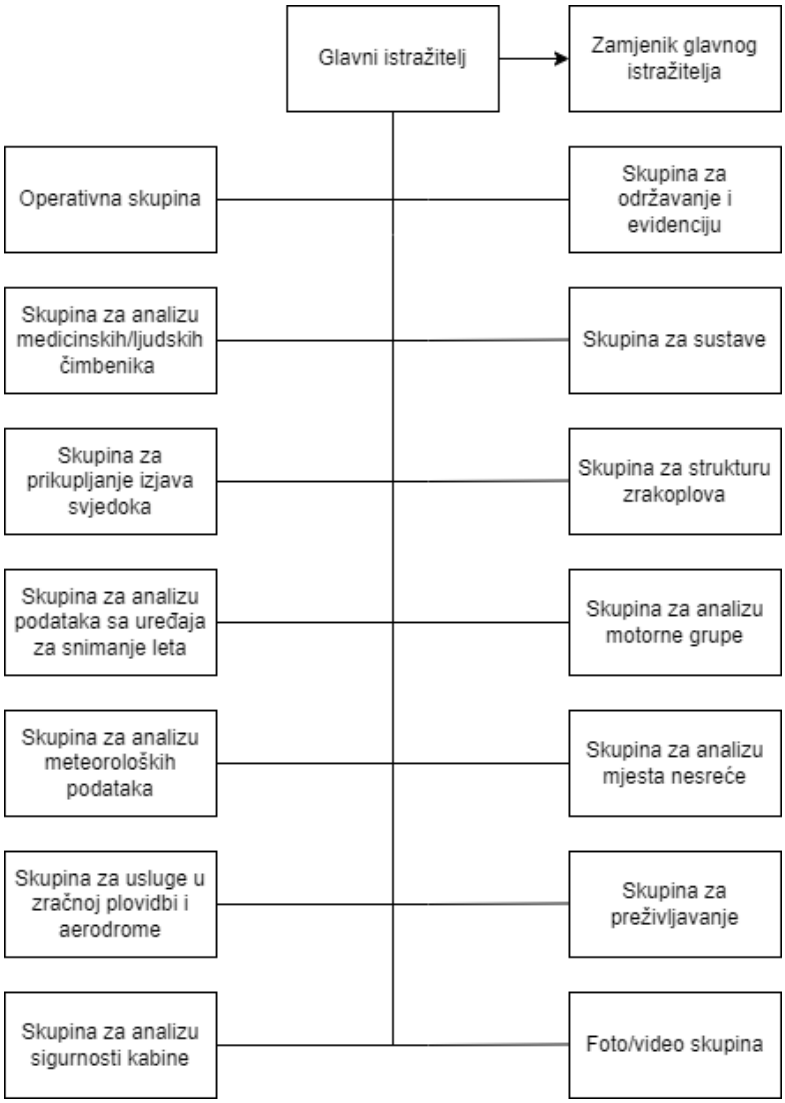
1) prikupljanje, bilježenje i analizu svih relevantnih informacija o toj nesreći ili nezgodi,
2) ako je potrebno, izdavanje sigurnosnih preporuka,
3) ako je moguće, utvrđivanje uzroka i/ili doprinosećih čimbenika te
4) izradu završnog izvješća.

Tijelo za istragu nesreća odlučit će i o opsegu istrage te postupcima koji se trebaju slijediti u njenom provođenju, na temelju lekcija koje se će se naučiti iz istrage radi poboljšanja sigurnosti. Sljedeći parametri utječu na veličinu i složenost istrage, ali i na veličinu te sastav istražnog tima:

1) ozlijede, smrti i štete nanesene na opremi, trećim stranama i okolišu,
2) identificirani i potencijalni sigurnosni problemi koji su se javili u nesreći ili nezgodi,
3) mogućnost ponovnog javljanja nesreće te vjerojatnost i ozbiljnost štetnih posljedica,
4) povijest nesreća i nezgoda povezanih s vrstom operacije, veličine i tipa zrakoplova, operatora, proizvođača i regulatora te
5) stvarna i potencijalna odstupanja od industrijskih sigurnosnih i operativnih regulativa, standarda, procedura i praksi.

Na temelju procjene informacija koje se nalaze u obavijesti o nesreći, tijelo za istragu nesreća treba odabrati glavnog istražitelja. Glavni istražitelj zatim formira istražni tim i delegira odgovornosti za svakog od njegovih članova. On također, tijekom cijele istrage, mora nadzirati njen napredak. Nakon što se pronađu dokazi, oni se trebaju posebno procijeniti od strane glavnog istražitelja koji dalje donosi odluke koje odlučuju opseg i dubinu istrage (određenih prirodom incidenta i dostupnošću istražnih resursa).

[38] Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva. *Priručnik za istraživanje zrakoplovnih nesreća i nezgoda – Dio 2 – procedure i kontrolni popisi. Izdanje: 1.* Montreal; 2012.



Slika 9. Primjer organizacije skupina za istragu velike zrakoplovne nesreće

Izvor: [38]

Tijekom terenske faze, glavni istražitelj je odgovoran za provođenje i kontrolu istrage, što uključuje definiranje opsega činjeničnih informacija koje treba prikupiti. U kasnijim fazama istrage, kada se razmatra značaj utvrđenih činjenica na nesreću, glavni istražitelj mora analizirati podatke i izraditi završno izvješće. Za vrijeme provođenja istrage, definiraju se i koordinatori koji pomažu glavnom istražitelju kao izravna podrška istražnom procesu te komuniciraju s raznim skupinama, organizacijama i vladama, a to su:

1) zamjenik glavnog istražitelja koji pomaže u vođenju, organizaciji i kontroli provođenja istrage,
2) koordinator središnjeg ureda koji pomaže prilikom koordiniranja unutarnje i vanjske podrške istražiteljima na terenu te obavještavanu o napretku istrage,
3) administrativni koordinator koji na terenu formira ured za prikupljanje, distribuciju i zadržavanje materijala prikupljenih a mjestu nesreće,
4) koordinator za odnose s javnošću koji glavnom istražitelju daje stručne savjete vezane za odnose s medijima i organizira medijske događaje te

5) koordinator za sigurnost mjesta događaja koji jamči da se sve aktivnosti na mjestu nesreće pravilno usklade, s posebnim naglaskom na sigurnost i zaštitu na terenu.

U istrazi velikih nesreća obično je potreban znatan tim istražitelja koji se dijele u skupine kako bi obuhvatili sve aspekte događaja. Broj skupina i osoblja dodijeljenog svakoj skupini ovisi o vrsti i složenosti nesreće. Istražne skupine se obično mogu podijeliti u dvije kategorije: operativnu i tehničku, kao što je prikazano na slici 9[38]. Operativna kategorija može uključivati skupine za:

1) analizu letnih performansi,
2) analizu medicinskih/ljudskih čimbenika,
3) prikupljanje izjava svjedoka,
4) analizu podataka s uređaja za snimanje leta,
5) analizu meteoroloških podataka,
6) usluge u zračnoj plovidbi i aerodrome,
7) analizu sigurnosti kabine te
8) operativnu skupinu.

S druge strane tehnička kategorija uključuje skupine za:

1) održavanje i evidenciju,
2) sustave,
3) strukturu zrakoplova,
4) analizu motorne grupe,
5) analizu mjesta nesreće,
6) preživljavanje te
7) foto/video skupinu.

3.2.3. Istraga

Istraživanje zrakoplovne nesreće sustavni je proces kojim se procjenjuju i otklanjaju svi mogući uzroci nepovoljnog događaja dok ne preostanu samo relevantni čimbenici za istragu. Ako se za vrijeme istrage otkriju problemi koji nisu bili prisutni prije nesreće potrebno ih je zabilježiti i dostaviti nadležnim tijelima. Oni se dostavljaju i u slučajevima kada nisu dio završnog izvješća. Pošto se istražiteljima može pričiniti kako su mnoge nesreće identične, oni moraju zadržati otvoren u kako se ne bi fokusirali na jedan problem, a zanemariti drugi koji može biti uzrok nesreći. Budući da se zrakoplovne nesreće rijetko događaju, istražitelji moraju iskoristiti svaku priliku za obuku sa zračnim prijevoznicima, proizvođačima zrakoplova, ali i vojskom kako bi ostali u tijeku i naučili najbolje istražne tehnike. Veće zračni prijevoznici i zračne luke održavaju periodične vježbe hitnih slučajeva što omogućuje istražiteljima da uvježbavaju svoje istražne vještine kroz različite primjere. To omogućuje istražiteljima i u brzom utvrđivanju uzroka u slučaju stvarne nesreće ili ozbiljne nezgode. Istraga zrakoplovne nesreće sadrži sljedeće tri faze[39]:

[39] Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva. *Priručnik za istraživanje zrakoplovnih nesreća i nezgoda – Dio 3 – Istraga. Izdanje: 1.* Montreal; 2011.

1) prikupljanje podataka,
2) analiza podataka i
3) predstavljanje nalaza.

Prvi korak u istražnom postupku je definiranje i prikupljanje podataka vezanih za nesreću, a posebni pažnju treba dati brzo pokvarljivim podacima. Kako se nove informacije o nesreći konstantno otkrivaju, prikupljanje podataka uvijek je kontinuirani proces. Kao rezultat toga, podaci prikupljeni na početku istrage mogu se povezati s podacima prikupljenim kasnije kako bi se potvrdili ili utvrdili potencijalni doprinoseći čimbenici. Vrste podataka koji se prikupljaju za vrijeme istrage su[39]:

1) podaci o samoj nesreći ili nezgodi kao što su datum i vrijeme, lokacija, polazišna točka, visina leta, destinacija i radarske putanje,
2) meteorološki podaci kao što su atmosferski uvjeti, pozicija Sunca i Mjeseca, jačina i smjer vjetra, vulkanski pepeo i dim, zaleđivanje i slično,
3) tehnički podaci kao što su zapisi održavanja i proizvodnje, podaci uređaja za snimanje podataka na letu i laboratorijske analize komponenti zrakoplova te
4) ljudski faktori koji uključuju intervjuiranje svjedoka (ako oni postoje) i preživjelih, analiziranje aktivnosti posade koje su snimljene snimačima slike i zvuka u pilotskoj kabini te rezultate obdukcija.

Što se tiče analize podataka, ona se provodi istovremeno s prikupljanjem podataka. Analiza često stvara nove izazove istražiteljima što zahtijeva dodatno prikupljanje podataka, modeliranje i konzultiranje, Rijetko kada rezultati istrage otkrivaju jedan uzrok s određenim rješenjem. Za prikupljanje i analizu podataka potrebne su redovite konzultacije između različitih članova istražnog tima. Na kraju se nalazi predstavljaju u izvješćima koja su napisana prema formatu Dodatka 13, a objavljuju se u tzv. ADREP bazu podataka (engl. *Accident/Incident Data Reporting - ADREP*)[39].

3.2.3.1. Istraga olupine

Mjesto nesreće mora se utvrditi i prijaviti. Ključno je odrediti točku udara te, u slučaju da nije na istom mjestu, odrediti lokaciju većeg dijela olupine, kao i veličinu područja na kojemu se olupina nalazi. To se najčešće radi korištenjem GPS prijemnika, aeronautičkih karata ili slika iz zraka. Karte lokalnog područja te aeronautičke karte se trebaju koristiti za utvrđivanje mjesta nesreće u odnosu na navigacijske uređaje i zračne luke. Nadmorska visina i nagib mjesta nesreće također trebaju biti zabilježeni.

Olupina se radi očuvanja kvarljivih dokaza, ilustriranja zaključaka glavnog istražitelja te obrazloženja informacija mora pravilno fotografirati. Svaki istražitelj nesreće mora imati fundamentalne vještine fotografiranja kako bi snimio visokokvalitetne slike ili uspješno komunicirao s profesionalnim fotografom. To znanje je potrebno kako bi se prikupile najbitnije fotografije za dobro napisano izvješće. Prije fotografiranja mjesta nesreće, istražitelj mora imati na umu opremu koja odgovara uvjetima na terenu, a slike može snimiti s jednokratnim, kompaktnim ili jednookim zrcalnim fotoaparatima te kamerama. Opće pravilo fotografiranja mjesta nesreće je početi s dokazima osjetljivim na propadanje, a završiti s najmanje kvarljivim

dokazima. Kako bi istražitelj snimio dobru fotografiju, mora uzeti u obzir pet čimbenika, a to su: kompozicija, svjetlost, fokus i otvor objektiva te ekspoziciju. Poznavanje fotografske opreme je vrlo bitno, a preporučuje se da istražitelj vježba fotografiranje u nepovoljnim uvjetima.

Istraga nesreće trebala bi započeti temeljitim ispitivanjem olupine, s posebnim naglaskom na provjeri jesu li kritične strukturne i upravljačke površine zadržane u olupini. Potrebno je utvrditi nalaze li se na olupini primarni strukturni elementi kao što su krila, vertikalne i horizontalne površine te ispravan broj motora, propelera i lopatica. Nakon toga potrebno je utvrditi nalaze li se na olupini sve kontrolne površine kao što su krilca, zakrilca, kormila visine, trimeri, spojleri i slično. Prije detaljne analize također je potrebno napraviti procjenu osnovnih obilježja terena koji okružuje mjesto nesreće. Na primjer to može biti uzdignuto tlo koje dokazuje strmi kut točke udara zrakoplova. Između ostalog, istražitelji trebaju utvrditi obujam raspada zrakoplova. Ako je on opsežan, to se može postići obilaskom mjesta nesreće počevši od točke udara zrakoplova prateći osnovni smjer raspadanja olupine koju je utvrdio istražitelj. Neki teški predmeti s puno inercije često padnu daleko od same olupine. Nakon što istražitelj utvrdi granicu duljine mjesta nesreće treba definirati granicu širine kako bi se svi istražni napori usmjerili unutar definiranog parametra. Istražitelji zatim moraju odrediti sve snimljene medije koji su se nalazili u zrakoplovu. Osim snimača podataka o letu i glasa u pilotskoj kabini, istražitelji bi trebali biti svjesni svih alternativnih načina pohrane podataka. Prije izvođenja bilo kakvog istraživanja olupine potrebno je utvrditi položaj i izgled uređaja za pohranu podataka kako bi se ti izvori dokaza otkrili i sačuvali prije nego što ih vrijeme i vanjski uvjeti ne kompromitiraju.

Istražitelji trebaju odrediti prvi udar zrakoplova o tlo, što se najčešće može utvrditi na temelju disperzije olupine. Oznake na tlu, drveću, grmlju, stijenama, stupovima, dalekovodima, zgradama i drugim objektima mogu se iskoristiti za određivanje putanje zrakoplova. Na mjestima dodira sa statičnim objektima vrhovi krila, propeleri i stajni trap ostavljaju vidljive tragove i otkinute dijelova. Tragovi na tlu u kombinaciji s visinom oštećenih stabala mogu pomoći u određivanju kuta i položaja u kojem je zrakoplov udario u tlo. Ispitivanje žrtava nesreće i sadržaja iz zrakoplova također mogu pomoći prilikom utvrđivanja što se točno dogodilo. Ako je olupina poprilično rasuta duž putanje leta to može ukazivati na strukturni raspad prije udara u tlo. Najčešće to može stvoriti preliminarnu sliku[39]:

1) o smjeru, kutu i brzini pada zrakoplova,
2) radi li se o kontroliranom ili nekontroliranom slijetanju,
3) jesu li motori bili korišteni prilikom udara i
4) je li zrakoplov ostao strukturalno čitav prilikom prvog udarca.

3.2.3.2. Operativni procesi istrage

Operativni procesi istrage uključuju istraživanje i izvješćivanje činjenica relevantnih za povijest leta, ali i ponašanje letačke posade prije, tijekom i nakon nesreće. Istragu je potrebno proširiti i na osoblje izravno uključeno u operacije zrakoplova kao što su planeri leta i dispečeri. Glavna područja operativnih procesa istrage su[39]:

1) povijesne informacije o posadi kao što su osobni podaci, vrijeme na dužnosti, zdravstveno stanje i iskustvo u letenju,
2) kvalificiranost i stručnost posade,
3) broj sati leta te vrijeme dužnosti i odmora posade,
4) upravljanje zadacima i upravljanje resursima posade (engl. *Crew Resource Management - CRM*),
5) osobna oprema posade,
6) planiranje leta u suradnji s kontrolom zračne plovidbe,
7) uravnoteženje i opterećenje zrakoplova,
8) karte i baze podataka za navigaciju,
9) operativni priručnici kao što je npr. priručnik za let,
10) intervjui svjedoka,
11) određivanje putanje leta zrakoplova i
12) slijed leta.

3.2.3.3. Podaci o nesreći

Uzrok zrakoplovnih nesreća i nezgoda može biti okolina u kojoj se odvijala operacija. Nakon javljanja nesreće moraju se analizirati podaci o operativnom okruženju zrakoplova koji se dijele na[39]:

1) meteorološke uvjete,
2) kontrolu zračne plovidbe,
3) infrastrukturu i opremu zračne luke,
4) zaleđivanje te
5) divlje životinje i ptice.

Meteorološki uvjeti i dalje se identificiraju kao česti čimbenik koji doprinosi nesrećama i nezgodama u svjetskom zrakoplovstvu unatoč tehnološkim napredcima prognoziranja vremena te distribucije i prezentacije meteoroloških podataka (engl. *Meteorological Data – MET*). To je rezultirao u sastavljanju posebne skupine posebno obučenih kvalificiranih osoba koji pomažu u istrazi nesreća kojima su meteorološki uvjeti značajno doprinijeli. Zbog dostupnosti podataka (lošije u zabačenim područjima) i složenosti meteoroloških fenomena vezanih za nesreću, MET podaci razlikovat će se od države do države. Unatoč tomu, potrebno je prikupiti velik broj zapažanja i podataka o prognozi. Kako bi se povoljno utjecalo na identifikaciju trendova i analizu kontinuiteta, podatke treba prikupljati u periodu od 12 sati prije i poslije nesreće. Stvarni meteorološki uvjeti na mjestu nesreće i duž rute mogu se odrediti iz raznih izvora, a oni mogu biti:

1) rutinska i specijalna meteorološka izvješća zračne luke,
2) stanje mora,
3) zabilješke o padalinama, tlaku, vjetru, oblacima, vidljivosti, prirodnom svjetlu,
4) stanje uzletno sletne staze,
5) videosnimke,
6) meteorološke radarske zapise i satelitske snimke.

U istrazi je moguća potreba za procjenom učinkovitosti i djelotvornosti pružatelja usluga u zračnom prometu, osobito prilikom kršenja najmanje propisane udaljenosti zrakoplova u zraku ili na manevarskim površinama. Detaljna rekonstrukcija događaja treba pružiti dokaze za provjeru svih koraka od planiranja leta do samog događaja. Također se trebaju provjetriti različite funkcije koje obavljaju pružatelji usluga kao što su zemaljska, aerodromska, prilazna, odlazna i oblasna kontrola. Gdje god je to moguće, istraga kontrole leta treba se obaviti korištenjem simulatora, računalnih grafika i videosnimaka za reprodukciju događaja. Između ostalog, vrlo je važno odrediti točno vrijeme događaja. Prvu približnu informaciju o vremenu događaja najčešće daje centar za usluge u zračnom prometu. Kada se obave prijepisi radio telefonskih komunikacijskih snimaka vrijeme nesreće može se odrediti unutar jedne minute, no ako je zrakoplov opremljen snimačem podataka o letu ili snimačem zvuka u pilotskoj kabini događaj se može točno odrediti unutar dvije sekunde.

U istragama kontrole leta potrebno je skupiti osobne podatke kontrolora koji su sudjelovali u nesreći. Potrebno je nabaviti i njihove licence, vrijeme rada i zdravstvene podatke kao što su povijest bolesti, faktor umora temeljen na odmoru i radnom vremenu kontrolora te datum zadnje kontrole. Kako bi prikupio navedene podatke, istražitelj ponekad treba obaviti intervjue s ostalim zaposlenicima koji rade s kontrolorom koji je sudjelovao u nesreći. Aktivnosti kontrolora trebaju se istražiti u sljedećim vremenskim periodima[39]:

1) prije događaja:
    a. aktivnosti unutar 72 sata prije događaja s posebnim osvrtom na psihološke čimbenike koji mogu imati utjecaj na rad kontrolora, njegovo fizičko stanje u odnosu na cikluse rada i odmora, nepravilnosti u prehrani te obrazaca spavanja,
    b. okolnosti, kao što je udaljenost koju je kontrolor trebao prevaliti za dolazak na posao te pripremne aktivnosti koje je odradio prije početka dužnosti i
    c. aktivnosti i težina posla od početka rada,
2) za vrijeme događaja – istraga bi trebala pokušati rekonstruirati rad, opterećenje i ponašanje svakog od relevantnih zaposlenika usluge zračnog prometa za vrijeme svih faza događaja temeljeno na informacijama prije događaja
3) nakon događaja – analiziraju se aktivnosti kontrolora neposredno nakon događaja kao što su organizacija potrage i spašavanja ako je bila potrebna te izmjena kontrolora na dužnosti.

Kada se nesreća dogodi u fazi polijetanja, slijetanja ili unutar granica zračne luka, glavni istražitelj mora analizirati sve njene sustave koji su imali ulogu u nesreći. Zračne luke moraju slijediti sve kriterije propisane u ICAO-ovom Dodatku 14. koji osiguravaju sigurnost operacija, a svako odstupanje od tih kriterija će se, u slučaju nesreće, morati istražiti. Ako je polijetanje ili slijetanje izravno uključeno u slijed nesreće, istražitelj treba procijeniti sljedeće:

1) dužinu i širinu uzletno-sletnih staza, zaustavnih staza, čistina, osnovnih staza i sigurnosnih površina kraja USS-e (engl. *Runway End Safety Area – RESA*), područja za usporavanje te ramena,
2) lokaciju praga za vrijeme nesreće (to uključuje korištenje skraćene uzletno-sletne staze i mrtve kutove kontrolnog tornja),
3) oznake na uzletno-sletnoj stazi

4) znakove uz uzletno-sletnu stazu,
5) osvjetljenja, kao što su:
    a. prilazna svijetla (vrsta, dimenzije, boja, intenzitet),
    b. sustavi svjetlosnih pokazivača nagiba prilaza (VASI, PAPI i PLASI),
    c. svijetla rubova, pragova i kraja uzletno-sletne staze,
    d. svjetla središnje linije,
    e. svjetla točke slijetanja,
    f. pozadinsko osvjetljenje,
6) nagibe i promjene nagiba,
7) vrstu konstruktivnog kolnika,
8) stanje površine uzletno-sletne staze,
9) koeficijente trenja,
10) izdržljivost USS-e,
11) prepreke, opasnosti od građevinskih radova i lomljivih objekata,
12) radove u tijeku na zračnoj luci te
13) opasnost od životinja.

Posljednjih godina, brojne zrakoplovne nesreće su bile povezane s različitim aspektima zaleđivanja. Uvjeti zaleđivanja mogu biti opasni ne samo u letu, već i na zemlji prije polijetanja. Utvrđeno je da nakupine leda na ključnim površinama zrakoplova već od oko 0,025 milimetara mogu vrlo intenzivno utjecati na smanjenje uzgona. Prije polijetanja zrakoplov mora biti potpuno čist i zadržati svoju aerodinamičnost. Uobičajena praksa koja se razvila u zrakoplovnoj industriji je odleđivanje i sprječavanje zaleđivanja (engl. *De-Icing i Anti-Icing*) koji se obavljaju prije leta. Najčešća praksa korištenje je posebnih tekućina za odleđivanje i sprječavanje zaleđivanja koje odgađaju stvaranje mraza, leda i snijega na površinama zrakoplova određen vremenski period (ovisno o vrsti otopine). Kada vremenski uvjeti nalažu da je prije nesreće trebao biti odrađen postupak odleđivanja i sprječavanja zaleđivanja, istražitelj treba procijeniti učinkovitost tih mjera i samo odleđivanje koje se odradilo.

Ako je uzrok nesreće ili nezgode udar ptice ili druge divlje životinje, istražitelj treba kombinirati istragu događaja sa svim preventivnim mjerama koje su poduzete kako bi se smanjila vjerojatnost ovog udara. Prilikom istraživanja znakova udara ptice potrebna je opreznost jer dokazi mogu biti vrlo mali. Iako točka udarca koja je izazvala štetu može biti lako vidljiva, istražitelji trebaju istražiti udare na cijelom zrakoplovu. U slučajevima kada zrakoplov udari u jato ptica potrebno je utvrditi ukupan broj pogodaka kako bi se utvrdile karakteristike njihovog leta. Ukoliko je udar ptice rezultirao požarom, najbolji način za utvrđivanje ostataka ptica je mirisom, kojim se može identificirati goruće perje ili ptičje meso mnogo prije nego što se otkrije bilo koji drugi dokaz. Dokaze ostataka ptica potrebno je staviti u prozirne plastične vrećice sa zatvaračem kako bi se izbjegla moguća kontaminacija. Prilikom prikupljanja dokaza u vrećice, ne smije se koristiti ljepljiva traka jer se isti njome mogu oštetiti.

3.2.3.4. Snimači leta

Pod pojmom „snimači leta“ spadaju svi snimači koji se mogu ugraditi u zrakoplove kako bi pomogli istrazi nesreća i nezgoda. Za potrebe istrage nesreća, ICAO nalaže da

zrakoplov mora imati snimale koji mogu preživjeti u sudaru te da kombiniraju mogućnosti snimanja podataka o letu i glasa u pilotskoj kabini. Osim navedenih snimača, mnogi zrakoplovi opremljeni su i snimačima koji ne mogu preživjeti u sudaru, a koji se svakodnevno koriste za operacije zračnih prijevoznika. Iako nisu zaštićeni od sudara, ovi snimači mogu biti vrlo korisni istražiteljima ako prežive sudar. Danas su također sve popularniji tzv. kombinirani snimači koji imaju mogućnost snimanja brojnih funkcija u jednom uređaju.

Snimači koji mogu preživjeti sudare napravljeni su tako da mogu izdržati jake udarne sile, kratkotrajne i dugotrajne požare, proboje i druge štetne uvjete okoline. U većini slučajeva požar je najveći uzrok uništenja medija za snimanje podataka. Općenito, različite vrste snimača koji mogu i ne mogu preživjeti sudar su:

1) snimač podataka o letu (engl. *Flight Data Recorders – FDR),*
2) snimač glasa u pilotskoj kabini (engl. *Cockpit Voice Recorders – CVR*),
3) snimač slika iz zraka (engl. *Airborne Image Recorder – AIR*),
4) snimač podatkovne veze (engl. *Data Link Recording – DLR*),
5) kombinirani snimač i
6) snimač brzog/direktnog pristupa (engl. *Quick Access Recorder – QAR i Direct Access Recorder – DAR*).

Snimač podataka o letu (prikazan na slici 10.) je uređaj za snimanje podataka zrakoplovnih sustava otporan na sudare. Parametri mogu biti već podešeni na samom snimaču, međutim u suvremenim zrakoplovima parametri leta već se koriste od strane samog zrakoplova za let, tako da su oni lako dostupni za snimanje na FDR-u. Većina država zahtijeva da se određen minimalan broj parametara snimi, no FDR snimi mnogo više od potrebnog minimuma. Podaci o samom letu, govor, slike i poruke podatkovne veze mogu se snimiti na FDR-ovu vrpcu, optički disk ili memorijski čip. Svi današnji snimači podataka o letu bilježe digitalne podatke koji se spremaju u njegovu memoriju. Temeljni cilj modernog FDR sustava je izvući sve relevantne podatke o radu i performansama zrakoplova iz ogromne količine podataka dostupnih u raznim sustavima zrakoplova. Često se snimi dovoljno podataka kako bi se odredila trodimenzionalna putanja zrakoplova, identificirao njegov položaj, utvrdile sile koje su na njega djelovale te specifičan način na koji je on letio.



Slika 10. Snimač podataka o letu, [40]

Osim snimanja podataka o letu, za utvrđivanje uzroka zrakoplovne nesreće krucijalno je analizirati razgovore pilota međusobno, s kontrolom leta, kabinskim osobljem te samo akustično okruženje u kokpitu. Primarni cilj snimača glasa u pilotskoj kabini je pohraniti sve navedene komunikacije. U mnogim su nesrećama je upravo letačka posada bila kritična komponenta u utvrđivanju uzroka nesreće. Osim razgovora letačke posade, zvučno okruženje pilotske kabine može dati ključnu ideju za razlog same nesreće u brojnim istragama. Često se na snimkama mogu čuti značajni zvukovi kao što su aktiviranje pojedinih prekidača, zakrilaca i stajnog trapa, zvučni signali upozorenja, zvuk motora te zvuk u pilotskoj kabini povezan s promjenama brzine i slično. Ova vrsta podataka iznimno je korisna prilikom istraživanja jer se iz snimke može utvrditi točno vrijeme svakog od zvukova. Snimači zvuka u kokpitu najčešće snimaju:

1) glas i digitalnu komunikaciju odašiljanu ili primljenu od strane radijskog prijemnika,
2) glasovna komunikacija članova letačke posade u pilotskoj kabini,
3) glasovne komunikacije članova letačke posade u pilotskoj kabini pomoću interfona,
4) glasovni ili zvučni signali koji identificiraju pomagala za navigaciju ili prilaz u iz slušalica ili zvučnika te
5) glasovne komunikacije članova letačke posade putem zvučnog sustava za putnike, kada takav sustav postoji, a četvrti kanal za snimanje nije u upotrebi.

Snimači leta dizajnirani da izdrže sudare obično se nalaze u repu zrakoplova (u prešuriziranom ili neprešuriziranom djelu) gdje je manja vjerojatnost da će biti fizički oštećeni u padu. Savjetuje se da se dva kombinirana snimača stave u rep, a jedan u nos zrakoplova, ako se oni koriste. Iako je nos aviona područje s manjom šansom preživljavanja snimača, isti se nalazi bliže mikrofonima u pilotskoj kabini što povećava preciznost snimača za hvatanje

[40] Deutsche Welle. *FDR.* Preuzeto s: https://static.dw.com/image/17546715_303.jpg [Pristupljeno: 18. svibnja 2022.].

posljednjih milisekundi zvučnih podataka koji mogu biti ključni za istragu. Potraga za snimačima leta nakon pada može biti vrlo kompliciranа. U slučaju požara ili jačih udara, poznati izgled snimača može se promijeniti, čineći ga neprepoznatljivim. Iako snimači prolaze rigorozna testiranja oni nisu neuništivi. Kada se olupina zrakoplova otkrije pod vodom, za lociranje i vračanje uređaja potrebna je posebna oprema. Podvodni odašiljač lokacije (engl. *Underwater Locating Beacon – ULB*) instaliran je na svakom FDR-u i CVR-u, koji kada dođe u doticaj s vodom emitira sonarni signal oko 30 dana. Ako su snimači leta potopljeni, oni se moraju izvući i transportirati na siguran način kako bi se izbjegla daljnja oštećenja[39].

3.2.4. Izvještavanje

Kao temelj za provedbu bitnih sigurnosnih mjera za sprječavanje budućih nesreća uzrokovanih sličnim čimbenicima koristi se završno izvješće. Kao rezultat, završno izvješće o nesreći mora pojasniti što se točno dogodilo te kako i zašto se nesreća dogodila. Nalazi i razlozi završnog izvješća trebali bi dovesti do sigurnosnih preporuka kako bi se mogle provesti odgovarajuće preventivne mjere. Završno izvješće treba pružiti[41]:

1) popis svih relevantnih činjenica (uključujući sve kontradiktorne dokaze),
2) analizu relevantnih činjenica,
3) nalaze i uzroke te
4) sigurnosne preporuke.

Završno izvješće obično sastavlja glavni istražitelj ili tijelo za istraživanje nesreća. Sva bitna područja istrage trebaju biti detaljno obuhvaćena u završnom izvješću. Kada je istraga nesreće strukturirana formiranjem specijaliziranih skupina, svaki voditelj skupine trebao bi izraditi pisano izvješće glavnom istražitelju, zajedno sa svim pojedinostima o činjenicama i nalazima te popratnim dokumentima i podacima. Završno izvješće se u znatnoj mjeri temelji na izvješćima skupina. Vodeći istražitelj svake grupe odgovoran je za pregled pribavljenih dokaza koje je prikupila skupina te pripremu grupnog izvješća koje sadrži sve činjenice vezane za aktivnosti skupine. Predsjedavajući istražitelj skupine također treba izraditi analizu činjenica koje je ona utvrdila, kao i zaključke istrage te sigurnosne prijedloge. S druge strane, glavni istražitelj odgovoran je osigurati da je konačno izvješće napisano na dosljedan i ujednačen način.

Istraga o zrakoplovnoj nesreći nije završena sve dok završno izvješće ne obuhvati sve važne informacije otkrivene istragom te dok se ne zabilježe analiza činjenica, zaključci i sigurnosne preporuke. Završno izvješće treba biti smisleno organizirano i napisano jednostavnim, razumljivim jezikom. Definirana struktura Završnog izvješća pomaže u stvaranju temeljite i točne evidencije o nesreći, a ono treba sadržavati detaljan sažetak same istrage. Dio analize izvješća trebao bi se temeljiti na činjeničnim informacijama prikupljenim tijekom istrage, što dovodi do i podržava formulaciju nalaza, uzroka i sigurnosnih preporuka.

[41] Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva. *Priručnik za istraživanje zrakoplovnih nesreća i nezgoda – Dio 4 – Izvještavanje. Izdanje: 1.* Montreal; 2003.

Standardizirani format završnog izvješća nalazi se u prilogu ICAO Dodatka 13 te pruža kvalitetno strukturiran zapis istrage. Završno se izvješće može podijeliti u pet dijelova:

1) uvod s naslovom i sažetkom,
2) činjenične informacije,
3) analiza,
4) zaključci s nalazima i uzrocima te
5) sigurnosne preporuke.

Prema Dodatku 13, država koja provodi istragu prosljeđuje kopiju nacrta konačnog izvješća državi koja je pokrenula istragu, kao i svim drugim državama koje su sudjelovale u istrazi. Država koja provodi istragu također bi trebala poslati kopije nacrta završnog izvješća operatoru i organizacijama odgovornim za dizajn i proizvodnju zrakoplova, putem država operatora, projektiranja, odnosno proizvodnje, kako bi operator i navedene organizacije mogle komentirati nacrt konačnog izvješća. Ako se u roku od šezdeset dana ne zaprime komentari na poslani nacrt, država koja provodi istragu izradit će Završno izvješće, osim ako uključene države pristanu na duži rok. Država koja provodi istragu izdat će Završno izvješće što je prije moguće, po mogućnosti u roku od dvanaest mjeseci od datuma incidenta. Ako se izvješće ne može izraditi u roku od dvanaest mjeseci, država koja provodi istragu izdat će privremeno izvješće ili upotrijebiti drugu metodu za prikaz napretka istrage i svih otkrivenih sigurnosnih problema.

Uzroci nesreća, posebice onih velikih zrakoplova, bitni su svim državama, a posebno onima koje upravljaju sličnim tipovima zrakoplova. Zbog toga pravodobno objavljivanje nalaza istraga zrakoplovnih nesreća svim državama može značajno doprinijeti povećanju sigurnosti u zračnom prometu. Stoga, države koje su provele istragu mogu objaviti sažetak izvješćivanja o nesrećama/nezgodama (engl. *Accident/Incident Data Reporting – ADREP*). Budući da su informacije u ADREP-u ograničene, države koje su zainteresirane u detaljnije informacije mogu zatražiti kopiju završnog izvješća od državnog tijela za istragu nesreća[41].

4. Analiza zrakoplovnih nesreća letova B737 MAX

4.1. Studija slučaja - JT610 zračnog prijevoznika Lion Air

Boeing 737 MAX 8, registracijskih oznaka PK-LQP poletio je iz međunarodne zračne luke Jakarta Soekarno-Hatta (IATA kod CGK, ICAO kod WIII[42]) 29. listopada 2018. godine u 05:45 prema lokalnom vremenu. Operater zrakoplova bio je indonezijski zračni prijevoznik Lion Air (IATA kod JT, ICAO kod LNI[43]), a destinacija leta JT610 bila je zračna luka Pangkalpinang Depati Amir (IATA kod PGK, ICAO kod WIPK[42]) na otoku Bangka Belitung, sjeverozapadno od Jave. Kapetan zrakoplova bio je 31-godišnji pilot iz Indije, s 6.028 sati naleta, od kojih je 5.176 odrađeno na tipu Boeing 737, dok je prvi časnik bio 41-godišnji pilot iz Indonezije s 5.174 sati ukupnog naleta od kojih je 4.286 sati na B737. Na letu se nalazilo 189 osoba, od kojih je šestero bilo članova kabinskog osoblja, 181 bilo putnika (uključujući jednog zrakoplovnog inženjera) te dvoje već spomenutih pilota. Nesreću nije preživjela niti jedna osoba[44].

4.1.1. Događaji prije leta

Prije leta, točnije 28. listopada 2018. senzor lijevog napadnog kuta (engl. *angle of attack – AOA*) zamijenjen je u Denpasaru zbog konstantnog netočnog javljanja indikatora brzine i nadmorske visine primarnom zaslonu kapetana. Nakon instalacije, AOA senzor odstupao je od točnog napadnog kuta za 21° što inženjeri u Denpasaru nisu primijetili. Zbog odstupanja AOA senzora tijekom leta od Denpasara do Jakarte, pilotima su se kabini javljale pogrešne indikacije za induciranu brzinu, visinu leta i diferencijalni tlak. To je također rezultiralo u aktivaciji MCAS sustava te upozorenja sloma uzgona koje se karakterizira vibracijom upravljača zrakoplova. Tom vibracijom sustav upozorava posadu zrakoplova kada je brzina jednaka minimalnoj operativnoj brzini, blizu brzine sloma uzgona na krilu. Posada zrakoplova uspjela je zaustaviti konstantnu aktivaciju MCAS sustava isključivši automatsko podešavanje trimera na stabilizatoru. Nakon leta, posada zrakoplova nije prijavila aktivaciju upozorenja sloma uzgona niti isključivanje automatskog podešavanja trimera.

Neposredno prije polaska, snimač glasa u pilotskoj kabini snimio je razgovor između pilota prije leta u kojemu spominju rutu taksiranja, uzletno-sletnu stazu u uporabi, planiranu visinu krstarenja od 8.230 metara (27.000 stopa) te dobre vremenske prilike. Razgovor posade o ranijim tehničkim problemima zrakoplova zabilježenim u dnevniku leta i održavanja zrakoplova (engl. *Aircraft Flight and Maintenance Log – AFML*) nije snimljen. Nakon toga kapetan i prvi časnik prošli su kontrolnu listu prije taksiranja. Digitalni snimač podataka o letu je u tom trenutku zabilježio nagib trimera od 6,6 stupnjeva. Poslije prolaska kontrolne liste,

[42] ch-aviation. Preuzeto s: https://www.ch-aviation.com/airports [Pristupljeno: 27. svibnja 2022.].
[43] ch-aviation. Preuzeto s: https://www.ch-aviation.com/airlines [Pristupljeno: 16. lipnja 2022.].
[44] Nacionalni odbor za sigurnost prometa Indonezije. *Aircraft Accident Investigation Report, PT. Lion Mentari Airlines Boeing 737-8 (MAX); PK-LQP*. Jakarta; 2019.

zemaljski kontrolor je izdao dozvolu za taksiranje posadi zrakoplova PK-LQP te im dao upute za kontaktiranje toranjskog kontrolora zračne luke ja Jakarti[44].

4.1.2. Zrakoplovna nesreća leta JT610

U 06:18 sati prema lokalnom vremenu, toranjski kontrolor dao je uputu posadi zrakoplova da poravna zrakoplov s centralnom linijom uzletno sletne staze 25L nakon čega je posada prošla kontrolnu listu za polijetanje. Zatim toranjski kontrolor izdaje dopuštenje za polijetanje koje prvi časnik ponavlja te je ručica potiska stavljena u poziciju za polijetanje i produžavanje (engl. *Takeoff/Go-Around – TO/GA*). Zbog odstupanja AOA senzora, u trenutku kada je prvi časnik najavio brzinu od 80 čvorova, snimač podataka o letu indicirao je brzinu od 79 čvorova na njegovom zaslonu, dok je na kapetanovom zaslonu zabilježena brzina od 81 čvor. Snimač podataka također je zabilježio razliku između senzora desnog i lijevog napadnog kuta koja je iznosila oko 21 stupanj za vrijeme čitavog trajanja leta. Na kapetanovom zaslonu prikazan je napadni kut od -1 stupanj, dok je na zaslonu prvog časnika prikazan iznos od 13 stupnjeva.

Nakon što se nosni stajni trap odvojio od uzletno-sletne staze, snimač leta zabilježio je upozorenje sloma uzgona na lijevoj palici koje je trajalo većinu nesretnog leta. Prilikom uzlijetanja, snimač zvuka u kokpitu snimio je zvučno upozorenje konfiguracije polijetanja na koje je kapetan reagirao s upitom prvom časniku o problemu. U tom trenutku FDR je zabilježio nagib od 7° te brzinu penjanja od 305 metara po minuti (1.000 stopa po minuti). U 06:20:40 prema lokalnom vremenu zrakoplov je poletio prema standardnom instrumentalnom odlasku. Nakon polijetanja prvi časnik je najavio isključenje automatske kočnice te informirao kapetana o različitim induciranim brzinama. U tome je trenutku FDR zabilježio induciranu brzinu od 164 čvorova na lijevoj te 173 čvorova na desnoj strani. Prvi časnik se zatim raspituje o problemu te postavlja upit kapetanu misli li okrenuti zrakoplov i vratiti se na zračnu luku u Jakarti, no on ne odgovara. Zatim je dignuta ručica za uvlačenje stajnog trapa, a toranjska kontrola upućuje posadu da kontaktira kontrolora u istočnom terminalu. Osim krivih informacija o induciranoj brzini i napadnom kutu, nadmorska visina zrakoplova također je drugačije prikazana na kapetanovom i časnikovom zaslonu. U trenutku kada je kontrolor s istočnog terminala informirao posadu o visini od 274 metara, na kapetanovom zaslonu bila je naznačena visina od 241 metar, a časniku 317 metara.

Prvi časnik zatim postavlja pitanje kapetanu koju visinu da zatraži od kontrolora i predlaže da okrenu zrakoplov u smjeru puhanja vjetra, što kapetan odbija. U 06:21:45 snimač podataka o letu bilježi skretanje zrakoplova u lijevo nakon čega je prvi časnik zatražio kontrolora odobrenje za povratak na zračnu luku Jakarta što on ne odobrava, već samo pamti da zrakoplov ima problem s letnim performansama. Nakon traženja odobrenja od kontrolora, prvi časnik predlaže kapetanu pomicanje zakrilaca s pozicije 5 na poziciju 1, što kapetan i čini. Deset sekundi nakon aktiviranja zakrilaca kapetan prebacuje kontrolu zrakoplova na prvog časnika koji kontrolu savjetuje prelazak na visinu leta od 1524 metra. Kontrola zahtjev odobrava te upućuje posadu da skrene u lijevo na kurs od 050°. Nakon postavljanja zakrilaca na poziciju 1, lijevi indikator za slom uzgona prestao je vibrirati, a napadni kut na lijevoj strani iznosio je 18° (nos zrakoplova prema gore) te na desnoj -3° (nos prema dolje). U tom trenutku

brzina zrakoplova na radaru iznosila je 322 čvorova, na kapetanovoj strani 306, a časnikovoj 318 čvorova.

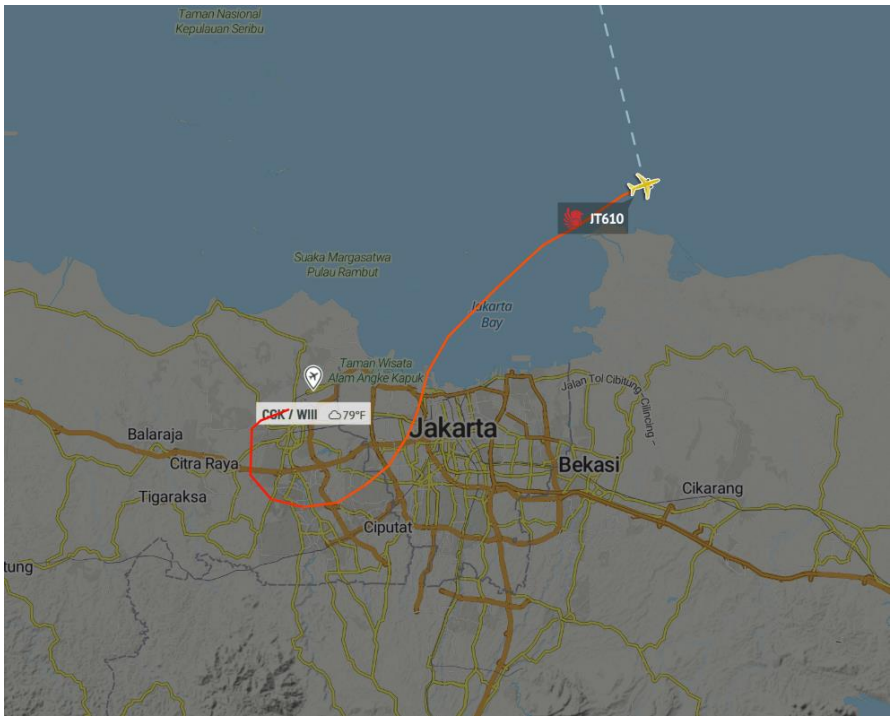
U 06:23:00 letačka je posada aktivirala zakrilca na poziciju 5, a kapetan je unio komandu leta naziva „ANU trim“ koja se koristi za podizanje nosa zrakoplova pomoću trimera. Tom komandom kapetan je isključio automatsko podešavanje trimera na pet sekundi. Nakon toga, ponovno se aktivirao indikator za slom uzgona koji je vibrirao čitav ostatak kobnog leta. Prvi časnik zatim javlja obavijest o niskom tlaku, a 4 sekunde poslije CVR bilježi zvuk upozorenja visine zrakoplova. U tom trenutku visinomjer na kapetanovom zaslonu pokazivao je visinu zrakoplova od 1.253 metara, a na časnikovom 1.329 metara. Nakon toga, prvi časnik obavještava kapetana o razlici u tlakovima, na što kapetan odgovara sa zapovijedi o provođenju liste postupaka u slučaju nepouzdane brzine zraka, no časnik ju ne uspijeva pronaći. Kontrolor zatim obilježava let JT610 na radarskom sustavu oznakom „FLIGHT CONT TROB” kao podsjetnik za problem s performansama zrakoplova. FDR zatim bilježi pomak zakrilaca s pozicije 5 na poziciju 1, iako CVR nije o tome zabilježio diskusiju između kapetana i prvog časnika.

U 06:24:57 kontrolor istočnog terminala upućuje posadu da skrene lijevo za 350° te zadrži visinu od 1524 metara, što prvi časnik potvrđuje te obavješćuje kontrolora o nedostatku liste postupaka u slučaju nepouzdane brzine zraka. U 06:25:13, FDR je zabilježio da su se zakrilca počela kretati od položaja 1 do 0 (UP) te da su dostigla položaj 0 u 06:25:27. U tom trenutku prvi časnik počinje čitati kontrolni popis za nepouzdanu brzinu te se po prvi put aktivirao sustav za povećanje manevarskih karakteristika (MCAS), zajedno s automatskim podešavanjem trimera. MCAS sustav se konstantno aktivira sljedeću minutu leta dok ga kapetan pokušava poništavati ručnim podešavanjem trimera. Iako je kontrolor uputio posadu na kurs od 350°, FDR je zabilježio kurs od 015°. Dok je prvi časnik čitao kontrolnu listu, kontrolor s istočnog terminala je uputio posadu da skrene u desno, na kurs od 050° uz održavanje visine leta od 1524 metara. Zatim je kontrolor uputio posadu zrakoplova PK-LQP da skrene desno na kurs od 070° kako bi izbjegli promet. U tom trenutku FDR je zabilježio kurs zrakoplova od 023°, dok je prvi časnik još uvijek čitao kontrolni popis za nepouzdanu brzinu, primjećujući da su vektor putanje leta i indikator ograničenja nagiba vrlo vjerojatno nepouzdani.

MCAS se i dalje nastavlja aktivirati svakih nekoliko sekundi, podešavajući nagib zrakoplova, dok ga posada ga konstantno pokušava poništiti pomičući trimer zrakoplova. Prvi časnik i dalje prolazi kontrolnim popisom za nepouzdane brzine, za vrijeme čega ga kontrola upućuje prvo prema kursu od 090°, a zatim prema 070°, što prvi časnik potvrđuje. U tom trenutku snimač podataka o letu bilježi kurs od 038°. U 06:28:09 prvi časnik je upućuje člana kabinskog osoblja putem interfona da uđe u kokpit, za vrijeme čega kontrola javlja posadi informacije o prometu. Nakon dolaska, kapetan zapovijeda članu kabinskog osoblja da dovede zrakoplovnog inženjera koji se nalazio u putničkoj kabini u kokpit. U 06:28:41 CVR je zabilježio zvuk sličan otvaranju vrata kokpita, a 14 sekundi kasnije, kapetan se obratio jednoj od osoba i rekao: „Pogledaj što se dogodilo". Nakon instrukcije kontrolora za skretanje na kurs od 070°, on upućuje posadu leta JT610 da skrene lijevo na kurs od 050° te zadrži visinu od

1524 metara. Uputu potvrđuje prvi časnik, a FDR u tom trenutku bilježi kurs zrakoplova od 045°. MCAS se i dalje konstantno aktivira te se nastavlja paliti do samog pada zrakoplova.

U 06:29:37, kontrolor istočnog terminala postavlja pitanje letačkoj posadi da li se zrakoplov spušta jer primjećuje kako zrakoplov gubi visinu na radarskom ekranu. Prvi časnik je obavijestio kontrolora kako imaju problem s kontrolom zrakoplova te da manualno lete zrakoplovom, nakon čega kontrolor upućuje posadu da kontaktira prilaznog kontrolora. Nakon kontaktiranja prilaznog kontrolora, prvi časnik ga obavještava o problemu s kontrolom zrakoplova. Prilazni kontrolor savjetuje letačku posadu da se pripremi za slijetanje na uzletno-sletnu stazu 25L i uputio ih da lete kursom od 070°, a kapetan prebacuje kontrolu zrakoplova na prvog časnika. U 06:30:57, kapetan je zatražio od prilaznog kontrolora da nastavi prema ESALA točki (koja se nalazi oko 74 kilometara sjeveroistočno od zračne luke Jakarta), zbog vremenskih prilika, što kontrolor odobrava. Kapetan također obavještava kontrolora kako ne mogu odrediti visinu leta, zbog instrumenata koji pokazuju različite iznose te zahtjeva da se blokira zračni prostor od 914 metara iznad kako bi se izbjegao promet ostalih zrakoplova. Prvi časnik zatim informira kapetana kako zrakoplov leti prema dolje. U tom trenutku FDR je zabilježio kut nagiba zrakoplova od -2° te brzinu spuštanja od oko 585 metara po minuti. U 06:31:46, visina prikazana na kapetanovom monitoru iznosila je 975 metara, dok je monitor prvog časnika prikazivao visinu od 1.097 metara, a brzina spuštanja bila je veća od 3.048 metara po minuti. U tom trenutku, aktivirao se sustav upozorenja blizine tla (engl. *Enhanced Ground Proximity Warning System – EGPWS*) te uzbuna naglog poniranja.



Slika 11. Putanja leta JT610 Boeinga 737 MAX 8 registracije PK-LQP zračnog prijevoznika Lion Air

Izvor: [45]

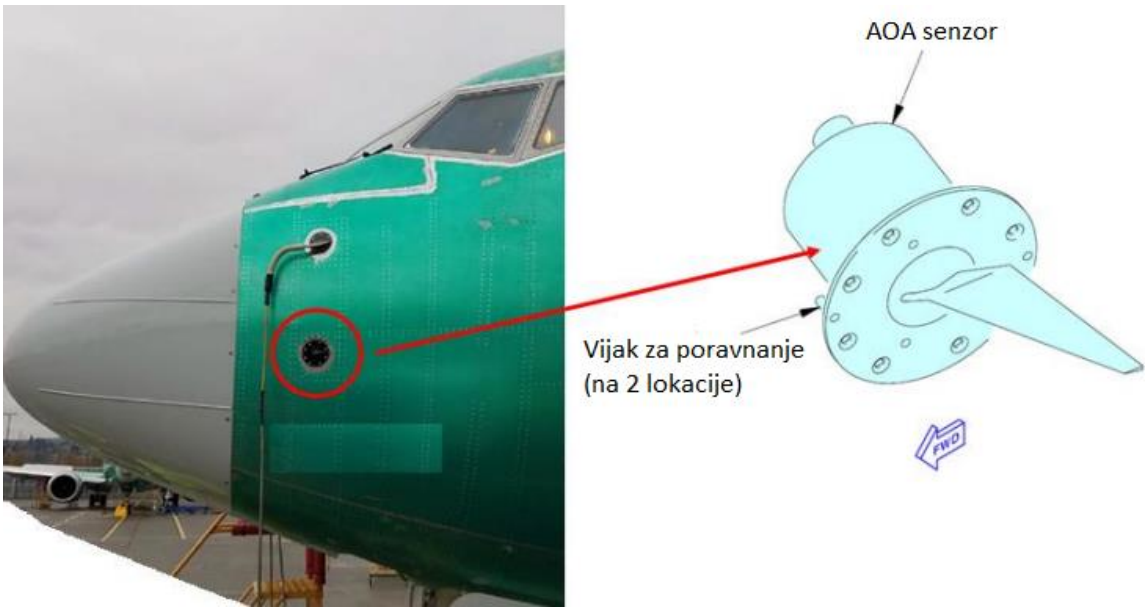
[45] RadarBox. Preuzeto s: https://www.radarbox.com/data/registration/PK-LQP [Pristupljeno: 26. lipnja 2022.].

Prilazni kontrolor nakon toga dvaput pokušava kontaktirati posadu zrakoplova bez odgovora. U 06:32:20 po lokalnom vremenu, zrakoplov je nestao sa zaslona za lociranje zrakoplova (engl. *Aircraft Situational Display – ASD*). Prilazni kontrolor i kontrolor istočnog terminala ponovno pokušavaju kontaktirati posadu leta JT610 još četiri puta, no bez odgovora. Prilazni kontrolor je zatim provjerio posljednje poznate koordinate leta JT610, čija se zadnja poznata pozicija može vidjeti na slici 11. i naložio pomoćnom kontroloru da prijavi događaj operativnom menadžeru. Prilazni kontrolor je zatim zatražio od nekoliko drugih zrakoplova da se zadrže iznad posljednje poznate pozicije leta JT610 te da izvrše vizualnu pretragu područja. Oko 07:05:00, posada tegljača pronašla je plutajuće dijelove olupine na koordinati 5°48'56.04" južno i 107°7'23.04" istočno što je oko 61 km sjeveroistočno od Jakarte. Krhotine su kasnije identificirane kao dio zrakoplova PK-LQP[44].

4.1.3. Analiza sustava Boeinga 737-8 MAX koji su sudjelovali u nesreći

4.1.3.1. Senzor napadnog kuta

Boeing 737-8 MAX ima dva odvojena senzora napadnog kuta (engl. *Angle-Of-Attack Sensors*), jedan sa svake strane prednjeg dijela trupa (kao što se može uočiti na slici 12.). AOA senzori se sastoje od vanjske lopatice koja se okreće kako bi se uskladila s lokalnim protokom zraka i dva unutarnja transformatora koja zasebno prate kut rotacije. AOA senzore koji se koriste na Boeingu 737-8 MAX proizvodi američka tvrtka Collins Aerospace. Jedan transformator je povezan s odgovarajućim računalom za upravljanje slomom uzgona i prigušivanjem skretanja (engl. *Stall Management Yaw Damper – SMYD*) za svaki AOA senzor (lijevi i desni), dok je drugi transformator priključen na odgovarajuću referentnu inercijalnu jedinicu za podatke iz zraka (engl. *Air Data Inertial Reference Unit – ADIRU*). Krugove transformatora unutar AOA senzora nadziru i SMYD i ADIRU sustavi. U slučajevima kada je greška detektirana, informacije AOA transformatora se ne koriste i javlja se kvar. AOA senzori se nikad ne održavaju planirano, već je svako potrebno održavanje posljedica najavljenih ili uočenih kvarova. Takvo održavanje naziva se i uvjetno održavanje.



Slika 12. Senzor napadnog kuta

Izvor: [44]

Kod Boeinga 737-8 MAX, operater ima mogućnost instaliranja AOA indikatora na primarnom zaslonu za letenje (engl. *Primary Flight Display – PFD*). AOA informacije bit će prikazane na odgovarajućem PFD-u, kao što je prikazano na slici 13. Kada se vrijednosti lijevog i desnog napadnog kuta, koje prenosi ADIRU, razlikuju za 10° ili više tijekom 10 uzastopnih sekundi, na PFD-u kapetana i prvog časnika prikazuje se poruka „AOA DISAGREE". Budući da su očitanja AOA nedosljedna dok zrakoplov miruje na zemlji, najava se prikazuje samo u zraku.



Slika 13. Napadni kut prikazan na primarnom zaslonu pilota Boeinga 737 MAX 8

Izvor:[44]

Boeing nije smatrao signal „AOA DISAGREE“ krucijalnom sigurnosnom značajkom, jer on nije potreban za sigurno upravljanje zrakoplovom. Glavne karakteristike koje koriste letačke posade za pravilno upravljanje zrakoplovom u normalnom letu su brzina, položaj, visina, vertikalna brzina, kurs i postavke snage motora. Indikacija granice nagiba i vibracija indikatora za slom uzgona glavni su pokazatelji koji se koriste za upravljanje zrakoplovom pod velikim napadnim kutovima, dok „AOA DISAGREE“ upozorenje pruža samo dodatne informacije. Kriteriji upozorenja „AOA DISAGREE“ preneseni su s Boeinga 737 NG na 737-8 MAX. Međutim, 2017. godine Boeing je otkrio kako softver za zaslonske sustave u 737 MAX modelu nije ispravno prikazivao „AOA DISAGREE“ upozorenja, samo nekoliko mjeseci nakon početka isporuka. Razlog tomu je što softver koji je isporučen Boeingu, nije povezao „AOA DISAGREE“ upozorenje s indikatorom položaja napadnog kuta, koji je izborna komponenta na 737 MAX seriji. Stoga je softver aktivirao upozorenje samo ako se zračni prijevoznik na njega odlučio. Kada je navedena neusklađenost bila otkrivena, Boeing je odlučio da nedostatak „AOA DISAGREE“ upozorenja nema utjecaja na sigurnost ili rad zrakoplova. Kao rezultat toga, Boeing je utvrdio da je trenutna funkcionalnost sustava prihvatljiva sve dok se problem riješi nadogradnjom softvera, koji se očekivao u trećem tromjesečju 2020.

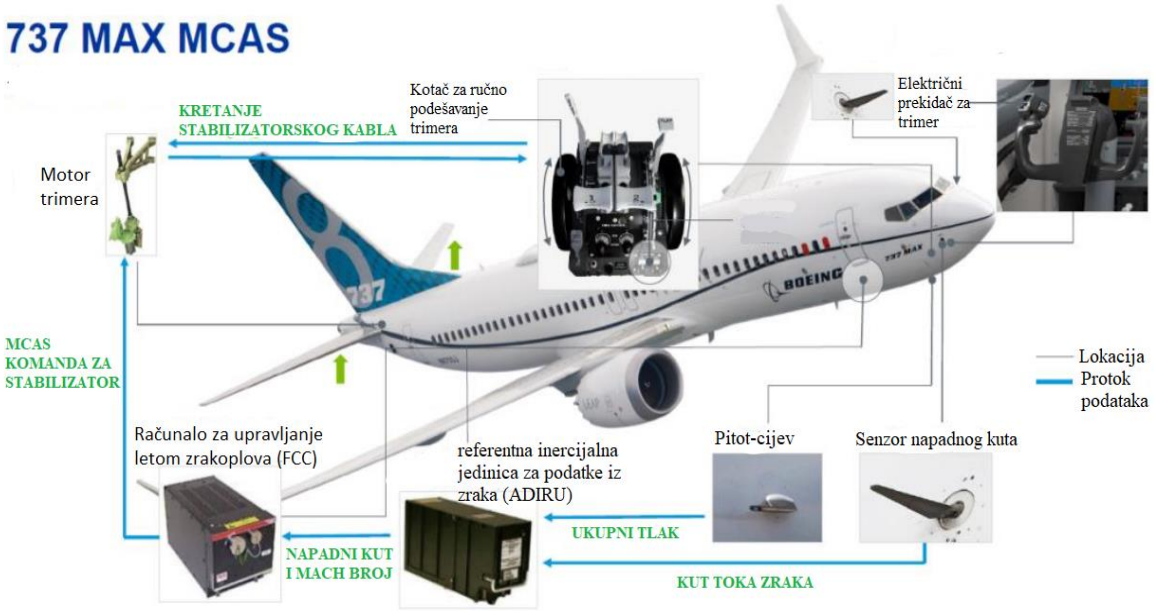
Lion Air nije odlučio koristiti opcionalni AOA indikator na PFD-u svog MAX zrakoplova. Kao rezultat toga, „AOA DISAGREE“ se nije pojavio na zaslonu zrakoplova PK-LQP, iako su za to bili ispunjeni potrebni uvjeti. Nakon Lion Airove nesreće, Boeing je formirao odbor za provjeru sigurnosti kako bi utvrdio predstavlja li izostavljanje „AOA DISAGREE“ upozorenja s nekih zaslona Boeinga 737 MAX sigurnosni rizik. Odbor je potvrdio Boeingovu prethodnu odluku da nije. Boeing je odlučio ubrzati nadogradnju softvera te je obećao kako će ona biti spremna prije nego što se zrakoplov Boeing 737-8 MAX vrati u upotrebu,. Prema servisnom savjetniku za zračne prijevoznike, svi kupci s prethodno isporučenim zrakoplovom Boeing 737-8 MAX moći će aktivirati navedeno upozorenje.

4.1.3.2. Sustav za povećanje manevarskih karakteristika – MCAS

Kao što je već spomenuto, radi veličine i položaja novih CFM LEAP-1B motora na Boeing 737 MAX seriji, proizvođač je u zrakoplov instalirao sustav za povećanje manevarskih karakteristika ili skraćeno, MCAS. Kada se aktivira, MCAS prilagođava horizontalni stabilizator zrakoplova tijekom abnormalnih manevara zrakoplova sa zakrilcima postavljenim prema gore i visokim napadnim kutom. MCAS pomiče stabilizator kako bi omogućio poželjno povećanje gradijenta sile kormila, kao i smanjenu sklonost podizanja nosa zrakoplova. MCAS je implementiran u svako od dva računala za upravljanje letom zrakoplova (engl. *Flight Control Computer – FCC).* Glavni FCC se, nakon uključivanja zrakoplova, prvotno aktivira na lijevom FCC-u, a zatim se rotira između lijevog i desnog FCC-a tijekom leta. Računala za upravljanje letom zrakoplova mogu primiti ulazne informacije od nekoliko sustava zrakoplova, uključujući i inercijski referentni sustav podataka iz zraka (engl. *Air Data Inertial Reference System – ADIRS*).

Za MCAS je specifično što softver u zrakoplovu pomiče trimer na stabilizatoru prema funkcijama (slika 14.):

1) zraka/tla,
2) položaja zakrilca,
3) napadnog kuta,
4) brzine nagiba,
5) stvarne brzine leta te
6) Mach brojem.



Slika 14. Konfiguracija MCAS sustava

Izvor: [44]

Referentna inercijalna jedinica za podatke iz zraka svaki FCC informira o iznosu napadnog kuta i Mach broja. Svaki ADIRU prima podatke o napadnom kutu iz jednog od dvaju transformatora iz AOA senzora (lijevi ADIRU koristi lijevi AOA senzor i obrnuto). Informacije iz drugog transformatora iz AOA senzora, kao i podaci iz drugih izvora, šalju se u računalo za upravljanje slomom uzgona i prigušivanjem skretanja (SMYD), koje ih koristi, zajedno s podacima iz drugih izvora, za izračunavanje i prijenos naredbi u sustav za upozorenje o slomu uzgona (engl. *Stall Warning System – SWS*).

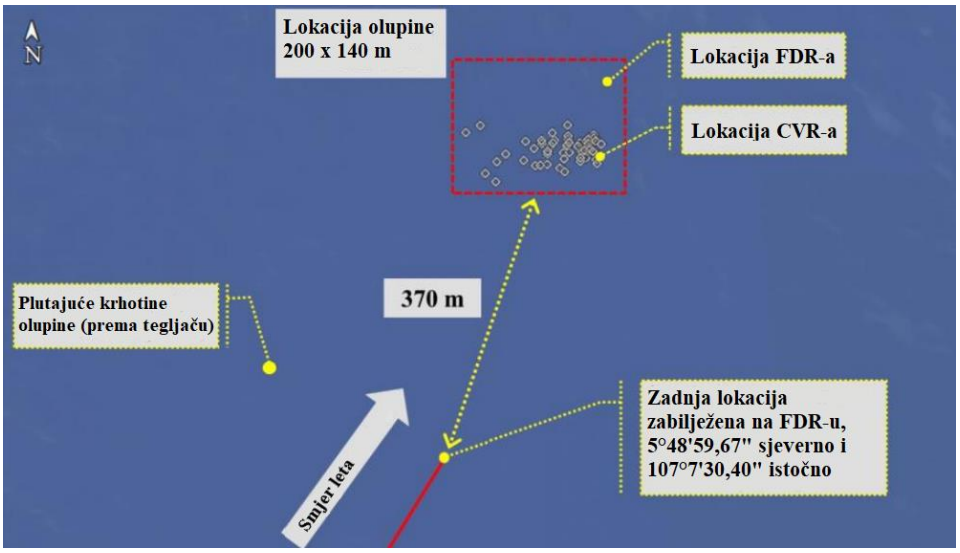
U slučajevima kada piloti ručno upravljaju zrakoplovom (isključen autopilot) s aktiviranim zakrilcima, a vrijednost napadnog kuta, koju prima glavni FCC, premaši određeni prag (ovisan o Machovoj brzini), MCAS postaje aktivan. Kada se MCAS aktivira, on šalje brzu automatiziranu naredbu trimeru na stabilizatoru za spuštanje nosa zrakoplova prema dolje. Intenzitet pomaka nosa prema dolje, također ovisi o napadnom kutu i Machovoj brzini. Nakon što se vrijednost napadnog kuta vrati ispod praga koji je prvobitno aktivirao MCAS, sustav pomiče stabilizator natrag u prvobitni položaj i resetira sustav. Piloti mogu zaustaviti ili pomaknuti stabilizator suprotno od MCAS-a u bilo kojem trenutku pomoću električnih komandi za trimer na kormilu, što resetira sustav s kašnjenjem od 5 sekundi. U drugom slučaju, posada

zrakoplova može iskoristiti komande za pomak trimera kako bi se zrakoplov kompletno vratio u neutralni položaj. U verziji FCC softvera aktualnoj u vrijeme nesreće, ako povišeni napadni kut potraje duže od 5 sekundi nakon resetiranja putem MCAS-a, sustav ponovno naređuje pomak trimera na stabilizatoru prema dolje (čiji iznos ovisi o napadnom kutu i Mach brzini u tom trenutku).

Na svim 737 modelima postoje prekidači koji zaustavljaju komande pomicanja stabilizatora, bilo od strane autopilota (npr. FCC-a) ili električnog prekidača za pomicanje trimera, u smjeru suprotnom od pomaka stabilizatora. Na Boeing 737 NG i MAX modelima postoje dva takva prekidača, jedan na kapetanovom kormilu, a drugi na kormilu prvog časnika. Oni se mogu aktivirati tako da se pritisnu ili povuku iz nultog položaja. Kada se aktiviraju, ti prekidači zaustavljaju električne signale u motoru trimera koji su suprotni od komande za elevator. MCAS zahtjeva da stabilizator pomakne nos zrakoplova prema dolje, suprotno od onog na kormilu, kada se zrakoplov približi visokim napadnim kutovima. Kako bi se prilagodio MCAS-u, funkcija prekidača na kormilu prvog časnika je modificirana tako da može spriječiti pomicanje upravljačkih površina na repu zrakoplova. Dok je MCAS aktivan, prvi časnik može omogućiti pomak stabilizatora u položaj za spuštanje nosa prema dolje dok su komande zrakoplova postavljene za podizanje nosa zrakoplova. Nakon što se MCAS deaktivira, prekidač ostavlja stabilizator u poziciji za spuštanje nosa zrakoplova[44].

4.1.4. Istraga nesreće leta JT610

Istraga nesreće započela je potragom olupine zrakoplova. Istraživačka skupina za potragu surađivala je s indonezijskim timom za potragu i spašavanje kako bi pronašli posmrtne ostatke žrtava. Skupina za potragu koristila je vozilo na daljinsko upravljanje (engl. *Remotely Operated Vehicle – ROV)* s podvodnom kamerom, sonarom za bočno skeniranje i četiri uređaja za lociranje ULB-a. Olupina je otkrivena na morskom dnu Javanskog mora u Tanjung Karawangu, oko 32 nautičke milje od Jakarte, na relativnom smjeru od 056°. Olupina je bila razbacana po površini od 200 x 140 metara, oko 370 metara od posljednje lokacije zrakoplova primljene putem ADS-B (engl. *Automatic Dependent Surveillance – Broadcast*) sustava. Unutar područja raspada olupine nakon udara, memorijska jedinica FDR-a otporna na pad zrakoplova otkrivena je na 5°48'43.20" sjeverno i 107°7'37.60" istočno, dok je memorijska jedinica CVR-a otkrivena na 5°48'46.52" sjeverno i 107°7'36.85" istočno.



Slika 15. Lokacija olupine zrakoplova PK-LQP, snimača podataka o letu (FDR) te glasa u pilotskoj kabini (CVR)

Izvor: [44]

Dijelovi aviona su prikupljeni i prebačeni u Međunarodni kontejnerski terminal u Jakarti. Olupina svih dijelova aviona je pronađena, od prednje do stražnje strane. Među pronađenim dijelovima nalazili su se dijelovi lijevog i desnog motora, oba glavna stajna trapa, stabilizatora, prednjih i stražnjih lijevih putničkih vrata, krila, boce s kisikom za potrebe zrakoplovne posade te ploče s prekidačima. Oštećenja zrakoplova upućivala su na visokoenergetski pogodak[44].



Slika 16. Izvučeni dio stajnog trapa zrakoplova PK-LQP, [46]

[46] Avherald. Preuzeto s: https://avherald.com/h?article=4bf90724 [Pristupljeno: 12. lipnja 2022.].

Na dan 15. studenog 2018. Nacionalni odbor za sigurnost u prometu SAD-a (engl. *National Transportation Safety Board – NTSB*) i Boeing izvršili su instalacijsko testiranje senzora napadnih kutova na primjernom Boeing 737-8 MAX na Boeing Field Flight Lineu. Testiranje se odvilo uz suglasnost Nacionalnog odbora za sigurnost prometa Indonezije (indon. *Komite Nasional Keselamatan Transportasi – KNKT*) te pod vodstvom i nadzorom NTSB-a. Svrha ovog testa bila je uočiti da li je testiranje instalacije AOA senzora, prema priručniku za održavanje zrakoplova, bilo dovoljno pouzdano kako bi se osigurala identifikacija nepravilnosti senzora, korištenjem instalacijskih i alternativnih postupaka ispitivanja. Test je proveden na sljedeći način[44]:

1) Ispitivanja su provedena na primjernom 737-8 MAX zrakoplovu u ispravnom stanju, unutar hangara s odgovarajućom rasvjetom.
2) Prvi test se sastojao od instaliranja poznatog servisiranog AOA senzora u lijevi položaj zrakoplova na primjernom zrakoplovu.
3) Drugi test se sastojao od ugradnje AOA senzora s induciranim ili poznatim nagibom od približno 33° na lijevoj strani primjernog zrakoplova.
4) Testovi su izvršeni s i bez unosa ispravnih podataka o težini u računalo za upravljanje letom (engl. *Flight Management Computer – FMC*).

Zaključak testiranja bio je sljedeći[44]:

1) S ispravnim (originalnim) AOA senzorom instaliranim na zrakoplovu, rezultati alternativnog testa ugradnje pokazali su da lijevi AOA senzor ispunjava zahtjeve priručnika za održavanje zrakoplova.
2) S neispravno postavljenim AOA senzorom, test je otkrio kako su vrijednosti kuta lopatice prelazile granice na sljedeći način:
    a. kada je lopatica bila u nultom položaju, SMYD je prikazao napadni kut od -31,9° (neusklađeni kut) umjesto 0° ± 5°,
    b. kada je lopatica postavljena na svoju maksimalnu gornju granicu, SMYD je prikazao kut od +67,6°, umjesto +100° ± 5° te
    c. kada je lopatica postavljena na svoju maksimalnu donju granicu, SMYD je prikazao tekst "*AOA SENSR INVALID"*, koji upozorava o neispravnosti senzora napadnog kuta.
3) Alternativna metoda testiranja instalacije, u priručniku za održavanje zrakoplova, će uspješno otkriti pogrešno kalibrirani AOA senzor.

Nakon istrage AOA senzora, istražni tim je od 3. do 6. prosinca 2018. izveo vježbe na simulatoru za zrakoplov Boeing 737-8 MAX. U timu su bili zastupnici KNKT-a, NTSB-a, Savezne uprave za civilno zrakoplovstvo, Boeinga, Glavne uprave za civilno zrakoplovstvo Indonezije (engl. Directorate General of Civil Aviation – DGCA) i Lion Aira. Glavni cilj simulatorske vježbe bio je pružiti sudionicima bolje znanje o nesreći i ranijim letovima, a sastojala se od sljedećih aktivnosti[44]:

1. dokumentiranja različitih svjetala i poruka kao što su:
    a. različita indicirana brzina leta na zaslonu kapetana i prvog časnika,
    b. različita visina leta kapetana i prvog časnika,

    c. neuspješno podešavanje trimera prema Mach brzini,
    d. neuspješno podešavanje trimera prema brzini,
    e. indikator diferencijalnog tlaka
2. dokumentiranja sljedećih aktivnosti:
    a. zakrilca 5 do zakrilca gore,
    b. podijeljenost napadnog kuta,
    c. trajanje aktivacije MCAS-a,
    d. nezapovjedno kretanje trimera stabilizatora,
3. dokumentiranja različitih kvarova i reakcije članova pilotske kabine na javljanje istih,
4. dokumentiranja procedura i odgovora posade na poruke, uključujući određivanje prioriteta istih te
5. shvaćanje radnog opterećenja letačke posade tijekom različitih scenarija.

Prvi scenarij koji se provodio uključivao je promatranje regularnog uzlijetanja (bez neispravnosti) kojeg je slijedilo prilaženje brzini sloma uzgona sa zakrilcima prema gore (pozicija 0) s osrednjim potiskom, zakrilcima gore s najslabijim mogućim potiskom i zakrilcima gore u poziciji 5 s povećanim potiskom (slično slomu uzgona u odlasku). Prvi scenarij uključivao je četiri slučaja u kojima je uočena normalna aktivnost MCAS-a. Aktivacija funkcije MCAS u konfiguraciji sa zakrilcima prema gore bila je identična aktivaciji sustava za pomicanje trimera prema brzini u konfiguraciji sa zakrilcima prema dolje te je funkcionirala s istim tempom, prema generalnim zapažanjima. U drugom scenariju razmatrali su se isti uvjeti, samo s javljanjem upozorenja za brzinu i visinu zrakoplova. Zapaženo je da u tim slučaju nije upaljeno svijetlo koje upozorava na kvar, no u slučaju kada bi se pritisnula tipka za prikaz upozorenja, upalila bi se svjetla za grešku pomicanja trimera prema Machovoj i običnoj brzini. U trećem i zadnjem scenariju, cilj je bio promatrati slučajeve u kojima se javila obavijest o različitosti napadnog kuta kapetana i prvog časnika. U tome slučaju ispitale su se okolnosti koje su nastale u nesretnom letu. Nakon polijetanja, posadi je rečeno da stabilizira zrakoplov, provede kontrolne liste za nepouzdanu zračnu brzinu i različitu visinu te da odgovore na zahtjeve kontrole leta. Zapažanja su bila sljedeća[44]:

1) visina se nije mogla održavati pomicanjem repnih površina u slučajevima kada su kratke aktivacije električnog pomicanja trimera rezultirale u akumulaciji krivog podešavanja trimera od strane MCAS-ovih komandi za spuštanje nosa zrakoplova,
2) konstantna aktivacija MCAS-a povećala je radno opterećenje letačke posade te zahtijevala da se više pažnje pridonese njegovom poništavanju,
3) rekreirana komunikacija s kontrolom leta nesreće ometala je posadu,
4) posadi je bilo zahtjevno proći kontrolnu listu za nepouzdanu zračnu brzinu, a razlika u brzini ili visini leta prikazanoj na kapetanovom, odnosno časnikovom zaslonu povećala njihovo radno opterećenje te
5) visina koju je kontrola javljala posadi je bila vrlo vjerojatno ista kao i na zaslonu u kokpitu, jer je dolazila iz ADS-B sustava zrakoplova, što je posadi indiciralo kako je visina koju su očitavali na zaslonu bila točna.

4.1.5. Nalazi istrage

Svi relevantni uvjeti, događaji ili situacije u slijedu nesreće navedeni su u nalazima. Iako su nalazi važni u kronološkom redu nesreće, oni nisu nužno uzročni i ne otkrivaju nužno nedostatke. Neka otkrića ukazuju na uvjete koji su postojali prije same nesreće, a često mogu biti nužni za razumijevanje kompletnog događaja kronološkim redom. Nalazi koje je utvrdio KNKT su sljedeći[44]:

1) MCAS je dizajniran da funkcionira samo tijekom leta bez uključenog autopilota, s podignutim zakrilcima i povišenim napadnim kutom. Kako je razvoj Boeinga 737-8 MAX napredovao, funkcija MCAS-a je proširena na male Machove brojeve i povećana na maksimalnu granicu pomaka stabilizatora od 2,5°.
2) Nakon funkcionalne analize opasnosti, MCAS-ovo pomicanje stabilizatora kategoriziralo se kao kvar sa značajnim učinkom na siguran let zrakoplova. Takva kategorizacija nije zahtijevala rigorozniju evaluaciju stanja kvarova od strane Boeinga, koja mora uključivati analizu utjecaja i posljedica kvarova (engl. *Failure Modes and Effects Analysis – FMEA*), jer su one potrebne samo za opasne ili katastrofalne kvarove. Boeing je zaključio da se takvom kvaru može suprotstaviti samo korištenjem elevatora ili trimera. FMEA je mogla identificirati točne i inherentne kvarove koji imaju značajne učinke na sigurnost leta, kao što je to u slučaju MCAS dizajna. Analiza bi, također pružila značajan uvid u sredstva za otkrivanje identificiranih kvarova, utjecaja letačke posade na rješavanje kvara, utjecaj održavanja na izolaciju kvara te odgovarajuće vraćanje sustava.
3) Boeing je proveo funkcionalnu analizu opasnosti na temelju FAA-ovih smjernica te se također držao pretpostavke o visokoj pouzdanosti posade na ispravan odgovor unutar 3 sekunde. Procjena je bila da se svaka aktivacija MCAS-a može kontrolirati samo s kormilom zrakoplova i naknadno ponovno vratiti nultu silu uz održavanje putanje leta. Također, analiza nije razmotrila scenarij u kojem MCAS omogućuje pomicanje stabilizatora do maksimalne granice od 2,5 stupnjeva.
4) Letačka posada nije reagirala na aktivaciju MCAS-a već na povećanje sile na kormilu. Budući da se letačka posada u početku suprotstavila naredbi MCAS-a koristeći kormilo, bilo je razumljivo duže vrijeme reakcije za unos trimera električnog stabilizatora. Tijekom nesreće i prethodnih letova, posada je prvo odgovorila povlačenjem kormila, međutim, nije dosljedno smanjivala rezultirajuće sile kormila kao što se pretpostavilo. Kao rezultat toga, pretpostavka Boeinga bila je drugačija od ponašanja letačke posade u odgovoru na aktivaciju MCAS-a.
5) Prilikom više uzastopnih aktivacija MCAS-a te električnog pomicanja trimera (od strane posade) koje ne uspije vratiti zrakoplov u stabilno stanje, sila na kormilu može toliko narasti, da posada s bilo kakvom reakcijom ne može kontrolirati zrakoplov. U tim slučajevima kumulativnog pomicanja trimera zrakoplova, rezultantnim silama se više ne može suprotstaviti samo korištenjem elevatora, što je bila pretpostavka Boeinga. Posadi je u tim slučajevima sve teže zadržati željeni položaj zrakoplova što se i dogodilo u nesreći te letu prije nesreće.

6) Prilikom prijelazne obuke za novu MAX generaciju procedura za nekontrolirano pomicanje trimera nije bila implementirana te se posadu nije informiralo kako se istom može riješiti problem spuštanja nosa zrakoplova. Tijekom nesretnog leta pojavilo se više različitih upozorenja i indikatora što je povećalo radno opterećenje letačke posade. Zbog toga posada nije mogla doći do rješenja za problem s MCAS-om, kao što su izvođenje procedure za nekontrolirano pomicanje trimera ili nastavak korištenja električnog pomicanja trimera za smanjenje sile na kormilu i održavanje stabilnog leta. Posada leta JT610 je s vremenom primijetila i prepoznala nekontrolirano pomicanje trimera te ga poništila.
7) MCAS softver koristi podatke samo s jednog senzora napadnog kuta. Određeni kvarovi ili anomalije AOA senzora koji odgovaraju glavnom FCC-u (koji kontrolira pomicanje trimera prema brzini) mogu generirati nenamjernu aktivaciju MCAS-a. Očekivani odgovori letačke posade kao što su uključivanje električne komande trimera prema gore (koje resetiraju MCAS) mogu uzrokovati poteškoće letačkoj posadi u upravljanju zrakoplovom. Boeing je smatrao kvar jednog i pogrešnog drugog AOA senzora kao dva različita događaja s posebnim vjerojatnostima. Međutim, dizajn MCAS-a koji se oslanja na informacije jednog AOA senzora, učinio je ovaj sustav osjetljivim na jedan kvar senzora napadnog kuta.
8) Podaci FDR-a pokazali su kako se tijekom posljednje faze leta zrakoplov počeo nekontrolirano spuštati, a sila na kormilu iznosila je 444,82 Newtona, što je što je više od graničnih 333,62 Newtona postavljene uredbom. Povlačenjem kormila prema nazad, prekida se bilo koja naredba za spuštanje nosa u zrakoplova stabilizatorom, ali za 737-8 MAX s funkcionalnim MCAS-om, ta mogućnost je onemogućena.
9) Aktiviranje sigurnosne vibracije za upozorenje o slomu uzgona proizvodilo je buku koja je mogla omesti letačku posadu da čuje zvuk okretanja kotača za kontrolu stabilizatora tijekom MCAS operacija. Dizajn zrakoplova trebao bi letačkoj posadi pružiti informacije i upozorenja koja će im pomoći da bolje razumiju sustav te da znaju kako riješiti potencijalne probleme.
10) Boeing nije dostavio potrebnu dokumentaciju i FAA nije u dovoljnoj mjeri nadzirala pružanje ovlaštenja za plovidbenost zrakoplova Boeinga. Bez evidentiranja ažurirane analize dokumenta o procjeni sigurnosnog sustava stabilizatora, stručnjaci FAA-a za sustave upravljanja leta možda nisu bili svjesni promjene u dizajnu. Boeing je smatrao kako je MCAS automatizirana funkcija, a procedura potrebna za odgovor na bilo kakvo njegovo djelovanje nije se razlikovalo od postojećih procedura te da posade neće naići na MCAS u normalnom radu, stoga Boeing nije uzeo u obzir kvar koji se pojavio na nesretnom letu.
11) Istražno tijelo smatra kako je letačku posadu trebalo upoznati s MCAS-om što bi im stvorilo svijest o postojanju sustava i povećalo vjerojatnost da ublaže posljedice višestrukih aktivacija MCAS-a u nesretnom letu. Bez znanja o MCAS-u i njegovoj reaktivaciji nakon isključenja električnog pomicanja trimera, letačkoj je posadi ponestalo vremena da pronađe rješenje prije nego što su se javile ponovne aktivacije sustava. Neuspješni pokušaj vraćanja zrakoplova u stabilan položaj putem trimera rezultirao je u abnormalnom spuštanju nosa zrakoplova, što je moglo biti spriječeno odgovarajućom obukom.

12) Boeing 737 MAX je trebao biti opremljen s porukom upozorenja razlike napadnog kuta, koja je bila instalirana na prijašnjoj 737 NG generaciji. Nedostatak poruke otežavao je letačkoj posadi i inženjerima u centru za održavanje dijagnosticiranje kvara sustava. Boeing i FAA trebaju osigurati da novi i promijenjeni dizajni sustava zrakoplova budu pravilno opisani, analizirani i certificirani. U nesretnom letu, kvar sustava doveo je do niza interakcija između zrakoplova i letačke posade koje kapetan i prvi časnik nisu razumjeli niti znali kako riješiti.
13) Prvi problem zabilježen na PK-LQP zrakoplovu je javljanje upozorenja za brzinu i visinu na kapetanovom zaslonu 26. listopada 2018. godine na letu iz Tianjina za Manado koji se pojavio 3 puta unutar 5 sektora leta. Upozorenja su se javila i na letu iz Manada za Denpasar na dan nesreće, 28. listopada nakon paljenja motora. Visinomjer i indikator brzine su instrumenti povezani s plovidbenošću i moraju biti upotrebljivi za let. Odluka o nastavku leta bila je suprotna proceduri Lion Aira.
14) U Denpasaru je zrakoplovni inženjer zamijenio senzor napadnog kuta kako bi se navedena upozorenja isključila i problem riješio, no senzor je postavljen za 21°, što je rezultiralo u drugim problemima.
15) Rezultat Boeingovog testa pokazao je kako neusklađeni AOA senzor nije prošao test ispravne instalacije jer su vrijednosti napadnog kuta prikazane na SMYD računalu bile izvan granica te se pojavila poruka o neispravnom AOA senzoru u SMYD BITE modulu. Ovaj test i naknadno testiranje potvrdili su da alternativna metoda testa instalacije može identificirati odstupanje od 20 ili 21° u AOA senzoru, dok Lion Airov inženjer nije zabilježio vrijednost razlike otklona napadnog kuta tijekom ispitivanja ugradnje novog AOA senzora.
16) Nakon postavljanja novog AOA senzora, na letu JT043 iz Denpasara za Jakartu, prije kobnog JT610 leta, javila se vibracija upozorenja sloma uzgona i nekoliko poruka upozorenja, o čemu je kapetan bio upućen nakon razgovora s inženjerom u Denpasaru. To znanje je kapetanu pomoglo da ispravno riješi problem alternativnom kontrolnom listom za podešavanje trimera stabilizatora, što je spriječilo spuštanje nosa zrakoplova od strane MCAS-a i riješilo problem upravljivosti zrakoplova. Odluka letačke posade JT043 da nastavi let s aktivnom vibracijom kormila u kombinaciji s problemom stabilizatora nije uobičajena, tako da je odluka o nastavku leta bila vrlo neobična.
17) Unos podataka u AFML o letu JT043 nije sadržavao pojedinosti o navedenim problemima i kao takav nije bio u skladu sa smjernicama tvrtke Lion Air. Nedovoljna obuka o sustavu za upravljanje sigurnosti (engl. *Safety Management System – SMS)* i nesposobnost zaposlenika da identificiraju opasnost također se može identificirati nepotpunim izvješćem nakon leta o problemima koji su se dogodili. Nepotpuno izvješće je uzrokovalo opasnost, zbog neprijavljenih nedostataka, a radi kojih inženjer ne bi mogao pravilno održavati plovidbenost zrakoplova.
18) Tijekom pripreme leta JT610, CVR nije snimio raspravu letačke posade o prethodnim problemima zrakoplova zabilježenim u AFML-u. Zbog toga posada nije bila svjesna o problema sa zrakoplovom koji bi se mogli ponovno pojaviti tijekom leta. To je dovelo do nesposobnosti letačke posade da predvidi i bude spremna ublažiti događaje koji bi se mogli dogoditi.

19) Neposredno nakon uzlijetanja, aktivirao se lijevi indikator sloma uzgona, prikazale su se brojne poruke na zaslonu posade, kontinuirano se aktivirao MCAS nakon uvlačenja zakrilaca te se održavala komunikacija s kontrolom leta. Svi ti faktori drastično su povećali radno opterećenje letačke posade.
20) Prilikom obuke vezane za nesretni let, neprestano se javljala poteškoća u rukovanju zrakoplovom od strane pilota Lion Aira, što ukazuje na neučinkovitost treninga indonezijskog prijevoznika.
21) Izostanak poruka o hitnosti (PAN PAN) ili nevolji (MAYDAY) ili traženje posebnog upravljanja situacijom, rezultiralo je u nedavanju prioriteta letu JT610 od strane kontrole leta. S prioritetom, kontrola ne bi od posade zahtijevala da manevrira više puta.
22) Poruka detekcije krivog napadnog kuta nije bila aktivirana na zrakoplovu koji je sudjelovao u nesreći, stoga letačka posada nije bila svjesna kako se ova poruka neće pojaviti u slučaju krive detekcije napadnog kuta. To je pridonijelo uskraćivanju bitnih informacije letačkoj posadi o abnormalnim s kojima se suočava. U priručnicima za let i obuci, posadi nisu dane nikakve informacije o MCAS-u, a time im je uskraćeno znanje o MCAS-u te njegovim učincima na sami let.
23) Kapetan i prvi časnik nisu imali zajedničko viđenje opasne situacije na letu, što je dokazano zabilježenom nejasnom i neučinkovitom komunikacijom. Većina značajki učinkovite koordinacije posade nije ostvareno, što je rezultiralo nesigurnim letom. Nedostatak specifičnih opisa od strane kapetana pridonijelo je poteškoći prvog časnika da shvati situaciju, čime je pridonijelo njegovoj nesposobnosti da ublaži problem.

4.2. Studija slučaja - ET302 Ethiopian Airlines

Dana 10. ožujka 2019. godine u 08:44 prema lokalnom vremenu, drugi po redu Boeing 737 MAX 8 registracijskih oznaka ET-AVJ doživio je nesreću 51,9 kilometara jugoistočno od Međunarodne zračne luke Adis Abeba Bole (IATA kod ADD, ICAO kod HAAB[42]) u Etiopiji. Operater zrakoplova bio je etiopijski državni zračni prijevoznik Ethiopian Airlines (IATA kod ET, ICAO kod ETH[43]), a destinacija leta ET302 bila je Međunarodna zračna luka Nairobi Jomo Kenyatta (IATA kod NBO, ICAO kod HKJK[42]) u glavnom gradu Kenije. Posada se sastojala od kapetana, prvog časnika, pet članova kabinskog osoblja te jednog zaštitara na letu (engl. *In-flight security officer).* Kapetan zrakoplova bio je 29-godišnji pilot s 8.122 sati naleta, od kojih je 4.017 odrađeno na tipu Boeing 737-700/800 (1.417 kao kapetan), a 103 odrađeno na Boeingu 737-8 MAX. Prvi časnik bio je 25-godišnji pilot s 361 satom naleta, od kojih je 207,45 sati odrađeno na tipovima Boeing 737-700/800/8 MAX. Na letu se nalazilo i 149 putnika. Niti jedna osoba nije preživjela zrakoplovnu nesreću, a zrakoplov je uništen prilikom kolizije s terenom[47].

[47] Ministarstvo prometa Savezne Demokratske Republike Etiopije, Ured za istraživanje zrakoplovnih nesreća. *Interim Investigation Report on Accident to the B737-8 (MAX) Registered ET-AVJ operated by Ethiopian Airlines.* Adis Abeba; 2020.

4.2.1. Zrakoplovna nesreća leta ET302

U 08:36:12 zrakoplov se poravnao na pragu na uzletno-sletne staze 07R na nadmorskoj visini od 233,5 metara, s postavkom zakrilaca na 5 stupnjeva te postavkom stabilizatora na 5,6 jedinica. U 08:37:36 kontrolor je izdao dopuštenje za polijetanje zrakoplovu ET-AVJ i savjetovao da kontaktira radar, a posada je povećala potisak te provjerila stabilnost parametara motora. Uzlijetanje zrakoplova je bilo normalno, uključujući vrijednosti lijevog i desnog napadnog kuta. U 08:38:44, nedugo nakon polijetanja, lijeva i desna zabilježena vrijednost napadnog kuta počele su odstupati. Lijevi napadni kut se smanjio na 11,1°, a zatim povećao na 35,7°, dok je vrijednost desnog napadnog kuta prikazivala 14,94°. Zatim je lijeva vrijednost napadnog kuta dosegla 74,5° za ¾ sekunde, dok je desni napadni kut dosegao maksimalnu vrijednost od 15,3°. Razlika između lijevog i desnog napadnog kuta u tome je trenutku bila veća od 59° što se nastavilo sve do konačnog gubitka kontrole. U isto vrijeme se:

1) Kao rezultat pogrešne lijeve vrijednosti napadnog kuta, aktivirala vibracija upozorenja približavanju slomu uzgona na lijevom kormilu, a indikator na brzinomjeru zrakoplova prešao je u crveno-crno polje, označujući preveliku brzinu zraka. Vibracija na lijevom kormilu ostala je aktivna do kraja snimke leta.
2) Desni i lijevi visinomjer, odnosno brzinomjer počeli su se razilaziti, nakon čega su vrijednosti visine i brzine na lijevoj bile niže od one na desnoj strani.
3) Položaji indikatora na upravitelju leta na lijevoj i desnoj strani su počele prikazivati različite naredbe (pogrešne vrijednosti napadnog kuta na lijevoj stranu utjecale su na izračunavanje vrijednosti upravitelja leta).

Nakon toga, kapetan je najavio naredbu za uključenje autopilota, a zrakoplov se nalazio na visini od 121,9 metara iznad terena. U 08:39:12, prvi časnik je kontaktirao kontrolni radar i najavio nadmorsku visinu od 2.560 metara. U vrijeme kada su zabilježene vrijednosti visine na desnoj strani dosegle 2.560 metara, vrijednosti visine na lijevom zaslonu bile su oko 122 metra niže. Tijekom komunikacije, način odabira smjera leta bio je ručno uključen te je iznosio 72° što je u skladu sa smjerom uzletno-sletne staze 07R. Tijekom ove prve faze leta, trimer se pomicao pomoću ručnih električnih komandi, a potrebna je ograničena sila na kormilu zrakoplova. Položaj stabilizatora u tom trenutku iznosio je oko 5,6 jedinica, a položaj elevatora oko 4° (u skladu s neutralnim položajem elevatora za stabilan let).

U 08:39:23, na oko 304 metara iznad terena, posada je treći put pokušala aktivirati autopilot. Položaj trimera smanjen je na 4,6 jedinica. Dok je autopilot bio uključen, sustavi su i dalje bili informirani o pogrešnim vrijednostima napadnog kuta na lijevoj strani. Kao rezultat toga, SMYD je izračunao pogrešne vrijednosti minimalne radne brzine na lijevoj strani, koja je bila veća od trenutne izračunate brzine zraka i brzine u sustavu za upravljanje letom. Zbog toga je došlo do reverzije brzine (odabir pogrešne minimalne radne brzine kao ciljne brzine), a autopilot je naredio spuštanje zrakoplova prema dolje kako bi ubrzao prema pogrešnoj minimalnoj radnoj brzini. U 08:39:30 radarski kontrolor identificirao dao upute letu ET302 da se popne na visinu od 10.363 metara i skrene u desno. Nakon toga kapetan je zapovjedio povlačenje zakrilaca i što je prvi časnik izvršio. U 08:39:51 smjer leta promijenjen je sa 72° na 197°, kapetan zadao prvom časniku da obavijesti kontrolu kako nisu mogli zatražiti održavanje

smjera uzletno-sletne staze. Zatim se autopilot automatski isključio nakon rada od 32 sekunde jer su postignuti sljedeći uvjeti:

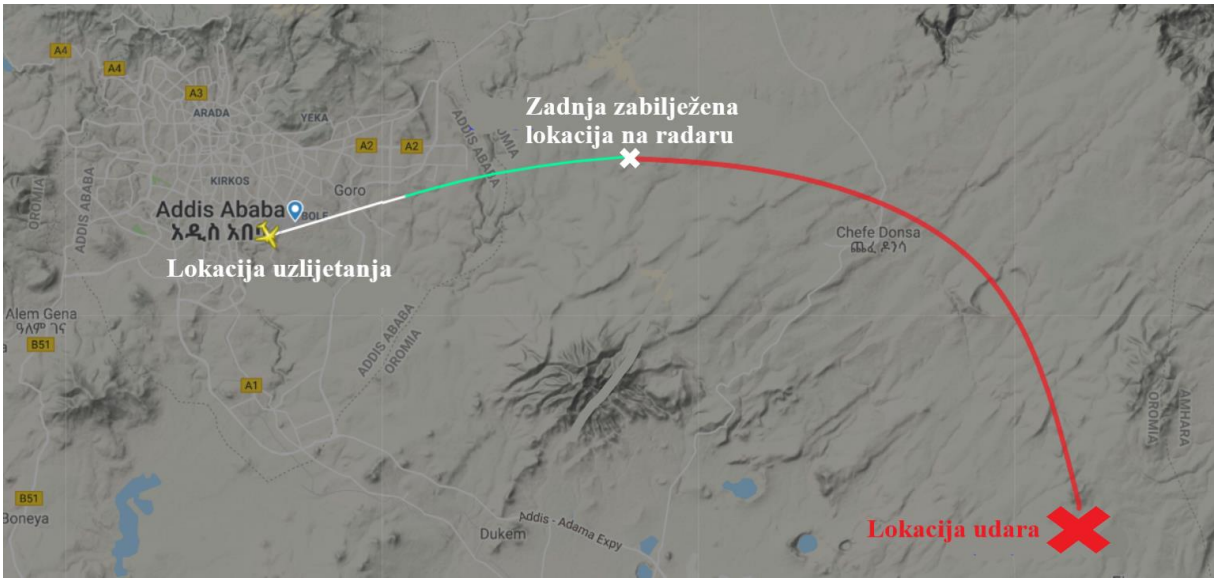
1) komanda penjanja imala je prenisku brzinu penjanja od pet sekundi i
2) zračna brzina je niska u odnosu na minimalnu radnu brzinu koju je SMYD pogrešno izračunao.

Na početku ove faze leta, zrakoplov se penjao sve većom vertikalnom brzinom i podizao nos. Nakon što je autopilot uključen, sustav je pokušao povećati brzinu zraka, zbog minimalne reverzije brzine. Autopilot je u početku spustio nos za 0,5 jedinica pomoću trimera. Pomicanjem trimera nagib se zaustavio na 8,4° te se počeo smanjivati. Također je zaustavljen porast vertikalne brzine na 457 m/min koja se potom također počela smanjivati, a autopilot je zatim naredio drugo spuštanje nosa zrakoplova prema dolje. Uključivanje moda za promjenu visine i odabir nove ciljne brzine najvjerojatnije su doveli do nekoliko proračuna u autopilotu, što je dovelo do zaustavljanja vertikalne brzine na oko 137 m/min i stabilizacije vrijednosti nagiba na oko 4°. Nakon toga, pogrešna minimalna brzina povezana s pogrešnim napadnim kutom ponovno je pokrenula autopilot koji je spustio nos zrakoplova kako bi se povećala brzina. Nakon dostizanja maksimalne visine od oko 2.774 m, zrakoplov se počeo spuštati. Na kraju ove faze, kut nagiba je bio oko 1°, stabilizator je bio na 4,6 jedinica, vertikalna brzina je iznosila oko -427 m/min, dok su se zakrilca i dalje pomicala prema gore.

Između 07:39:59 i 07:40:02 kapetan je najavio zahtjev za održavanje smjera uzletno-sletne staze zbog problema kontroliranja zrakoplova. Za vrijeme izjave, kada su zakrilca dosegla gornji položaj, autopilot se isključio, a FCC je aktivirao prvo automatsko spuštanje nosa zrakoplova prema dolje u trajanju od 9 sekundi. To je izazvano pogrešnom vrijednošću lijevog napadnog kuta. Tri sekunde nakon pomicanja trimera za spuštanje nosa, na brzinomjeru lijevog glavnog zaslona pojavile su se crveni i crni indikatori za visoku brzinu i nisu se gasili do kraja kobnog leta. U tom trenutku izračunata brzina zraka na lijevoj strani iznosila je 246 čvorova, a na desnoj 267 čvorova te su se javila upozorenja za propadanje zrakoplova od EGPWS-a te upozorenje za potrebu podizanja nosa na oba glavna zaslona. Nakon toga prvi časnik je obavijestio kontrolu kako ne mogu zadržati trenutni smjer leta te je na kapetanovu zapovijed tražio odobrenje za let u smjeru prema uzletno-sletnoj stazi, što je kontrola i odobrila.

U 08:40:50 kapetan je zatražio prvog časnika da obavijesti kontrolu kako žele zadržati visinu od 4267 metara i kako imaju problema s kontroliranjem zrakoplova. Prvi časnik je izvršio komunikaciju, a kontrola je odobrila traženi zahtjev.. Nakon odobrenja kontrole, nova ciljna visina od 4267 metara unesena je u glavnu upravljačku ploču. Kapetan nije uspio održati željenu putanju leta te je zatražio povratak u zračnu luku Adis Abeba. U 08:43:21, otprilike pet sekundi nakon zadnjeg ručnog električnog pomicanja trimera prema gore, aktiviralo se automatsko podešavanje trimera prema dolje na oko 5 s. Stabilizator je zatim prešao s 2,3 na 1 jedinicu. Brzina uspona se smanjila nakon čega je uslijedilo spuštanje od 3 sekunde nakon aktiviranja automatskog podešavanja trimera. Jednu sekundu prije kraja automatskog pomicanja trimera, prosječna sila koju je posada primijenila smanjila se s 445 N na 347 N u 3,5 sekundi. U ovih 3,5 sekundi, kut nagiba pao je s 0,5° (nos prema gore) na -7,8° (nos prema dolje), a brzina spuštanja se povećala sa -30,5 m/min na više od -1524 m/min.

Nakon posljednjeg automatskog aktiviranja trimera i usprkos zabilježenoj sili do 800 N, zrakoplov je počeo naglo ponirati. Brzina spuštanja i brzina nastavili su se povećavati između četvrtog po redu aktiviranja automatskog trimera i posljednje zabilježene vrijednosti. Na kraju leta, izračunate vrijednosti zračne brzine dosegle su 500 čvorova, vrijednost nagiba bila je veća od 40° prema dolje, a vrijednosti brzine spuštanja bile su veće od 10.000 m/min. Oba snimača prestala su snimati vrijednosti oko 8 sati 43 minute i 44 sekunde. U 08:44: Zrakoplov je udario u teren 52 km jugoistočno od Adis Abebe, na farmi blizu naselja Ejere (lociranog 8,8770° sjeverno, 39,2516 istočno) i stvorio krater dubok približno 10 metara na kojem je pronađen i posljednji dio zrakoplova (slika 17.). Krater je bio oko 28 metara širok i 40 metara dugačak. Većina olupine pronađeno je zakopano u zemlji. Mali dijelovi zrakoplova pronađeni su razbacani oko lokacije udara, u području širine oko 200 metara i dužine 300 metara. Detektirana oštećenja na zrakoplovu potvrdila su visokoenergetski udar u tlo[47].



Slika 17. Putanja leta zrakoplova ET-AVJ

Izvor: [48]

4.2.2. Istraga nesreće zrakoplova ET-AVJ

Dan nakon nesreće, 11. ožujka 2019. tijelo za istragu zrakoplovnih nesreća Etiopije pronašlo je i preuzelo snimač podataka o letu s mjesta nesreće (prikazan na slici 18.). Na isti dan pronađen je i snimač glasa u pilotskoj kabini. Dana 12. ožujka 2019. FDR šasija s priključenom memorijskom jedinicom (koja može preživjeti u sudaru) prevezena je u francuski ured za istraživanje nesreća (franc. *Bureau d'Enquêteset d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile – BEA*) kako bi se preuzeli podaci. Osim električnih konektora, memorijska ploča je bila u dobrom stanju, a tragova udara nije bilo. Dva memorijska čipa kao i mikro procesor pronađeni su u dobrom stanju. Očitavanje rekordera za etiopsko tijelo izvršili su istražitelji BEA-e pod nadzorom etiopskih istražitelja zajedno s NTSB-om, Boeingom, FAA-

[48] Leeham news. Preuzeto s: https://leehamnews.com/2019/03/15/bjorns-corner-the-ethiopian-airlines-flight-302-crash/ [Pristupljeno: 18. lipnja 2022.].

om i EASA-om.. Preuzeta datoteka pružila je više od 73 sata valjanih podataka, uključujući sam događaj. Ista procedura odrađena je i za CVR, čija je memorijska jedinica zabilježila 2 sata, 4 minute i 14 sekundi rada zrakoplova, što je sadržavalo 2 leta uključujući i unesrećeni let.



Slika 18. Snimač podataka o letu zrakoplova ET-AVJ, [47]

Sljedeće aktivnosti tijela bile su vezane za olupinu zrakoplova. Istražni tim je premjestio veći dio olupine s mjesta nesreće na sigurnu lokaciju tijela za istragu nesreće u Adis Abebi. Hrpa dijelova olupine bila je visine od oko 13 cm i promjera oko 76 cm, kao što je prikazano na slici 19. Uz pomoć Ethiopian Airlinesa pronađen je niz upravljačkih površina, od kojih su neke bile dokumentirane tijekom pregleda mjesta nesreće. Većina olupine pronađena je zakopana u zemlji.



Slika 19. Prikupljeni dijelovi olupine zrakoplova ET-AVJ, [47]

Lijeva jezgra motora izvučena je s mjesta i ispitana od strane istražne skupine. Lijevi je motor, prema izvještaju, pronađen na dubini od otprilike 10 do 15 metara na lijevoj strani mjesta iskopa. Prevladavajuća vrsta deformacije cijele preostale jezgre bila je aksijalna. Desna jezgra motora je izvučena iz dubine od otprilike 10 do 15 metara na desnoj strani te je također ispitana od strane istražne skupine. Izvučena jezgra desnog motora bila je više oštećena od one iz lijevog motora te je također pretrpjela aksijalnu deformaciju. Kućište visokotlačnog kompresora je bilo slomljeno, a samo je manji dio ostao je u jezgri motora nakon udara. Komora za izgaranje je teško zdrobljena, a većina komadića je izgubljeno. Skupina za plovidbenost, koju su činili članovi etiopskog CAA-a, Boeinga i NTSB-a, sastala se na mjestu nesreće, u blizini Ejerea, 12. ožujka 2019. kako bi ispitala olupinu zrakoplova s posebnim naglaskom na upravljačke površine i komponente sustava za podatke iz zraka. Od upravljačkih površina pronađeni su mehanički sustavi za pomicanje zakrilaca, dijelovi trimera i elevatora.

Nakon pregledavanja i analiziranja dijelova olupine zrakoplova, potrebno je bilo provesti tri testa, a to su:

1) evaluacija sila na kormilu i ručnoj komandi za pomicanje trimera koristeći simulator za Boeing 737-8 MAX Ethiopian Airlinesa,
2) evaluacija okruženja u pilotskoj kabini i sila na kormilu koristeći Boeingov simulator u Seattleu te
3) evaluacija ručnog podešavanja trimera koristeći testnu platformu za komande lete u Seattleu.

Prema odluci istražnog odbora, tri simulacijska ispitivanja su se morala provesti u simulatoru koji se nalazi u Adis Abebi između 19. i 31. srpnja 2019. Ovaj test je proveden kako bi se procijenile prisutne sile na kormilu za upravljanje zrakoplovom i komandi za ručno podešavanje trimera u trenutku kada ga je letačka posada pokušala upotrijebiti na kobnom letu. Ove procjene omogućile su da se kvalitetnije istraži razgovor sa snimača glasa u pilotskoj kabini koji se vodio između kapetana i prvog časnika. Rezultati testa su sljedeći:

1) Što je veća vrijednost za korekciju trimera, to je veća sila koju pilot mora dati na kormilu kako bi letio u ravnini, a posljedično je i veća sila potrebna za okretanje kotačića za ručno podešavanje trimera.
2) Pri brzini od 220 čvorova, utvrđeno je da je razina težine okretanja ručnog trim kotača jednaka razini B (jedva pomična/1 okret nije dovršen) za vrijednost trimera od 2,5 jedinica, što je bila vrijednost na nesretnom letu kada je posada pokušala upotrijebiti navedenu komandu.
3) Za brzine veće od 220 čvorova i trim postavljen na vrijednost od 2,5 jedinica, razina težine okretanja ručnog trim kotača je na razini A (trim kotač nije pomičan).
4) Potrebno je 15 okretaja kotača za ručno podešavanje trimera kako bi se postigla vrijednost od jedne jedinice.
5) Na nesretnom letu, u trenutku kada je posada pokušala koristiti kotač za ručno podešavanje trimera, bilo je potrebno oko 40 da se on vrati u neutralni položaj.

4.2.3. Nalazi istrage

Nalazi istrage tijela za istraživanje zrakoplovnih nesreća Etiopije su sljedeći[47]:

1) Zrakoplov ET-AVJ je imao valjanu potvrdu o plovidbenosti i održavao se u skladu s važećim propisima i procedurama.
2) Nije postojalo nikakvih poznatih tehničkih problema prije polaska zrakoplova.
3) Uravnoteženje i opterećenje zrakoplova bilo je unutar operativnih granica.
4) Uzlijetanje se odvilo normalno, uključujući normalne vrijednosti lijevog i desnog napadnog kuta. Tijekom polijetanja, motori su se stabilizirali na oko 94% brzine vrtnje kompresora – N1. Od trenutka uzlijetanja, tijekom većeg dijela leta, referenca N1 ostala je na oko 94%.
5) Ubrzo nakon polijetanja, vrijednosti lijevog i desnog napadnog kuta su odstupile. Lijeve vrijednosti napadnog kuta bile su pogrešne i dosegle su 74,5°, dok je desna vrijednost napadnog kuta dosegla maksimalnu vrijednost od 15,3°. Razlika između lijeve i desne vrijednosti AOA bila je 59° i takva je ostala do pred kraj snimanja.
6) Odmah nakon odstupanja napadnih kutova aktiviralo se lijevo upozorenje za gubitak uzgona, koje je ostalo aktivno do pred kraj snimanja. Indikator nagiba direktora leta je nestao i na lijevom i na desnom primarnom zaslonu leta. Kako je zrakoplov prešao visinu od 122 metra iznad terena, ponovno su se pojavili lijevi i desni indikatori nagiba.
7) Neposredno nakon kvara lijevog AOA senzora, pogrešne vrijednosti lijevog napadnog kuta utjecale su na naredbu nagiba lijevog direktora leta. To je uzrokovalo pokazivanje različitih smjernica na lijevom i desnom indikatoru nagiba.
8) Računalo za upravljanje slomom uzgona i prigušivanjem skretanja izračunalo je minimalnu radnu brzinu i brzinu sloma uzgona na lijevoj strani veću od maksimalne operativne brzine od 340 čvorova bez ikakvog upozorenja ili detekcije neispravnosti. Zbog toga je lijeva zračna brzina bila prikazana unutar pojasa minimalne brzine.
9) Otprilike pet sekundi nakon završetka unosa ručnog električnog pomicanja trimera, aktivirao se treći automatski pomak trimera prema dolje, koji je aktivirao MCAS. Zbog toga nije bilo odgovarajućeg pomaka stabilizatora.
10) Indikator za preveliku brzinu na desnoj strani bio je aktivan do kraja snimanja. Vrijednosti desne brzine varirale su između 360 i 375 čvorova. Na lijevom pilotskom zaslonu izračunata brzina zraka oscilirala je između 335 i 350 čvorova.
11) Otprilike pet sekundi nakon zadnjeg ručnog električnog pomaka trimera, MCAS je aktivirao četvrti automatski pomak trimera za spuštanje nosa prema dolje. Stabilizator je prešao s 2,3 na 1 jedinicu, a vertikalna brzina se smanjila i postala negativna 3 sekunde nakon aktivacije MCAS-a.
12) Prelazna obuka, koju je pružio Boeing, sa 737 NG na 737 MAX generaciju smatra se nedovoljnom.
13) Upozorenje, prema dizajnu opisanom u operativnom priručniku letačke posade, o razlici napadnog kuta nije se pojavilo na zrakoplovu koji je sudjelovao u nesreći.
14) Inercijalna jedinica za podatke iz zraka (ADIRU), koja se koristi za otkrivanje kvara napadnog kuta, nije detektirala pogrešan napadni kut lijevog AOA senzora jer javlja

grešku samo kada je vrijednost napadnog kuta izvan fizičkog raspona. Zbog toga se upozorenja za brzinu i visinu leta nikada nisu pojavila na zaslonu pilota.

15) Rad MCAS-a samo na pojedinačne informacije o napadnom kutu učinio ga je ranjivim na neželjenu aktivaciju.
16) Specifični kvarovi koji mogu dovesti do nezapovjedne aktivacije MCAS-a, kao što je pogrešan unos visokog napadnog kuta, nisu simulirani kao dio testova za provjeru funkcionalnih opasnosti. Kao rezultat toga, dodatni potencijalni problemi koji proizlaze iz istog temeljnog kvara (na primjer, pogrešan napadni kut) nisu simulirani i nisu dokumentirani u procjeni sigurnosti za trimer, stabilizator i automatski let.

5. Analiza korektivnih mjera za sprječavanje budućih nesreća zrakoplova B737 MAX

5.1. Aktivnosti vezane za sigurnost provedene nakon nesreće u Indoneziji

Uprava za sigurnost i osiguranje priopćila je svim pilotima Boeinga 737 da 29. listopada 2018. pregledaju različite postupke vezane za let, uključujući podsjetnike vezane za stabilizator zrakoplova i nepouzdanu brzinu zraka. Zatim su, 30. listopada 2018., izdane informacije pilotima Lion Aira kao podsjetnik za[44]:

1) Temeljno razumijevanje stavki odgođenog održavanja (engl. *Deferred Maintenance Item – DMI*) zrakoplova kojim će letjeti.
2) Provjeru bilo kakvih kvarova i rješavanje problema koji su se javili u dnevniku održavanja (AFML) vezanim za prethodne letove.
3) Spremnost na sve abnormalne i hitne uvjete pregledom podsjetnika i mogućih manevara te održavanje kvalitetnog upravljanja resursima pilotske kabine.
4) Upisivanje svih kvarova koji su se dogodili tijekom leta u AFML, sveobuhvatno informiranje dežurnog inženjera o istima te provjera priručnika za prijavu kvarova.
5) Slanje izvješća upravi za sigurnost i osiguranje putem svih dostupnih metoda izvješćivanja što prije moguće.

Nakon podsjetnika pilotima, izdane su sigurnosne instrukcije Lion Airu za[44]:

1) operativnu upravu, što uključuje:
    a. Upućivanje svih pilota Boeinga 737 da koriste priručnik za prijavu kvarova (engl. *Fault Reporting Manual – FRM*) prilikom pisanja izvještaja za AFML.
    b. Upućivanje svih pilota da u izvješću za AFML navedu onoliko detalja koliko smatraju potrebnim, kako bi inženjerskom timu dali potpun i točan opis tehničkog problema (ova mjera je primijenjena s trenutnim učinkom).
    c. Naglašavanje operacija vezanih za nepouzdanu zračnu brzinu i poništavanje automatskog pomicanja trimera u sadašnjem nastavnom planu simulatora, s neposrednim utjecajem na sve flote.
    d. Veće isticanje uloge glavnog dežurnog pilota, kako bi se istaknuo problem u operativnom centru i centru za održavanje Lion Aira, u slučajevima kada se primi bilo kakva značajna obavijest.
    e. Poboljšanje procesa donošenja odluka u slučajevima kada zrakoplov u letu proglasi hitno stanje (PAN-PAN) ili nevolju (MAYDAY-MAYDAY).
2) Upravu za održavanje, što uključuje:
    a. Ojačanje stručnog tehničkog tima *Batam Aero Technica* (BAT) kao podršku zaposlenicima linijskog održavanja, za učinkovitiji postupak rješavanja problema. Ova instrukcija treba osigurati pažljivo istraživanje i rješavanje neispravnosti u pravom vremenu.
    b. Osiguravanje da zaposlenici *Batam Aero Technica* (BAT) putem svojeg „*TRAX*“ sustava predaju odgovarajuća upozorenja o ponavljajućim problemima.

c. Jačanje uloge centra za kontrolu održavanja u praćenju i otklanjanju kvarova.

U studenom 2018. godine provedene su i mjere koje od pilota Boeinga 737 MAX zahtijevaju dodatnu obuku vezanu za nepouzdanu zračnu brzinu, poništavanje automatskog pomicanja trimera te različitosti i greške vezane za zračnu brzinu i visinu leta[44].

Boeing je zatim, 6. studenog 2018. izdao bilten TBC-19 s uputama za rad letačke posade (engl. *Flight Crew Operation Manual Bulletin – OMB)* o nezapovjednom pomicanju trimera zbog pogrešnog napadnog kuta tijekom ručnog leta kako bi se naglasile procedure kontrolne liste za taj događaj. Nakon toga je Boeing, 11. studenog 2018., obavijestio sve operatore 737NG/MAX zrakoplova, regionalne direktore i menadžere te zaposlenike na *Boeing Fieldu* o multi modalnom upozorenju za gubitak uzgona i povećanje nagiba. Boeing je također obavijestio KNKT kako poduzimaju brojne mjere. Najbitnije, Boeing je ažurirao funkcionalnost MCAS-a te način na koji sustavi AOA senzora na zrakoplovu komuniciraju sa sustavom. Boeing je također ažurirao priručnike za posadu te obuku kako bi pilotima omogućio poboljšane informacije za siguran let na tipu 737 MAX. MCAS je ažuriran na sljedeći način[44]:

1) Sustav upravljanje zrakoplovom sada uspoređuje ulaze oba AOA senzora. Ako je razlika napadnih kutova dvaju senzora 5,5 stupnjeva ili više, MCAS se neće aktivirati, a indikator na zaslonu pilotske kabine upozorit će pilote o grešci.
2) U slučajevima aktivacije MCAS-a zbog nenormalnih uvjeta, sustav će djelovati pomakom trimera samo jednom za svaki događaj povišenog napadnog kuta. Ne postoje poznati ili predviđeni kvarovi u kojima će MCAS pružati ponavljajuće unose.
3) MCAS nikada neće aktivirati više pomaka stabilizatora nego što letačka posada može spriječiti povlačenjem kormila. Piloti će i dalje uvijek imati mogućnost nadjačavanja MCAS-a i ručnog upravljanja zrakoplovom.

Boeing je također ažurirao sustav zaslona u kokpitu, tako da je na svim 737 MAX zrakoplovima aktivirao indikator za upozorenje o razlici napadnih kutova te omogućio prikaz napadnog kuta za lijevu i desnu stranu. Osim toga Boeing je počeo s izmjenom operativnog priručnika za 737 MAX, promjenom određenih nenormalnih procedura te ažuriranjem detaljne računalne obuke pilota i drugih materijala za 737 MAX i MCAS. Navedene obuke piloti moraju uspješno završiti kako bi se kvalificirali za letenje na 737 MAX zrakoplovu[44].

Nakon nesreće Lion Airovog 737-8 MAX zrakoplova, FAA je poduzeo sljedeće mjere[44]:

1) FAA je postavljen kao savjetnik akreditiranom predstavniku SAD-a, dok je NTSB djelovao kao podrška KNKT-u u istrazi nesreće leta JT610 prema Dodatku 13. FAA je dodijelila dvije osobe koje su putovale s NTSB-om i *General Electricom* (GE), a to su jedan istražitelj nesreća i jedan pilot specijaliziran za testne letove koji posjeduje certifikat tipa za Boeing 737 te iskustvo u evaluaciji certifikata za 737 MAX.
2) FAA nije bio ograničen samo na aktivnosti podrške na licu mjesta, već je bio intenzivno uključen u istragu otkako se nesreća dogodila. FAA je sudjelovao i u aktivnostima Boeingovog odbora za provjeru sigurnosti. FAA, točnije njegov ured za certifikaciju zrakoplova iz Seattlea, poslao je pojedince sa stručnim znanjem iz sustava zrakoplova, komandama leta, certificiranju testnim letovima i

performansama zrakoplova kao podršku indonezijskom KNKT-u. Ti pojedinci si kontinuirano blisko surađivali s kolegama iz NTSB-a.

3) FAA je ubrzo nakon nesreće počela raditi s Boeingovim odjelom za sigurnost leta (*Boeing Flight Safety*) na načinima slanja informacija operaterima zrakoplova 737-8 i -9 MAX o mogućim nesigurnim uvjetima
4) Odjel FAA-a za certifikaciju zrakoplova dovršio je početnu sigurnosnu procjenu Boeinga 737-8/-9 te je nastavio s procjenom operativnog rizika sigurnosti zrakoplova. FAA je osnovao odbor za reviziju korektivnih mjera (engl. *Corrective Action Review Board – CARB)* koji je napravio procjenu sigurnosnog rizika MAX flote. Rezultat procjene zahtijevao je hitnu akciju.
5) Dana 7. studenog 2018. FAA je izdao naredbu o plovidbenosti (engl. *Airworthiness Directive – AD*) vlasnicima i operaterima zrakoplova Boeing 737-8 i -9 MAX.
6) Dana 13. ožujka 2019. FAA je odlučio prizemljiti sve 737 MAX zrakoplove, nakon što je utvrđen potencijalni odnos između zrakoplovnih nesreća letova JT610 i ET302 koji se temelji na profilu leta i fizičkim dokazima.

5.2. Sigurnosne preporuke Nacionalnog odbora za sigurnost prometa Indonezije

Kako bi se spriječile buduće nesreće ili nezgode vezane za Boeing 737 MAX, Nacionalni odbor za sigurnost prometa Indonezije je poslao sigurnosne preporuke tvrtkama *Lion Air, Batam Aero Technic, AirNav Indonesia, Xtra Aerospace*, Boeing te DGCA-u i FAA-u[44].

5.2.1. Sigurnosne preporuke zračnom prijevozniku Lion Air

Istraživanje je pokazalo kako upute Lion Aira nisu ažurirane na vrijeme te da su sadržavale brojne kontradiktornosti, nedostatke u informacijama i nesinkronizirane procedure. KNKT je zato preporučio izradu sustava koji će jamčiti da se priručnici tvrtke ažuriraju na vrijeme. Prema istrazi, nastavni plan i program SMS obuke nije dovoljno vremena posvetio identificiranju opasnosti. Rezultat toga je manja sposobnost identifikacije i prijave opasnosti od strane zaposlenika. Izvještavanje o nesreći činilo je većinu sigurnosnog izvješća Lion Aira iz prosinca 2018., pri čemu je samo otprilike 5% izvješća činilo izvještavanje o opasnostima. KNKT je također preporučio Lion Airu da evaluira svoj SMS priručnik za obuku, kao i njegovo trajanje. Smatra se kako su višestruke neispravnosti koje su se javile na letu JT043 uzrokovale gubitak kontrole zrakoplova. Let je klasificiran kao značajan događaj prema ICAO-ovom Dodatku 13, što zahtijeva ispitivanje od strane KNKT-a u skladu sa Zakonom o zrakoplovstvu broj 1 iz 2009. te vladinom direktivom broj 62 iz 2013. Kako bi se omogućilo prepoznavanje opasnosti i odgovarajuće ublažavanje istih, KNKT je savjetovao Lion Airu da unaprijedi svoj sustav za upravljanje izvještajima o opasnostima[44].

5.2.2. Sigurnosne preporuke tvrtki Batam Aero Technic (BAT)

Inženjer u Denpasaru proveo je test instalacije senzora napadnog kuta koristeći alternativnu tehniku opisanu u Boeingovom priručniku za održavanje zrakoplova. Priručnik procedura za linijsko održavanje *Batam Aero Technic*a zahtijevao da se zabilježe očitanja napadnog kuta prikazana na SMYD računalu tijekom testa, što inženjer nije učinio. Ishod testa instalacije nije se mogao utvrditi bez zabilježene vrijednosti. KNKT savjetuje inženjere da zabilježe testne vrijednosti u skladu sa zahtjevima priručnika tvrtke. Istraživanje je pokazalo kako BAT-ovi priručnici nisu bili pravovremeno ažurirani te da su sadržavali niz kontradiktornosti, praznina i procesa koji nisu sinkronizirani. KNKT savjetuje stvaranje sustava koji će jamčiti da se priručnici tvrtke ažuriraju na vrijeme. Boeing 737 MAX je opremljen s ugrađenim sustavom za održavanje (engl. *Onboard Maintenance Function – OMF*) koji uključuje zapise o problemima vezanim za zrakoplov. BAT nije koristio podatke OMF-a kao izvor za praćenje problema sa zrakoplovom. KNKT je savjetovao *Batam Aero Technic* da usvoji strategiju i metodu za korištenje OMF-a prilikom održavanja[44].

5.2.3. Sigurnosne preporuke tvrtki AirNav Indonesia

Letačka posada JT610 je tražila informacije o visini zrakoplova od kontrole leta koja je podatke uzimala s radarskog zaslona, u nastojanju da dobije drugi izvor informacija. Kako radarski zaslon kontrole leta prima podatke od transpondera zrakoplova, koji šalje informacije iz kokpita zrakoplova, upit letačke posade o visini zrakoplova nije dao nikakve nove informacije. KNKT savjetuje da se posada Lion Aira informira kako indikator visine na radarskom zaslonu kontrolora jednostavno prenosi informacije iz zrakoplova[44].

5.2.4. Sigurnosne preporuke tvrtki Xtra Aerospace

Dana 28. listopada 2018., tijekom održavanja u Denpasaru, *Xtra Aerospace* je popravio senzor napadnog kuta te ga postavio u lijevi bočni položaj na unesrećeni zrakoplov PK-LQP. Na sljedećem letu, FDR je pokazao odstupanje od 21 stupanj između lijevog i desnog AOA senzora koje pojavilo prilikom uzlijetanja. AOA senzor najvjerojatnije nije bio pravilno kalibriran prilikom postavljanja, što dokazuje razlika od 21 stupnja. Kao što je prethodno spomenuto, trebala je postojati posebna raspisana procedura kako bi se definirao ispravan položaj prekidača REL/ABS prije nego što je *Xtra Aerospace* obavio testiranje i kalibraciju senzora. Kako bi se zajamčilo da se komponente koje se popravljaju ispravno održavaju, KNKT savjetuje da *Xtra Aerospace* stavi naglasak na usvajanje korporativnog priručnika, evaluaciju ekvivalentnosti, obuku i dokumentiranje procesa[44].

5.2.5. Sigurnosne preporuke Boeingu

Višestruka upozorenja i indikatoru na letu JT610 povećali su radno opterećenje letačke posade. Zbog toga je problem bio teško uočljiv, a letačka posada nije mogla pronaći rješenje za stabiliziranje zrakoplova. KNKT je stoga preporučio da proizvođač zrakoplova razmotri učinak svih mogućih upozorenja i indikatora u pilotskoj kabini kako bi letačka posada mogla

prepoznati problem i riješiti ga. To uključuje dizajn samog sustava, potencijalne postupke letačke posade i/ili zahtjeve za obuku gdje je to potrebno, kako bi se minimizirao potencijal postupaka letačke posade koji nisu u skladu s pretpostavkama proizvođača.

Tijekom certifikacije zrakoplova koriste se testni piloti koji često posjeduju veliko iskustvo i visoku razinu znanja. Piloti koji provode testne letove obično znaju više o značajkama zrakoplova od ostalih pilota koji nisu na istoj operativnoj razini. Testni piloti, međutim, prolaze obuku koja odražava prosječnu letačku posadu. Tijekom certifikacije, zrakoplov također ocjenjuju piloti iz skupine za ocjenjivanje zrakoplova, koji posjeduju iskustvo letenja u operativnim okruženjima. Kao dio postupka odbora za standardizaciju leta, ovi piloti definiraju certifikat tipa za pilote i obuku. Kako bi se dodatno jamčilo da su standardi operativno reprezentativni, piloti zrakoplovnih linija također se koriste u procesu. Prema FAA-u i proizvođaču ispravno obučena prosječna letačka posada trebala bi imati visoku razinu znanja o sustavu kada se suoči s kvarovima,. Stoga je KNKT preporučio Boeingu da uključi veću toleranciju u dizajn kako bi se omogućila operativnost na razini veće populacije pilota.

Nadalje, tijekom nesretnog leta, FDR je zabilježio silu od 458 N na kormilu zrakoplova, nakon ponovljene aktivacije MCAS-a, stoga je KNKT preporučio da Boeing i FAA pomnije prouče proces razvoja i certificiranja sustava čiji kvar može dovesti do gubitka kontrole zrakoplova. Osim toga, posada je trebala dobiti informacije i upozorenja koja će im pomoći da bolje razumiju sustav i znaju kako riješiti potencijalne probleme. Obuka i procedure za let posade trebali bi biti primjereni, zbog čega je KNKT preporučio Boeingu da razvije smjernice i kriterije kako bi se odredile informacije koje trebaju biti uključene u priručnicima za letačku posadu i zrakoplovne inženjere inženjerske. Za kraj, KNKT je savjetovao Boeingu da osigura da certificirani i isporučeni zrakoplovi imaju predviđenu funkcionalnost sustava koja nije bila zadovoljena nepokazivanjem upozorenja o različitim napadnim kutovima[44].

5.2.6. Sigurnosne preporuke Glavne uprave za civilno zrakoplovstvo Indonezije

Istraga je otkrila nekoliko odstupanja od standardnih procedura kao što su let zrakoplova s neispravnom plovidbenosti i neprikladno provedenim postupkom održavanja. KNKT je zato dao preporuku unaprjeđenja nadzora navedenih stavki kako bi se osigurala standardizacija postupaka. Utvrđeno je i da nekoliko priručnika nije ažurirano na vrijeme, da su neprimjenjivi te da njihov sadržaj nije uključivao dužnost i odgovornost značajnog osoblja. Zbog propusta u priručnicima KNKT je preporučio unaprjeđenje nadzora nad priručnicima kako bi se osigurala njihova standardizacija i ažurnost. Naposljetku je KNKT ocijenio kako opseg procedure za identifikaciju opasnosti u programu SMS-a nije dovoljno. To može smanjiti sposobnost zaposlenika da definiraju i prijave opasnost, a KNKT je glavnoj upravi za civilno zrakoplovstvo dao preporuku za pregled materijala SMS obuke i njeno trajanje kako bi se osigurala primjerena razina kvalitete sustava za upravljanje sigurnosti[44].

5.2.7. Sigurnosne preporuke Saveznoj upravi za civilno zrakoplovstvo

Sigurnosne preporuke FAA-u su bile sljedeće[44]:

1) pregledati zahtjeve saveznih zrakoplovnih propisa kako bi razmotrila svaka moguća greška sustava fokusirajući se na njihov međuodnos,
2) pregledati procese koji određuju FAA-ovu uključenost u rješavanje problema (stupanj delegiranja) i te izvještavanje FAA-a o promjeni dizajna kako bi se osigurala odgovarajuća razina pregleda,
3) poboljšati nadzor certificiranog centra za održavanje kako bi se osiguralo da se procesi unutar centra provode u skladu sa zahtjevima,
4) (zajedno s Boeingom) pomnije promatrati proces razvoja i certifikacije sustava čiji kvar može dovesti do gubitka kontrole nad zrakoplovom,
5) raditi s međunarodnim regulatornim tijelima na pretpostavkama o ponašanju letačke posade tijekom projektiranja zrakoplova te reviziji procesa certifikacije kako bi se osiguralo da su pretpostavke korištene tijekom procesa projektiranja provjerene,
6) ispitati smjernice materijala koji su uključeni u letačkim i inženjerskim priručnicima u suradnji s međunarodnim regulatornim tijelima,
7) provjeriti rade li certificirani i isporučeni sustavi zrakoplova prema očekivanjima te
8) ispitati certifikacijske standarde za ugradnju nepunjivih litijskih baterija u suradnji s međunarodnim regulatornim tijelima zbog loše pozicije ULB-a koja je dovela do njegovog uništenja prilikom udara.

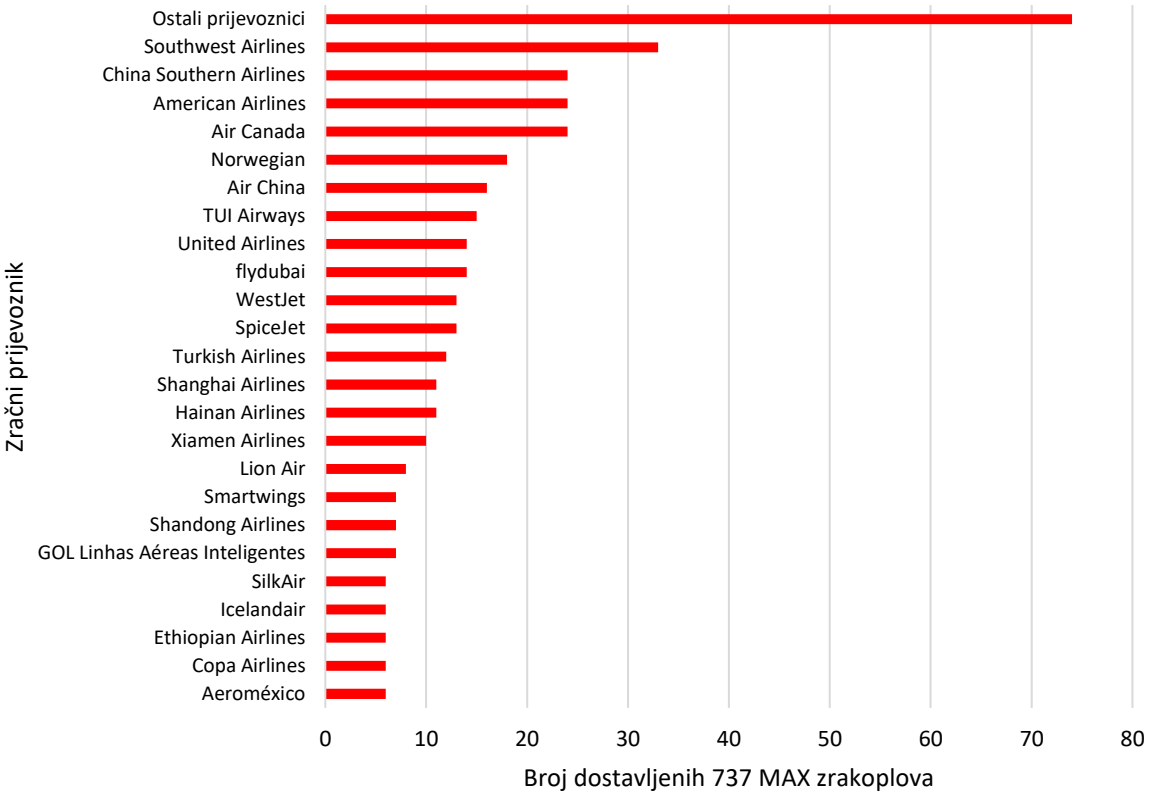
5.3. Sigurnosne aktivnosti provedene nakon nesreće u Etiopiji

Nakon nesreće leta ET302 Ured za istraživanje zrakoplovnih nesreća Etiopije je objavio sljedeće sigurnosne preporuke[47]:

1) MCAS treba uzeti u obzir korištenje podataka i iz senzora za napadni kut i/ili drugih neovisnih sustava zbog redundantnosti.
2) Regulator treba potvrditi da su svi mogući uzroci kvarova uzeti u obzir tijekom procjene funkcionalne opasnosti.
3) Proizvođač mora osigurati da minimalna brzina koju izračunava SMYD bude unutar logičke vrijednosti. Također bi trebala postojati logika za verifikaciju izračuna.
4) Obuka pilota također treba uključivati sesije na simulatoru za upoznavanje s normalnim i nenormalnim radom MCAS-a. Simulatori na obukama moraju biti sposobni simulirati scenarije kvarova senzora napadnog kuta.
5) Proizvođač bi trebao potvrditi da je upozorenje o različitosti napadnog kuta funkcionalno bez obzira na to je li neobavezni indikator napadnog kuta instaliran ili ne.

5.4. Prizemljenje zrakoplova Boeing 737 MAX

Nakon smrtonosnog pada Boeing 737-8 MAX zrakoplova u Etiopiji državni regulatori za sigurnost zračnog prometa zabranili su letove i prizemljili novu generaciju 737 zrakoplova. Nakon prizemljenja u 51 državi svijeta, B737 MAX zrakoplove je u SAD-u na neodređeno vrijeme prizemljio i FAA 13. ožujka 2019.. FAA prvobitno nije planirao prizemljiti MAX zrakoplove, no nove sakupljene informacije o olupini, snimljeni podatci iz ET-AVJ zrakoplova te satelitske snimke su potaknule Saveznu upravu za civilno zrakoplovstvo da djeluje[49].



Graf 3. Broj dostavljenih 737-8 i -9 MAX zrakoplova prema operatoru (više od 6 jedinica) do prizemljenja u ožujku 2019.

Izvor: [20]

Do prizemljenja svjetske 737 MAX flote, broj dostavljenih zrakoplova iznosio je 385, od kojih je najviše (33) dostavljeno američkom niskotarifnom prijevozniku Southwest Airlines. Slijede China Southern, American Airlines i Air Canada s po 24 dostavljenih 737 MAX zrakoplova svaki. Prijevoznici s više od 6 dostavljenih 737 MAX zrakoplova do 11. ožujka 2019. prikazani su u grafu 3, dok prijevoznici s manje od 6 dostavljenih zrakoplova broje 74 jedinice. Do ožujka 2019. postojalo je 52 prijevoznika s barem jednim dostavljenim Boeingom 737 MAX u floti[20].

[49] Uredništvo Los Angeles Timesa. *Why was the FAA so late to deplane from Boeing's 737 Max*? Los Angeles; 2019. Preuzeto s: https://www.latimes.com/opinion/editorials/la-ed-trump-faa-737-max-grounded-20190314-story.html [Pristupljeno: 25. lipnja 2022.].

6. Utjecaji nesreća zrakoplova Boeing B737 MAX na poslovanje tvrtke Boeing

Nakon prizemljenja svjetske Boeing 737 MAX flote, EASA i kanadsko regulatorno tijelo za transport odlučili su provesti posebna ispitivanja vezana za promjene koje su Boeing i FAA odlučili implementirati. Plan Boeinga bio je 25. ožujka 2019. dovršiti nadogradnju softvera koji automatski spušta nos zrakoplova prema dolje kako bi spriječio mogući slom uzgona. FAA je predvidio kako će odobriti izmjene programa za obuku pilota u travnju ili svibnju iste godine. Usprkos FAA-ovoj izjavi kako će promjene u ključnom sustavu za upravljanje zrakoplovom učiniti 737 MAX sigurnim za let, Europsko i kanadsko regulatorno tijelo odlučili su se na istragu kako bi osigurali sigurnost letenja novih zrakoplova od strane svojih zračnih prijevoznika[50]. U studenom 2019. godine FAA je izdao odluku kojom sprječava Boeingu da izdaje vlastite potvrde o plovidbenosti. Boeing je time izgubio mogućnost certificiranja svakog pojedinačnog 737 MAX zrakoplova za let. Ta je funkcija prešla isključivo na FAA, sve dok Boeing ne provede potpuno funkcionalne mehanizme za kontrolu i provjeru kvalitete te dok dizajn i proizvodni procesi zrakoplova ne ispune sve regulatorne standarde i osiguraju sigurnost putnika. Prije navedene odluke, FAA i Boeing su dijelili odgovornosti za izdavanje certifikata prije isporuke[51].

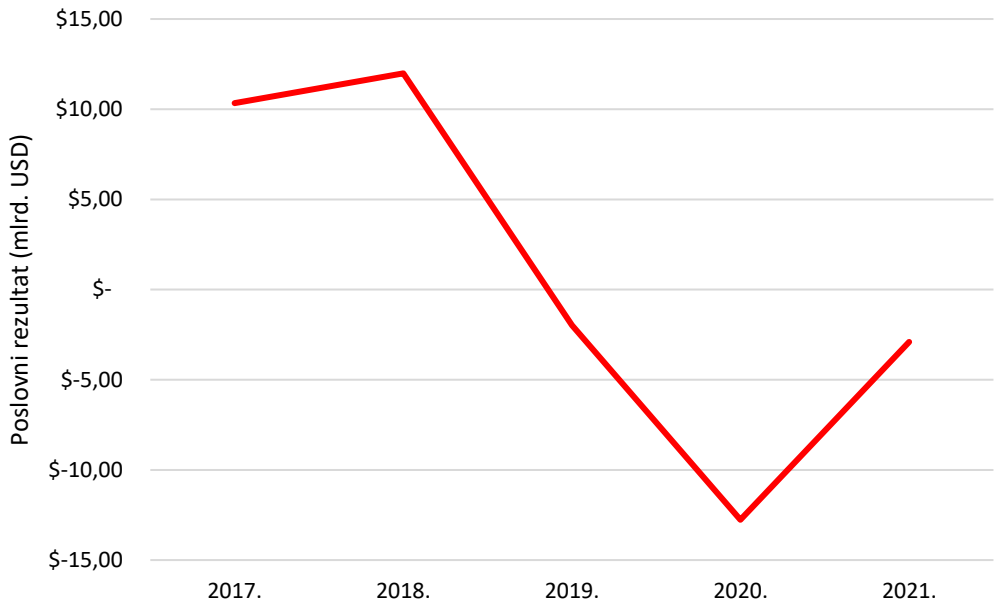
U siječnju 2021. godine Ministarstvo pravosuđa Sjedinjenih Američkih Država je optužilo Boeing za prijevaru prilikom certifikacije 737 MAX zrakoplova, koji je pristao platiti novčanu kaznu u iznosu od 2,5 milijardi dolara. Kako bi se suočili s kaznenom prijavom koja je proizašla iz sumnje pokušaja prevare FAA-ove Skupine za ispitivanje zrakoplova (engl. *Aircraft Examination Group – AEG*) vezano za AEG-ovu evaluaciju Boeinga 737 MAX, Boeing i Ministarstvo pravosuđa SAD-a postigli su sporazum. Optužba je uključivala kriminalnu novčanu kaznu od 243,6 milijuna dolara, odštetu od 1,77 milijardi dolara korisnicima Boeingovog 737 MAX zrakoplova te stvaranje fonda od 500 milijuna dolara za dobrobit 346 putnika koji su izgubili živote na nesretnim letovima JT610 Lion Aira i ET302 Ethiopian Airlinesa. Ministarstvo pravosuđa izvijestilo je kako su nesreće otkrile da se jedan od vodećih proizvođača komercijalnih zrakoplova upustio u nepošteno ponašanje i prevaru te da su radnici Boeinga odlučili lagati FAA-u o važnim činjenicama u vezi s radom zrakoplova. Ovom rezolucijom Ministarstvo pravosuđa SAD-a je prebacilo odgovornost na Boeing, vezano za nezakonito ponašanje njegovih radnika te olakšalo financijski teret Boeingovih klijenata.

U sudskim dokumentima, Boeing je priznao kako su njihova dva testna pilota propustila informirati AEG o ključnoj komponenti zrakoplova – MCAS-u, koji ima utjecaj na sustav kontroliranja leta 737 MAX zrakoplova. Nepoštenost pilota, spriječila je informiranje avioprijevoznika sa sjedištem u SAD-u o sustavu u priručnicima i materijalima za obuku pilota. Na temelju količine i vrste razlika između 737 MAX i 737 NG generacije, AEG je uvelike bio

[50] Koenig D. *European, Canadian regulators to do own review of Boeing jet.* Insider; 2019. Preuzeto s: https://www.businessinsider.com/european-canadian-regulators-to-do-own-review-of-boeing-jet-2019-3 [Pristupljeno: 25. lipnja 2022.].

[51] Polek G. *FAA To Take Full Control of Max Airworthiness Certification.* AIN Media Group; 2019. Preuzeto s: https://www.ainonline.com/aviation-news/air-transport/2019-11-27/faa-take-full-control-max-airworthiness-certification [Pristupljeno: 25. lipnja 2022.].

zadužen za definiranje minimalne razine obuke pilota potrebne da se pilotu omogući letenje na Boeingu 737 MAX u SAD-u. Izvješće odbora za standardizaciju leta Boeinga 737 MAX koje je AEG objavio nakon studije, sadržavalo je relevantne podatke o specifičnim dijelovima i sustavima zrakoplova koje je Boeing bio obvezan uključiti u priručnike i materijale za obuku pilota za sve zračne prijevoznike sa sjedištem u SAD-u. Nakon što je objavljeno izvješće zračnim prijevoznicima dopušteno je letenje na Boeingu 737 MAX. U studenom 2016. dva Boeingova pilota zadužena za letenje na 737 MAX-u otkrila su važne informacije o promjeni MCAS-a. Umjesto da podijeli informacije o promjeni s AEG-om, Boeing ih je prikrio i tako prevario FAA. Zbog ove obmane, AEG je izbrisao sve informacije o MCAS-u iz konačne verzije izvješća za 737 MAX objavljenog u srpnju 2017. zbog čega Boeingovi kupci nisu dobili nikakve informacije o sustavu[52].



Graf 4. Poslovni rezultati Boeinga od 2017. do 2021.

Izvor: [53]

Troškovi uzrokovani prizemljenjem B737 MAX zrakoplova rezultirali su u izravnim izdacima od oko 20 milijardi dolara, što uključuje 8,6 milijardi dolara kompenzacije kupcima čiji su zrakoplovi prizemljeni, 5 milijardi dolara za troškove dodatne proizvodnje i 6,3 milijarde dolara za dodatne troškove 737 MAX programa. Osim toga, američki proizvođač je potrošio blizu 600 milijuna dolara na ažuriranje softvera, obuku pilota te skladištenje zrakoplova. Troškovi prizemljenja Boeinga, koji uključuju i 100 milijuna dolara vrijedan fond za odštetu žrtvama, ukupno su dostigli 20,7 milijardi dolara. Boeing je za vrijeme prizemljenja proizveo još 450 MAX zrakoplova, ali nije isporučio niti jedan u tom dvogodišnjem razdoblju, što je

[52] Ministarstvo pravosuđa Sjedinjenih Američkih Država. *Boeing Charged with 737 Max Fraud Conspiracy and Agrees to Pay over $2.5 Billion.* Preuzeto s: https://www.justice.gov/opa/pr/boeing-charged-737-max-fraud-conspiracy-and-agrees-pay-over-25-billion [Pristupljeno: 27. lipnja 2022.].
[53] Boeing. *The Boeing Company 2021 Annual Report.* Preuzeto s: https://www.boeing.com/company/annual-report/index.page [Pristupljeno: 27. lipnja 2022.].

također značajno utjecalo na poslovne rezultate proizvođača[54]. Kao što je prikazano u grafu 4., Boeing je 2019. godine poslovao s gubitkom od 1,975 milijardi dolara, nakon čega su slijedile 2020. i 2021. godina s gubitcima od 12,767, odnosno 2,902 milijardi dolara[53].

Godinu dana i devet mjeseci nakon prizemljenja Boeinga 737 MAX, 9. prosinca 2020. godine Brazilski zračni prijevoznik GOL bio je prvi operater koji je vratio zrakoplov u komercijalnu službu. Brazilska agencija za civilno zrakoplovstvo je prva u svijetu odlučila vratiti certifikat tipa za Boeing 737 MAX, ubrzo nakon što je FAA odobrio mogućnost vraćanja zrakoplova u službu. Vraćanje MAX zrakoplova u službu je omogućeno uz određene modifikacije i obuku zrakoplovnog osoblja. Prije reintegracije MAX-a u svoju flotu, GOL je proveo obuku 140 pilota u suradnji s Boeingom, ispunjavajući sve tehničke i operativne zahtjeve navedene u planu koji je uz FAA odobrila agencija za civilno zrakoplovstvo Brazila[55]. Nedugo nakon vračanja prvog MAX zrakoplova u operativu, Boeing je nastavio s dostavljanjem svoje nove generacije 737 zrakoplova, koje je bilo zaustavljeno nakon prizemljenja u ožujku 2019. Prvi operater koji je preuzeo novi Boeing 737-9 MAX bio je United Airlines, 8. prosinca 2020. godine, dok je prvi 737-8 MAX nakon prizemljenja bio dostavljen American Airlinesu dva dana poslije[56]. Nakon GOL-a, prvi europski zračni prijevoznik koji je započeo s operacijama Boeinga 737 MAX bio je *TUI fly* 17. veljače 2021., ali pod strogim uvjetima EASA-e. Nakon toga je slijedio Češki *Smartwings* koji je najavio povratak zrakoplova isti mjesec[57].

Nakon povrataka prvih MAX zrakoplova u operativu, Boeing je u ožujku primio 185 novih narudžbi za 737 MAX generaciju, a Southwest je izvršio najveću kupnju od 100 jedinica. Međutim, uz povećanje broja narudžbi, Boeing je počeo dobivati i velik broj otkaza narudžbi, tako je na primjer u veljači 2021. godine bilo 156 otkaza od strane zračnih prijevoznika. Osim toga je Boeing u početku 2021. otkrio novi problem s MAX-om te je morao savjetovati šesnaest zračnih prijevoznika da ne lete zrakoplovom, dok se ne ispita potencijalni električni problem. Boeing je od prizemljenja do ožujka 2021. kupcima uspio dostaviti 85 zrakoplova, za koje vrijeme je nastavio proizvoditi zrakoplove od kojih većina nije dostavljena. Boeing je u tom periodu imao stotinjak dovršenih MAX-ova za isporuku kupcima što je uvelike utjecalo na profitabilnost proizvođača[58]. Do 4. srpnja 2022. 76 zrakoplovnih prijevoznika preuzelo je ukupno 835 737 MAX zrakoplova, dok je 141 zračnih prijevoznika preuzelo ukupno 2290 zrakoplova zadnje generacije Airbusovog A320 zrakoplova, A320neo. Od toga je 2000 A320neo zrakoplova do tada bilo aktivno, a Boeinga 737 MAX 650[20].

---

[54] Isidore C. *Boeing's 737 Max debacle could be the most expensive corporate blunder ever.* New York; 2020. Preuzeto s: https://edition.cnn.com/2020/11/17/business/boeing-737-max-grounding-cost [Pristupljeno: 27. lipnja 2022.].

[55] Ch-aviation. *Brazil's GOL first carrier to resume B737 MAX ops.* 2020. Preuzeto s: https://www.ch-aviation.com/portal/news/98176-brazils-gol-first-carrier-to-resume-b737-max-ops [Pristupljeno: 29. lipnja 2022.].

[56] Ch-aviation. *Boeing restarts B737 MAX deliveries.* 2020. Preuzeto s: https://www.ch-aviation.com/portal/news/98552-boeing-restarts-b737-max-deliveries [Pristupljeno: 29. lipnja 2022.].

[57] Ch-aviation. *TUI fly (Belgium) resumes B737 MAX flights.* 2021. Preuzeto s: https://www.ch-aviation.com/portal/news/100771-tui-fly-belgium-resumes-b737-max-flights [Pristupljeno: 29. lipnja 2022.].

[58] Isidore C. *Boeing's 2021 was starting off pretty well -- until its latest 737 Max woes.* New York; 2021. Preuzeto s: https://edition.cnn.com/2021/04/13/investing/boeing-orders-deliveries-737-max-problem/index.html [Pristupljeno: 4. srpnja 2022.].

7. Zaključak

Zrakoplovne nesreće su se u komercijalnom zračnom prometu javljale još od samih njegovih začetaka. Pojavom svake nove zrakoplovne nesreće otkrivali su se uzroci, koji bi kasnije bili riješeni i tako je avijacija postajala sve sigurniji način prijevoza. Tokom godina javljali su se sve noviji tehnološki napredci koji su povećavali sigurnost leta zrakoplova. No, ujedno su i navedeni tehnološki napredci znali biti uzrok novih nesreća, tako da su konstantno morali biti modificirani. Pojavom Boeingovih, a zatim Airbusovih zrakoplova u drugoj polovici 20. stoljeća, zrakoplovi su postali sve sigurniji i pouzdaniji što je učinilo zračni promet najsigurnijom granom prometa. Visokom razinom sigurnosti javili su se i visoki standardi za njeno očuvanje. Očuvanje visoke razine sigurnosti postiže se rigoroznim mjerama i certifikacijama novih tehnologija zrakoplova te konstantnim korištenjem sustava za osiguranje sigurnosti od strane svih dionika u zračnom prometu. Međutim, Boeing je narušio tu visoku razinu sigurnosti ne otkrivajući zračnim prijevoznicima i FAA-u detalje o MCAS sustavu te izbjegavanjem implementacije potrebne edukacije pilotima.

Izuzetna razina konkurentnosti između Boeinga i Airbusa ujedno stvara dobru, ali i problematičnu situaciju na tržištu. Pozitivna strana kompetitivnosti proizlazi u velikim tehnološkim napredcima uskotrupnih i širokotrupnih zrakoplova svakog od proizvođača. To je učinilo svaku novu generaciju zrakoplova ekonomičnijom, tišom i boljom za okoliš. S druge strane, duopol Airbusa i Boeinga stvara veliki pritisak na oba proizvođača da svoje nove zrakoplove razviju što brže kako bi preuzeli vodstvo na tržištu. Taj pritisak natjerao je Boeing da zanemari najbitniju stavku u industriji zračnog prometa, a to je sigurnost. Kako bi pridobio potencijalne kupce, Boeing je na tržište plasirao zrakoplov za čiji let nije od pilota (koji su bili certificirani na B737 NG-u) tražio dodatne edukacije. Ta je odluka donesena po uzoru na Airbus A320neo koji također nije zahtijevao dodatnu edukaciju, iako je ona bila potrebna na MAX-u zbog implementacije MCAS-a. Ovim postupkom Boeing je uvelike narušio sigurnost leta koja je rezultirala u dvije katastrofalne nesreće.

Analizom dvaju nesreća vidljivo je koji su sve sustavi Boeinga 737-8 MAX sudjelovali u prouzrokovanju nesreće te način na koji su dobivene činjenice pomogle u stvaranju sigurnosnih preporuka. Istragom ustanovljene preporuke omogućile su izbjegavanje budućih nesreća ili nezgoda. Također je vidljiv golem ekonomski i reputacijski utjecaj na Boeing zbog pokušaja izbjegavanja sigurnosnih standarda i fokusiranja na kompetitivnost i dobit.

Literatura

1. Weiss S. I., Amir A. R. Encyclopedia Britannica, Boeing Company. Preuzeto s: https://www.britannica.com/topic/Boeing-Company/Rockwell-International-Corporation [Pristupljeno: 13. ožujka 2022.].
2. AirHistory.net. NR257Y. 2019. Preuzeto s: https://www.airhistory.net/photo/141988/NR257Y [Pristupljeno: 13. ožujka 2022.].
3. Boeing. Model 247/C-73 Transport. Preuzeto s: https://www.boeing.com/history/products/model-247-c-73.page [Pristupljeno: 14. ožujka 2022.].
4. Polaneczky B. PP-VJJ. 2007. Preuzeto s: https://www.jetphotos.com/photo/5993485 [Pristupljeno: 14. ožujka 2022.].
5. Boeing. 707/720 Commercial Transport. Preuzeto s: https://www.boeing.com/history/products/707.page [Pristupljeno: 14. ožujka 2022.].
6. Boeing. 727 Commercial Transport. Preuzeto s: https://www.boeing.com/history/products/727.page [Pristupljeno: 26. ožujka 2022.].
7. Boeing. 737 Airplane Characteristics for Airport Planning. Boeing Commercial Airplanes; 2013. Preuzeto s: https://www.boeing.com/assets/pdf/commercial/airports/acaps/737.pdf [Pristupljeno: 3. travnja 2022.].
8. Airliners.net. Aircraft Technical Data & Specifications. Preuzeto s: https://www.airliners.net/aircraft-data [Pristupljeno: 3. travnja 2022.].
9. Boeing. 737 Commercial Transport. Preuzeto s: https://www.boeing.com/history/products/737-classic.page [Pristupljeno: 3. travnja 2022.].
10. Van Belleghem R. PH-BDC. 2002. Preuzeto s: https://www.jetphotos.com/photo/193 [Pristupljeno: 11. travnja 2022.].
11. Davidelit. Engine inlet of a CFM56-3 engine on a Boeing 737-400 series showing the noncircular design. 2008. Preuzeto s: https://en.wikipedia.org/wiki/Boeing_737_Classic#/media/File:Boeing_737-400_Engine.JPG [Pristupljeno: 11. travnja 2022.].
12. Stumpf A. G. Boeing 737-200 (Brasilia Air Base). 2009. Preuzeto s: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Boeing_737-200_(Brasilia_Air_Base).jpg [Pristupljeno: 11. travnja 2022.].
13. The 737 information site. Classics. Preuzeto s: http://www.b737.org.uk/737classic.htm [Pristupljeno: 11. travnja 2022.].
14. Modern Airliners. Airbus A320 History – How Airbus successfully filled the short haul airliner market. Preuzeto s: https://modernairliners.com/airbus-a320-introduction/airbus-a320-history [Pristupljeno: 12. travnja 2022.].
15. Kostelny B. N700GS. 2003. Preuzeto s: https://www.jetphotos.com/photo/178844 [Pristupljeno: 17. travnja 2022.].
16. Boeing. Boeing Next-generation 737. Preuzeto s: https://www.boeing.com/commercial/737ng [Pristupljeno: 17. travnja 2022.].

17. Boeing. Commercial Airplanes: Backgrounder. Preuzeto s: https://www.boeing.com/farnborough2014/pdf/BCA/Bck%20-%20NG%20737%20Family_June%202014.pdf [Pristupljeno: 18. travnja 2022.].
18. Airbus. Expansion (1991-1992). Preuzeto s: https://www.airbus.com/en/who-we-are/our-history/commercial-aircraft-history/expansion-1991-1992 [Pristupljeno: 18. travnja 2022.].
19. ch-aviation. Preuzeto s: https://www.ch-aviation.com/aircraft [Pristupljeno: 18. travnja 2022.].
20. FlightGlobal. Boeing 2001 deliveries beat forecast. Preuzeto s: https://www.flightglobal.com/boeing-2001-deliveries-beat-forecast/40919.article [Pristupljeno: 18. travnja 2022.].
21. The world bank. Air transport, passengers carried. Preuzeto s: https://data.worldbank.org/indicator/IS.AIR.PSGR [Pristupljeno: 26. travnja 2022.].
22. Modern Airliners. Airbus A320 Specs – What is behind one of the most popular short-haul airliners? Preuzeto s: https://modernairliners.com/airbus-a320-introduction/airbus-a320-specs [Pristupljeno: 28. travnja 2022.].
23. Airbus. Preparing the future (2009-2010). Preuzeto s: https://www.airbus.com/en/who-we-are/our-history/commercial-aircraft-history/preparing-the-future-2009-2010 [Pristupljeno: 28. travnja 2022.].
24. Boeing. Boeing History Chronology. Preuzeto s: https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/history/pdf/Boeing-Chronology.pdf [Pristupljeno: 28. travnja 2022.].
25. Boeing. 737 MAX. Preuzeto s: https://www.boeing.com/commercial/737max [Pristupljeno: 30. travnja 2022.].
26. The Window Flyer. 5 ways to tell the difference between the 737 MAX and other Boeing 737s. Preuzeto s: https://thewindowflyer.com/posts/737-max-vs-other-737s [Pristupljeno: 30. travnja 2022.].
27. Boeing. 737 MAX By Design. Preuzeto s: https://www.boeing.com/commercial/737max/by-design/#/featured [Pristupljeno: 30. travnja 2022.].
28. CFM International. The LEAP engine. Preuzeto s: https://www.cfmaeroengines.com/engines/leap [Pristupljeno: 30. travnja 2022.].
29. Fehrm B. Bjorn's Corner: 737 MAX ungrounding, the technical background. Leeham News; 2020. Preuzeto s: https://leehamnews.com/2020/11/20/bjorns-corner-737-max-ungrounding-the-technical-background [Pristupljeno: 30. travnja 2022.].
30. Modern Airliners. Boeing 737 Max, a new generation of this highly successful City Jet. Preuzeto s: https://modernairliners.com/boeing-737/boeing-737-max [Pristupljeno: 30. travnja 2022.].
31. The Conversation. Boeing 737 Max: why was it grounded, what has been fixed and is it enough? Preuzeto s: https://theconversation.com/boeing-737-max-why-was-it-grounded-what-has-been-fixed-and-is-it-enough-150688 [Pristupljeno: 1. svibnja 2022.].

32. Vidović, A., Štimac, I., Ozmec-Ban, M.: Materijali iz kolegija „Istraživanja zrakoplovnih nesreća“, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2021.
33. ICAO. Documents. Preuzeto s: https://www.icao.int/safety/airnavigation/aig/pages/documents.aspx [Pristupljeno: 5. svibnja 2022.].
34. Agencija za istraživanje nesreća u zračnom, pomorskom i željezničkom prometu. Preuzeto s: https://www.ain.hr [Pristupljeno: 7. svibnja 2022.].
35. Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva. Priručnik za istraživanje zrakoplovnih nesreća i nezgoda – Dio 1 – organizacija i planiranje. Izdanje: 2. Montreal; 2015.
36. Al Arabiya Network. The wreckage of Pegasus Airlines Boeing 737 airplane that skidded off the runway upon landing at the Sabiha Gokcen airport, in Istanbul, on February 6, 2020. Preuzeto s: https://english.alarabiya.net/News/middle-east/2020/02/08/US-investigators-inspect-site-of-fatal-plane-crash-in-Turkey-s-Istanbul [Pristupljeno: 11. svibnja 2022.].
37. Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva. Priručnik za istraživanje zrakoplovnih nesreća i nezgoda – Dio 2 – procedure i kontrolni popisi. Izdanje: 1. Montreal; 2012.
38. Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva. Priručnik za istraživanje zrakoplovnih nesreća i nezgoda – Dio 3 – Istraga. Izdanje: 1. Montreal; 2011.
39. Deutsche Welle. FDR. Preuzeto s: https://static.dw.com/image/17546715_303.jpg [Pristupljeno: 18. svibnja 2022.].
40. Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva. Priručnik za istraživanje zrakoplovnih nesreća i nezgoda – Dio 4 – Izvještavanje. Izdanje: 1. Montreal; 2003.
41. ch-aviation. Preuzeto s: https://www.ch-aviation.com/airports [Pristupljeno: 27. svibnja 2022.].
42. ch-aviation. Preuzeto s: https://www.ch-aviation.com/airlines [Pristupljeno: 16. lipnja 2022.].
43. Nacionalni odbor za sigurnost prometa Indonezije. Aircraft Accident Investigation Report, PT. Lion Mentari Airlines Boeing 737-8 (MAX); PK-LQP. Jakarta; 2019.
44. RadarBox. Preuzeto s: https://www.radarbox.com/data/registration/PK-LQP [Pristupljeno: 26. lipnja 2022.].
45. Avherald. Preuzeto s: https://avherald.com/h?article=4bf90724 [Pristupljeno: 12. lipnja 2022.].
46. Ministarstvo prometa Savezne Demokratske Republike Etiopije, Ured za istraživanje zrakoplovnih nesreća. Interim Investigation Report on Accident to the B737-8 (MAX) Registered ET-AVJ operated by Ethiopian Airlines. Adis Abeba; 2020.
47. Leeham news. Preuzeto s: https://leehamnews.com/2019/03/15/bjorns-corner-the-ethiopian-airlines-flight-302-crash [Pristupljeno: 18. lipnja 2022.].
48. Uredništvo Los Angeles Timesa. Why was the FAA so late to deplane from Boeing’s 737 Max? Los Angeles; 2019. Preuzeto s: https://www.latimes.com/opinion/editorials/la-ed-trump-faa-737-max-grounded-20190314-story.html [Pristupljeno: 25. lipnja 2022.].

49. Koenig D. European, Canadian regulators to do own review of Boeing jet. Insider; 2019. Preuzeto s: https://www.businessinsider.com/european-canadian-regulators-to-do-own-review-of-boeing-jet-2019-3 [Pristupljeno: 25. lipnja 2022.].
50. Polek G. FAA To Take Full Control of Max Airworthiness Certification. AIN Media Group; 2019. Preuzeto s: https://www.ainonline.com/aviation-news/air-transport/2019-11-27/faa-take-full-control-max-airworthiness-certification [Pristupljeno: 25. lipnja 2022.].
51. Ministarstvo pravosuđa Sjedinjenih Američkih Država. Boeing Charged with 737 Max Fraud Conspiracy and Agrees to Pay over $2.5 Billion. Preuzeto s: https://www.justice.gov/opa/pr/boeing-charged-737-max-fraud-conspiracy-and-agrees-pay-over-25-billion [Pristupljeno: 27. lipnja 2022.].
52. Boeing. The Boeing Company 2021 Annual Report. Preuzeto s: https://www.boeing.com/company/annual-report/index.page [Pristupljeno: 27. lipnja 2022.].
53. Isidore C. *Boeing's 737 Max debacle could be the most expensive corporate blunder ever*. New York; 2020. Preuzeto s: https://edition.cnn.com/2020/11/17/business/boeing-737-max-grounding-cost [Pristupljeno: 27. lipnja 2022.].
54. Ch-aviation. *Brazil's GOL first carrier to resume B737 MAX ops*. 2020. Preuzeto s: https://www.ch-aviation.com/portal/news/98176-brazils-gol-first-carrier-to-resume-b737-max-ops [Pristupljeno: 29. lipnja 2022.].
55. Ch-aviation. *Boeing restarts B737 MAX deliveries.* 2020. Preuzeto s: https://www.ch-aviation.com/portal/news/98552-boeing-restarts-b737-max-deliveries [Pristupljeno: 29. lipnja 2022.].
56. Ch-aviation. *TUI fly (Belgium) resumes B737 MAX flights.* 2021. Preuzeto s: https://www.ch-aviation.com/portal/news/100771-tui-fly-belgium-resumes-b737-max-flights [Pristupljeno: 29. lipnja 2022.].
57. Isidore C. *Boeing's 2021 was starting off pretty well -- until its latest 737 Max woes.* New York; 2021. Preuzeto s: https://edition.cnn.com/2021/04/13/investing/boeing-orders-deliveries-737-max-problem/index.html [Pristupljeno: 4. srpnja 2022.].

Popis kratica

AD	(Airworthiness Directive) naredba o plovidbenosti
ADIRS	(Air Data Inertial Reference System) inercijski referentni sustav podataka iz zraka
ADIRU	(Air Data Inertial Reference Unit) referentna inercijalna jedinica za podatke iz zraka
ADREP	(Accident/Incident Data Reporting) baza podataka za izvještavanje o nesrećama/nezgodama
AEG	(Aircraft Examination Group) Skupina za ispitivanje zrakoplova
AFML	(Aircraft Flight and Maintenance Log) dnevnik leta i održavanja zrakoplova
AIR	(Airborne Image Recorders) snimač slike u pilotskoj kabini
AOA	(Angle of Attack) napadni kut
ASD	(Aircraft Situational Display) zaslon za lociranje zrakoplova
BEA	(Bureau d'Enquêteset d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile) francuski ured za istraživanje nesreća
CAA	(Civil Aviation Authority) agencija civilnog zrakoplovstva
CARB	(Corrective Action Review Board) odbor za reviziju korektivnih mjera
CRM	(Crew Resource Management) upravljanje resursima posade
CVR	(Cockpit Voice Recorders) snimač glasa u pilotskoj kabini
DAR	(Direct Access Recorder) snimač direktnog pristupa
DGCA	(Directorate General of Civil Aviation) uprava za civilno zrakoplovstvo Indonezije
DLR	(Data Link Recording) snimač podatkovne veze
DMI	(Deferred Maintenance Item) stavka odgođenog održavanja
EASA	(European Union Aviation Safety Agency) Europska agencija za sigurnost zračnog prometa
EGPWS	(Enhanced Ground Proximity Warning System) sustav upozorenja blizine tla
FAA	(Federal Aviation Administration) Savezna uprave za civilno zrakoplovstvo
FCC	(Flight Control Computer) računalo za upravljanje letom zrakoplova
FDR	(Flight Data Recorder) snimač podataka o letu
FMC	(Flight Management Computer) računalo za upravljanje letom
FMEA	(Failure Modes and Effects Analysis) analiza utjecaja i posljedica kvarova
FRM	(Fault Reporting Manual) priručnik za prijavu kvarova
ICAO	(International Civil Aviation Organization) Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva

KNKT	(Komite Nasional Keselamatan Transportasi) Nacionalni odbor za sigurnost prometa Indonezije
MCAS	(Manoeuvring Characteristics Augmentation System) sustav za povećanje manevarskih karakteristika
MET	(Meteorological Data) meteorološki podatci
MTOM	(Maximum Takeoff Mass) Maksimalna poletna masa
NTSB	(National Transportation Safety Board) Nacionalni odbor za sigurnost u prometu SAD-a
OMB	(Flight Crew Operation Manual Bulletin) upute za rad letačke posade
OMF	(Onboard Maintenance Function) ugrađeni sustav za održavanje
PFD	(Primary Flight Display) primarni zaslon za letenje
QAR	(Quick Access Recorder) Quick Access Recorder snimač brzog pristupa
RESA	(Runway end Safety Area) sigurnosna površina kraja uzletno-sletne staze
ROV	(Remotely Operated Vehicle) vozilo na daljinsko upravljanje
RTM	(Resin Transfer Molding) kompozit ugljičnih vlakana
SARP	(Standards and Recommended Practices) standardi i preporučene prakse
SMS	(Safety Management System) sustav za upravljanje sigurnosti
SMYD	(Stall Management Yaw Damper) računalo za upravljanje slomom uzgona i prigušivanjem skretanja
SWS	(Stall Warning System) sustav za upozorenje o slomu uzgona
TO/GA	(Takeoff/Go-Around) polijetanje i produžavanje
ULB	(Underwater Locating Beacon) podvodni odašiljač lokacije

Popis slika

Slika 1. Boeing Model 247 3
Slika 2. Boeing B707 4
Slika 3. Boeing B737-300 6
Slika 4. Razlika između gondole Boeinga 737-200 (lijevo) i 737-300 (desno) 7
Slika 5. N700GS - prvi dostavljeni Boeing 737-700 zrakoplov prijevoznika Southwest 8
Slika 6. Razlika između wingleta 737 NG i 737 MAX 12
Slika 7. Razlika između motora Boeinga 737 NG (lijevo) i 737 MAX (desno) 13
Slika 8. Osiguranje olupine sigurnosnom trakom 22
Slika 9. Primjer organizacije skupina za istragu velike zrakoplovne nesreće 25
Slika 10. Snimač podataka o letuž 33
Slika 11. Putanja leta JT610 Boeinga 737 MAX 8 registracije PK-LQP zračnog prijevoznika Lion Air 39
Slika 12. Senzor napadnog kuta 41
Slika 13. Napadni kut prikazan na primarnom zaslonu pilota Boeinga 737 MAX 8 41
Slika 14. Konfiguracija MCAS sustava 43
Slika 15. Lokacija olupine zrakoplova PK-LQP, snimača podataka o letu (FDR) te glasa u pilotskoj kabini (CVR) 45
Slika 16. Izvučeni dio stajnog trapa zrakoplova PK-LQP 45
Slika 17. Putanja leta zrakoplova ET-AVJ 54
Slika 18. Snimač podataka o letu zrakoplova ET-AVJ 55
Slika 19. Prikupljeni dijelovi olupine zrakoplova ET-AVJ 55

Popis tablica

Tablica 1. Generalne karakteristike modela zrakoplova B737-100 i B737-200 5
Tablica 2. Generalne karakteristike modela zrakoplova B737-300, -400 i -500 7
Tablica 3. Generalne karakteristike modela zrakoplova B737-600, -700, -800 i -900ER 9
Tablica 4. Karakteristike Boeinga 737 MAX 12

Popis grafikona

Graf 1. Broj dostavljenih A320, odnosno B737 zrakoplova od 1993. do 2016. godine 10
Graf 2. Broj dostavljenih A320, odnosno B737 zrakoplova od 2016. do 2021. 14
Graf 3. Broj dostavljenih 737-8 i -9 MAX zrakoplova prema operatoru (više od 6 jedinica) do prizemljenja u ožujku 2019. 65
Graf 4. Poslovni rezultati Boeinga od 2017. do 2021. 67

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 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 završnog/diplomskog rada pod naslovom Analiza uzroka nesreća zrakoplova Boeing B737-8 MAX, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 21.08.2022.

Lovro Šojić, Šojić
(ime i prezime, *potpis*)