

Primjena uređaja za snimanje leta u rekonstrukciji zrakoplovnih nesreća

Vučić, Karla

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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:119:736858>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-28**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**PRIMJENA UREĐAJA ZA SNIMANJE LETA U REKONSTRUKCIJI
ZRAKOPLOVNIH NESREĆA
APPLICATION OF FLIGHT DATA RECORDERS IN THE
RECONSTRUCTION OF AVIATION ACCIDENTS**

Mentor: prof. dr. sc. Andrija Vidović

Student: Karla Vučić

JMBAG: 0023115573

Zagreb, rujan 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 22. veljače 2024.

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

DIPLOMSKI ZADATAK br. 7412

Pristupnik: **Karla Vučić (0023115573)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Zračni promet**

Zadatak: **Primjena uređaja za snimanje leta u rekonstrukciji zrakoplovnih nesreća**

Opis zadatka:

U uvodu diplomskog rada potrebno je definirati predmet, svrhu i cilj istraživanja te predočiti strukturu rada prema poglavljima. U nastavku je potrebno kronološki prikazati razvoj uređaja za snimanje leta te predočiti tehničko-tehnološke značajke istih. dati presjek najvažnijih regulatornih dokumenata vezanih uz uređaje za snimanje leta. Istražiti ulogu uređaja za snimanje leta pri provođenju istraga zrakoplovnih nesreća - dati prikaz konkretnih zrakoplovnih nesreća. Istražiti trendove i inovacije u području razvoja uređaja za snimanje leta te njihov utjecaj na sigurnost odvijanja letnih operacija. U zaključnom dijelu diplomskog rada predočiti konkretne zaključke o istraživanoj tematici.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

prof. dr. sc. Andrija Vidović

SAŽETAK

U ovom diplomskom radu istražena je uloga i važnost uređaja za snimanje leta u zrakoplovnoj industriji, s posebnim naglaskom na analizu podataka i inovacije potaknute zrakoplovnim nesrećama. Kroz rad se obrađuju ključne nesreće te se analizira njihov utjecaj na razvoj tehnologija i sigurnosnih protokola. Posebna pažnja je posvećena primjeni Big data analitike pri rekonstrukciji zrakoplovnih nesreća, etici i sigurnosti podataka, te kako analiza podataka utječe na odluke o održavanju i popravcima zrakoplova, kao i na unapređenje pilotske obuke. Također, istražuju se izazovi i prilike u primjeni rezultata istraživanja nesreća te integracija podataka iz FDR i CVR u rekonstrukciji zrakoplovnih nesreća. Zaključak rada naglašava važnost kontinuiranog razvoja i revizije standarda kako bi se unaprijedila sigurnost zračnog prometa. Ovaj rad pruža sveobuhvatan pregled povijesnog razvoja, trenutnog stanja i budućih smjerova u području zrakoplovne sigurnosti, s ciljem poboljšanja razumijevanja i primjene tehnologije za snimanje leta.

KLJUČNE RIJEČI: uređaj za snimanje leta; zrakoplovna nesreća; zrakoplov; analiza podataka

SUMMARY

This master thesis explores the role and importance of flight recorders in the aviation industry, with a particular focus on data analysis and innovation driven by aviation accidents. The work deals with key accidents and analyzes their impact on the development of technologies and safety protocols. Special attention is paid to the application of Big Data analytics in the reconstruction of aviation accidents, ethics and data security, and how data analysis affects decisions on aircraft maintenance and repairs, as well as the improvement of pilot training. Also, challenges and opportunities in the application of accident research results and the integration of data from FDR and CVR in the reconstruction of aviation accidents are explored. The conclusion of the paper emphasizes the importance of continuous development and revision of standards in order to improve air traffic safety. This paper provides a comprehensive overview of the historical development, current state and future directions in the field of aviation security, with the aim of improving the understanding and application of flight imaging technology.

KEY WORDS: flight recorders; aircraft accident; aircraft; data analysis

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. POVIJESNI RAZVOJ UREĐAJA ZA SNIMANJE LETA.....	3
2.1. Počeci primjene uređaja za snimanje leta.....	3
2.2. Tehnološka evolucija uređaja za snimanje leta.....	5
2.3. Utjecaj zrakoplovnih nesreća na razvoj uređaja za snimanje leta.....	8
2.3.1. Zrakoplovna nesreća TWA Flight 800.....	8
2.3.2. Zrakoplovna nesreća Pan Am Flight 103.....	9
2.3.3. Zrakoplovna nesreća Korean Air Flight 007.....	10
3. TEHNIČKE ZNAČAJKE UREĐAJA ZA SNIMANJE LETA.....	12
3.1. Način rada i opremljenost današnjih uređaja za snimanje leta.....	15
3.1.1. Podvodni odašiljač lokacije.....	17
3.1.2. Nepravilnosti uređaja za snimanje leta.....	18
3.2. Standardi izrade.....	20
3.3. Nezaštićeni uređaji za snimanje leta.....	21
4. STANDARDI I PROPISI.....	23
4.1. Međunarodni standardi i smjernice.....	24
4.2. Nacionalni propisi i zakonodavstvo u Republici Hrvatskoj vezani uz instalaciju snimača leta.....	26
4.3. Zahtjevi za pohranu i prijenos podataka.....	27
4.4. Revizija i ažuriranje standarda.....	29
5. ULOGA UREĐAJA ZA SNIMANJE LETA U REKONSTRUKCIJI ZRAKOPLOVNIH NESREĆA ..	32
5.1. Uloga FDR-a u rekonstrukciji zrakoplovnih nesreća.....	32
5.1.1. Nesreća zrakoplova Air France 447.....	33
5.1.2. Nesreća zrakoplova Asiana Airlines 214.....	35
5.2. Uloga CVR-a u rekonstrukciji zrakoplovnih nesreća.....	37
5.2.1. Nesreća Swissair Flight 111.....	38
5.2.2. Nesreća Air Florida Flight 90.....	38
5.3. Integracija i primjena podataka FRD-a i CVR-a u rekonstrukciji zrakoplovnih nesreća.....	39
6. INOVACIJE U ANALIZI PODATAKA.....	41
6.1. Kombinirani snimač leta.....	41
6.2. Automatsko odvojivi uređaj za snimanje leta.....	42
6.3. Snimač slike kokpita.....	43

6.4. Uređaj za snimanje leta dostupan tijekom leta zrakoplova	44
6.5. Primjena Big Data analitike pri rekonstrukciji nesreća	46
6.6. Etika i sigurnost podataka u analizi zrakoplovnih podataka	49
7. PRIMJENA REZULTATA ISTRAŽIVANJA U PRAKSI	51
7.1. Implementacija preporuka iz istraživanja zrakoplovnih nesreća	51
7.2. Utjecaj analize podataka na odluke o održavanju i popravcima	52
7.3. Utjecaj analize podataka na unapređenje pilotske obuke	54
7.4. Izazovi i prilike u primjeni rezultata istraživanja	56
8. ZAKLJUČAK.....	58
POPIS LITERATURE	60
POPIS KRATICA.....	64
POPIS SLIKA.....	66

1. UVOD

Zrakoplovna nesreća predstavlja događaj koji je povezan s letom zrakoplova u kojem je došlo do teških ili smrtnih posljedica putnika i posade te oštećenja ili nestanka zrakoplova. Zrakoplovne nesreće su oduvijek predstavljale složena i izazovna područja istraživanja s izuzetno visokim ulozima. Onoga trenutka kada se dogodi neka zrakoplovna nesreća, svaki detalj nesreće postaje ključan za razumijevanje uzroka nesreće i za prevenciju budućih nesreća. Svrha provedbe istrage nakon zrakoplovne nesreće nije pronaći krivca, nego utvrditi uzroke koji su doveli do nesreće kako bi se u budućnosti spriječile slične nesreće. Unazad nekoliko godina, broj zrakoplovnih nesreća se uvelike smanjio. Prema istraživanjima, na otprilike 3,7 milijuna letova, dogodi se jedna fatalna zrakoplovna nesreća te se može zaključiti da je sigurnost temeljna značajka zrakoplovne industrije.

Kao jedan od rezultata istraživanja zrakoplovnih nesreće je i poboljšanje tehnologija koje se koristi u prevenciji, rekonstrukciji i analizi istih. U istraživanju ovog diplomskog rada, prikazati će se evolucija uređaja za snimanje leta, njihove tehničke značajke te standardi i propisi koji reguliraju njihovu primjenu. Naglasak će biti stavljen na ulogu snimača podataka o letu i snimača zvuka u pilotskoj kabini u rekonstrukciji zrakoplovnih nesreća. Također, biti će biti provedena analiza načina na koje ovi uređaji pružaju ključne podatke istražiteljima u razumijevanju uzroka nesreća, kako da identificiraju propuste ili greške istih, te će biti dani prijedlozi poboljšanja u sigurnosnim standardima.

Svrha istraživanja ovog diplomskog rada je dublje razumijevanje uloge i primjene uređaja za snimanje leta u rekonstrukciji zrakoplovnih nesreća te identificiranje potencijalnih područja unaprijeđenja i inovacija istih.

Uzimajući u obzir inovacije u analizi podataka, te samu primjenu rezultata istraživanja u praksi, cilj ovog diplomskog rada je sagledati kako tehnološki napredak može unaprijediti proces rekonstrukcije zrakoplovnih nesreća, te pružiti smjernice za budući razvoj u ovoj domeni zrakoplovne sigurnosti.

Predmet istraživanja obuhvaća analizu povijesnog razvoja uređaja za snimanje leta, njihovih tehničkih značajki, relevantnih standarda i propisa te primjenu uređaja za snimanje leta u rekonstrukciji zrakoplovnih nesreća, uz poseban fokus na inovacije u analizi podataka i implementaciji rezultata istraživanja u praksi. Diplomski rad je podijeljen u osam poglavlja uključujući uvod i zaključak:

1. Uvod,
2. Povijesni razvoj uređaja za snimanje leta,
3. Tehničke značajke uređaja za snimanje leta,
4. Standard i propisi,
5. Uloga uređaja za snimanje leta u rekonstrukciji zrakoplovnih nesreća,
6. Inovacije u analizi podataka,
7. Primjena rezultata istraživanja u praksi i
8. Zaključak.

U prvom, uvodnom poglavlju prikazana je sama struktura diplomskog rada te su predloženi predmet, svrha i cilj istraživanja.

U drugom poglavlju istražena je evolucija uređaja za snimanje leta, počevši od prvih uređaja pa sve do današnjih.

U trećem poglavlju su detaljnije analizirane tehničke specifikacije, komponente i funkcionalnosti modernih uređaja za snimanje leta.

U četvrtom poglavlju su razmatrani relevantni međunarodni i nacionalni standardi i propisi koji reguliraju dizajn, proizvodnju i upotrebu uređaja za snimanje leta.

U petom poglavlju su istaknute ključne uloge snimača leta i snimača zvuka u kokpitu u procesu rekonstrukcije zrakoplovnih nesreća kroz analizu stvarnih slučajeva.

U šestom poglavlju su proučene najnovije tehnike i alati za analizu podataka dobivenih iz uređaja za snimanje leta te njihova primjena u poboljšanju procesa rekonstrukcije nesreća.

U sedmom poglavlju su prikazane praktične primjene rezultata istraživanja u poboljšanju sigurnosti zračnog prometa i prevenciji nesreća.

Za kraj, sami zaljučak sažima glavne zaključke ovog istraživanja te nudi smjernice za buduće radove koji se bave ovom tematikom.

2. POVIJESNI RAZVOJ UREĐAJA ZA SNIMANJE LETA

Povijesni razvoj uređaja za snimanje leta predstavlja ključnu prekretnicu u razumijevanju tehnologije koja je temelj modernih uređaja za rekonstrukciju zrakoplovnih nesreća. Proučavanjem povijesnog razvoja uređaja za snimanje leta daje se uvid u razne tehnologije koje su tijekom prošlosti evoluirale s ciljem poboljšanja sigurnosti zračnog prometa. Povijest uređaja za snimanje leta je započeo s ranim pokušajima snimanja podataka tijekom leta, uključujući primitivne uređaje koji su bilježili osnovne parametre poput brzine, smjera i visine leta. Dolazi do raznih inovacija koje su kasnije postale tehnološke prekretnice te time oblikovale evoluciju uređaja za snimanje leta kroz desetljeća. Ovo uključuje primjenu magnetskih traka, analognih i digitalnih zapisa, kao i implementaciju novih senzora i tehnika snimanja podataka.

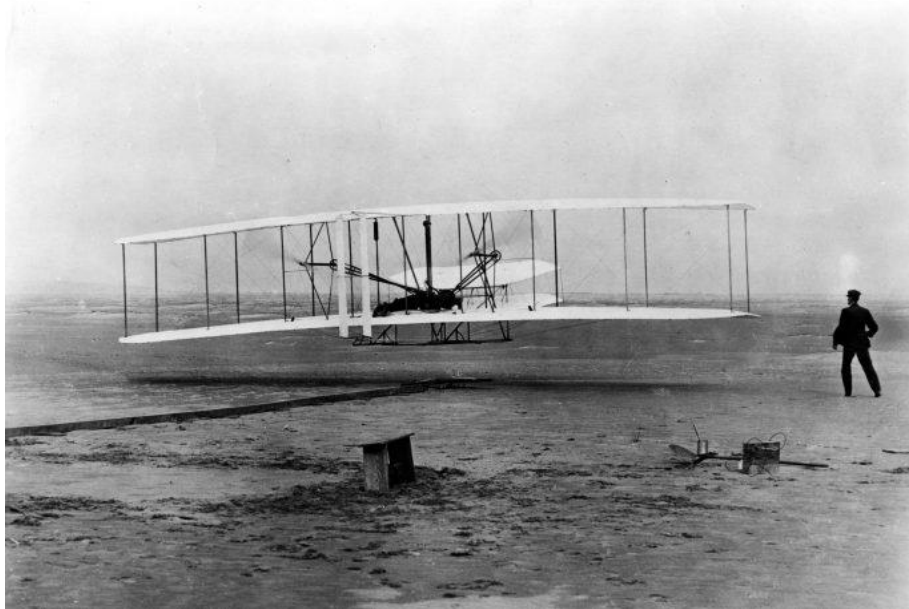
Također, poboljšanju tehnologije snimanja leta su pridonijele razne zrakoplovne nesreće koje su se dogodile u prošlosti. Analizom tih nesreća, stručnjaci su uočili razne nedostatke u tadašnjim sustavima snimanja leta te su počeli sa razvojem novih tehnoloških rješenja. Da bi se postigao napredak pri rekonstrukciji zrakoplovnih nesreća nužno je razumijeti povijesni koncept da bi spriječili moguće slične nesreće u budućnosti.

Proučavanjem povijesnog razvoja uređaja za snimanje leta je pružen uvid na specifične probleme koji su se javljali tijekom prošlosti te koji su onda naknadno potaknuli razne inovacije u zrakoplovstvu u kojem još uvijek ima mjesta za daljnji razvoj i poboljšanje tehnologije snimanja leta. Također, povijesni razvoj uređaja za snimanje leta se koristi i pri obrazovanju i treningu zrakoplovnog osoblja da bi znali ispravno reagirati na situacije koje su se događale u prošlosti te na koje osoblje nije ispravno reagiralo. Svaka faza razvoja uređaja za snimanje leta pruža vrijedne lekcije i smjernice za budućnost, osiguravajući kontinuirani napredak zrakoplovne sigurnosti.

2.1. Počeci primjene uređaja za snimanje leta

Povijest uporabe uređaja za snimanja podataka o letu je praktički započeo samom pojavom zrakoplovstva kada su istraživači i inženjeri pokušavali razumjeti ponašanje letjelica tijekom leta. Počeci se vežu uz neobične eksperimente i primitivne uređaje te predstavljaju temelj za razvoj modernih sustava za snimanje leta. U početku zrakoplovstva, letovi su bili ograničeni na kratke udaljenosti i male brzine. Međutim, čak i u ovim ranim danima, istraživači su prikupljali podatke o ponašanju zrakoplova tijekom leta. Prvi eksperimenti s instrumentima za mjerenje brzine, visine i smjera pokazali su se neophodnima za napredak u zrakoplovnoj tehnologiji. Neki od najranijih istraživača u snimanju podataka tijekom leta su braća Wright. Njihovi eksperimenti s letjelicama i prvim letovima u kontroliranim uvjetima predstavljaju ključni trenutak u povijesti zrakoplovstva. Osim što su postavili temelje za kontrolirane letove, braća Wright su također prikupljali razne podatke tijekom svojih letova. Njihovi raniji radovi u eksperimentiranju s instrumentima za mjerenje brzine, kuta nagiba i smjera zrakoplova imali su značajan utjecaj na razvoj tehnologije snimanja leta u kasnijim godinama [1]. Na slici 1. je prikazan njihov zrakoplov Flyer I, koji je ostvario prvi povijesni

kontrolirani let 17. prosinca 1903. godine na području Kitty Hawka u SAD-u. Flyer I je bio lagan dvokrilac s motorom na benzinski pogon. Tijekom tog prvog leta, Flyer I uspio je preletjeti udaljenost od oko 36 metara u trajanju od 12 sekundi te je time označio početak ere zrakoplovnog letenja i postavio temelj za budući razvoj zrakoplovstva [2].



Slika 1. Zrakoplov Flyer I braće Wright
Izvor: [2]

Osim braće Wright, i drugi istraživači poput Octavea Chanutea su također pridonijeli razvoju snimanja podataka. Chanute je poznat po svojim eksperimentima s aerodinamikom i konstrukcijom zrakoplova, istraživao je različite metode za prikupljanje podataka o letu. Također, Chanute je eksperimentirao s ručnim zapisnicima o parametrima leta, bilježeći pritom važne informacije o brzini, visini, i drugim ključnim aspektima zrakoplovnih letova. Njegovi radovi su pridonijeli u razumijevanju ponašanja zrakoplova u zraku i otvorili put daljnjim istraživanjima u području zrakoplovnog inženjerstva i tehnologije snimanja leta [3].

Kroz prve godine zrakoplovstva, tehnološki napredak omogućio je razvoj prvih funkcionalnih sustava za snimanje podataka tijekom leta. U početku su to bili primitivni uređaji koji su bilježili samo osnovne parametre leta poput brzine i visine. Međutim, s razvojem elektronike i tehnoloških postupaka, ovi uređaji postali su sve sofisticiraniji i precizniji. Razvoj prvih funkcionalnih sustava za snimanje podataka tijekom leta predstavljao je značajan iskorak u zrakoplovnoj tehnologiji [4].

U ranim fazama zrakoplovstva, bilježenje podataka o letu bilo je ograničeno na osnovne informacije poput brzine, visine i smjera. Međutim, s razvojem tehnologije, inženjeri su počeli razvijati sofisticiranije sustave za bilježenje podataka koji su omogućili detaljnije snimanje leta. Jedan od ključnih trenutaka u razvoju prvih funkcionalnih sistema za snimanje podataka bio je

uvođenje magnetskih traka kao medija za pohranu podataka. Magnetske trake omogućile su preciznije i pouzdanije snimanje podataka tijekom leta, što je omogućilo detaljniju analizu letova i rekonstrukciju zrakoplovnih nesreća. Osim toga, tehnološki napredak omogućio je integraciju novih senzora i instrumenata u sustave za snimanje leta. To uključuje senzore za mjerenje temperature, tlaka, ubrzanja i drugih važnih parametara leta. Integracija ovih senzora omogućila je još preciznije snimanje podataka i pružila više informacija o ponašanju zrakoplova tijekom leta. Nadalje, razvoj digitalne tehnologije označio je novu eru u razvoju sustava za snimanje podataka tijekom leta. Digitalni zapisi omogućili su preciznije i složenije snimanje podataka, eliminirajući potrebu za analognim medijima kao što su magnetske trake. Digitalni sustavi za snimanje leta omogućili su brži pristup podacima i olakšali njihovu analizu. Sve ove inovacije i tehnološki napredak zajedno su doprinijeli razvoju prvih funkcionalnih sustava za snimanje podataka tijekom leta. Ovi sustavi postali su ključni alat za analizu letova, otkrivanje potencijalnih problema i poboljšanje sigurnosti zrakoplova [4].

Iako su rani uređaji za snimanje leta bili primitivni u usporedbi s današnjim sustavima, njihov je utjecaj bio neosporni temelj za razvoj modernih tehnologija. Istraživački radovi i rane inovacije u snimanju podataka postavili su osnove za razvoj naprednih sustava snimanja leta koji su ključni za analizu i rekonstrukciju zrakoplovnih nesreća u suvremenom dobu [4].

2.2. Tehnološka evolucija uređaja za snimanje leta

Tehnološki napredak ima ključnu ulogu u razvoju uređaja za snimanje leta, omogućujući preciznije, pouzdanije i sveobuhvatnije prikupljanje podataka tijekom leta. Od ranih koncepta do modernih digitalnih sustava, tehnološka evolucija uređaja za snimanje leta predstavlja kontinuirani niz inovacija koje su revolucionirale način na koji se prikupljaju, pohranjuju i analiziraju podaci o zrakoplovnim letovima. Razvoju komercijalnog zrakoplovstva i zrakoplovne industrije uvelike su pridonijeli svjetski ratovi. Završetkom Drugog svjetskog rata, vojni zrakoplovi su bili prenamijenjeni za razvoj putnika. Komercijalni putnički zračni promet je zahtijevao dodatni razvoj, odnosno napredak u poljima tehnologije, tehnike i konstrukcije zrakoplova. Za zrakoplovstvo, dvadeseto stoljeće predstavlja revolucionarno razdoblje. U drugom svjetskom ratu su po prvi put korišteni prvi oblici snimača leta. Američki nacionalni savjetodavni odbor za aeronautiku (engl. *The National Advisory Committee for Aeronautics - NACA*) je u svrhu skupljanja podataka o odnosu brzine i faktora opterećenja (engl. *Load factor*), instalirao je prve uređaje na teretne i vojne zrakoplove. Ovi prikupljeni podaci su poslužili za poboljšanje strukturalnog dizajna zrakoplova [5].

Godine 1958. predstavljen je prvi snimač leta koji je bio jednostavan te je mogao bilježiti samo pet prethodno navedenih parametara. U ovom uređaju, medij za snimanje je bio fotografski film ili metalna vrpca te je spadao u prvu generaciju snimača leta. Kod ovih vrsta snimača, glavni nedostatak pri korištenju ovih medija je to što su se zabilježeni podaci mogli obraditi samo jednom čime su postali beskorisni pri daljnjem istraživanju uzroka nesreće. Na slici 2. je prikazana unutrašnjost ovih uređaja prve generacije koji su se koristili za snimanje leta. Nadalje, regulatorna tijela pojedinih država su 1960-tih godina predložila instaliranje

snimača leta u veće komercijalne zrakoplove. Zrakoplovi Boeing 707, Douglas DC-8 i Caravelles su postali prvi mlazni zrakoplovi koji su imali instalirane snimače podataka o letu (engl. *Flight Data Record* - FDR). Godine 1963. Australija je postala prva država koja je zahtjevala instalaciju snimača zvuka u pilotskoj kabini (engl. *Cockpit Voice Record* - CVR), te je dvije godine nakon izdala i nalog da uređaji za snimanje leta budu obojani žutom ili narančastom bojom [6].



Slika 2. Uređaj za snimanje leta prve generacije
Izvor: [7]

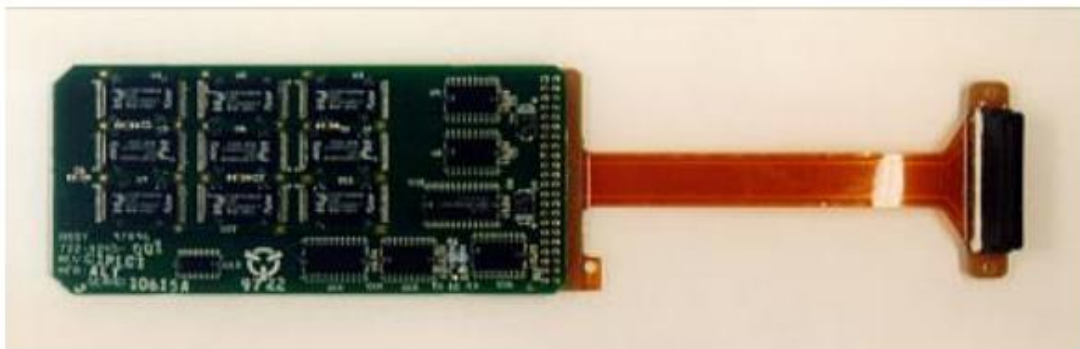
Početakom 1970-ih godina, zabilježen je razvoj druge generacije digitalnih snimača leta kao odgovor na povećane zahtjeve za snimanjem većeg broja podataka i parametara. Magnetna vrpca je zamijenila fotografski film i metalnu vrpcu te je tako postala novi medij za snimanje. Magnetna vrpca je bila duljine od 91 do 152 metra (od 300 do 500 stopa) te je mogla uzastopno snimati do 25 sati. Na slici 3. je prikazan izgled unutrašnjosti druge generacije snimača leta. Magnetska vrpca je bila u mogućnosti zabilježiti više parametara, no međutim snimači leta nisu bili u mogućnosti interno obraditi veliki broj parametara na temelju podataka dobivenih sa senzora [8]. Zbog tog razloga, razvijen je novi prateći uređaj koji je prije samog snimanje prikupljao podatke. To je bila jedinica za prikupljanje podataka o letu (engl. *Flight Data Acquisition Unit* - FDAU). Zadaća FDAU-a je da prima razne digitalne i analogne podatke sa senzora te da ih onda preusmjerava na FDR preko različitih podatkovnih okvira. Nužno je istaknuti i razvoj uređaja za snimanje leta brzog pristupa (engl. *Quick Access Recorder* - QAR) koji isto tako zaprima podatke s FDAU-a čime je omogućena obrada zabilježenih podataka u različite svrhe. Odnosno, u slučaju zrakoplovne nesreće su se obrađivali podaci sa FDR uređaja, a u svrhu analize podataka i nadzora o letu zrakoplova su se koristili podaci sa QAR uređaja. Ovim su se mogli uočiti eventualne nepravilnosti. Zahtjev za unaprijeđenjem starijih FDR uređaja izdan je nakon razvoja tehnologije druge generacije uređaja za snimanje leta. Ovaj zahtjev je izdan samo za zrakoplove koji su imali četiri motora te su podrazumijevali snimanje 11 parametara do 25 sati. Zbog tog razloga, snimači leta prve generacije su bili zamijenjeni

digitalnim uređajima, te je novi medij za snimanje postala magnetna vrpca. U ovom slučaju, modernizirani uređaji nisu bili povezani s FDAU [9].



Slika 3. Uređaj za snimanje leta druge generacije
Izvor: [7]

Najznačajniji napredak snimača leta uslijedio je 1980-ih godina uvođenjem takozvanog uređaja čvrstog stanja (engl. *Solid State Flight Data Recorders* - SSFDR). Ovaj uređaj služi se sa složenim nizovima memorijskih čipova čime je postignuta velika prednost u odnosu na prošle FDR uređaje koji su posjedovali magnetne vrpce. Upotrebom SSFDR uređaja je povećana sama pouzdanost snimača te je povećana mogućnost „preživljavanja“ podataka u slučaju zrakoplovne nesreće. Isto tako, moguće je snimati nekoliko stotina parametara, dok vrijeme snimanja može iznositi i više od 50 sati. Na slici 4. je prikazan izgled memorijske kartice SSFDR uređaja. U odnosu na snimače zvuka u kokpitu s magnetskom vrpcom, Solid State tehnologija omogućila je dvosatno snimanje zvuka te je sa ovom tehnologijom predstavljena treća generacija uređaja za snimanje leta [8].



Slika 4. Memorijska kartica SSFDR uređaja
Izvor: [7]

2.3. Utjecaj zrakoplovnih nesreća na razvoj uređaja za snimanje leta

Zrakoplovne nesreće su u velikoj mjeri utjecale na sami razvoj uređaja za snimanje leta čime se posebno naglasila potreba za napretkom tehnologije te boljom zaštitom podataka i preciznijim i bržim lociranjem snimača leta. Sa svakom zrakoplovnom nesrećom postiže se posebni uvid u situaciju iz drugog kuta čime su se potaknule razne inovacije u dizajnu, funkcionalnosti i sigurnosti snimača leta. Zrakoplovne nesreće ostavile su dubok i trajni utjecaj na razvoj tehnologije uređaja za snimanje leta. U ovom poglavlju će biti analizirane tri ključne nesreće koje su kroz povijest utjecale na razvoj uređaja za snimanje leta, a to su sljedeće:

- TWA Flight 800 iz 1996. godine,
- Pan Am Flight 103 iz 1988. godine i
- Korean Air Flight 007 iz 1983. godine.

Ove zrakoplovne nesreće su uz oblikovanje regulative i tehnologija koje se i danas koriste, naglasile su važnost kontinuiranog unapređenja sigurnosnih protokola i tehnologija.

2.3.1. Zrakoplovna nesreća TWA Flight 800

Zrakoplovna nesreća TWA Flight 800 dogodila se 17. srpnja 1996. godine kada je Boeing 747 eksplodirao ubrzo nakon polijetanja iz New Yorka prema Parizu (slika 5.). U ovoj zrakoplovnoj nesreći je poginulo svih 230 putnika i članova posade. Istraga ove nesreće je trajala četiri godine, a u konačnici je utvrđeno da je uzrok eksplozije bio kratki spoj koji je izazvao požar u spremniku goriva. Utjecaj ove nesreće na razvoj FDR-a i CVR-a je velik, a očituje se u sljedećim čimbenicima [10]:

- razna poboljšanja u tehnologiji snimanja,
- povećanje kapaciteta pohrane i
- unapređenja regulative.

Ova zrakoplovna nesreća je ukazala na potrebu za naprednijim FDR i CVR uređajima koji bi bili u mogućnosti izdržati ekstremne uvjete i pružiti istražiteljima više podataka. Ovi zahtjevi su doveli do razvoja uređaja s većim kapacitetom pohrane i boljom otpornošću na oštećenja. Isto tako, nakon ove zrakoplovne nesreće, FDR uređaji su nadograđeni kako bi bili u mogućnosti pohraniti više informacija kao što su podaci o performansama motora i sustava za gorivo što je olakšalo istražiteljima precizniju analizu uzroka nesreća. Nakon ove zrakoplovne nesreće, Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo (engl. *Federal Aviation Administration – FAA*) i druge agencije su pooštrile regulative koje su vezane uz instalaciju i održavanje FDR i CVR uređaja, te su zahtjevali redovite provjere i nadogradnje [10].



Slika 5. Ostaci zrakoplova Boeing 747 nakon eksplozije
Izvor: [10]

2.3.2. Zrakoplovna nesreća Pan Am Flight 103

Pan Am Flight 103 eksplodirao je 21. prosinca 1988. godine iznad Lockerbie-a u Škotskoj usmrivši 270 ljudi. Istraga je pokazala da je uzrok eksplozije bila bomba skrivena u prtljazi. Na slici 6. je prikazan model koji je bio korišten na suđenju kako bi se pokazalo gdje je bomba bila skrivena i kako je dospjela na let 103. Plastični eksploziv koji je bio skriven u koferu detonirao je u prednjem teretnom prostoru zrakoplova. Ova zrakoplovna nesreća je imala širok utjecaj na cijelu zrakoplovnu industriju te je potaknula razvoj naprednijih sustava za snimanje leta radi poboljšanja sigurnosti [11].

Nakon ove zrakoplovne nesreće, došlo je do značajnog poboljšanja sigurnosnih protokola i uređaja za snimanje leta kroz [11]:

- poboljšanje sigurnosnih mjera – ova zrakoplovna nesreća je naglasila potrebu za poboljšanjem sigurnosnih mjera u zračnim lukama što je uključivalo rigoroznije provjere putnika i njihove prtljage;
- uvođenje novih tehnologija za detekciju – nakon nesreće, razvijeni su napredniji sustavi za detekciju eksplozivnih tvari u prtljazi koji su uključivali rendgenske uređaje i sustave za računalnu tomografiju (engl. *Computed Tomography* – CT) , koji su danas standard u zračnim lukama diljem svijeta;
- povećanje svijesti o terorističkim napadima – nakon ove nesreće, diljem svijeta se povećala svijest o terorističkim napadima što je u konačnici dovelo do globalne promjene u pristupu zrakoplovnoj sigurnosti. U zračnim lukama je stavljen veći

naglasak na prevenciju terorističkih napada i bržu implementaciju sigurnosnih inovacija.



Slika 6. Pokazni model u kojem je bila skrivena bomba na letu 103
Izvor: [11]

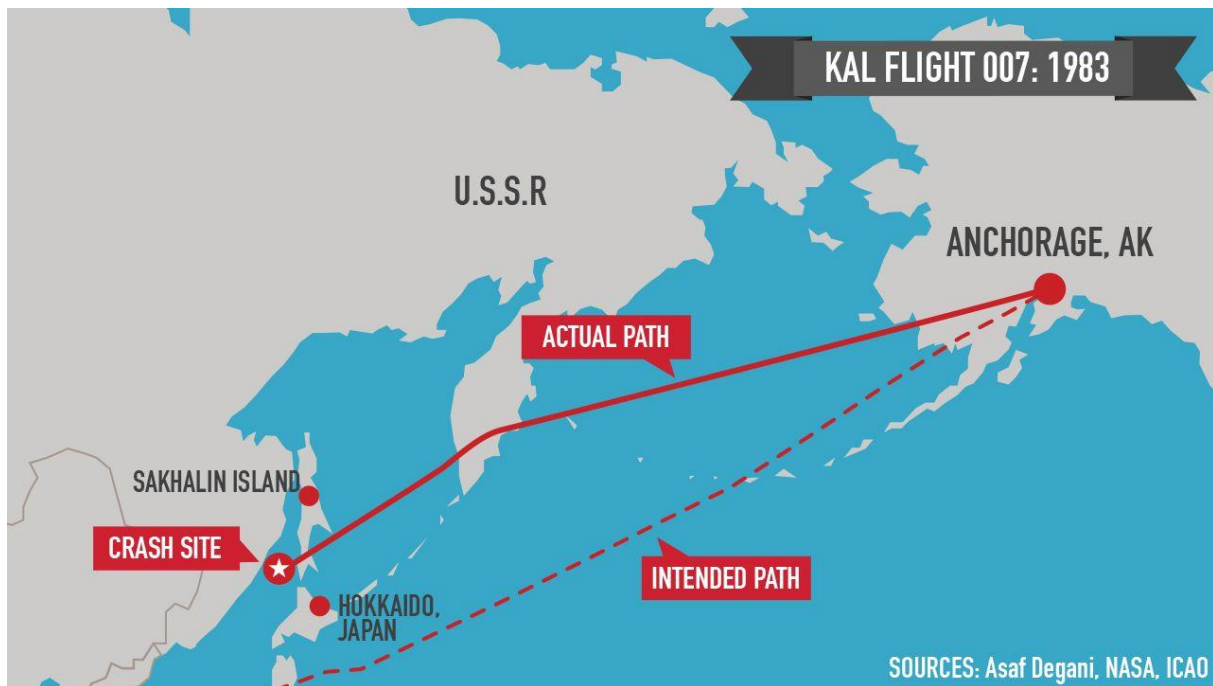
2.3.3. Zrakoplovna nesreća Korean Air Flight 007

Korean Air Flight 007 srušio se 1. rujna 1983. godine nakon što je zbog navigacijske pogreške ušao u sovjetski zračni prostor i bio oboren. Na slici 7. je prikazana ruta Korean Air Flight 007 pri čemu isprekidana linija predstavlja planiranu rutu leta iz Anchoragea u Aljasci prema Seoulu u Južnoj Koreji, a puna linija označava stvarnu rutu koju je zrakoplov slijedio, a koja se značajno razlikuje od namjeravane rute. Crvena zvjezdica na krajnjem dijelu pune linije označava mjesto gdje je zrakoplov oboren od strane sovjetskih vojnih snaga iznad Sakhalin Islanda. U ovoj nesreći poginulo je svih 269 putnika i članova posade. Nesreća je imala značajne političke i sigurnosne posljedice.

Ova zrakoplovna nesreća je u velikoj mjeri utjecala na navigacijske sustave i daljnji razvoj FDR odnosno CVR tehnologije kroz:

- poboljšanja u navigacijskim sustavima – nesreća je dovela do uvođenja Globalnog položajnog sustava (engl. *Global Positioning System* - GPS) u komercijalno zrakoplovstvo, što je u konačnici smanjilo rizik od navigacijskih pogrešaka;

- unapređenje međunarodne suradnje – ova nesreća je potaknula poboljšanje međunarodne suradnje u zrakoplovnoj sigurnosti i razmjeni podataka, što je u konačnici dovelo do bržih reakcija i boljih sigurnosnih protokola;
- revizija sigurnosnih procedura – podaci iz FDR-a i CVR-a pokazali su razne nedostatke u procedurama i komunikaciji, što je dovelo do promjena u obuci i procedurama za upravljanje kriznim situacijama.



Slika 7. Planirana i stvarna ruta Korean Air Flight 007
Izvor: [12]

Zrakoplovne nesreće u velikoj su mjeri utjecale na razvoj i unapređenje uređaja za snimanje leta i sigurnosnih protokola. TWA Flight 800, Pan Am Flight 103 i Korean Air Flight 007 su samo jedni od primjere nesreća koje su tijekom povijesti izazvale razne inovacije i regulativne promjene. Svaka od ovih nesreća ukazala je na različite aspekte zrakoplovne sigurnosti, od tehnoloških poboljšanja pa do bolje obuke pilota i sigurnosnih procedura. Inovacije koje su potaknute nakon ovih zrakoplovnih nesreća uz poboljšanje sigurnosti zračnog prometa, dovele su i do razvoja učinkovitijih i pouzdanijih sustava za snimanje i analizu leta, čime je zrakoplovstvo postalo sigurnije za sve sudionike.

3. TEHNIČKE ZNAČAJKE UREĐAJA ZA SNIMANJE LETA

Uređaj za snimanje leta je izuzetno važan alat za identificiranje uzroka zrakoplovnih nesreća te on podrazumijeva nekoliko vrsta snimača leta. Uređaj za snimanje leta obično sačinjavaju dva individualna snimača, a to su [13]:

- snimač podataka o letu i
- snimač zvuka u pilotskoj kabini.

Uz dodatne multifunkcionalne snimače oba uređaja predstavljaju vrstu snimača koji su tijekom zrakoplovne nesreće zaštićeni, te oni obavljaju sljedeće funkcije [13]:

- snimanje slike i zvuka u kokpitu,
- snimanje parametara performansi zrakoplova i
- snimanje komunikacijskih poruka između operativnog centra na zemlji i samog zrakoplova.

Snimač podataka o letu, FDR, snima parametre leta zrakoplova. U ovisnosti o starosti i veličini zrakoplova, snimaju se različiti tipovi parametara. Ipak, postoje osnovni parametri koji se uvijek moraju zapisivati a to su [14]:

- visina (engl. *Altitude*),
- smjer (engl. *Heading*),
- vrijeme (engl. *Time*),
- brzina (engl. *Airspeed*) i
- vertikalno ubrzanje (engl. *Vertical acceleration*).

Suvremeni mlazni zrakoplovi sadržavaju FDR uređaje koji su u mogućnosti bilježiti na tisuće različitih parametara, te pokrivaju većinski dio aspekta rada zrakoplova. FDR bilježi osnovne parametre kao što su brzina i visina, ali i detalje kao što su položaj papučice kormila ili aktivacije dimnih alarma u prtljažniku. Pomoću ovih uređaja, istražiteljima se pružaju ključne informacije vezane uz istraživanje uzroka nesreće jer FDR bilježi i snima podatke s računala, senzora i radara. Bitno je istaknuti da posada zrakoplova prije svakog leta provjerava parametre i ispravnost instrumenata. Ovaj proces ispituje eventualna odstupanja, no također nije isključena pogreška posade i mogućnost nesreće. Standardni FDR, prikazan slikom 8., ima dimenzije 50x12,7x16 cm te ima masu od 4,8 kg.



Slika 8. Standardni snimač podataka o letu
Izvor: [15]

Zbog činjenice da je ljudska pogreška zabilježena kao primarni čimbenik u više od 80% zrakoplovnih nesreća, dolazi do potrebe za instaliranjem CVR uređaja u zrakoplov. Najviše zabilježnih nesreća događa se zbog nedostataka aktivnosti letačke posade. CVR bilježi sljedeće parametre [13]:

- glasovnu komunikaciju posade putem interfona,
- glasovnu komunikaciju posade u kokpitu,
- glasovnu komunikaciju iz/prema zrakoplovu preko radija,
- glasovnu komunikaciju kabinskog osoblja na zvučnicima u kabini i
- zvukove navigacijskih uređaja koji se čuju u slušalicama ili na zvučnicima.

Osim što CVR bilježi međusobnu komunikaciju u kokpitu između pilota i/ili kabinske posade, CVR također bilježi cijelo zvučno okruženje kokpita. Pojedini zabilježeni zvukovi, kao što može biti zvuk buke u kokpitu ili nekakvih zvučnih upozorenja, istražiteljima pružaju uvid u bitne informacije pri rekonstrukciji cjelokupnog događaja. Primjerice, budući da je buka u kokpitu rezultat protoka zraka uz aeroprofil, analizom iste utvrđuje se brzina kretanja zrakoplova u letu.

Moderni tipovi CVR uređaja spremaju podatke posljednja dva sata leta zrakoplova, dok stariji modeli zadržavaju samo posljednjih 30 minuta leta. Standardni CVR uređaj prikazan na slici 9., dimenzija je 32x12,7x16 cm te ima masu od 4,5 kg.



Slika 9. Standardni CVR uređaj
Izvor: [16]

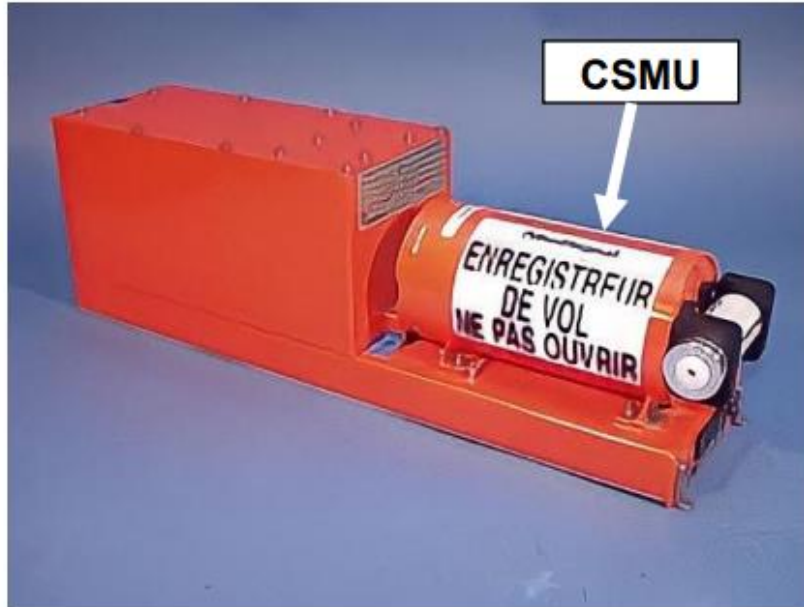
„Crna kutija“ je općepoznati naziv za uređaje za snimanje leta, no na prethodnim slikama je prikazano kako su uređaji za snimanje leta zapravo obojeni žarko narančastom bojom. U slučaju zrakoplovne nesreće, žarko narančasta boja olakšava njihov pronalazak te upozorava njihove pronalazitelje na važnost ove kutije s obzirom na činjenicu da je neprofesionalno rukovanje s ovim uređajem strogo zabranjeno. FDR i CVR su instalirani u repu zrakoplova budući da se u slučaju zrakoplovne nesreće, rep smatra najsigurnijim dijelom zrakoplova. Na slici 10. je prikazana lokacija uređaja za snimanje leta u zrakoplovu.



Slika 10. Lokacija uređaja za snimanje leta u zrakoplovu
Izvor: [7]

3.1. Način rada i opremljenost današnjih uređaja za snimanje leta

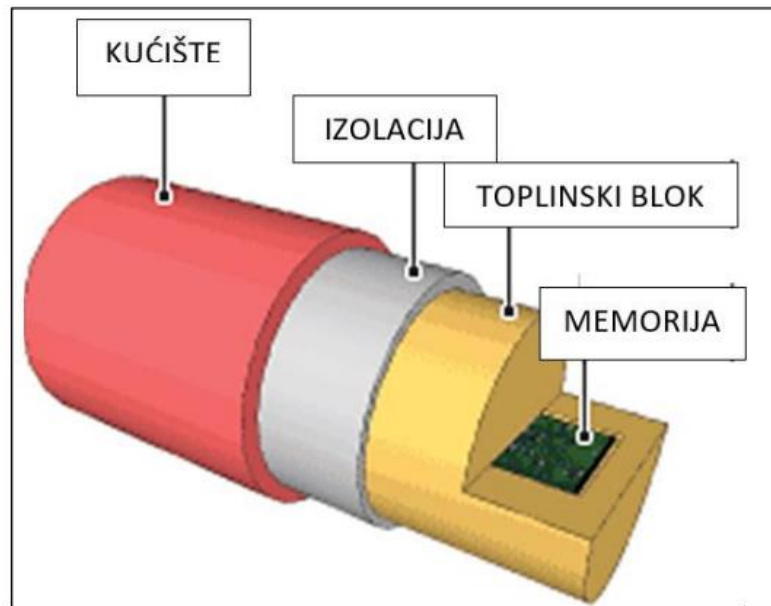
Uređaji za snimanje leta predstavljaju ključnu tehnološku komponentu u suvremenom zrakoplovstvu, omogućujući precizno bilježenje važnih podataka tijekom leta radi poboljšanja sigurnosti i analize zrakoplovnih operacija. Uređaji za snimanje leta danas koriste tehnologiju čvrstog stanja. Unutar memorijske jedinice, na složenim memorijskim čipovima (engl. *Crash Survivable Memory Unit* - CSMU) pohranjeni su podaci o snimaču parametara leta i podaci iz snimača glasa u kokpitu. Ova jedinica je dizajnirana tako da izdrži ekstremne uvjete kao što su visoke temperature, udarci i razni pritisci prilikom zrakoplovne nesreće. Na CSMU se obično nalazi natpis „FLIGHT RECORDER DO NOT OPEN“ (Snimač leta ne otvarati) što upozorava na važnost i osjetljivost uređaja. Memorijska jedinica je dizajnirana da „preživi“ zrakoplovnu nesreću te je njezin položaj u odnosu na uređaj za snimanje leta prikazan na slici 11 [7].



Slika 11. Memorijska kartica CSMU
Izvor: [7]

Na slici 12. je prikazana unutarnja struktura CSMU-a, a na kojoj su označene ključne komponente, a to su sljedeće:

- kućište – predstavlja vanjski dio uređaja koji štiti unutarnje komponente od fizičkih oštećenja,
- izolacija – predstavlja sloj izolacije unutar kućišta koji dodatno štiti unutarnje komponente od topline i udara,
- toplinski blok – ova komponenta je dizajnirana da apsorbira i rasprši toplinu, štiteći pritom memorijske jedinice od visokih temperatura koje mogu nastati tijekom zrakoplovne nesreće i
- memorija – predstavlja najvažniji dio CSMU-a u kojemu se pohranjuju svi podaci o letu.



Slika 12. Unutarnja struktura CSMU
Izvor: [7]

I FDR i CVR rade po principu beskonačne petlje, gdje se preko starih podataka sa prethodnog leta, presnime novi podaci. Razlika između ova dva uređaja za snimanje leta je ta što FDR uređaji mogu duže snimati podatke sa leta. FDR uređaji mogu snimati posljednjih 25 sati leta zrakoplova, dok CVR uređaji zadržavaju zapis posljednja dva sata leta zrakoplova. Mogućnost očuvanja snimljenih podataka i povećanje tehnologije je omogućila *Solid State* tehnologija. Cjeloukupni proces održavanja uređaja olakšavaju statični memorijski čipovi [7].

3.1.1. Podvodni odašiljač lokacije

Moderni snimači leta sadržavaju podvodni odašiljač lokacije (engl. *Underwater Locating Device* - ULD) koji se često naziva podvodnom lokacijskom svjetliljkom (engl. *Underwater Locator Beacon* - ULB). U slučaju da snimač leta dođe u kontak s vodom, ovaj uređaj se automatski aktivira te krene emitirati ultrazvučne impulse frekvencijom 37,5 kHz svake sekunde. Uređaj se napaja baterijom te prijenos signala ima ograničeni period trajanja koji najčešće iznosi 30 dana [17]. Česti naziv za ovaj uređaj je Pinger zbog toga što kontinuirano odašilje signal. Najbitnije karakteristike Pingera su sljedeće [8]:

- radna frekvencija iznosi 37,5 kHz,
- standardizirane dimenzije: duljina 9,95 cm i promjer 3,3 cm,
- rad na dubini moguć od 0 do 6.096 metara i
- automatska aktivacija pri kontaktu sa morskom i slanom vodom.

Impulsni prijemnik je potrebno postaviti ispod površine vode da bi se detektirao ULD. Prijemnik može na gotovo svim dubinama vodenih površina otkriti položaj ULD-a, osim u slučajevima kada se ULD nalazi u ekstremnim oceanskim dubinama. Obično je maksimalni domet ULD-a od dva do tri kilometra, te ovisi o sljedećim parametrima [8]:

- osjetljivosti prijemnika,
- temperaturi vode,
- razini akustičnog izlaza ULD-a,
- intenzitetu buke u okolini,
- dubinskoj razlici između ULD-a i prijemnika i
- je li ULB zatrpan krhotinama zrakoplova, pijeskom ili kamenjem.

ULD se uobičajno ugrađuje u CVR i FDR uređaje, ali također se može ugraditi i na trup zrakoplova. ULD koji je ugrađen na trup zrakoplova nakon uranjanja u slanu ili slatku vodu počinje emitirati signale koji su jačine frekvencije 8,8 kHz najmanje 90 dana te se nazivaju ULD-om niske frekvencije. Domet koji je omogućen niskom frekvencijom iznosi od 13 do 22 km te su čak četiri puta veći u odnosu na standardni ULD. Ova vrsta ULD-a ima maksimalnu radnu dubinu od 6.000 m i životni vijek od 6 godina zbog jednoćelijske baterije. Preporuka je da se ULD niske frekvencije ne ugrađuje u horizontalni i vertikalni stabilizator zrakoplova [17].

Redovitim nadopunjavanjem i obnavljanjem propisa Europske agencije za zrakoplovnu sigurnost (engl. *European Union Aviation Safety - EASA*), došlo je do zahtjeva da se vrijeme emitiranja signala ULD-a koji je priključen na uređaj za snimanje leta, produži s 30 na 90 dana do 1. siječnja 2020. godine. Također, zahtjevano je da do 1. siječnja 2019. godine svi veliki zrakoplovi na rutama duljim od 333,36 km od obale sadržavaju dodatni ULD niske frekvencije. Ovi zahtjevi su doneseni zbog činjenice što ULD na 27 zrakoplovnih nesreća iznad vodenih površina ima stopu „preživljavanja“ od 90% [18].

3.1.2. Nepravilnosti uređaja za snimanje leta

Istražitelji su se susretali s raznim nepravilnostima i problemima vezanim uz uređaje za snimanje leta, te se nepravilnosti klasificiraju u tri skupine [8]:

- nepotpuni ili nedostajući podaci,
- nedostupne ili nepotpune informacije o podatkovnom okviru (engl. *Data Frame Layout - DFL*) i
- pitanje kalibracije parametara.

Također, moguće je da tijekom istrage nesreće se pojavi problem koji spada u sve tri predhodno navedene skupine. Najveća prepreka tijekom istrage zrakoplovne nesreće je kada je problem svrstan u skupinu jedan. Točnije, veći je problem nepostojanje zabilježenih podataka u odnosu na nepostojanje zapisa o podatkovnom okviru i pogrešnoj interpretaciji spremljenih podataka u odnosu na kalibraciju parametara.

Podatkovni okvir je predstavljen redosljedom riječi koji se prenosi u digitalni FDR iz jedinice za prikupljanje podataka o letu tijekom svake sekunde u određenom vremenskom periodu. FDR pohranjuje podatke o letu koji su najčešće binarni te ih je potrebno obraditi da bi se oni pretvorili u čitljive vrijednosti kao što su stope i stupnjevi. FDR sadrži podatkovne okvire koji se sastoje od bitova, riječi, podokvira i okvira. U ovisnosti o tehnologije FDR-a, svaki

okvir se sastoji od četiri podokvira, a svaki podokvir od 64, 128, 256 ili 512 pojedinačnih riječi od 12 bitova. FDR definira redoslijed svakog podokvira i samih riječi, te je bitno njegovo razumijevanje da bi se dekodirali podaci koji su zabilježeni u digitalnom FDR-u [19].

U ovisnosti o vrsti snimanja se postiže oblik podatkovnog okvira te prikazuje [8]:

- metodu programiranja korištenu za prikupljanje podataka i
- funkcije korištene za pretvaranje snimljene vrijednosti u realnu fizičku vrijednost.

Uspoređivanjem vrijednosti snimljenih podataka i vrijednosti parametara mjernih instrumenata vrši se analiza kvalitete snimanja uređaja za snimanje leta. Zbog toga je važno kalibrirati kanale obrade i mjerenja svakog parametra. Kalibriranje uređaja za snimanje leta koji zapisuju obavezne parametre je potrebno provoditi svakih pet godina, a senzora za prikupljanje podataka o brzini i visini svake dvije godine. Korektivne radnje se provode u slučaju da se uređaj za snimanje leta smatra neupotrebljivim, a to nastaje kada dođe do dužeg razdoblja loše kvalitete podataka, ili u slučaju da jedan ili više obveznih parametara nije pokazao ispravne vrijednosti. Zbog činjenice da proizvođači definiraju funkcije pretvorbe prema rezultatima ispitivanja prototipova koji se razlikuju od onih stvarnih funkcija na zrakoplovu, neophodno je provoditi kalibraciju. Sljedeći čimbenici mogu znatno promijeniti kvalitetu mjerenja [8]:

- starenje senzora koje nastaje zbog utjecaja okoline te uzrokuje odstupanje sustava od početne kalibracije;
- spanjenjem na analogni ulaz dodatnog uređaja što može promijeniti karakteristike poslanog signala u smislu faze i/ili amplitude;
- ponovno sastavljanje nakon rastavljanja mehaničkih elemenata što može uzrokovati manjak prilagodne pojedinih senzora.

Senzori koje koriste mjerni instrumenti ili drugi zrakoplovni sustavi se mogu razlikovati od senzora koje koriste uređaji za snimanje leta te je zbog toga dopuštena određena razlika između normalnih i zabilježenih vrijednosti što je tipično za starije modele zrakoplova. U slučaju da se prijeđe navedena dopuštena razlika preporučaju se sljedeće radnje [8]:

- popravak ili zamjena neispravnih elemenata i
- kroz postupak kalibracije izmjena funkcije pretvorbe u dokumentima formata podataka.

Instalacija FDR-a i CVR-a u zrakoplove ima ključnu ulogu u prikupljanju podataka o letu i komunikaciji unutar kokpita. Pravilna instalacija ovih uređaja ne samo da je od vitalnog značaja za sigurnost leta, već osigurava da se podaci adekvatno prikupljaju i čuvaju radi kasnije analize. Pri instalaciji FDR-a, posebna se pažnja mora posvetiti odabiru optimalne lokacije unutar zrakoplova kako bi se osigurala najbolja moguća pokrivenost i točnost podataka. Osim toga, postavke montaže, električne poveznice i tehničke specifikacije igraju ključnu ulogu u osiguravanju da FDR funkcionira u skladu s propisima i standardima. S druge strane, CVR se

mora instalirati tako da može snimati jasnu i nedistortiranu komunikaciju između članova posade. To zahtijeva preciznu montažu mikrofona i postavljanje uređaja kako bi se minimizirala mogućnost vanjskih smetnji ili buke.

3.2. Standardi izrade

Konstrukcija uređaja za snimanje leta je takva da mogući da uređaji fizički izdrže udar koji se često događa pri velikoj brzini zrakoplova te požarom koji se često javlja uz zrakoplovnu nesreću. Da bi se pružila odgovarajuće toplinska zaštita tijekom određenog perioda izloženosti uređaja visokoj temperaturi trebaju se koristiti odgovarajući materijali izrade. Snimači leta su izloženi postepenim prijenosom topline, odnosno prvo izgaraju u visokim temperaturama te se kasnije naglo hlade pri gašenju požara. Dokazano je da uređaj za snimanje leta dostiže vrhunac središnje temperature tijekom razdoblja hlađenja, a ne zagrijavanja kako se prethodno smatralo. Zbog toga je nužno izabrati materijal s optimalnom vodljivosti topline da bi se postiglo produljenje vremena koje je potrebno za postizanje maksimalne temperature uređaja. Ta temperatura može u velikoj mjeri oštetiti memorijski modul [20].

Potrebno je da uređaji za snimanje leta budu napravljeni od materijala koji neće burno reagirati na uranjanje uređaja u slanu vodu. U CVR i FDR uređajima, snimač je postavljen u aluminijski oblog te se nalazi u vanjskom kućištu od titana ili nehrđajućeg čelika [21].

U slučaju da su komponente uređaja za snimanje leta bile sačinjene od magnezija ili njemu sličnih materijala, u par dana provedenih u vodi, dijelovi uređaja bi se potpuno otopili. Također, bilo bi potrebno provesti određene pravovremene preventivne mjere u slučaju da je uređaj napravljen od neke druge vrste materijala koja bi nakon izvlačenja iz vode brzo korodirala na zraku [13].

Sama konstrukcija CVR i/ili FDR mora biti sačinjena na način da preživi sljedeće situacije [15]:

- izgaranje tijekom 30 minuta u plamenu od 1.100°C,
- testno izgaranje tijekom 10 sati u pećnici na 260°C,
- udar od 3.400 Gs za 6,5 ms,
- statično opterećenje masom na svakoj osi tijekom pet minuta od 2.268 kg,
- otpor na prodiranje: 227 kg,
- istrajnost u morskoj vodi: 30 dana i
- hidrostatički tlak koji je ekvivalentan dubini od 6.096m.

Bez obzira na standarde izrade, uvijek postoji mogućnost da tijekom nesreće dođe do oštećenja ili potpunog uništenja FDR i CVR uređaja. Zbog toga, uređaji se dizajniraju na način da se prvenstveno zaštite zabilježeni podaci, a potom sami uređaj. Unutar kućišta koje je otporno na požar i udarce, instaliran je medij za snimanje podataka. Standardi otpornosti memorijskog modula su revidirani 2003. godine od strane Odbora europske organizacije za opremu civilnog zrakoplovstva (engl. *European Organisation for Civil Aviation Equipment* -

EUROCAE). Uz sve prethodno navedne uvjete koje mora imati uređaj za snimanje leta, memorijski modul tijekom 60 minuta mora izdržati izgaranje u plamenu od 1.100°C [8].

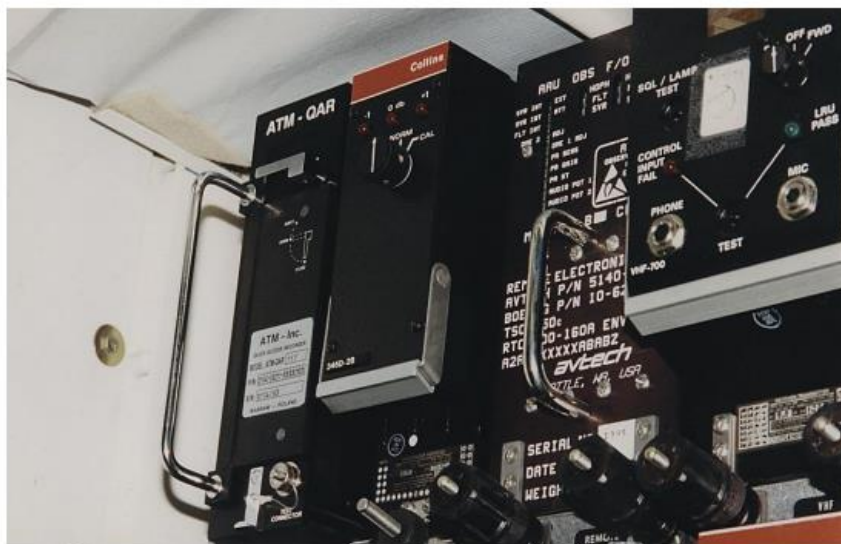
3.3. Nezaštićeni uređaji za snimanje leta

Dok još nisu bile razvijene jedinice za prikupljanje podataka, podaci koji su bili zabilježeni na FDR i CVR uređajima, korišteni su bili samo nakon zrakoplovne nesreće. Sa razvojem tehnologije, omogućeno je da FDAU usmjerava snimljene podatke na druge vrste snimača te se time omogućuje nadzor podataka o letu. Navedena vrsta snimača predstavlja uređaje koji nisu zaštićeni tijekom nesreće, odnosno drugu kategoriju uređaja za snimanje leta. Vrpca, sigurnosno digitalna kartica (engl. *Secure Digital Card* - SD), optički ili magnetski disk mogu biti medij za snimanje ove vrste uređaja te su dizajnirani tako da omoguće brzu zamjenu i lako uklanjanje te osiguravaju visoku električnu i mehaničku pouzdanost. Pristup zabilježenim podacima, odnosno mediju se nalazi u odjeljku za elektroniku ili u kokpitu.

Nezaštićeni uređaji za snimanje leta igraju važnu ulogu u prikupljanju podataka tijekom normalnog operativnog rada zrakoplova te pružaju ključne informacije istražiteljima u slučaju nesreće ili incidenta. Iako nisu izravno zaštićeni tijekom avionskih nesreća, ovi uređaji omogućuju sustavno praćenje performansi zrakoplova i analizu ključnih parametara leta. Postoje dvije vrste snimača koji nisu zaštićeni tijekom zrakoplovne nesreće a to su [7]:

- Snimač brzog pristupa i
- Snimač izravnog pristupa (engl. *Direct Access Recorder* - DAR).

Prethodno navedeni uređaji snimaju različite aspekte leta i sustava zrakoplova te pružaju važne informacije o operativnim performansama. QAR omogućuje kontinuirano snimanje ključnih podataka o performansama leta, uključujući brzinu, visinu, položaj, aktivaciju sustava, parametre motora i ostale relevantne informacije. Ovi uređaji često se koriste za rutinsko praćenje performansi tijekom svakog leta i omogućuju analitičarima da prate trendove i identificiraju potencijalne probleme. U najčešćem broju slučajeva, QAR uređaji bilježe iste podatke kao i sa FDR uređaja te u ovisnosti su o istoj jedinici za prikupljanje podataka. Najnoviji QAR uređaji imaju ulazne otvore koji su kompatibilni sa standardnim zrakoplovnim sabirnicama i imaju mogućnost bilježenja dodatnih vrsta podataka [7]. Na slici 13. je prikazan QAR uređaj koji je instaliran u zrakoplovu Boeing 737.



Slika 13. QAR uređaj u zrakoplovu Boeing 737
Izvor: [22]

DAR također snima podatke o performansama leta, ali se često koristi za istraživanje specifičnih incidenata ili događaja. Ovi uređaji omogućuju detaljniju analizu odabranih parametara leta i mogu biti ključni u razumijevanju uzroka određenih situacija tijekom leta. DAR uređaji primaju podatke iz jedinice za upravljanje podacima (engl. *Data Management Unit* – DMU). Mogu biti programirani za skupljanje pojedinačnih podataka, ali i za izbor vrste snimanja kao što je periodično snimanje i snimanje koje kreće kada određeni parametri prekorače definirane vrijednosti [8].

Nezaštićeni uređaji za snimanje leta nose određene tehničke izazove, posebno u pogledu sigurne pohrane podataka i pouzdane izvedbe tijekom svih operacija leta. Važno je osigurati da ovi uređaji rade besprijekorno čak i u ekstremnim uvjetima leta i da pružaju pouzdane podatke za analizu. Tehnološki napredak u području nezaštićenih uređaja za snimanje leta usmjeren je na poboljšanje pouzdanosti, pohrane podataka i praktičnosti korištenja. Novi materijali i tehnologije omogućuju bolju zaštitu podataka te smanjuju rizik od gubitka informacija tijekom nesreće.

Primjena nezaštićenih uređaja za snimanje leta proširuje se na različite vrste zrakoplova i operacija. Budući razvoj tehnologije nastavit će poboljšavati funkcionalnost i pouzdanost ovih uređaja, čime će se osigurati bolje praćenje performansi zrakoplova i analiza operacija leta. U budućnosti se očekuje da će nezaštićeni uređaji za snimanje leta postati još sofisticiraniji, s poboljšanim mogućnostima snimanja podataka i povećanom otpornošću na ekstremne uvjete. Razvoj novih tehnologija omogućit će bolju analizu operativnih performansi zrakoplova i pružiti istražiteljima važne informacije u slučaju incidenta ili nesreće [7].

4. STANDARDI I PROPISI

Civilno zrakoplovstvo se temelji na složenom sustavu međunarodnih standarda i propisa koji osiguravaju sigurnost, učinkovitost i dosljednost zračnih operacija diljem svijeta. Međunarodna organizacija za civilno zrakoplovstvo (engl. *International Civil Aviation Organization* – ICAO) postavlja globalne standarde za civilno zrakoplovstvo. ICAO je specijalizirano tijelo Ujedinjenih naroda koje se bavi standardizacijom i regulacijom civilnog zrakoplovstva na globalnoj razini. Njihovi standardi obuhvaćaju sve aspekte zračnih operacija, uključujući sigurnost, navigaciju, certifikaciju, okoliš i ljudske resurse. ICAO propisuje minimalne standarde zrakoplovne sigurnosti koji se primjenjuju na globalnoj razini te općenito predstavlja pravila ponašanja svih sudionika u zračnom prometu. Zajednička pravila o sigurnosti u civilnom zrakoplovstvu temeljena su na smjernicama dokumenta Annex ICAO-a.

Annex 13 ICAO Čikaške konvencije koji nosi naziv „Istraga zrakoplovnih nesreća i nezgoda“ nastao je 11. travnja 1951. godine usvajanjem preporučenih praksi i standarda. Smjernice Annexa 13 se odnose na prava i odgovornosti svih sudionika istrage zrakoplovne nezgode ili nesreće te su opisane u ovom poglavlju. Preporučene prakse i standardi za tehnički rad zrakoplova su sadržani u ICAO Annexu 6, a u prilogu D su prikazane odredbe koje se odnose na snimače leta. Odnosno, propisano je da svi zrakoplovi s najvećom dopuštenom masom pri polijetanju većom od 5.700kg trebaju biti opremljeni s uređajem za snimanje podataka o letu bez obzira na datum potvrde o plovidbenosti [8].

Svaka zemlja ima vlastite nacionalne propise koji nadopunjuju međunarodne standarde i prilagođavaju ih lokalnim potrebama i uvjetima. Nacionalni propisi obično uključuju specifične zahtjeve za certifikacijom zrakoplova, postupke upravljanja zračnim prometom, obuku posada i sigurnosne standarde. Regulatorna tijela kao što su Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo u Sjedinjenim Američkim Državama, Europska agencija za zrakoplovnu sigurnost u Europskoj uniji i slične organizacije u drugim zemljama provode nacionalne propise u skladu s međunarodnim standardima.

Certifikacija zrakoplova predstavlja ključni dio standarda u civilnom zrakoplovstvu. Zrakoplovi moraju zadovoljiti stroge standarde sigurnosti i performansi prije nego što budu dopušteni za komercijalnu uporabu. Ovi standardi obuhvaćaju konstrukciju, sustave, elektroniku, motorne performanse i druge ključne aspekte zrakoplova [23].

Sigurnosni propisi imaju važnu ulogu u zaštiti putnika, posade i resursa. Ovi propisi obuhvaćaju sve, od protupožarnih zahtjeva, do postupaka za postupanje u hitnim situacijama. Sigurnosni standardi se stalno poboljšavaju kako bi se osigurala najviša razina zaštite u operacijama zrakoplovima. Svi ovi zahtjevi osiguravaju da uređaji ispunjavaju visoke standarde sigurnosti, pouzdanosti i performansi, te su neophodni pri sprječavanju zrakoplovnih nesreća te olakšavaju samu istragu.

S obzirom na rastuću zabrinutost za okoliš, civilno zrakoplovstvo također podliježe okolišnim propisima koji se odnose na emisije, buku i održivost operacija. ICAO i EASA rade na razvoju okolišnih standarda kako bi se smanjili utjecaji zračnog prometa na okoliš.

4.1. Međunarodni standardi i smjernice

Međunarodni standardi i smjernice predstavljaju ključni aspekt pri reguliranju zrakoplovstva i osiguravanja sigurnosti letenja diljem svijeta. ICAO i druge organizacije utvrđuju standarde i smjernice koji se primjenjuju na nacionalnoj i međunarodnoj razini. ICAO definira opće zahtjeve koje moraju ispunjavati svi snimači leta bez obzira na državu registracije zrakoplova. Također, ICAO-ovi zahtjevi sadržavaju razne tehničke specifikacije, kao što su otpornost na udarce i vatru, kapacitet pohrane podataka i trajnost u različitim uvjetima okoliša [24].

ICAO je glavna organizacija odgovorna za postavljanje međunarodnih standarda i smjernica u civilnom zrakoplovstvu. Njeni propisi obuhvaćaju širok spektar tema, uključujući sigurnost leta, navigacijske standarde, certifikaciju zrakoplova, postupke u slučaju nesreća i mnoge druge aspekte operacija zrakoplova. Njeni standardi su obvezujući za sve članice i osiguravaju dosljednost u pristupu sigurnosti i operacijama zrakoplova diljem svijeta. Organizacija također surađuje s drugim tijelima kao što su EASA i Nacionalna agencija za sigurnost zračnog prometa (engl. *National Aeronautics and Space Administration* - NASA) kako bi osigurala koordinaciju i implementaciju standarda na lokalnoj razini. ICAO redovito revidira i ažurira svoje standarde kako bi odgovorili na nove tehnologije, trendove i izazove u zrakoplovstvu. Ovo osigurava da standardi ostanu relevantni i u skladu s najnovijim saznanjima i praksama u industriji [24]. Prema ICAO Annexu 6, snimači leta moraju biti sposobni izdržati ekstremne uvjete kao što su temperature do 1.100°C tijekom 30 minuta te tlak koji je ekvivalentan dubini od 6.096 m ispod morske razine. Također, snimači leta trebaju biti opremljeni uređajima za lokaciju kako bi se mogli pronaći u slučaju pada zrakoplova [25].

Osim općih standarda, ICAO utvrđuje i specifične smjernice za različite aspekte civilnog zrakoplovstva. To uključuje standarde za dizajn i konstrukciju zračnih luka, upravljanje zračnim prometom, obuku osoblja, pravila o ispitivanju letova i certifikaciju letačkih posada. Primjeri specifičnih smjernica uključuju propise o minimalnim zahtjevima za opremu zrakoplova, postupke za primjenu sustava za upravljanje letom i standardizirane obrasce izvješćivanja o sigurnosnim incidentima. Ovi standardi su ključni za osiguravanje sigurnosti i učinkovitosti u zrakoplovstvu i omogućuju dosljednost u pristupu operacijama zrakoplova [24].

Implementacija međunarodnih standarda zahtijeva suradnju između država članica, zrakoplovne industrije i regulatornih tijela. Ovo uključuje usklađivanje nacionalnih zakona i propisa s međunarodnim standardima te osiguravanje adekvatne obuke i nadzora. Suradnja između različitih sudionika u civilnom zrakoplovstvu je ključna za postizanje globalne sigurnosti. ICAO također radi na usklađivanju nacionalnih standarda s međunarodnim normama putem tehničke pomoći i programa obuke. Ova suradnja pomaže u osiguravanju

dosljednosti u primjeni standarda i smjernica širom svijeta, čime se poboljšava sigurnost i operativna učinkovitost u civilnom zrakoplovstvu [24].

Stvaranjem europskog unutarnjeg tržišta zračnog prometa 80-ih godina prošlog stoljeća omogućena je jednaka visoka razina sigurnosti za sva putovanja unutar Europske unije (engl. *European Union* - EU). Ovo je posljedica obavezne primjene pravila na razini EU, odnosno regulativa na europskoj razini koje se kasnije posebno usklađuju s Nacionalnim programom sigurnosti svake države. Za definiranje regulatornih odredbi zaslužna je EASA, te zajedno s nadležnim nacionalnim regulatornim tijelima i Europskom komisijom nadzire provedbu tih pravila. Primjerice, u Republici Hrvatskoj je nadležno regulatorno tijelo Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo. Za sigurnost na europskoj razini bitne su sljedeće regulative [26]:

- Regulativa Europske komisije,
- Europski program sigurnosti te
- Nacionalni program sigurnosti svake države članice.

Potpisivanjem Sporazuma o zajedničkom europskom prostoru, unutarnjem tržištu zračnog prometa mogu se pridružiti europske zemlje koje nisu članice EU te na taj način osigurati primjenu svih zajedničkih pravila sigurnosti u civilnom zrakoplovstvu. Ovo podrazumijeva Švicarsku, države Balkana i Europskog gospodarskog prostora. Ovaj oblik suradnje među državama predstavlja uspostavljanje nužnog jedinstvenog standarda sigurnosti svakodnevnih operacija te u dodatnoj mjeri poboljšava sigurnost cjelokupnog europskog zračnog prometa [26].

Načela ICAO-a vezana uz istrage zrakoplovnih nesreća su 1994. godine postala dio prava EU u Direktivi 94/56/EZ, te ju je kasnije zamijenila Uredba (EU) br. 996/2010. Ova uredba opisuje pravila o pravodobnom pružanju informacija o svim sudionicima i o opasnom teretu u zrakoplovu koji je uzrokovao nesreću. Također, ovom se uredbom želi poboljšati pomoć svim žrtvama zrakoplovnih nesreća kao i njihovim bližnjima. Cilj ove uredbe je unaprijeđenje sigurnosti zračnog prometa EU stvaranjem visokog razine učinkovitosti te kvalitetne istrage. Primjena ove uredbe pri istrazi zrakoplovnih nezgoda i nesreća je [27]:

- kada se zbivaju na teritoriju država članica EU,
- kada se zbivaju izvan teritorija država članica EU, ali su nesreću odnosno nezgodu izazvali zrakoplovi koji su ili registrirani u državi članici EU ili koje vodi tvrtka koja ima sjedište u državi članici,
- kada je država članica na temelju preporučenih praksi i međunarodnih standarda ovlaštena za imenovanje ovlaštenog predstavnika za sudjelovanje u istrazi i
- kada je državi članici zbog ozbiljnih ozljeda ili smrtnih slučajeva svojih građana dopušteno imenovanje stručnjaka od zemlje koja provodi istragu.

Ova uredba se ne primjenjuje pri istraživanjima zrakoplovnih nesreća i nezgoda uzrokovanih od zrakoplova koji obavljaju carinske, vojne, policijske i njima slične zadaće.

Također, uredba dopušta prenošenje zadataka između raznih tijela koji su odgovorni za istragu te njihovu suradnju. Od smjernica koje se odnose na sigurnost u civilnom zrakoplovstvu (engl. *Safety Investigation Authority - SIA*) te služe za uspostavljanje neovisnog nacionalnog tijela ističu se sljedeće [27]:

- svaka država članica treba osigurati vođenje istrage SIA-e bez vanjskog uplitanja,
- SIA treba predstavljati funkcionalno tijelo te imati neovisnost u odnosu na svako drugo tijelo ili stranku koja bi se mogla suprotstavljati s njegovim zadacima ili utjecanjiti na objektivnost,
- SIA treba biti sposobna neovisno provoditi kompletnu istragu koja se odnosi na sigurnost,
- sve države članice trebaju svoja SIA tijela osigurati sa svim potrebnim sredstvima i opskrbiti sustav financiranja u cilju njenog neovisnog izvođenja zadaća i
- SIA treba posjedovati kvalificirano osoblje te odgovarajuće objekte koji uključuju hangare i urede, u kojima će biti u mogućnosti skladištiti i pregledavati zrakoplove te njihov sadržaj i olupine.

4.2. Nacionalni propisi i zakonodavstvo u Republici Hrvatskoj vezani uz instalaciju snimača leta

Pored međunarodnih standarda, svaka država mora imati dodatne nacionalne propise koji specificiraju dodatne zahtjeve ili koji prilagođavaju međunarodne standarde specifičnim uvjetima i potrebama svoje zrakoplovne industrije. U Republici Hrvatskoj, Zakon o zračnom prometu i Pravilnik o zahtjevima za izvođenje operacija zrakoplovima definiraju specifične zahtjeve koji su potrebni za instalaciju i upotrebu snimača leta te su preduvjet za sigurno odvijanje zračnog prometa.

Pravilnik o zahtjevima za izvođenje operacija zrakoplovima i o organizacijskim zahtjevima kojima moraju udovoljavati operatori zrakoplova donesen je na temelju članka 142. točke 2. Zakona o zračnom prometu. Ovaj pravilnik se sastoji od osam Sekcija, te se u četvrtoj sekciji koja nosi naziv „Instrumenti, podaci i oprema“ sadržavaju zahtjevi koji su nužni za instalaciju snimača leta u pojedinim modelima zrakoplova te također opremljenosti i sposobnosti uređaja za snimanje leta. Zakonom je propisana instalacija uređaja za snimanje podataka o letu koja se koristi metodom digitalnog snimanja i pohranom podataka koja ujedno ima mogućnost čitanja pohranjenih podataka za navedenu skupinu zrakoplova [28]:

- zrakoplovi za koje je prvi certifikat o plovidbenosti izdan nakon 1. 1. 2005. godine te koji posjeduju najveću certificiranu masu u uzlijetanju veću od 5.700 kg.
- zrakoplovi za koje je prvi certifikat o plovidbenosti izdan nakon 31. 12. 1988. godine te koji posjeduju najveću certificiranu masu u uzlijetanju veću od 27.000 kg.

Uređaj za snimanje podataka, prema ovom Pravilniku mora zadovoljiti ove uvjete [28]:

- sposobnost zadržavanja snimljenih podataka na snimaču najmanje tijekom zadnjih 25 sati. Ovaj uvjet osigurava istražiteljima da imaju mogućnost analiziranja podataka sa zadnjih nekoliko letova što može biti korisno za utvrđivanje uzroka nesreće ili tehničkih problema na zrakoplovu.
- dostupnost podataka iz izvora koji omogućavaju točnu usporedbu sa podacima koji su prikazani posadi zrakoplova. Ovaj uvjet osigurava da podaci koje istražitelji pregledavaju odgovaraju stvarnim uvjetima i informacijama koje su bile dostupne posadi tijekom leta.
- sposobnost automatskog početka snimanja prije nego što zrakoplov bude sposoban za pokretanje snagom vlastitih motora i mogućnost automatskog završetka snimanja nakon što zrakoplov prestane se pokretati snagom vlastitih motora. Ovaj zahtjev pomaže u osiguravanju da svi relevantni podaci budu zabilježeni tijekom svih faza leta, uključujući taksiranje, uzlijetanje, let i slijetanje.
- posjedovanje uređaja za pomoć u potrazi za FDR-om u vodi. S obzirom da se nesreće mogu dogoditi i iznad vodenih površina, uređaji moraju biti opremljeni sustavima koji olakšavaju njihovo pronalaženje u takvim uvjetima.

Zakonom je propisana instalacija uređaja za snimanjem zvuka u kokpitu za koje je prvi certifikat o plovidbenosti izdan nakon 31. 12. 1986. godine i sa najvećom certificiranom masom u uzlijetanju većom od 27.000 kg. Uređaj za snimanje glasa u kokpitu, prema ovom Pravilniku imaju sljedeće sposobnosti [28]:

- sposobnost pohrane podataka za najmanje dva sata za zrakoplove za koje je certifikat o plovidbenosti izdan nakon 1. 1. 2003. godine ili za sve ostale zrakoplove zadnjih 30 minuta. Ovaj zahtjev osigurava da su zabilježeni ključni razgovori i zvukovi iz kokpita tijekom kritičnih faza leta.
- mogućnost automatskog početka snimanja podataka i prije nego što zrakoplov bude sposoban zapokretanje snagom vlastitih motora i nastavak snimanja do završetka leta kada zrakoplov ne bude više sposoban pokretati se snagom vlastitih motora. Kao i kod snimača podataka o letu, ovaj zahtjev osigurava da se zabilježe svi relevantni zvučni podaci.
- posjedovanje uređaja koji pomaže pri potrazi za CVR-om u vodi. S obzirom na mogućnost pada zrakoplova iznad vode, snimači zvuka moraju biti opremljeni sustavima za olakšavanje pronalaženja.

Svi ovi zahtjevi, zajedno sa međunarodnim standardima, osiguravaju da uređaji budu pouzdani i učinkoviti u prikupljanju ključnih podataka potrebnih za siguran zračni promet i za detaljnu istragu urakoplovnih nesreća.

4.3. Zahtjevi za pohranu i prijenos podataka

Zahtjevi za pohranu i prijenos podataka u zrakoplovstvu su ključni za osiguravanje integriteta i dostupnosti ključnih informacija koje su potrebne za siguran let, učinkovitu analizu

performansi te za brzo i precizno istraživanje zrakoplovnih nesreća. Tehnologija snimača leta i snimača glasa u kokpitu se kontinuirano razvija da bi se ispunili sve veći zahtjevi za kapacitetom pohrane, sigurnosti podataka i mogućnosti prijenosa podataka u stvarnom vremenu. Današnji moderni zrakoplovi zahtjevaju uređaje koji imaju mogućnost pohrane velike količine podataka tijekom dužeg vremenskog razdoblja.

Osiguravanje sigurnosti podataka ključno je za zaštitu integriteta informacija koje su snimljene tijekom leta. Sigurnosni zahtjevi uključuju [29]:

- zaštitu od fizičkih oštećenja: uređaji bi trebali biti otporni na ekstremne uvjete koji mogu uključivati vrlo visoke temperature, razne udarce i uranjanja u vodu. Ovim zahtjevom se osigurava da podaci koje je snimio snimač leta budu netaknuti čak i prilikom najtežih uvjeta.
- šifriranje podataka: podaci koji su pohranjeni u FDR i CVR uređaje su često šifrirani da bi se spriječio neovlašten pristup te se ovim postiže zaštita osjetljivih informacija o letu i posadi.
- fizička zaštita uređaja: uređaji u zrakoplovu moraju biti postavljeni na način kako bi se minimizirala mogućnost oštećenja u slučaju zrakoplovne nesreće. Fizička zaštita uređaja uključuje korištenje zajedničkih kućišta i strateško postavljanje unutar zrakoplova.

Razvojem tehnologije također je omogućen razvoj i u načinima prijenosa podataka iz zrakoplova u stvarnom vremenu. Neki napredni sustavi, poput *Honeywell Connected Recorder 25*, omogućavaju prijenos podataka u stvarnom vremenu putem satelitskih komunikacija. Ovaj prijenos podataka daje mogućnost istražiteljima i operatorima da mogu odmah pristupiti bitnim informacijama u slučaju da dođe do gubitka komunikacije sa zrakoplovom ili ako dođe do zrakoplovne nezgode odnosno nesreće. Današnji moderni zrakoplovi moraju biti opremljeni FDR i CVR uređajima koji automatski započinju sa snimanjem podataka i prije nego što zrakoplov započne kretanje snagom vlastitih motora i za automatskim završetkom snimanja kada zrakoplov više nije sposoban za kretanje. Ovim postupkom je osigurano da su svi relevantni podaci snimljeni bez potrebe za ručnom intervencijom posade. Također, prijenos podataka mora biti visoke kvalitete da bi se izbjegli njezini gubitci. Sustavi prijenosa trebaju imati redundantne komunikacijske kanale da bi se omogućio kontinuiran prijenos u slučaju da dođe do kvara primarnog sustava u zrakoplovu [30].

Zahtjevi za pohranu i prijenos podataka također su definirani sa međunarodnim standardima i regulativama koji cjelokupnoj zrakoplovnoj industriji osigurava jednaku kvalitetu i uniformnost. Za definiranje ovih standarda među ključnim dokumentima ističu se [31]:

- ICAO Annex 6 sa kojim su postavljeni standardi za sami rad zrakoplova. Ovi standardi uključuju zahtjeve za instalacijom FDR i CVR uređaja. ICAO Annex 6 zahtjeva da svi komercijalni zrakoplovi budu opremljeni sustavima koji

omogućuju snimanje leta kojim su zadovoljeni svi strogi standardi sigurnosti i pouzdanosti zrakoplova. Kapacitet pohrane, trajnost, otpornost na oštećenja odnosno razne tehničke specifikacije za uređaje su propisane Annex-om 6.

- ICAO Annex 13 koji obrađuje zrakoplovne nezgode i nesreće u civilnom zrakoplovstvu te sadržava razne smjernice za prikupljanje, zaštitu i analizu podataka iz FDR i CVR uređaja.
- CS-25 izdan od strane EASA-e te sadrži razne certifikacijske specifikacije za velike zrakoplove koji također uključuju zahtjeve za instalacijom snimača leta te drugim sustavima potrebnim za pohranu i prijenos podataka. Ovim dokumentom je osigurano da svi instalirani uređaji u zrakoplovu zadovoljavaju visoko postavljene standarde sigurnosti i pouzdanosti u svijetu.
- Regulative 14 CFR Part 91, 121, 125 i 135 izdane od strane FAA koje opisuju razne zahtjeve za operatore zrakoplova u vidu opreme, koje također uključuju snimače leta te njihove performanse. Ovim regulativama su definirane razne procedure potrebne za rukovanje i analizu podataka iz snimača leta.

Tehnologija snimanja i prijenosa podataka će nastaviti svoj razvoj u budućnosti kako bi osigurala povećanja sigurnosti zračnog prometa u svijetu. Pretpostavlja se razvoj Big Data analitike kojom bi mogao biti omogućen napredak pri praćenju i analiziranju podataka u stvarnom svijetu i kojom bi se pomoglo pri predviđanju i analiziranju potencijalnih budućih problema. Big Data analitikom omogućena je detaljna analiza velike količine podataka koja je prikupljena tijekom leta. Također, nastaviti će se razvoj sofisticiranih sustava koji pomažu pri otkrivanju nesreća kojim će biti omogućena automatska prijava zrakoplovne nesreće i automatsko pokretanje potrebnih mjera spašavanja. Ovi sustavi će sadržavati razne napredne senzore i algoritme koji će biti u mogućnosti detektirati razna sumnjiva ponašanja zrakoplova tijekom leta.

Za uspješno analiziranje zrakoplovnih nesreća i postizanje zavidne razine sigurnosti ključno je kontinuirano unaprijeđavati zahtjeve za pohranu i prijenos podataka u zrakoplovstvu. Kontinuiranim razvojem tehnologija i unaprijeđivanjem regulativa osigurava se pouzdanost uređaja koji su ključni pri unaprijeđivanju sigurnosti. Nužno je da regulative prate razvoj tehnologije da se osiguralo da svi aspekti zrakoplovnih operacija ostanu učinkoviti i sigurni.

4.4. Revizija i ažuriranje standarda

U zrakoplovstvu, revizija i ažuriranje standarda predstavljaju ključni aspekt pri održavanju i unapređivanju sigurnosti. Ovi procesi osiguravaju da standardi budu prilagođeni potrebama industrije te uključuju nove tehnologije, operativne prakse i razne regulatorne zahtjeve. Uvođenje novih tehnologija kao što su primjerice automatizirani sustavi zahtjevaju posebnu prilagodbu već postojećih standarda da bi se osigurala sigurnost i učinkovitost. Razne promjene u nacionalnim i međunarodnim propisima često zahtjevaju reviziju podataka u cilju osiguranja usklađenosti sa novim zakonodavnim okvirima. Tijekom analiziranja raznih

zrakoplovnih nesreća može biti pružen novi uvid u situaciju koji može ukazivati na potrebu za nekim promjenama u standardima da bi se u budućnosti spriječile slične zrakoplovne nesreće.

Proces revizije i ažuriranje standarda uključuje nekoliko bitnih elemenata, a to su [32]:

- identifikacija potrebe za promjenom: zbog kontinuirane promjene industrijskih trendova i zbog tehnoloških inovacija, organizacije ističu potrebu za revizijom postojećih standarda.
- priprema i planiranje: definiraju se ciljevi, opseg i sama metodologija revizije odnosno izrađuje se detaljni plan revizije. Također u ovoj fazi je potrebno identificirati odgovorne osobe i složiti timove.
- razrada i procjena prijedloga: stručnjaci razvijaju razne prijedloge za izmjenom standarda. Nakon početnih prijedloga, eksperti prolaze kroz njihovu daljnju procjenu i evaluaciju. U ovom koraku je uključen širok spektar stručnjaka kako bi bila omogućena sveobuhvatna analiza.
- konzultacije i recenzije: nakon što eksperti završe svoje prijedloge, prijedlozi se šalju dalje na procjenu raznim industrijskim partnerima, agencijama i drugim bitnim organizacijama u zrakoplovstvu. Nadalje, eksperti dobivaju povratnu informaciju koja se koristi za daljnje usavršavanje prijedloga.
- odobrenje i implementacija: nakon što se prijedlozi usvoje, novi ili revidirani standardi se odobravaju i objavljuju. Uz njihovu objavu, također se objavljuju i smjernice za implementaciju i edukaciju potrebnih subjekata.
- kontinuirano praćenje i poboljšanje: proces revizije i ažuriranja standarda ne završava uvođenjem novih standarda. Potrebno je provoditi kontinuirano praćenje njihove primjene i same učinkovitosti, uz mogućnost provođenja ponovne prilagodbe i poboljšanja.

U zrakoplovnoj industriji, potrebno je redovito revidirati ICAO Annex 6 da bi se najnovije prakse i tehnologije na zavidnoj razini. Primjerice, uvođenje novih tehnologija kao što su sustavi za praćenje leta u stvarnom vremenu i automatizirani sustavi za izbjegavanje sudara zahtijevali su redovito ažuriranje relevantnih standarda da bi se osigurala njihova visoka razina sigurnosti i učinkovitosti. Također, revizije Annex-a 6 uključuju ažuriranje smjernica za obuku pilota, procedure za održavanje zrakoplova i sigurnosne standarde za različite faze leta. Svrha svih ovih promjena bi bila osiguranje da su operacije zrakoplova u skladu s najnovijim zahtjevima sigurnosti i tehnološkim dostignućima [33].

EASA redovito revidira svoje operativne standarde kako bi uključila nove tehnologije i operativne metode. Na primjer, uvođenje električnih letnih torbi (engl. *Electronic Flight Bag* - EFB) i drugih digitalnih alata za pilota zahtjevalo je reviziju postojećih standarda da bi bilo omogućeno njihovo sigurno korištenje. Revizije Part-OPS-a uključuju i promjene u zahtjevima za obuku i certifikaciju posade tijekom uvođenja sigurnosnih procedura i standarda za opremu u zrakoplovu. Potrebno je osigurati da ove promjene zadrže zračni promet na najvišoj razini sigurnosti i učinkovitosti [34].

Revizija i ažuriranje standarda predstavljaju ključni element u održavanju visoke razine sigurnosti i učinkovitosti u zrakoplovstvu. Potrebno je provoditi kontinuiranu prilagodbu te usklađivanje s najnovijim dostignućima da bi zračnoj inustriji bilo omogućeno napredovanje i osiguranje sigurnosti svih sudionika u zračnom prometu.

5. ULOGA UREĐAJA ZA SNIMANJE LETA U REKONSTRUKCIJI ZRAKOPLOVNIH NESREĆA

Uređaji za snimanje leta, FDR i CVR predstavljaju ključne komponente pri istraživanju i samoj rekonstrukciji zrakoplovne nesreće. Zadaća ovih uređaja je da kontinuirano prate bitne parametre leta te samu verbalnu komunikaciju unutar kokpita tijekom leta te time pružaju ključne informacije koje su od velikog značaja istražiteljima za razumijevanje uzroka nesreće te za razvijanje mjera za sprječavanje sličnih nesreća u budućnosti.

5.1. Uloga FDR-a u rekonstrukciji zrakoplovnih nesreća

Snimač podataka o letu je neizostavak pri rekonstrukciji zrakoplovnih nesreća. FDR ima mogućnost bilježenja širokog spektra tehničkih parametara zrakoplova čime je istražiteljima omogućeno da analiziraju performance i ponašanja zrakoplova prije i nakon zrakoplovne nesreće. U trećem poglavlju je već navedeno da suvremeni FDR uređaj može bilježiti na tisuće različitih parametara, od koji se svakako ističu sljedeći [7]:

- brzina zrakoplova: istražiteljima je ključna informacija o brzini zrakoplova prije i tijekom nesreće da dobiju uvid u dinamiku leta zrakoplova.
- visina: istražitelji praćenjem visine zrakoplova otkrivaju potencijalne abnormalnosti u uspinjanju i spuštanju zrakoplova.
- položaj i smjer: podaci o položaju i smjeru zrakoplova omogućuju istražiteljima da naprave rekonstrukciju putanje leta.
- rad motora: istražiteljima informacije o radu motora mogu ukazati na eventualne tehničke problem ili kvarove na zrakoplovu.
- ubrzanje i sile: podaci o ubrzanju i sili omogućuju istražiteljima razumijevanje opterećenja na strukturu zrakoplova tijekom leta.

Na osnovu podataka dobivenih iz FDR uređaja, istražitelji su u mogućnosti kreirati detaljan profil leta zrakoplova. Profil leta zrakoplova se može stvoriti trodimenzionalnim prikazom leta ili analizom faza leta. Kod trodimenzionalnog prikaza leta istražitelji analiziranjem podataka vizualiziraju putanju zrakoplova u tri dimenzije čime postižu jasniju sliku pri razumijevanju njegovog ponašanja tijekom nesreće. FDR podacima je omogućena detaljna analiza svih faza leta zrakoplova, dakle od uzlijetanja do slijetanja pri čemu se mogu identificirati bilo kakve abnormalnosti ili nepravilnosti tijekom leta zrakoplova.

Pri indentificiranju tehničkih kvarova koji mogu nastati tijekom leta, istražiteljima su nužni podaci sa FDR-a. Među najčešćim tehničkim problemima ističu se nepravilno održavanje zrakoplova, kvarovi sustava i pogreške u dizajnu. Analiziranjem podataka sa FDR-a mogu biti uočeni razni problem koji su uzrokovani neodgovarajućim održavanjem ili kvarovima komponenti. Također, FDR može otkriti u kvarove koji nastanu u motoru ili u nekom drugom dijelu zrakoplova. Istražitelji analiziranjem podataka mogu uočiti razne strukturne ili dizajnerske nedostatke koji su mogli doprinijeti zrakoplovnoj nesreći [7].

Svrha podataka iz FDR-a nije samo rekonstrukcija i razumijevanje zrakoplovne nesreće nego i poboljšanje sigurnosti u zračnom prometu. Među najčešćim promjenama koje se događaju nakon analize FDR uređaja ističu se sljedeće [35]:

- razvoj preventivnih mjera: analiza podataka iz FDR-a može rezultirati razvojem novih sigurnosnih procedura, poboljšanje dizajna zrakoplova i ažuriranje tehničkih standarda.
- obuka posade: podaci sa FDR-a se mogu koristiti i za poboljšanje programa obuke pilota, s naglaskom na odgovarajuće reakcije u kritičnim situacija u kojima se zrakoplov i posada mogu nalaziti.
- tehnička poboljšanja: istražitelji identifikacijom tehničkih problema koji se ponavljaju tijekom različitih zrakoplovnih nesreća potiču same proizvođače zrakoplova na razna tehnička poboljšanja i revizije održavanja.

U nastavku je dan opis dvije zrakoplovne nesreće koje potvrđuju ključnu ulogu FDR uređaja pri istraživanju zrakoplovnih nesreća i nezgoda.

5.1.1. Nesreća zrakoplova Air France 447

Air France 447 je bio redovni međunarodni putnički let iz Rio de Janeira do Pariza. Dana 1. lipnja 2009. godine, zrakoplov Airbus A330-203 se srušio u Atlanski ocean (slika 14.), pri čemu je poginulo svih 228 putnika i članova posade. Ova zrakoplovna nesreća smatra se jednom od najtežih u povijesti komercijalnog zrakoplovstva te je izazvala detaljnu međunarodnu istragu. Istražitelji su bili suočeni sa velikim poteškoćama pri pronalasku olupina zrakoplova i snimača leta te je njihova potraga trajala skoro dvije godine, a oni su konačno pronađeni u svibnju 2011. godine na dubini od 3.900m [36].



Slika 14. Ronioci izvlače dio repa zrakoplova A330-203
Izvor: [37]

Detaljnou analizom FDR podataka otkrivene su zadnje minute leta ovog zrakoplova te je istražiteljima bio pružen uvid u razumijevanje ove nesreće. Ključni podaci izvučeni iz FDR-a su sljedeći [36]:

- gubitak brzine: podaci su pokazali da su Pitot-cijevi (slika 15.), čija je zadaća da mjere brzinu zrakoplova, bile zamrznute, što je dovelo do prestanka prikazivanja preciznih podataka na zaslonima pilota.
- isključenje autopilota: prestanak prikazivanja točnih informacija na zaslonima pilota je posljednično doveo do automatskog isključenja autopilota. U ovim kriznim situacijama, piloti su ručno trebali upravljati zrakoplovom.
- reakcija posade: analizom FDR podataka, utvrđeno je da je posada u zrakoplovu reagirala na ovu situaciju tako što je povukla palicu prema sebi te time podigla nos zrakoplova što je dovelo do velikog uspona, a zatim i do naglog pada brzine.
- gubitak uzgona: budući da su brzina i napadni kut bili preveliki, zrakoplov je ušao u stanje gubitka uzgona (engl. *stall*). Posljedično, ovo je dovelo do pada zrakoplova bez kontrole unatoč naporima posade da uspiju stabilizirati zrakoplov.
- posljedni trenuci: podaci na FDR-u su pokazali da zrakoplov pada brzinom od 10.000 stopa po minuti, odnosno 3.048 metara po minuti prije nego što je uslijedio udarac u površinu Atlanskog oceana.



Slika 15. Položaj pitot-cijevi u zrakoplovu
Izvor: [38]

Upravo je zamrzavanje Pitot-cijevi bio inicijalni događaj koji je doveo do ove nesreće. Ovaj problem se već pojavljivao kod zrakoplova Airbusa A330 te je bio prijavljen, ali nikad nije bio u potpunosti riješen. Također, analizom je utvrđeno da je posada pogrešno reagirala u trenutku kada je došlo do gubitka podataka o brzini te kada je zrakoplov ušao u stanje *stallinga*. U tim trenucima, piloti su trebali povratiti brzinu zrakoplova spuštajući nos zrakoplova, ali su oni još dodatno zakomplicirali situaciju podizanjem nosa zrakoplova. Naknadno je otkriveno da posada nije bila u dovoljnoj mjeri obučena za ručno upravljanje zrakoplovom u situacijama gubitka podataka o brzini što je ukazalo istražiteljima na potrebu za poboljšavanjem same obuke i procedura pri upravljanju zrakoplova u ovim i/ili sličnim scenarijima [36].

Nakon detaljne analize ove nesreće, poduzete su određene mjere da bi se poboljšala sigurnost zračnog prometa. Jedna od glavnih mjera koja je bila poduzeta od strane Airbusa bila je zamjena Pitot-cijevi s novim, unaprijeđenim modelima koji nisu bili podložni zamrzavanju. Također, provedena je revizija obuke da bi se omogućilo pilotima bolje razumijevanje potencijalne situacije kako bi se potaknulo njihovo ispravno reagiranje u slučaju pronalaska u situacijama gubitka podataka o brzini i gubitka uzgona. Konačno, proizvođači zrakoplova i zračni prijevoznici su uveli nove procedure za postupanje u sličnim situacijama koji su uključivali automatizirane sustave upozorenja i reakcija [36].

Ovom zrakoplovnom nesrećom je potvrđeno koliko su podaci iz FDR-a ključni za razumijevanje nesreća. Analiza podataka iz FDR-a istražiteljima pomaže pri rekonstrukciji događaja, identifikaciji uzroka i poduzimanju mjera koje će u budućnosti pomoći pri poboljšanju sigurnosti zračnog prometa. Da bi se slične zrakoplovne nesreće spriječile u budućnosti važno je kontinuirano unapređavati tehnologiju snimanja podataka i redovito provoditi obuku same posade [36].

5.1.2. Nesreća zrakoplova Asiana Airlines 214

Asiana Airlines 214 je bio međunarodni putnički let iz Seoula u Južnoj Koreji do San Francisca. Dana 6. srpnja 2013. godine, Boeing 777-200ER se srušio prilikom slijetanja na Međunarodnu zračnu luku San Francisco (slika 16.). U ovoj zrakoplovnoj nesreći poginule su tri osobe, a njih 187 je bilo ozlijeđeno. Ubrzo nakon nesreće, istražitelji su započeli opsežnu istragu da bi ustanovili koji je njezin uzrok te pri čemu su ključni podaci bili iz snimača podataka o letu [39].



Slika 16. Nesreća zrakoplova Boeing 777-200ER
Izvor: [40]

U ovoj zrakoplovnoj nesreći, istražitelji su odmah pronašli i analizirali FDR uređaj te su došli do sljedećih informacija [39]:

- podaci sa uređaja su pokazali da je zrakoplov prilazio uzletno-sletnoj stazi sa znatno nižom brzinom od one koja je predviđena. Uslijed toga, brzina zrakoplova je pala ispod preporučene brzine za slijetanje što se upravo pokazalo kritičnim faktorom u ovoj nesreći.
- FDR je također pokazao da je neposredno prije nesreće automatski potisak (engl. *autothrottle*) bio isključen, a piloti nisu na vrijeme povećali snagu motora da bi održali preporučenu brzinu za slijetanje.
- FDR podaci su pokazali da se zrakoplov približavao uzletno-sletnoj stazi pod prevelikim kutom što je posljedično uzrokovalo gubitak uzgona (engl. *stall*).
- također su zabilježeni podaci o upozorenjima u kokpitu, među kojima je bilo i upozorenje na nisku brzinu. Ustanovljena je kriva i zakašnjela reakcija posade na ova upozorenja.

Zbog podataka iz FDR-a istražitelji su ustanovili da je glavni uzrok ove zrakoplovne nesreće bila kritično niska brzina prilikom prilaska zrakoplova uzletno-sletnoj stazi. Zrakoplov je bio previše spor što je dovelo do naglog gubitka visine i udara zrakoplova o tlo. Nesreći je

svakako doprinijela činjenica što piloti nisu na ispravan način koristili automatski potisak u zrakoplovu. Također, piloti nisu na vrijeme reagirali na upozorenja te nisu ispravno pratili brzinu zrakoplova. Detaljnom analizom je utvrđen niz ljudskih pogrešaka, među kojima se isticao nedostatak situacijske svijesti posade i nedostatak pravilne koordinacije između članova posade tijekom kritične faze slijetanja. Istražitelji su također istaknuli na razne nedostatke koji su prisutni pri obuci pilota za ručnim ručnim upravljanjem zrakoplovom pri niskim brzinama i kritičnim fazama slijetanja, kao i na nedostatke u procedurama zračnog prijevoznika [39].

Nakon ove zrakoplovne nesreće uvedeno je nekoliko novih mjera kako bi se unaprijedila sigurnost u zračnom prometu kao što je poboljšanje obuke pilota i posade, promjene u procedurama te razna tehnička poboljšanja. Revidirala se obuka za pilote da bi se osiguralo bolje razumijevanje situacije i reakcije na situacije kada se zrakoplov nalazi na niskim brzinama i korištenje automatskog potiska. Posebna pažnja se posvetila na treniranje pilota na ručno upravljanje zrakoplovom u kritičnim situacijama. Također, zračni prijevoznici su uveli nove procedure za upravljanje brzinom i visinom tijekom prilaznja i slijetanja zrakoplova na uzletno-sletnu stazu te su isto tako uvedeni stroži protokoli za praćenje i upravljanje automatskim sustavima zrakoplova [39].

5.2. Uloga CVR-a u rekonstrukciji zrakoplovnih nesreća

Snimač zvuka u kokpitu, uz snimača podataka, predstavlja jedan od ključnih uređaja koji se koriste pri analiziranju i rekonstrukciji zrakoplovne nesreće. CVR bilježi zvučne informacije iz kokpita koji međuostalom uključuju razgovore pilota, komunikaciju sa kontrolom zračne plovidbe, zvukove alarma i razne druge zvukove unutar kokpita. Podaci iz CVR-a pružaju uvid u samu situacijsku svijest posade, njihovu neposrednu reakciju na kritične događaje te komunikacijske i proceduralne aspekte leta. Ključne funkcije CVR-a su sljedeće [41]:

- razumijevanje situacijske svijesti posade: zadaća uređaja je da snima sve razgovore između članova posade čime je istražiteljima omogućeno dublje razumijevanje percepcije pilota tijekom leta, što je od iznimne važnosti u trenucima koji su prethodili zrakoplovnoj nesreći.
- analiza komunikacije: uvidom u snimke komunikacije s kontrolom zračne plovidbe i unutar kokpita, istražitelji utvrđuju potencijalne probleme u komunikaciji koji su mogli prethoditi zrakoplovnoj nesreći.
- zvukovi i alarmi: budući da CVR bilježi zvukove alarma i druge zvukove koje proizlaze iz kokpita, istražiteljima su pružene informacije o potencijalnim tehničkim kvarovima ili drugim hitnim situacijama koje su se pojavile tijekom leta.
- proceduralni aspekti: istražitelji kroz analizu razgovora i postupaka pilota procjenjuju jesu li se slijedile propisane procedure i protokoli, te je li došlo do nekakvog odstupanja ili proceduralne pogreške.

Razne agencije i zračni prijevoznici, analizom CVR podataka iz prošlih nesreća uvode poboljšane treninge za pilote, kao i razne operativne postupke da bi se u budućnosti smanjila vjerojatnost ljudskih pogrešaka. Također, tijekom nesreća istražitelji analizom CVR uređaja mogu identificirati zvukove i alarme koji su bili prisutni tijekom nesreće čime posljedično u budućnosti može doći do razvoja naprednijih sustava upozorenja koji bi pomogli posadi tijekom kritičnih situacija. Podaci iz CVR-a također mogu ukazati na potrebe za poboljšavanjem komunikacijskih protokola, kako unutar kokpita, tako i između kokpita i kontrole zračne plovidbe [41].

U nastavku je dan opis dvije zrakoplovne nesreće koje potvrđuju ključnu ulogu CVR uređaja pri istraživanju zrakoplovnih nesreća i nezgoda.

5.2.1. Nesreća Swissair Flight 111

Dana 2. rujna 1998. godine, McDonnell Douglas MD-11, let Swissair 11 se srušio u Atlanski ocean u neposrednoj blizini kanadske obale. U ovoj zrakoplovnoj nesreći su preminuli svih 229 putnika i članova posade. Let je bio na putu iz New Yorka prema Genevi kada je posada primjetila i prijavila dim u kokpitu te zatim pokušala izvršiti hitno slijetanje u Halifax.

Pri analiziranju ove zrakoplovne nesreće, istražiteljima je CVR uređaj bio od iznimne važnosti. Budući da je CVR zabilježio prve znakove dima u kokpitu, istražitelji su bili u mogućnosti da identificiraju točni trenutak kada su u ovom zrakoplovu nastali problem što je bilo ključno za rekonstrukciju početnih stadija zrakoplovne nesreće. Zabilježeno je da je posada prijavila dim otprilike 14 minuta prije pada zrakoplova u Atlanski ocean. Snimke su pokazale samu reakciju pilota na dim te način na koji je posada pokušala riješiti ovaj problem. Jedan od njihovih pokušaja je uključivao isključivanje pojedinih električnih sustava u zrakoplovu. Zadnjih nekoliko minuta snimke CVR-a je zabilježilo samu eskalaciju ove situacije. Posada se do zadnjeg trenutka borila s povećanom količinom dima i vatre u kokpitu. Posljednji zapisi su ukazali na gubitak kontrole i orijentacije prije pada [42].

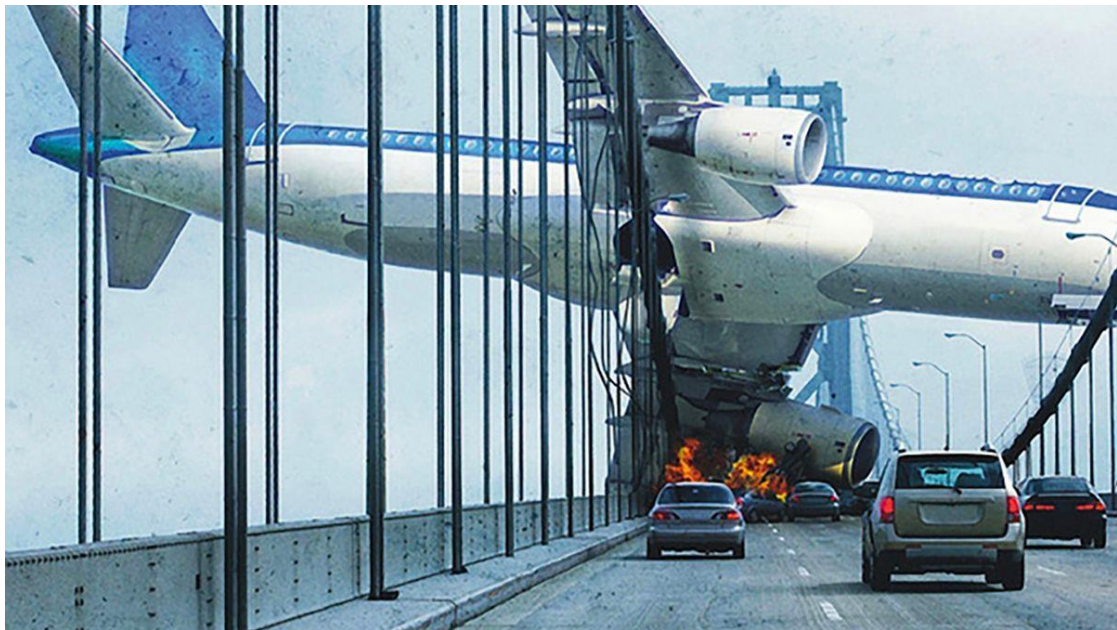
Detaljnou analizom istražitelji su ustanovili da je uzrok požara bio u električnom sustavu zrakoplova. Nakon ove nesreće, došlo je do značajnih promjena u dizajnu i materijalima električnih sustava zrakoplova kako bi se u budućnosti smanjio rizik od sličnih incidenata. Istražitelji su identificirali probleme koji su bili povezani s izolacijskim materijalima što je posljedično dovelo do promjena u standardima za materijale koji se koriste u unutrašnjosti zrakoplova da bi se postigla bolja otpornost na vatru [42].

5.2.2. Nesreća Air Florida Flight 90

Dana 13. siječnja 1982. godine, let Air Florida 90, Boeing 737-222, srušio se ubrzo nakon polijetanja iz Washington National Airport, udarivši u 14th Street Bridge (slika 17.) i zatim se srušio u rijeku Potomac. U ovoj zrakoplovnoj nesreći su poginule 74 osobe, dok je pet putnika preživjelo [43].

Analizom uređaja su zabilježeni razgovori između pilota koji su međusobno komentirali loše vremenske uvjete i probleme s odleđivanjem. Zabilježeni razgovor je ukazao na nesigurnost i neodlučnost posade vezano uz procedure odleđivanja zrakoplova, što je bilo ključno za razumijevanje ove nesreće te je utvrđeno da postupci odleđivanja nisu bili adekvatno provedeni. Snimka je otkrila neslaganje između kapetana i kopilota u vezi s postupcima tijekom polijetanja. Kopilot je izrazio svoju zabrinutost kapetanu zbog snage motora, no unatoč tome kapetan je odlučio nastaviti s polijetanjem. U posljednjim zabilježenim trenucima na snimci, prikazani su pokušaji posade da podignu zrakoplov, no zbog veće količine nakupljenog leda na krilima i u motorima, zrakoplov nije uspio dobiti dovoljno uzgona te je pao [43].

Nakon ove nesreće, procedure odleđivanja i zaštite zrakoplova protiv ponovnog zaleđivanja prije polijetanja su se značajno poboljšale. Zračni prijeznici su bili dužni uvesti strože protokole te obuku za posadu da bi se osiguralo ispravno odleđivanje zrakoplova u zimskim uvjetima. Ova zrakoplovna nesreća je istaknula važnost jasne i učinkovite komunikacije među članovima posade, što je posljedično dovelo do poboljšanja CRM (engl. *Crew Resource Management*) programa diljem zrakoplovne industrije [43].



Slika 17. Trenutak udara zrakoplova Boeing 737-222 u most
Izvor: [44]

5.3. Integracija i primjena podataka FRD-a i CVR-a u rekonstrukciji zrakoplovnih nesreća

Integracija podataka prikupljenih iz FDR-a i CVR-a predstavlja temelj za istraživanje i rekonstrukciju zrakoplovnih nesreća. Budući da FDR bilježi tehničke parameter leta, a CVR snima razgovore i zvukove unutar kokpita istražiteljima je kombinacija ova dva uređaja

potrebna da bi stvorili cjelokupni pregled događaja koji su prethodili zrakoplovnoj nesreći. Integracijom podataka iz FDR-a i CVR-a, istražiteljima je omogućeno [41]:

- rekonstruiranje tijeka događaja: spajanjem tehničkih podataka i komunikacije posade omogućeno je stvaranje točne kronologije događaja koji su prethodili zrakoplovnoj nesreći. Na primjer, podaci iz FDR-a mogu ukazati na gubitak visine, dok CVR snimka može otkriti da je posada raspravljala o problemima s upravljanjem.
- identificiranje ljudskih i tehničkih faktora: dok FDR podaci ukazuju na tehničke problem, CVR snimke pružaju kontekst za ljudske faktore, kao što je primjerice stres ili pogrešna procjena pilota. Međusobna kombinacija FDR-a i CVR-a istražiteljima omogućuje sveobuhvatnu analizu uzroka zrakoplovne nesreće.
- razvijanje preporuka za sigurnost: analizom integriranih podataka omogućeno je identificiranje sustavnih propusta i formuliranje konkretnih preporuka za poboljšanje sigurnosti u zrakoplovstvu. Primjerice, ako CVR otkrije da posada nije bila adekvatno obučena za određenu situaciju, to može posljedično dovesti do revizija procedura obuke.

Integracija i primjena podataka iz FDR-a i CVR-a je ključna za detaljno razumijevanje zrakoplovnih nesreća. Kombinacija tehničkih informacija i komunikacije omogućava istražiteljima precizno rekonstruiranje tijeka događaja, identificiranje uzroka nesreće i formuliranje sigurnosnih preporuka.

6. INOVACIJE U ANALIZI PODATAKA

Analiza podataka iz snimača leta predstavlja ključni element u razumijevanju uzroka zrakoplovnih nesreća i implementaciji sigurnosnih mjera u zrakoplovstvu. Napredak tehnologije u ovom području kontinuirano poboljšava sposobnost istražitelja da rekonstruira događaje, identificira ključne uzroke nesreća te predloži preventivne mjere radi smanjenja rizika u budućnosti. Zbog potrebe za sigurnijim načinom čuvanja zabilježenih podataka i poboljšanjem performansi FDR-a i CVR-a snimača dolazi do razvoja različitih vrsta uređaja i tehnologije. Proizvodnja novih uređaja mora udovoljavati zahtjevima koji su detaljno opisani u Prilogu 6 – Operacije zrakoplova (engl. *Aircraft Operations*) Međunarodne konvencije o civilnom zrakoplovstvu [30].

6.1. Kombinirani snimač leta

Koncept kombiniranog snimača leta predstavlja značajan napredak u tehnologiji zrakoplovne sigurnosti. Tradicionalno, FDR i CVR su bili odvojeni uređaji, pri čemu svaki obavlja ključnu ulogu u istrazi nesreća. Međutim, integracija ovih funkcionalnosti u jedan uređaj nudi nekoliko prednosti, uključujući poboljšanu pouzdanost, smanjenu masu i složenost te unaprijeđene mogućnosti povrata podataka nakon nesreće [30].

Kombinirani snimač leta objedinjuje funkcije FDR-a i CVR-a u jedinstvenu jedinicu, obično instaliranu na strateškim lokacijama unutar zrakoplova. Jedan se uređaj locira u prednjem dijelu zrakoplova, u blizini kokpita, dok je drugi obično lociran prema stražnjem dijelu zrakoplova. Bliža lokacija kokpitu podrazumijeva kraći kabel do uređaja što smanjuje mogućnost oštećenja žice u slučaju da se dogodi nezgoda, a lokacija u stražnjem dijelu zrakoplova podrazumijeva smještaj u najsigurnijem dijelu zrakoplova. Ova integracija omogućava sinkronizirano snimanje podataka i olakšava postupke održavanja. Prednosti kombiniranog snimača leta su sljedeće [45]:

- integracija podataka: kombinirani snimač leta snima i parametre leta (kao što su visina, brzina i smjer) i komunikacije u kokpitu, pružajući istražiteljima cjelovit skup podataka za rekonstrukciju nesreće.
- pouzdanost: eliminacijom potrebe za odvojenim uređajima, kombinirani snimač leta smanjuje moguće točke kvara i pojednostavljuje postupke povrata podataka.
- ušteda u masi i prostoru: spajanjem funkcija FDR-a i CVR-a u jedan uređaj rezultira smanjenjem težine i štedi vrijedan prostor unutar zrakoplova, što je ključno za učinkovitost potrošnje goriva i performanse.

Iako kombinirani snimač leta nudi brojne prednosti, postoje i razni izazovi povezani s njegovom implementacijom [45]:

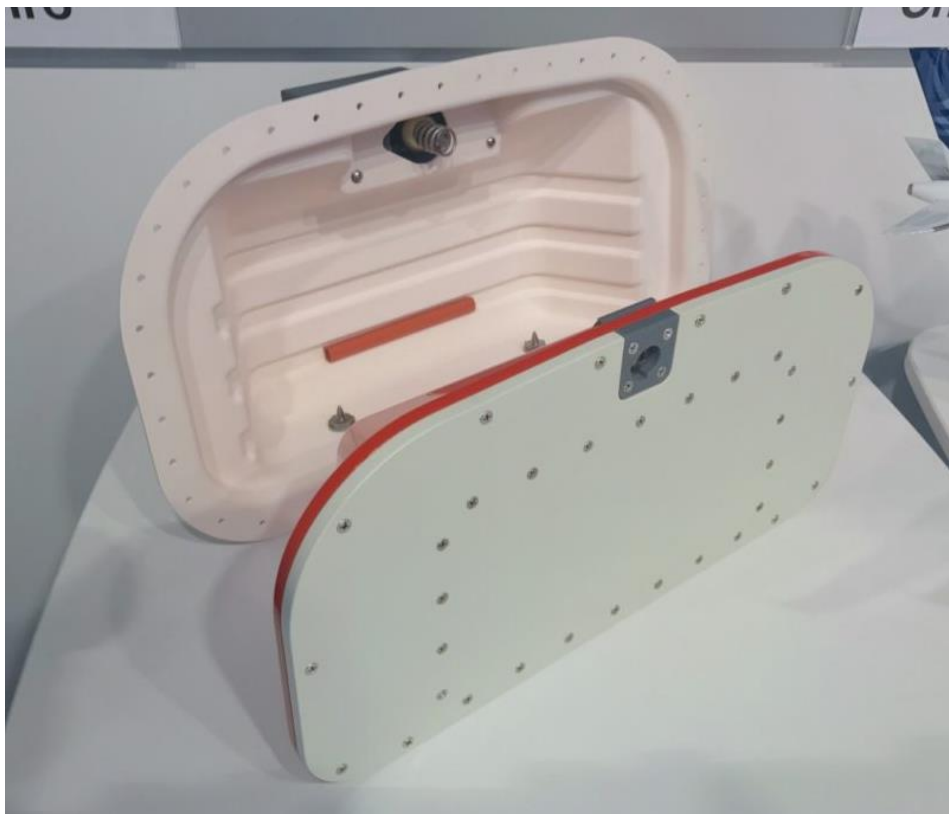
- tehnička integracija: usklađivanje funkcija FDR-a i CVR-a zahtijeva sofisticirani tehnički pristup i rigorozno testiranje kako bi se zadovoljili strogi zrakoplovni standardi.

- sigurnost i integritet podataka: kombiniranje osjetljivih podataka leta i audio zapisa zahtijeva snažne mjere šifriranja i zaštite podataka kako bi se spriječio neovlašteni pristup i osigurao integritet podataka.

Uspostava CFR tehnologije predstavlja značajan korak naprijed u zrakoplovnoj sigurnosti. Nastavak istraživanja i razvoja usmjeren je na daljnje unapređenje mogućnosti kombiniranih snimača leta, uključujući naprednu analitiku podataka, prijenos podataka u stvarnom vremenu i poboljšane značajke „preživljavanja“ u slučaju nesreće [45].

6.2. Automatsko odvojivi uređaj za snimanje leta

Alternativni snimač koji tijekom leta sadrži informacije koje su snimljene FDR i CVR uređajem je automatsko odvojivi uređaj za snimanje leta (engl. *Automatic Deployable Flight Recorder - ADFR*) prikazan na slici 18. U zrakoplovu, ADFR je instaliran ispod oplata (engl. *skin*) te se kod helikoptera nalazi sa bočne strane trupa. ADFR ima mogućnost da putem vlastitih senzora detektira sam početak zrakoplovne nesreće. Odnosno, u slučaju da ADFR dođe u kontakt sa vodom, ili se deformira, prema sustavu opruge se odvaja od samog zrakoplova [30].



Slika 18. ADFR uređaj
Izbor: [7]

ADFR se nalazi u kaljenom kontejneru koji štiti opremu, i u slučaju da zrakoplov potone, osigurava plutanje uređaja. Ako se zrakoplov ošteti u zraku, ADFR se služi mehanizmom koji osigurava pouzdano i brzo odvajanje uređaja. Također, u slučaju izvrednih situacija, ADFR ima odašiljač lokacije (engl. *Emergency Location Transmitter - ELT*) koji će u slučaju hitnih

slučajeva odašiljavati signal te tako spasilačkoj službi služiti kao uređaj za navođenje. Satelitskim i potražnim brodovima i zrakoplovima se može detektirati signal. Nužan je daljnji razvoj ADFR tehnologije zbog toga što je potraga za CVR i FDR uređajima iznimno teška u slučaju zrakoplovne nesreće iznad neke vodene površine. Također, na vojnim helikopterima i avionima koji često lete preko vodenih površina instalirana je ova vrsta snimača. Unatoč tome što komercijalni zrakoplovi ne sadrže ovu vrstu snimača, započeo je razvoj ADFR uređaja za komercijalne letove te će se u budućnosti najvjerojatnije koristiti [7].

Istraživanjem zrakoplovnih nesreća u kojima su sudjelovali zrakoplovi opremljeni ADFR uređajem utvrđena je visoka mehanička otpornost uređaja te je stopostotna uspješnost oporavka snimki ADFR uređaja. Vojni zrakoplov F/A-18F Super Hornet je 2005. godine doživio nesreću kada je nakon bezuspješnog pokušavanja slijetanja na uzletno-sletnu stazu potonuo u more. Nakon šest godina je uređaj pronađen bez postojanja ikakvih mehaničkih oštećenja te su snimljeni podaci sa ADFR uređaja uspješno preuzeti. Bez obzira što je uređaj plutao dugi niz godina, zanemariv je bio korozivni utjecaj morske vode na uređaj. Najveći nedostatak ADFR uređaja je što postoji vjerojatnost da uređaj krivo proglasi situaciju hitnom te se tako bespotrebno odvoji od zrakoplova. U ovom slučaju, došlo bi do dodatnih financijskih troškova te bi tada snimka leta bila neupotrebljiva i nepotpuna [7].

6.3. Snimač slike kokpita

Snimač slike kokpita prikazan na slici 19. (engl. *Cockpit Image Recorder – CIR*) predstavlja naprednu tehnologiju koja omogućuje kontinuirano snimanje vizualnih informacija iz kokpita tijekom leta zrakoplova. Ovaj uređaj koristi visokokvalitetne kamere i senzore kako bi zabilježio aktivnosti posade, stanje instrumenata, kontrolne panele i druge bitne aspekte okruženja unutar kokpita. Snimač slike kokpita koristi kamere koje su raspoređene unutar kokpita kako bi uhvatio širok spektar informacija. Sve snimljene informacije se pohranjuju digitalno na posebnu memoriju unutar uređaja [7].

Prednosti korištenja snimača slike kokpita su brojne. Omogućuje detaljnu rekonstrukciju događaja u kokpitu u slučaju nesreće ili incidenta. Također, pruža vrijedan alat za analizu operativnih postupaka posade, trening i obuku, kao i kontinuirano praćenje performansi zrakoplova. Unatoč ovim prednostima, CIR tehnologija se trenutno ne primjenjuje u komercijalnim zrakoplovima jer se smatra neprikladnim snimanje aktivnosti posade i putnika. Također, ICAO ne preporučuje instaliranje kamere u kokpit zbog mogućnosti otežavanja istražnog postupka videosnimkama te time postoji mogućnost da se istražitelji dovedu na krivi put [7].

U budućnosti, snimač slike kokpita mogao bi biti iznimno koristan alat u istraživanju zrakoplovnih nesreća radi identifikacije uzroka ili doprinosa incidentima. Važno je osigurati da pristup snimljenim podacima bude kontroliran i ograničen, te da se koristi isključivo u svrhu sigurnosti i poboljšanja letnih operacija. Budući razvoj tehnologije uključuje poboljšanje rezolucije kamera, integraciju s naprednim analitičkim softverom te prilagodbu tehničkih

zahtjeva za komercijalnu upotrebu. Očekuje se da će snimači slike kokpita postati standardna oprema u zrakoplovima radi poboljšanja sigurnosti leta i operativne učinkovitosti [7].

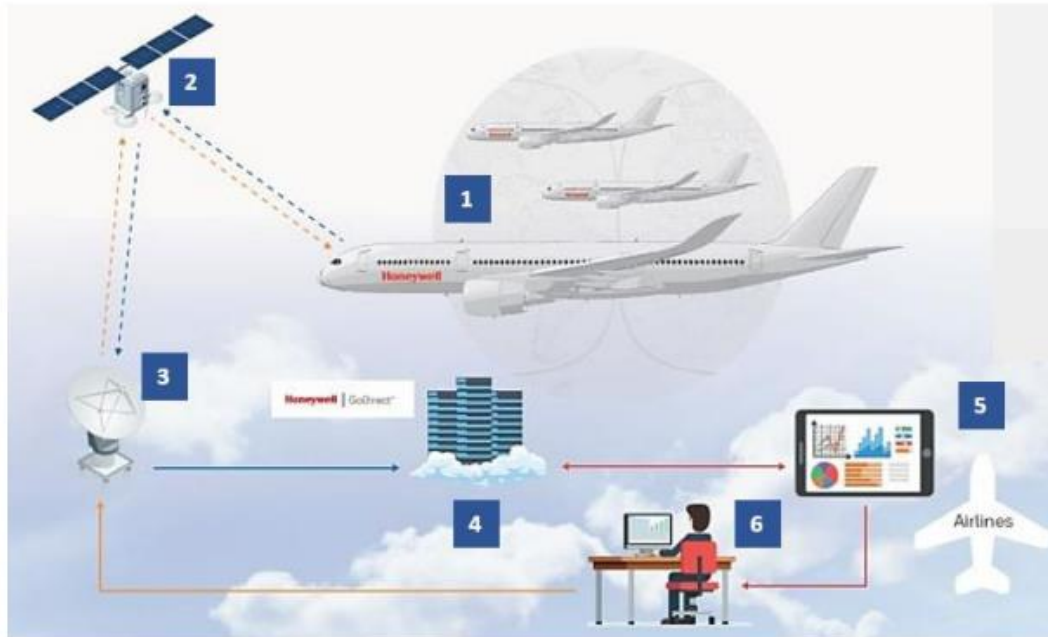


Slika 19. Snimač slike kokpita
Izvor: [30]

6.4. Uređaj za snimanje leta dostupan tijekom leta zrakoplova

Najnovijim tipom snimača leta omogućen je pristup snimljenim podacima u bilo kojem trenutku. Snimljeni podaci se pohranjuju u takozvani „oblak“ što predstavlja virtualnu bazu podataka koja posjeduje neograničenu memoriju. Budući da ovaj sustav u slučaju zrakoplovne nesreće ne zahtjeva traganje za uređajima, od velike je važnosti u trenucima kada se izgubi veza sa zrakoplovom ili kada zrakoplov nestane sa radara [46].

Za vrijeme leta zrakoplovom, proizvođač zrakoplova i operator imaju pristup zabilježenim podacima te je veza sa zrakoplovom uspostavljena putem satelitskog komunikacijskog sustava. Princip rada ovakvog tipa snimača leta je prikazan na slici 20.



Slika 20. Princip rada HCR-25 uređaja
Izvor: [7]

Princip rada uređaja HCR-25 (engl. *Honeywell Connected Recorder 25-HCR-25*) je objašnjen na slici 20. prema infografici tvrtke Honeywell AEROSPACE (2022), pri čemu točke od 1 do 6 predstavljaju sve sudionike i funkcije te njihove oznake su sljedeće [7]:

1. nadzirani zrakoplov,
2. trenutna i buduća satelitska globalna mreža,
3. zemaljska stanica čija je zadaća da obrađuje zaprimljene podatke te da ih potom prusmjerava u podatkovni centar,
4. podatkovni centar čija je zadaća pohranjivanje i održavanje primljenih podataka za cijelu flotu,
5. analiziranje podataka koje provode operaterove organizacije za osiguranje kvalitete, održavanje, uzbunjivanje i organizacije za slučaje opasnosti i
6. zemaljsko osoblje koje u slučaju potrebe može zatražiti dodatne zabilježene podatke s CVR i FDR uređaja.

U slučaju da dođe do zrakoplovne nesreće, informacije pohranjene na snimaču se prosljeđuju istražiteljima i nadležnim tijelima koji odmah mogu započeti proces utvrđivanja okolnosti koje su dovele do zrakoplovne nesreće, odnosno i prije samog pronaska uređaja. Ova tehnologija je proizvod poznatog proizvođača uređaja za snimanje leta Honeywell te se ova tehnologija označuje za kraticom HCR-25. HCR-25 je namjenjen za potrebe komercijalnog zrakoplovstva te bi bilo omogućeno snimanje podataka o letu i snimanje glasa u pilotskoj kabini [7].

Razvijene su različite varijante ovog snimača te je omogućen pojedinačni FDR i CVR uređaj ili njihova kombinirana verzija. Uz osnovne parametre kao što su brzina, visina i smjer, HCR-25 snima podatke o razini goriva i o radu motora [7].

Zbog mogućnosti praćenja podataka u realnom vremenu omogućeno je pravovremeno uočavanje određenih anomalija te grešaka te se na taj način može predvidjeti ili čak spriječiti zrakoplovna nesreća. Broj 25 u nazivu uređaja označava mogućnost snimanja glasa u kokpitu u trajanju do 25 sati, što je bilo ograničeno na 2 sata kod prethodnih uređaja. Ova sposobnost je bila zahtjev od strane EASA-e koji je stupio na snagu 2021. godine te je u svibnju iste godine i certificiran od strane EASA-e [7].

Ističu se sljedeće specifikacije uređaja [7]:

- masa od 3,7 kg,
- ULB s mogućnošću rada od 90 dana,
- istrajnost od 24 sata u zrakoplovnim fluidima,
- istrajnost od 30 dana u morskoj vodi i
- hidrostatički tlak ekvivalentan dubini od 6.096 metara.

6.5. Primjena Big Data analitike pri rekonstrukciji nesreća

Zrakoplovna industrija je oduvijek koristila nepredne tehnologije za poboljšanje sigurnosti, učinkovitosti i pouzdanosti. S razvojem digitalizacije i Interneta stvari (engl. *Internet of Things* – IoT), količina podataka koje zrakoplovi generiraju eksponencijalno je porasla. Ovi podaci uključuju podatke o letu, glasovne zapise iz kokpita, radarske podatke, podatke iz sustava za održavanje i mnoge druge izvore. Big Data analitika, kao moderna metoda obrade i analize velikih količina podataka, postala je bitan aspekt pri rekonstrukciji zrakoplovnih nesreća. Uvođenje Big Data analitike pri rekonstrukciji nesreća omogućeno je dublje razumijevanje događaja koji su doveli do nesreće, kao i identifikaciju uzroka i razvoj preventivnih mjera. Prije pojave Big Data analitike, istražitelji zrakoplovnih nesreća oslanjali su se na ograničene podatke koji su prikupljeni iz FDR-a i CVR-a, svjedočanstva posade i putnika, te fizičke dokaze prikupljene s mjesta nesreće. Iako su ove metode bile učinkovite, često su bile ograničene u svojoj sposobnosti da pruže potpunu sliku događaja koji su doveli do nesreće. Pojava Big Data analitike omogućila je analizu mnogo većeg broja podataka iz različitih izvora, čime je omogućeno dublje razumijevanje uzroka zrakoplovne nesreće [47].

Prvi korak u korištenju Big Data analitike za rekonstrukciju zrakoplovnih nesreća je prikupljanje relevantnih podataka. Ovi podaci mogu uključivati: podatke iz FDR-a i CVR-a, radarske podatke, meteorološke podatke i slično. Moderni zrakoplovi su opremljeni različitim sensorima i uređajima za snimanje podataka, kao što su:

- letni podaci: informacije prikupljene tijekom leta, kao što su primjerice brzina, visina, položaj, ubrzanje, performanse motora i drugi parametri.

- podaci iz senzora: zrakoplovi su opremljeni tisućama senzora koji prate različite aspekte rada zrakoplova, kao što su primjerice temperatura, tlak, vibracije i slično.
- komunikacijski podaci: podaci iz komunikacije između pilota i kontrole zračne plovidbe, kao i komunikacija između posade.
- podaci o održavanju: informacije o redovitim pregledima, popravcima i zamjenama dijelova na zrakoplovu.

Nakon prikupljanja svih ovih navedenih podataka, potrebno je napraviti njihovu obradu i čišćenje kako bi se osigurala njihova točnost i relevantnost. Ovo uključuje uklanjanje nepotpunih ili neispravnih podataka, te normalizaciju podataka iz različitih izvora kako bi se isti mogli uspoređivati i analizirati. Nakon obrade podataka, slijedi faza analize. Big Data analitika koristi napredne algoritme i metode za otkrivanje obrazaca i anomalija u podacima. Ove analize mogu otkriti ključne informacije o tome što je dovelo do nesreće, primjerice je li došlo do tehničkog kvara ili ljudske pogreške, jesu li vremenski uvjeti utjecali na let te je li reakcija posade na izvanrednu situaciju bila ispravna [47].

Big Data analitika zahtijeva funkcionalan sustav za pohranu i upravljanje velikim količinama podataka. Tehnologije poput distribuiranih baza podataka, *cloud computing*-a i naprednih algoritama za pretraživanje omogućuju brzo i učinkovito pohranjivanje i pristup podacima. Distribuirane baze podataka omogućuju pohranu podataka na više lokacija, čime se povećava dostupnost podataka. Korištenje *cloud* infrastrukture za pohranu i obradu podataka omogućava efikasnost i fleksibilnost u upravljanju podacima. Također, korištenjem naprednih algoritama za pretraživanje omogućeno je brzo pretraživanje i analiza velike količine podataka čime se identificiraju relevantne informacije koje su ključne pri rekonstrukciji nesreća [48].

Big Data analitika uključuje korištenje različitih metoda za analizu podataka, kao što su [48]:

- strojno učenje: algoritmi strojnog učenja se koriste pri prepoznavanju obrazaca u podacima, predviđanju događaja i identificiranju anomalija.
- statistička analiza: korištenjem statističkih metoda za analizu podataka omogućena je identifikacija trendova i korelacija između različitih parametara.
- vizualizacija podataka: alati za vizualizaciju omogućuju istražiteljima bolje raumijevanje podataka kroz grafičke prikaze informacija, čime se olakšava identifikacija ključnih aspekata nesreće.

U poglavlju 5, obrađena je zrakoplovna nesreća Air France Flight 447, koja ujedno predstavlja jedan od najpoznatijih primjera primjene Big Data analitike pri rekonstrukciji zrakoplovnih nesreća. Naime, istražitelji su koristili Big Data analitiku kako bi analizirali podatke iz FDR-a i CVR-a, kao i meteorološke podatke i podatke o performansama zrakoplova. Korištenjem ove analitike je otkriveno da je do ove nesreće došlo zbog kombinacije tehničkih

problema (smrzavanje Pitot-cijevi) i ljudskih pogrešaka (neadekvatne reakcije posade na gubitak podataka o brzini).

Primjena Big Data analitike u zrakoplovstvu nastaviti će se razvijati i unapređivati. Jedan od ključnih izazova u primjeni Big Data analitike je integracija podataka iz različitih izvora. Ovo uključuje: integraciju letnih podataka i podataka iz senzora, integraciju komunikacijskih podataka i integraciju podataka o održavanju. Kombinacija podataka prikupljenih tijekom leta i podataka iz senzora omogućena je sveobuhvatnija analiza zrakoplovne nesreće. Integracijom komunikacijskih podataka omogućeno je povezivanje podataka iz komunikacije s letnim podacima čime se pomaže pri razumijevanju situacije u kokpitu i odluka posade. Također, integracijom podataka o održavanju se pružaju važne informacije o tehničkom stanju zrakoplova prije nesreće. Da bi se ovi izazovi uspješno riješili, biti će potrebno razviti napredne algoritme u cilju poboljšanja analize podataka te povećati kapacitete potrebne za prikupljanje i obradu podataka kroz upotrebu novih senzora i sustava. Suradnja između različitih dionika u zrakoplovnoj industriji je nužna da bi se poboljšala razmjena podataka i zajednička analiza [48].

Primjena Big Data analitike u rekonstrukciji zrakoplovnih nesreća pruža mnoge prednosti. Omogućena je brža i preciznija rekonstrukcija zrakoplovnih nesreća uz korištenje naprednih algoritama čime se omogućuje brža analiza velike količine podataka i preciznija rekonstrukcija događaja. Također, analizom velike količine podataka omogućeno je identificirati uzroke nesreće koji bi inače mogli ostati neotkriveni. Isto tako, na temelju analize podataka moguće je razviti mjere za sprječavanje sličnih nesreća u budućnosti.

Unatoč brojnim prednostima, primjena Big Data analitike u rekonstrukciji nesreća, suočava se i sa raznim izazovima. Za postizanje točnosti analize nužno je osigurati određenu kvalitetu podataka koji su prikupljeni iz različitih izvora. Također, potrebno je osigurati sigurnost podataka te je nužno zaštititi podatke od neovlaštenih pristupa i kibernetičkih napada. Veliki izazov za zrakoplovnu industriju predstavlja i zaštita privatnih podataka. Nužno je provoditi stroge protokole i regulacije pri osiguranju privatnosti podataka te posebno onih koji uključuju osobne informacije.

Korištenjem Big Data analitike u zrakoplovstvu revolucioniran je način na koji se provodi rekonstrukcija zrakoplovnih nesreća. Korištenjem naprednih tehnologija za prikupljanje, pohranu, analizu i integraciju podataka omogućena je brža, preciznija i sveobuhvatnija analiza događaja koji su doveli do nesreće. Unatoč izazovima vezanim uz kvalitetu, sigurnost i privatnost podataka, prednosti Big Data analitike značajno doprinose poboljšanju sigurnosti u zrakoplovnoj industriji. Primjena ovih tehnologija ne samo da pomaže u rekonstrukciji nesreća, već i u razvoju preventivnih mjera koje mogu spriječiti slične nesreće u budućnosti [49].

6.6. Etika i sigurnost podataka u analizi zrakoplovnih podataka

Analiza zrakoplovnih nesreća je od ključne važnosti pri povećanju sigurnosti u zračnom prometu. Međutim, prilikom obrade i analize podataka dobivenih iz snimača leta važno je pridržavanje etičkih principa i osiguravanje sigurnosnih podataka i samih putnika. Podaci koji su prikupljeni iz FDR-a i CVR-a mogu sadržavati osjetljive informacije o posadi i o putnicima. Primjerice, osjetljivi podaci mogu biti privatni razgovori, osobni podaci i druge informacije koje je potrebno zaštititi. Zaštita privatnosti je posebno važna kada se radi o snimkama iz kokpita, jer one mogu sadržavati ne samo tehničke podatke nego i osobne razgovore pilota i posade. Osiguranje povjerljivosti tih podataka je ključna da bi se spriječila zloupotreba i zaštita prava pojedinaca.

Bez obzira što je transparentnost u objavljivanju rezultate istrage važna zbog povećanja sigurnosti i edukacije javnosti, potrebno je pažljivo uravnotežiti pravo na informaciju s pravom na privatnost. Objavljivanje previše detalja iz audio zapisa ili drugih osjetljivih podataka može dovesti do narušavanja privatnosti posade i putnika. U tim situacijama, podaci bi trebali biti anonimizirani u vidu zaštite identiteta uključenih osoba. Prijenos podataka iz uređaja za snimanje leta na analize sustave mora biti siguran kako bi se spriječilo neovlašteno presretanje ili manipulacija podacima. Korištenje enkripcije je ključna mjera u ovom procesu. Enkripcija osigurava da podaci ostanu nečitljivi za neovlaštene osobe tijekom prijenosa. Također, korištenje sigurnih komunikacijskih kanala i tehnologija kao što su VPN (engl. *Virtual Private Network*) može dodatno osigurati sigurnost podataka tijekom prijenosa [50].

Podaci moraju biti pohranjeni na siguran način, uz primjenu stroge kontrole pristupa kako bi se spriječio neovlašteni pristup. Redovito ažuriranje sigurnosnih sustava i primjena najboljih praksi za *cyber* sigurnost su od ključne važnosti. Sigurna pohrana podataka uključuje korištenje enkripcije za zaštitu podataka u mirovanju, kao i implementaciju sigurnosnih kopija kako bi se osigurala dostupnost podataka u slučaju tehničkih problema ili *cyber* napada. Također, osiguranje integriteta podataka je od ključne važnosti za spriječavanje neovlaštenog mijenjanja podataka. Ovo uključuje korištenje tehnologija kao što su primjerice digitalni potpisi koji osiguravaju da podaci nisu izmijenjeni nakon što su stvoreni i *hash* funkcije za provjeru autentičnosti podataka [50]. *Hash* funkcija predstavlja algoritam koji pretvara ulazne podatke u fiksnu duljinu niza znakova koji su uobičajno predstavljeni kao heksadecimalni broj. Za provjeru autentičnosti podataka, *hash* se koristi za osiguranje integriteta podataka. Kada su podaci stvoreni, generira se njihova hash vrijednost te se pohranjuje zajedno s podacima. Prilikom provjere, izvorni podaci ponovno prolaze kroz *hash* funkciju te se dobivena *hash* vrijednost uspoređuje s pohranjenom *hash* vrijednošću. Ako se vrijednosti podudaraju, to znači da podaci nisu izmijenjeni. Ako se vrijednosti razlikuju, podaci su vjerojatno promijenjeni ili oštećeni [51].

ICAO postavlja smjernice i standard za prikupljanje, pohranu i analizu podataka iz uređaja za snimanje leta. Ove smjernice uključuju mjere za zaštitu privatnosti i sigurnosti podataka. ICAO standardi također definiraju tehničke zahtjeve za uređaje za snimanje leta,

uključujući minimalne specifikacije za pohranu podataka i sigurnosne mjere koje se moraju primijeniti. Nacionalne zrakoplovne vlasti implementiraju ICAO smjernice u lokalne propise i osiguravaju njihovu provedbu. U Republici Hrvatskoj, Agencija za civilno zrakoplovstvo (engl. *Croatian Civil Aviation Agency - CCAA*) ima ključnu ulogu u reguliranju i nadzoru primjene ovih standarda. Nacionalni propisi uključuju detaljne zahtjeve za instalaciju i održavanje uređaja za snimanje leta, kao i smjernice za analizu i pohranu podataka.

Analize nesreće Germanwings Flight 9525 ukazala je na važnost etičkog pristupa pri analizi podataka. Tijekom istrage, podaci iz CVR-a ukazali su na namjerne radnje koplota. Objavljivanje ovih podataka izazvao je veliki interes javnosti i pokrenulo raspravu o mjeri u kojoj trebaju biti zastupljeni javni interes i zaštita privatnosti pojedinca. Nesreća je također pokrenula raspravu o psihičkom stanju pilota i potrebama za boljim praćenjem mentalnog zdravlja posade.

Korištenjem tehnologija kao što su *blockchain* za osiguranje integriteta podataka te naprednih enkripcijskih metoda za zaštitu podataka prilikom prijenosa i pohrane postaju sve važniji pri analizi zrakoplovnih nesreća. *Blockchain* tehnologija može osigurati transparentnost i nepovredivost podataka, dok napredne enkripcijske metode štite podatke od neovlaštenog pristupa tijekom prijenosa i pohrane.

Razvoj tehnologije donosi nove izazove za etiku i sigurnost podataka u zrakoplovstvu. Integracija umjetne inteligencije i strojnog učenja u analizi zrakoplovnih nesreća može poboljšati točnost i učinkovitost analiza, ali također javljaju se nova etička pitanja kao što su primjerice, kako osigurati da umjetna inteligencija donosi odluke na osnovi etičkih prihvatljivih načina. Također, potrebno je ustanoviti novi pristup pri osiguranju sigurnosti podataka jer su zrakoplovi povezani s različitim senzorskim mrežama, a upotreba internet je svima svakodnevno dostupna. Nužno je osigurati da svi uređaji i senzori u zrakoplovu imaju visoku razinu zaštite podataka. Razumijevanje i rješavanje etičkih i sigurnosnih izazova usko je povezano s analizom podataka zrakoplovnih nesreća te je potrebna kontinuirana edukacija, suradnja između različitih sudionika i kontinuirano praćenje tehnološkog razvoja. Samo kroz sveobuhvatan i holistički pristup se može osigurati da zračni promet ostane siguran, učinkovit i etički odgovoran [50].

7. PRIMJENA REZULTATA ISTRAŽIVANJA U PRAKSI

U istraživanju zrakoplovnih nesreća, ključno je primjeniti rezultate istraživanja kako bi se u budućnosti poboljšala sigurnost zračnog prometa i spriječila buduće nesreće. Podacima prikupljenim putem FDR-a i CVR-a, istražiteljima je pružen uvid u niz tehničkih i ljudskih faktora koji su doveli do zrakoplovne nesreće. Nakon analize, dobiveni rezultati istraživanja implementiraju se kroz različite prakse i regulacije. Rezultati istraživanja često pružaju uvid u razne tehničke nedostatke ili kvarove koji su pridonijeli zrakoplovnoj nesreći. Na temelju ovih rezultata, proizvođači zrakoplova mogu razviti i implementirati tehnološke nadogradnje na zrakoplovu. Na primjer, ako je nakon neke nesreće ustanovljeno da su određeni dijelovi zrakoplova pokazali slabosti tijekom nesreće, proizvođači zrakoplova bi trebali razmišljati o razvijanju novih materijala ili dizajna koji bi primjerice povećali otpornost na stres i udarce.

Ljudske greške često budu ključni faktori koji su doprinijeli zrakoplovnoj nesreći. U tim situacijama, zadaća je zračnih prijevoznika i agencija da poboljšaju trening za posadu i/ili porade na standardizaciji procedura. Poželjno je kontinuirano uvođenje novih treninga za pilote i posadu kako bi se osigurala pravovremena i ispravna reakcija posade u slučaju izvanrednih situacija. Također je potrebno redovito provoditi razvijanje i implementaciju strožih procedura kojih bi se posada trebala pridržavati kako bi se smanjila mogućnost ljudske pogreške.

Nakon nesreće, rezultati istraživanja mogu dovesti do promjena u regulacijama koje se odnose na sigurnost zračnog prometa. Ovo može rezultirati uvođenjem novih ili ažuriranjem postojećih sigurnosnih propisa kojih bi se zračni prijevoznici trebali pridržavati. Također, na temelju rezultata istraživanja, može se propisati obavezna instalacija novih vrsta uređaja za snimanje leta, kao što su kombinirani CVFDR uređaji ili automatski izbacujući snimači leta. Implementacijom sigurnosnih protokola koji su rezultat istraživanja nesreća može doći do značajnog smanjenja rizika od budućih incidenata. Određene komponente zrakoplova zahtijevaju česte i detaljne tehničke preglede da bi se postigao zadovoljavajući nivo sigurnosti. Poželjno je provoditi sigurnosne kampanje u vidu raznih edukacija pilota, posade i putnika o novim sigurnosnim protokolima i procedurama.

Poželjno je korištenje napredne tehnologije za prikupljanje i analizu podataka, te bi se rezultati istraživanja trebali primjeniti za razvoj novih alata i sustava koji bi poboljšali sigurnost zračnog prometa. Industrija zračnog prometa bi trebala učiti iz prošlih nesreća i kontinuirano raditi na smanjenju rizika od budućih sličnih incidenata.

7.1. Implementacija preporuka iz istraživanja zrakoplovnih nesreća

Nakon završene istrage zrakoplovne nesreće, nužno je implementirati preporuke koje proizlaze iz tih istraživanja. Ove preporuke mogu značajno unaprijediti sigurnost zračnog prometa i spriječiti ponavljanje sličnih incidenata u budućnosti. Implementacija preporuka obuhvaća različite aspekte, uključujući tehničke, operativne, regulatorne i edukacijske mjere.

Tehničke mjere najčešće uključuju unaprjeđenja ili izmjene na zrakoplovima i njihovim sustavima. Ove preporuke mogu uključivati instalaciju naprednih sustava za praćenje leta, poboljšanje FDR i CVR uređaja te razne druge sigurnosne komponente. Ako je istraživanje rezultiralo tehničkim kvarovima kao uzrokom nesreće, poželjno je da proizvođači zrakoplova provedu redizajn ili unaprjeđenje problematičnih komponenti.

Operativne preporuke se odnose na način na koji zračni prijevoznici obavljaju svoje operacije u vidu unaprjeđenja procedura i boljeg nadzora i kontrole. Implementiraju se novi ili revidirani operativni postupci da bi se smanjio rizik od nesreće. Operativni postupci mogu uključivati razne promjene u procedurama za polijetanje, slijetanje, komunikaciju između članova posade i druge kritične komponente. Da bi se brže reagiralo na buduće potencijalne problem preporuča se uvođenje sustava za poboljšano praćenje i nadzor zrakoplova tijekom leta [52].

Regulatorne agencije, kao što je ICAO ili nacionalna tijela za zakonodavstvo imaju važnu ulogu pri implementaciji preporuka. Na temelju preporuka, agencije mogu ažurirati postojeće propise ili uvesti nove koji bi povećali razinu sigurnosti u zračnom prometu. Provođenjem rigoroznih inspekcija i certifikacijskih procesa osigurava se da zrakoplovi i zračni prijevoznici udovoljavaju najnovijim sigurnosnim standardima.

Edukacija i kontinuirana obuka osoblja ključni su za implementaciju preporuka te se razlikuju specijalizirani treninzi i simulacijske vježbe. Organiziraju se razni specijalizacijski treninzi za pilote, kabinsko osoblje, kontrolore zračne plovidbe i tehničare kako bi se osigurala usklađenost sa novim procedurama i tehnologijama. Da bi se osoblje moglo pripremiti za moguće krizne situacije, preporučaju se simulacijske vježbe u kojima se oponašaju scenariji slični onima koji su doveli do zrakoplovne nesreće.

Implementacija preporuka iz istraživanja zrakoplovnih nesreća je ključna za unaprjeđivanje sigurnosti zračnog prometa. Tehničke, operativne, regulatorne, edukacijske i organizacijske mjere moraju biti integrirane u svakodnevne operacije zračnih prijevoznika da bi se smanjio rizik od budućih nesreća. Osim toga, međunarodna suradnja i dijeljenje informacija pomažu u osiguravanju da sve zainteresirane strane u zrakoplovnoj industriji mogu koristiti dobivene zaključke za poboljšanje globalne sigurnosti [52].

7.2. Utjecaj analize podataka na odluke o održavanju i popravcima

U današnjem zrakoplovstvu, održavanje zrakoplova je nužno za osiguranje sigurnosti, pouzdanosti i učinkovitosti operacija koje se svakodnevno događaju. Kod tradicionalnih metoda održavanja zrakoplova, koje se temelje na vremenski definiranim rasporedima, često dolazi do nepotrebnih troškova i vremenskih zastoja. Razvoj tehnologije je doveo do poboljšavanja postupaka održavanja zrakoplova i njegovih popravaka zahvaljujući analizi podataka koji su prikupljeni tijekom letova. Korištenjem podataka iz sustava za snimanje leta i drugih senzora omogućeno je donošenje informiranih odluka o održavanju i popravcima, čime se smanjuju rizici i optimiziraju resursi.

Iz različitih izvora se prikupljaju podaci o letu kao što je FDR, CVR, senzori motora, navigacijski sustava te i iz drugih ugrađenih alata. Ovi podaci obuhvaćaju informacije o performansama motora, temperaturama, tlakovima, vibracijama, statusima sustava te mnogim drugim parametrima. Prikupljeni podaci prolaze kroz procese obrade i analize kako bi se identificirale potencijalne nepravilnosti i predvidjele potrebe za održavanjem. Napredni algoritmi za analizu podataka, uz strojno učenje i umjetnu inteligenciju, omogućavaju identificiranje obrazaca koji ukazuju na potrebu za intervencijom prije nego što dođe do kvarova [53].

Prediktivno odražavnje se koristi pri predviđanju kada će se određeni dijelovi ili sustavi u zrakoplovu otkazati. Ovo održavanje koristi analizu podataka za predviđanje te također omogućava planiranje održavanja i prije nego što dođe do problema, čime se posljedično smanjuju neočekivani zastoji i troškovi. Primjerice, analizom vibracija motora može se otkriti habanje ležajeva, što omogućava njihovu zamjenu i prije nego se dogodi kvar. Uz prediktivno održavanje, koristi se i kondiciono zasnovano održavanje (engl. *Condition Based Maintenance* - CBM) koje se temelji na stvarnom stanju zrakoplovnih dijelova i sustava, a ne na fiksnim intervalima održavanja. Analizom podataka je omogućeno praćenje stvarnog stanja komponenti u stvarnom vremenu, te se ovom analizom održavanje provodi samo u slučajevima kada je zaista potrebno. Ovo održavanje smanjuje troškove i povećava operativnu dostupnost zrakoplova. Prediktivno i kondiciono održavanje smanjuje potrebu za nepotrebnim zamjenama dijelova na zrakoplovu čime se optimizira upotreba resursa te se smanjuju troškovi zaliha rezervnih dijelova. Također, analiza podataka omogućava optimizaciju rasporeda održavanja čime se smanjuje vrijeme zastoja zrakoplova. Bolje planiranje i koordinacija aktivnosti održavanja dovodi do povećanja učinkovitosti radnih procesa čime se povećava produktivnost i dolazi do boljeg iskorištenja kapaciteta. Pravovremena identifikacija potencijalnih problema putem analize podataka smanjuje rizik od kvarova na zrakoplovu tijekom leta. Na primjer, praćenjem temperature i tlaka motora mogu se uočiti razne anomalije koje mogu dovesti do kvara te na taj način se omogućava intervencija i prije nego što dođe do kvara.

American Airlines koristi prediktivnu analizu podataka da bi smanjili neočekivane zastoje i poboljšali operativnu učinkovitost. Oni koriste podatke koje su prikupili tijekom leta da bi uočili eventualne nepravilnosti i na potrebu za održavanjem pojedinih komponenti na zrakoplovu. Ova praksa rezultira smanjenjem troškova održavanja za 30%. Zračni prijevoznik Delta Air Lines implementirao je sustave za analizu podataka koji prate performanse motora u stvarnom vremenu. Delta je uspjela smanjiti vrijeme zastoja svojih zrakoplova korištenjem ovih podataka te na taj način povećati raspoloživost flote. Analiziranjem podataka omogućeno je otkriti potencijalne probleme s motorima za vrijeme leta i prije nego što bi došlo do kvara [54].

Da bi se implementirali napredni sustavi za analizu podataka potrebna su značajna ulaganja u tehnologiju i samu obuku osoblja. Veliki izazov bi također bio integracija različitih

izvora podataka i osiguranje njihove točnosti. Da bi podaci zračnim prijevoznicima bili od koristi potrebno je osigurati da svi senzori i sustavi rade ispravno. Isto tako, potrebno je osigurati da je primjena analize podataka u održavanju u skladu s međunarodnim i nacionalnim regulativama. Dužnost je zrakoplovnih vlasti da osiguraju da su primjenjene metode u skladu sa svim propisima o sigurnosti i održavanju. Nužno je osigurati suradnju između zračnih prijevoznika i regulatornih tijela da bi se osiguralo usklađivanje praksi sa propisima. U budućnosti, korištenje analize podataka u zrakoplovstvu razvijati će se zajedno s umjetnom inteligencijom i strojnim učenjem da bi se poboljšala točnost prediktivnih modela [53].

Analiza podataka iz zrakoplova u velikoj mjeri utječe na odluke o održavanju i popravcima zrakoplova, čime je zračnim prijevoznicima pružena mogućnost za proaktivnim i učinkovitim upravljanjem svojih flota. Uz korištenje naprednih analitičkih metoda, moguće je optimizirati resurse, smanjiti troškove te povećati sigurnost operacija. Bez obzira na brojne izazove, uz kontinuirani razvoj tehnologije biti će moguće daljnje unapređivanje održavanja zrakoplova putem analize podataka. U konačnici, integracija ovih praksi rezultirati će sigurnijim, pouzdanijim i ekonomičnijim zračnim prometom [53].

7.3. Utjecaj analize podataka na unapređenje pilotske obuke

Budući da analiza podataka postaje sve vrijedniji alat za unapređenje raznih aspekata operacija, koristi se i kod pilotske obuke. Zbog činjenice da složenost zrakoplovnih operacija zahtjeva visoku razinu sigurnosti, potrebno je provoditi kontinuirano unapređenje obuke pilota. Analizom podataka pružene su nove mogućnosti za poboljšanjem metoda obuke čime bi naglasak bio na prilagodbi individualnih potreba pilota i praćenju performansi u stvarnom vremenu. Podaci koji su korisni za obuku pilota mogu doći iz različitih izvora kao što su simulatori leta, raznih sustava za nadzor performansi te od povratnih informacija pilota i instruktora. Ovim podacima je obuhvaćen širok raspon informacija kao što su manevarske sposobnosti pilota, reakcije u kriznim situacijama, navigacijske vještine i usklađenost s procedurama.

U pilotskoj obuci, analiza podataka uključuje prikupljanje, pohranu, obradu i interpretaciju podataka u cilju dobivanja korisnih informacija sa kojima bi se mogla unaprijediti obuka pilota. Napredni analitički alati koriste metode poput strojnog učenja, umjetne inteligencije i Big Data analitike da bi se identificirali obrasci i razni trendovi u performansama pilota. U pilotskoj obuci, jedan od ključnih benefita analize predstavlja mogućnost personalizacije treninga. Podaci koji su prikupljeni tijekom raznih simulacija i stvarnih letova omogućavaju kreiranje individualnih profila pilota, koji uključuju njihove jake strane i područja koja zahtijevaju poboljšanja. Ovaj pristup omogućuje prilagodbu treninga specifičnim potrebama svakog pilota, što u konačnici poboljšava učinkovitost obuke. Kontinuiranim praćenjem performansi pilota, instruktori mogu dobiti korisne informacije o napretku pilota tijekom obuke. Analitički alati omogućavaju vizualizaciju performansi u različitim područjima,

što instruktorima daje mogućnost da brzo identificiraju područja obuke u kojima bi bio potreban dodatan trening i prilagodbe u program obuke [55].

Analizom podataka se može unaprijediti realističnost simulacija kroz integraciju stvarnih podataka iz letova. Simulacije koje koriste stvarne podatke omogućavaju pilotima da se suoče s realnim scenarijima i situacijama koje bi mogli susretati u stvarnim letovima. Ovo uključuje različite vremenske uvjete, tehničke kvarove i razne druge izvedne situacije. Podaci koji se prikupe tijekom simulacijskih treninga omogućuju detaljnu analizu performansi pilota. Ovi podaci uključuju metrike poput preciznost manevriranja, reakcijskih vremena i pridržavanja sigurnosnih procedura. Analizom ovih metrika mogu se ustavoviti područja obuke kojima bi bilo potrebno poboljšanje i prilagodba same obuke potrebama pilota.

Također, analizom podataka bilo bi moguće kreirati napredne scenarije koji bi bili korisni za trening kriznog upravljanja. Podaci iz prethodnih zrakoplovnih nesreća bi se koristili za razvoj simulacije koji bi oponašali ove situacije, čime bi se pilotima dala mogućnost da uvježbaju svoje reakcije i odluke u kontroliranom okruženju.

Nakon što piloti prođu simulacijske vježbe, potrebno je provesti analizu podataka da bi se omogućila detaljna analiza performansi pilota. Instruktorima bi ove informacije poslužile da pilotima pruže precizne povratne informacije što bi svakako pomoglo pilotima u razumijevanju svojih reakcija i odluka i mogućnost da svoje reakcije i odluke poboljšaju u budućim treninzima.

Pri pilotskoj obuci, trebalo bi se osigurati da analiza podataka bude u skladu s međunarodnim i nacionalnim propisima i standardima. Korištenje podataka omogućava zračnim prijevoznicima da dokumentiraju i dokažu usklađenost sa zahtjevima regulatornih tijela, kao što su primjerice EASA i FAA. Korištenje podataka za unapređenje pilotske obuke svakako pridonosi ukupnom poboljšanju sigurnosnih standarda u zrakoplovstvu. Bolje obučeni piloti su svakako sposobniji prepoznati i reagirati na potencijalne sigurnosne prijetnje, što u konačnici smanjuje mogućnost zrakoplovnih nezgoda i nesreća. Primjerice, Lufthansa koristi naprednu analizu podataka za personalizaciju i optimizaciju pilotske obuke. Analiziranjem podataka koji su dobiveni iz simulatora leta i stvarnih letova, Lufthansa prilagođava obuku individualnim potrebama pilota čime se u svakom slučaju povećava učinkovitost i sigurnost tijekom leta. Isto tako, Delta Air Lines koristi Airbusovu platformu za analizu podataka u cilju poboljšanja obuke pilota. Ova platforma omogućuju prikupljanje i analiziranje podataka koji su dobiveni iz različitih izvora. Ovi podaci svakako uključuju informacije o performansama motora, navigacijske podatke i podatke o upravljanju sustavima zrakoplova. Također, ove informacije se koriste za poboljšanje treninga pilota i njihove reakcije u kriznim situacijama [55].

Pri unapređivanju pilotske obuke, analiza podataka je od velike važnosti. Prikupljanje i obrada podataka omogućuje personalizaciju treninga, poboljšanje simulatora leta te osigurava usklađenost s sigurnosnim i regulatornim standardima. Primjenom ove analize, zračnim prijevoznicima je dana mogućnost da u značajnoj mjeri poboljšaju učinkovitost svoje obuke te

povećaju sigurnost leta te time i smanje rizik od zrakoplovne nesreće. Kontinuiranim razvojem i primjenom analize podataka u obuci pilota postavio bi se temelj za budućni napredak u sigurnosti zračnog prometa.

7.4. Izazovi i prilike u primjeni rezultata istraživanja

Za unapređivanje sigurnosti i učinkovitosti u zrakoplovnoj industriji nužno je primjenjivati rezultate istraživanja u praksi. Ova istraživanja često generiraju opsežne podatke kojima je potrebna detaljna analiza i implementacija. U zrakoplovstvu, moderna istraživanja često rezultiraju ogromnom količinom podataka iz raznih izvora kao što su primjerice letni zapisnici, simulacije, senzorski podaci i povratne informacije korisnika. Analiziranje ovih podataka može predstavljati izuzetno složen proces. Alati za analiziranje ovih podataka bi trebali biti izuzetno soficirani da bi mogli obrađivati velike količine podataka da bi iz njih izvukli korisne informacije. Također, javlja se potreba za standardizacijom podataka u vidu osiguranja dosljednosti i točnosti podataka.

Zrakoplovna industrija je podložna strogoj regulaciji. Da bi se primjenile nove tehnologije i procedure koje su proizašle kao rezultat istraživanja potrebno je provesti njihovo usklađivanje s međunarodnim i nacionalnim regulativnim okvirima. Često proces certificiranja novih tehnologija i metoda može biti dugotrajan i skup proces. Regulatorna tijela kao što su primjerice FAA i EASA moraju odobriti sve nove postupke i tehnologije što u značajnoj mjeri može usporiti primjenu rezultata istraživanja. Potrebna su značajna financijska ulaganja i resursi da bi se implementirali rezultati istraživanja. Razvoj, testiranje te sama certifikacija novih tehnologija je skup proces. Pored financijskih troškova, potrebno je i osigurati kvalificirano osoblje koje bi nadziralo ovaj postupak. S obzirom na visok stupanj rizika u zrakoplovstvu, piloti, inženjeri i drugi stručnjaci često se protive novim tehnologijama i postupcima dok se oni ne dokažu kao apsolutno sigurni i učinkoviti čime se značajno usporava usvajanje novih tehnologija i metoda u praksi.

Istraživanja mogu potaknuti niz novih tehnologija koji mogu unaprijediti zrakoplovnu industriju. Primjena naprednih materijala, poboljšanje aerodinamike, razvoj učinkovitijih motora i sustava za upravljanjem letom su samo od nekih primjera koji su proizašli iz ovih istraživanja. Ove tehnologije uz poboljšanje sigurnosti i učinkovitosti leta, postigli su isto i smanjenje operativnih troškova i negativan utjecaj na okoliš. Kao što je već navedeno, rezultati istraživanja mogu u velikoj mjeri unaprijediti obuku pilota i ostalog osoblja. Piloti imaju mogućnost uvježbati krizne situacije kroz korištenje simulatora koji se baziraju na stvarnim podacima. Na temelju analize podataka o performansama pilota, obuci se pristupa na personalizirani način te se obuci pristupa na personalizirani način uzimajući u obzir individualne potrebe svakog pilota. Ovaj pristup uz poboljšanje kompetencije pilota, također povećava ukupnu sigurnost leta.

Isto tako, primjena rezultata istraživanja može dovesti i do poboljšanja ukupnog iskustva samog putnika. Zračni prijevoznici imaju mogućnost prilagoditi svoje usluge i proizvode

analizirajući podatke o preferencijama putnika, njihovim obrascima putovanja te povratnim informacijama. Primjerice, optimizacija rasporeda letova, poboljšanje udobnosti sjedala i učinkovitiji sustavi za prijavu u velikoj mjeri mogu unaprijediti ukupno zadovoljstvo putnika.

EASA provodi razna istraživanja koja imaju u fokusu poboljšanje sigurnosnih standarda u europskoj zrakoplovnoj industriji. Jedan od mnogobrojnih primjera je razvoj i implementacija sustava za praćenje performansi pilota (engl. *Pilot Performance Monitoring Systems*). Ovi sustavi koriste podatke iz raznih izvora za kontinuirano praćenje i analizu performansi pilota, što omogućuje rano prepoznavanje potencijalnih problema i ciljanu intervenciju [56].

U poboljšanju sigurnosti i transparentnosti u zrakoplovstvu, *Blockchain* tehnologija može biti od iznimne važnosti. Ova tehnologija omogućuje primjenu sigurne i nepromjenjive pohrane podataka o letu, održavanju i drugim kritičnim operacijama. *Blockchain* tehnologija smanjuje rizik od manipulacije podacima i povećava povjerenje u sustave za praćenje i analiziranje podacima.

8. ZAKLJUČAK

Zrakoplovstvo predstavlja industriju koja je neprestano u razvoju zbog njene potrebe za većom razinom sigurnosti. Kroz ovaj diplomski rad istraženi su razni aspekti snimanja i analize leta, od povijesnog razvoja uređaja za snimanje leta do njihove suvremene primjene i inovacija. Provođenje analize podataka je ključno pri unapređenju sigurnosti zračnog prometa, a implementacija rezultata istraživanja u praksi predstavlja nove mogućnosti za optimizaciju i poboljšanje letnih operacija.

Proučavanjem povijesnog razvoja uređaja za snimanje leta pokazano je kako su tragične nesreće potaknule razne inovacije i dovele do unapređenja sigurnosnih sustava. Uvođenje FDR-a i CVR-a promijenio je način na koji se istražuju zrakoplovne nesreće, čime je omogućeno detaljno rekonstruiranje događaja i identifikaciju uzroka nesreće. Zadaća ovih uređaja je ne samo da bilježe podatke o letu i razgovorima u kokpitu, nego također da pružaju bitne informacije čime će se moći spriječiti buduću zrakoplovne nesreće. Uvođenje tehnoloških inovacija, kao što su kombinirani snimači leta, automatski izbacujući snimači leta i snimači slike u kokpitu, predstavljaju značajan napredak u zrakoplovnoj industriji. Uvođenje ovih tehnologija povećava se pouzdanost i otpornost sustava za snimanje podataka. Također, omogućuje se brži i učinkovitiji pristup ključnim informacijama nakon zrakoplovne nesreće. Povezani snimači, poput *Honeywell Connected Recorder 25*, integriraju podatke u stvarnom vremenu, čime dolazi do poboljšanja operativne učinkovitosti i održavanja zrakoplova.

Primjena Big Data analitike u rekonstrukciji zrakoplovnih nesreća omogućava brže i preciznije razumijevanje uzroka nesreće analizom velikih količina podataka, poput senzorskih informacija i podataka iz FDR-a i CVR-a te pruža sveobuhvatan pregled događaja. Algoritmi strojnog učenja prepoznavaju obrasce i anomalije čime se poboljšava sigurnost i učinkovitost. Big Data analitika omogućuje prediktivnu analizu za pravovremeno održavanje te u konačnici, ova tehnologija značajno unapređuje sigurnosne standarde u zrakoplovnoj industriji.

Etika i sigurnost podataka postaju sve važniji aspekti pri analizi zrakoplovnih nesreća. Nužno je osigurati privatnost i zaštitu osobnih podataka da bi se održalo povjerenje putnika i posade. Transparentnost u prikupljanju i analizi podataka uz poštivanje zakonskih i regulatornih zahtjeva je ključno za etičku primjenu tehnologija u zrakoplovstvu.

Zrakoplovna nesreća *Air France Flight* iz 2009. godine je pokazala koliko su bitni podaci iz FDR-a i CVR-a za razumijevanje uzroka nesreće. Zrakoplov je pao u Atlanski ocean, a analiza podataka je otkrila da je problem s brzinomjerom doveo do gubitka kontrole nad zrakoplovom. Detaljnom analizom podataka otkriven je niz proceduralnih i tehničkih pogrešaka, što je u konačnici dovelo do poboljšanja u obukama pilota i samim unapređenjima zrakoplovnih sustava. Zrakoplovna nesreća *Asiana Airlines Flight* iz 2013. godine je pokazala kako se integracijom FDR i CVR podataka može pružiti cjelovita slika događaja. Zrakoplov je pri slijetanju letio ispod minimalne sigurne brzine te udario u zid na kraju uzletno-sletne staze.

Podaci su pokazali da su piloti pogrešno procijenili brzinu i visinu zrakoplova. Analiza ove zrakoplovne nesreće je dovela do raznih promjena u procedurama slijetanja i unapređenja sustava za upozorenje pilota.

Za provođenje učinkovite rekonstrukcije zrakoplovne nesreće ključno je integrirati podatke iz FDR-a i CVR-a. Kombinacijom podataka o letu i komunikacije između svih sudionika leta istražiteljima je omogućilo da razumiju točni kontekst i okolnosti zrakoplovne nesreće. Primjena naprednih analitičkih alata istražiteljima omogućuje brzo i precizno analiziranje podataka što je bitno kod donošenja pravovremenih i točnih zaključaka. Implementacija rezultata istraživanja u praksi nailazi na brojne izazove, ali donosi i značajne prilike za zrakoplovnu industriju. Jedan od ključnih izazova je usklađivanje s regulatornim zahtjevima i standardima što često zna biti dugotrajan proces. Međutim, rezultati istraživanja pružaju temelj za razvoj novih tehnologija i procedura koje poboljšavaju sigurnost i učinkovitost u zračnom prometu. Budući smjerovi razvoja u zrakoplovstvu su usmjereni na daljnju integraciju naprednih tehnologija kao što su umjetna inteligencija i strojno učenje. Ovo tehnologije omogućiti će napredne analitičke mogućnosti i realno-vremenske prilagodbe operacija što će u značajnoj mjeri unaprijediti sigurnost i učinkovitost zračnog prometa.

Primjena rezultata istraživanja u zrakoplovstvu je ključna za kontinuirano poboljšanje sigurnosti, učinkovitosti i inovacija. Iako postoje različiti izazovi, prilike koje pružaju istraživanja su velike. Zrakoplovna industrija može postići nove razine sigurnosti i učinkovitosti primjenom naprednih analitičkih metoda, integracijom novih tehnologija i poštivanjem etičkih standarda. Zrakoplovne nesreće u prošlosti su ukazale na važnost FDR i CVR uređaja, a buduće tehnologije će omogućiti još veće napretke. Razumijevanje i primjena rezultata istraživanja omogućiti će zrakoplovnoj industriji da se prilagodi stalno promjenjivim uvjetima i zahtjevima tržišta čime će se osigurati sigurna i pouzdana budućnost zrakoplovstva.

POPIS LITERATURE

1. National Air and Space Museum. Smithsonian. *The Wright Brothers*. Preuzeto s: <https://airandspace.si.edu/explore/stories/wright-brothers> [Pristupljeno: 15. travnja 2024.]
2. National Archives. The Unwritten Record. *Caretakers of the Sky: The Wright Brothers and Recording the Aerial Age*. Preuzeto s: <https://unwritten-record.blogs.archives.gov/2020/12/17/caretakers-of-the-sky-the-wright-brothers-and-recording-the-aerial-age/> [Pristupljeno: 15. travnja 2024.]
3. Illinois Periodicals Online. *Octave Chanute, The Chicago Connection, and the Birth of Aviation*. Preuzeto s: <https://www.lib.niu.edu/2001/iht810114.html> [Pristupljeno: 15. travnja 2024.]
4. Aviation Voice. *Flight Data Recorder Evolution: Where Next?* Preuzeto s: <https://aviationvoice.com/flight-data-recorder-evolution-where-next-2-201704141429/> [Pristupljeno: 15. travnja 2024.]
5. Airbus. *Flight data analysis. Airlines SMS & FDA Assistance*. Lima; 2014.
6. AVLAW. Aviation Consulting. *Flight Data Recorders: A Short History*. Preuzeto s: <https://avlaw.com.au/history-of-flight-data-recorders/> [Pristupljeno: 15. travnja 2024.]
7. Franjić A. *Uloga uređaja za snimanje leta u istrazi zrakoplovne nesreće*. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2022. Preuzeto s: <https://repositorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz:2688> [Pristupljeno: 15. travnja 2024.]
8. BEA. *Flight Data Recorder Read-Out Technical and Regulatory Aspects*. Study. 2005.
9. SKYbrary. *Flight Data Recorder (FDR)*. Preuzeto s: <https://skybrary.aero/articles/flight-data-recorder-fdr> [Pristupljeno: 15. travnja 2024.]
10. Britannica. *TWA flight 800*. Preuzeto s: <https://www.britannica.com/science/disaster> [Pristupljeno: 15. travnja 2024.]
11. Central Intelligence Agency. *Terrorist Bombing of Pan Am Flight 103*. Preuzeto s: <https://www.cia.gov/legacy/museum/exhibit/terrorist-bombing-of-pan-am-flight-103/> [Pristupljeno: 15. travnja 2024.]
12. CNN. *The downing of Flight 007: 30 years later, a Cold War tragedy still seems surreal*. Preuzeto s: <https://edition.cnn.com/2013/08/31/us/kal-flight-007-anniversary/index.html> [Pristupljeno: 15. travnja 2024.]
13. Vidović A, Štimac I. *Istraživanja zrakoplovnih nesreća*. Nastavni materijal. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu. 22. ožujka 2023.
14. Airbus. *Flight data analysis. Airlines SMS & FDA Assistance*. Lima; 2014.
15. Skybrary. *Flight Data Recorder (FDR)*. Preuzeto s: <https://skybrary.aero/articles/flight-data-recorder-fdr> [Pristupljeno: 15. travnja 2024.]
16. Pixelsquid. *Cockpit Voice Recorder CVR PNG & PSD*. Preuzeto s: <https://www.pixelsquid.com/png/cockpit-voice-recorder-cvr-2516152074123614194?image=G03> [Pristupljeno: 15. travnja 2024.]
17. Dub M, Parizek J. *Evolution of Flight Data Recorders*. Scientific work. Faculty of Military Technology University of Defence in Brno. May 2018.
18. SKYbrary. *Underwater Locator Beacon (ULB)* <https://skybrary.aero/articles/underwater-locator-beacon-ulb> [Pristupljeno: 15. travnja 2024.]

19. Arsyandana Putra D, Michrandi Nasution S, Azmi F. *Analysis Of Flight Data Recorder Compression Reliability For Airplane On Demand Blackbox Data Transmission*. Scientific work. Electrical Engineering Faculty Telkom University. Bandung; 2017.
20. Rana Ruhul A., Li R. *Thermal Protection Design for Flight Data Recorders*. In *The 15th International Heat Transfer Conference*. Connecticut 2014.
21. Aerocorner. *What Are Black Boxes Made of?* Preuzeto s: <https://aerocorner.com/blog/what-are-black-boxes-made-of/> [Pristupljeno: 15. travnja 2024.]
22. ATM. *QAR Quick Access Recorder*. Preuzeto s: <https://www.atmavio.pl/en/aviation/products/qar/> [Pristupljeno: 15. travnja 2024.]
23. SKYbrary. *Certification of Aircraft, Design and Production*. Preuzeto s: <https://skybrary.aero/articles/certification-aircraft-design-and-production> [Pristupljeno: 15. travnja 2024.]
24. ICAO. *About ICAO*. Preuzeto s: <https://www.icao.int/about-icao/Pages/default.aspx> [Pristupljeno: 15. travnja 2024]
25. COSCAP ICAO ANNEX. *References for Ramp Inspections Guidance*. Preuzeto s: https://www.icao.int/safety/fsix/library/reference_annexes_for_icao_ramp_inspecti ons_guidance_2009_07_02.pdf [Pristupljeno: 1. svibnja 2024.]
26. Informativni članci o Europskoj uniji. *Zrakoplovna sigurnost*. Preuzeto s: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/hr/sheet/134/zrakoplovna-sigurnost> [Pristupljeno: 1. svibnja 2024.]
27. Europska komisija. *Uredba (EU) br. 996/2010 Europskog parlamenta i Vijeća o istragama i sprečavanju nesreća i nezgoda u civilnom zrakoplovstvu*. 2011.
28. Ministarstvo pomorstva, prometa i infrastrukture. *Pravilnik o zahtjevima za izvođenje operacija zrakoplovima i o organizacijskim zahtjevima kojima moraju udovoljavati operatori zrakoplova*. Izdanje: 182. Zagreb: Narodne novine; 2014.
29. AttractGroup. *Protecting Airport Data Privacy & Control from Cyber Threats: Navigating GDPR*. Preuzeto s: <https://attractgroup.com/blog/aviation-cybersecurity-strategies/#> [Pristupljeno: 1. svibnja 2024.]
30. Vidović A., Franjić A., Štimac I., Ozmec Ban M. *The Importance of Flight Recorders in the Aircraft Accident Investigation*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 2022. Preuzeto s: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146522006366?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=88c5465bf9d9248c [Pristupljeno: 1. svibnja 2024.]
31. European Parliament. *Fact Sheets on the European Union. Aviation safety*. Preuzeto s: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/134/aviation-safety> [Pristupljeno: 1. svibnja 2024.]
32. International Air Transport Association. *IOSA Standards Manual (ISM)*. Montreal: International Air Transport Association; 2023.
33. SOFEMA. *Aviation Services. Introduction to ICAO Annex 6 Role & Purpose*. Preuzeto s: <https://sassofia.com/blog/introduction-to-icao-annex-6-role-purpose/> [Pristupljeno: 1. svibnja 2024.]
34. SKYbrary. *Electronic Flight Bag*. Preuzeto s: <https://skybrary.aero/articles/electronic-flight-bag-efb> [Pristupljeno: 1. svibnja 2024.]
35. SKYbrary. *Methods & Tools for Airline Flight Safety Analysis*. Preuzeto s: <https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/237.pdf> [Pristupljeno: 1. svibnja 2024.]

36. BEA. *Final Report on the accident 1st June 2009 to the Airbus A330-203 registered F-GZCP operated by Air France flight AF 447 Rio de Janeiro – Paris*. Paris: BEA; 2012.
37. TheGuardian. *Final minutes of Air France flight AF447 to be examined as trial opens*. Preuzeto s: <https://www.theguardian.com/world/2022/oct/10/air-france-flight-af477-2009-crash-trial-airbus> [Pristupljeno: 1. svibnja 2024.]
38. Tokyo Aircraft Instrumental. *What Is a Pitot Tube?* Preuzeto s: <https://www.tkk-air.co.jp/english/aerospace/air-data/pitot-tubes.html> [Pristupljeno: 1. svibnja 2024.]
39. National Transportation Safety Board. *Aircraft Accident Report Asiana Airlines Flight 214. Descent Below Visual Glidepath and Impact With Seawall Asiana Airlines Flight 204*. San Francisco, California. Washington, D.C.: NTSB; 2014.
40. TheGuardian. *Asiana airlines crash caused by pilot error and confusion, investigators say*. Preuzeto s: <https://www.theguardian.com/world/2014/jun/24/asiana-crash-san-francisco-controls-investigation-pilot> [Pristupljeno: 1. svibnja 2024.]
41. FasterCapital. *The Importance Of FDR And CVR Data In Aviation Investigations*. Preuzeto s: <https://fastercapital.com/topics/the-importance-of-fdr-and-cvr-data-in-aviation-investigations.html#:~:text=%2D%20It%20provides%20a%20detailed%20timeline,in%20identifying%20potential%20safety%20improvements>. [Pristupljeno: 1. svibnja 2024.]
42. Transportation Safety Board of Canada. *Final Report of the Transportation Safety Board of Canada*. Preuzeto s: https://www.sust.admin.ch/inhalte/AV-berichte/1762_en.pdf [Pristupljeno: 1. svibnja 2024.]
43. National Transportation Safety Board. *Aircraft Accident Report*. Preuzeto s: <https://www.ntsb.gov/investigations/accidentreports/reports/aar8208.pdf> [Pristupljeno: 1. svibnja 2024.]
44. Snopes. *Does Photo Show Air Florida Flight 90 Crashing into Bridge?* Preuzeto s: <https://www.snopes.com/fact-check/air-florida-airplane-bridge-crash/> [Pristupljeno: 1. svibnja 2024.]
45. Civil Aviation Safety Authority. *Advisory Circular AC 21-24 v1.1*. Canberra: Australian Government Civil Aviation Safety Authority; 2023.
46. Wiseman Yair. *Unlimited and protected memory for flight data recorders*. Aircraft Engineering and Aerospace Technology; 2016.
47. Low I. *Big Data – Thinking Big for Aircraft Accident Prevention*. Thesis. University of New South West; 2018. Preuzeto s: <https://www.isasi.org/Documents/ScholarshipEssays/Low%20-%20Big%20Data,%20Thinking%20Big%20For%20Aircraft%20Accident%20Prevention.pdf> [Pristupljeno: 6. lipnja 2024.]
48. Ramadan Al-Azab M. *Big Data analytics in airlines: Opportunities and Challenges*. Journal Of Association of Arab University for Tourism and Hospitality. 2021; 21(4); 73-108.
49. Huang L., Wu C., Wang B. *A new paradigm for accident investigation and analysis in the era of big data*. Process safety Progress. 2017; 37(1): 42-48.
50. Research. *Privacy and ethical issues of Big Data in the Airline industry*. Preuzeto s: https://research.tees.ac.uk/ws/portalfiles/portal/9950462/Airline_industry_BD_privacy_accepted.pdf [Pristupljeno: 1. svibnja 2024.]

51. CCS Learning Academy. *What is Hashing in Cyber Security and How Does It Work?* Preuzeto s: <https://www.ccslearningacademy.com/what-is-hashing-in-cybersecurity/> [Pristupljeno: 6. lipnja 2024.]
52. Research Gate. *Implementing recommendations from accident investigations: A case study of inter-organisational challenges.* Preuzeto s: https://www.researchgate.net/publication/235648875_Implementing_recommendations_from_accident_investigations_A_case_study_of_inter-organisational_challenges [Pristupljeno: 1. svibnja 2024.]
53. ControlEngineering. *Improving maintenance operations with data analytics.* Preuzeto s: <https://www.controleng.com/articles/improving-maintenance-operations-with-data-analytics/> [Pristupljeno: 1. svibnja 2024.]
54. AI Data & Analytics Network. *American Airlines Data and Analytics Revolution.* Preuzeto s: <https://www.aidataanalytics.network/data-science-ai/articles/american-airlines-data-and-analytics-revolution> [Pristupljeno: 1. svibnja 2024.]
55. FasterCapital. *The Importance Of Data Analytics In Aviation Training.* Preuzeto s: <https://fastercapital.com/topics/the-importance-of-data-analytics-in-aviation-training.html> [Pristupljeno: 1. svibnja 2024.]
56. European Union Aviation Safety Agency. *The European plan for aviation safety (EPAS) 2022-2026, Volume 3.* Cologne: EASA; 2022. Preuzeto s: file:///C:/Users/karla/Downloads/epas_vol_iii_14012022_v2.pdf [Pristupljeno: 1. svibnja 2024.]

POPIS KRATICA

ADFR	(Automatic Deployable Flight Recorder) automatsko odvojivi uređaj za snimanje leta
CCAA	(Croatian Civil Aviation Agency) Agencija za civilno zrakoplovstvo
CBM	(Condition Based Maintenance) kondiciono zasnovano održavanje
CIR	(Cockpit Image Recorder) snimač slike u kokpitu
CRM	(Crew Resource Management) upravljanje resursima posade
CSMU	(Crash Survivable Memory unit) memorijska jedinica dizajnirana da preživi zrakoplovnu nesreću
CT	(Computed Tomography) računala tomografija
CVR	(Cockpit Voice Record) snimač zvuka u pilotskoj kabini
DAR	(Direct Access Recorder) snimač izravnog pristupa
DFL	(Data Frame Layout) podatkovni okvir
DMU	(Data Management Unit) jedinica za upravljanje podataka
EASA	(European Union Aviation Safety Agency) Europska agencija za zrakoplovnu sigurnost
EFB	(Electronic Flight Bag) električna letna torba
ELT	(Emergency Location Transmitter) odašiljač lokacije za hitne slučajeve
EU	(European Union) Europska unija
EUROCAE	(European Organisation for Civil Aviation Equipment) Europska organizacija za opremu civilnog zrakoplovstva
FAA	(Federal Aviation Administration) Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo
FDAU	(Flight Data Acquisition Unit) jedinica za prikupljanje podataka o letu
FDR	(Flight Data Record) snimač podataka o letu
GPS	(Global Positioning System) Globalni položajni sustav
HCR-25	(Honeywell Connected Recorder 25-HCR-25) uređaj za snimanje leta dostupan tijekom leta zrakoplova

ICAO	(International Civil Aviation Organisation) Međunarodna organizacija za civilno zrakoplovstvo
IoT	(Internet of Things) internet stvari
NACA	(The National Advisory Committee for Aeronautics) Američki nacionalni odbor za aeronautiku
NASA	(National Aeronautics and Space Administration) Nacionalna agencija za sigurnost zračnog prometa
QAR	(Quick Access Recorder) uređaj za snimanje leta brzog pristupa
SD	(Secure Digital Card) sigurnosno digitalna kartica
SIA	(Safety Investigation Authority) Neovisno nacionalno tijelo članica EU zaduženo za istrage koje se odnose na sigurnost u civilnom zrakoplovstvu
SSFDR	(Solid State Flight Data Recorders) uređaj čvrstog stanja
ULB	(Underwater Locator Beacon) podvodna lokacijska svjetljika
ULD	(Underwater Locating Device) podvodni lokacijski uređaj
VPN	(Virtual Private Network) virtualna privatna mreža

POPIS SLIKA

Slika 1. Zrakoplov Flyer I braće Wright	4
Slika 2. Uređaj za snimanje leta prve generacije	6
Slika 3. Uređaj za snimanje leta druge generacije	7
Slika 4. Memorijska kartica SSFDR uređaja.....	7
Slika 5. Ostatci zrakoplova Boeing 747 nakon eksplozije	9
Slika 6. Pokazni model u kojem je bila skrivena bomba na letu 103	10
Slika 7. Planirana i stvarna ruta Korean Air Flight 007	11
Slika 8. Standardni snimač podataka o letu.....	13
Slika 9. Standardni CVR uređaj.....	14
Slika 10. Lokacija uređaja za snimanje leta u zrakoplovu	15
Slika 11. Memorijska kartica CSMU.....	16
Slika 12. Unutarnja struktura CSMU.....	17
Slika 13. QAR uređaj u zrakoplovu Boeing 737	22
Slika 14. Ronioci izvlače dio repa zrakoplova A330-203.....	33
Slika 15. Položaj pitot-cijevi u zrakoplovu	34
Slika 16. Nesreća zrakoplova Boeing 777-200ER	36
Slika 17. Trenutak udara zrakoplova Boeing 737-222 u most	39
Slika 18. ADFR uređaj.....	42
Slika 19. Snimač slike kokpita.....	44
Slika 20. Princip rada HCR-25 uređaja	45

Sveučilište u Zagrebu Fakultet
prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

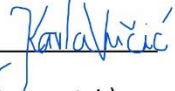
Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je DIPLOMSKI RAD
(vrsta rada)

isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom PRIMJENA UREĐAJA ZA SNIMANJE LETA U REKONSTRUKCIJI ZRAKOPLOVNIH NESREĆA, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

U Zagrebu, 14. rujna 2024.

Student/ica:

Karla Vučić 
(ime i prezime, potpis)