

Unaprjeđenje upravljanja sigurnosnim rizicima primjenom umjetne inteligencije u zrakoplovstvu

Bogdan, Tihana

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:119:610102>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-18**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**UNAPRJEĐENJE UPRAVLJANJA SIGURNOSNIM
RIZICIMA PRIMJENOM UMJETNE INTELIGENCIJE
U ZRAKOPLOVSTVU**

**IMPROVEMENT OF SAFETY RISK MANAGEMENT
USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AVIATION**

Mentor: dr. sc. Dajana Bartulović

Student: Tihana Bogdan

JMBAG: 0135254775

Zagreb, rujan 2024.

Zagreb, 23. travnja 2024.

Zavod: **Zavod za zračni promet**
Predmet: **Sigurnost zračnog prometa**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 7535

Pristupnik: **Tihana Bogdan (0135254775)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Zračni promet**

Zadatak: **Unaprjeđenje upravljanja sigurnosnim rizicima primjenom umjetne inteligencije u zrakoplovstvu**

Opis zadatka:

Prezentirati uvodne postavke: predmet, svrhu i cilj istraživanja. Navesti i opisati regulatorni okvir upravljanja sigurnošću u zrakoplovstvu. Objasniti upravljanje sigurnošću u zrakoplovstvu. Prikazati i objasniti ulogu umjetne inteligencije u zrakoplovstvu. Analizirati i navesti primjere sustava i programskih alata s umjetnom inteligencijom koji se primjenjuju u segmentu upravljanja sigurnosnim rizicima u zrakoplovstvu. Prezentirati buduće planove primjene umjetne inteligencije u upravljanju sigurnosnim rizicima u zrakoplovstvu. Sintetizirati rezultate istraživanja u zaključnim razmatranjima. Specificirati korištenu literaturu, te priložiti pregled korištenih kratica, slika i tablica.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

dr. sc. Dajana Bartulović

UNAPRJEĐENJE UPRAVLJANJA SIGURNOSNIM RIZICIMA PRIMJENOM UMJETNE INTELIGENCIJE U ZRAKOPLOVSTVU

SAŽETAK

Zrakoplovstvo je jedna od tehnološki najnaprednijih industrija, što se očituje u značajnom interesu za primjenom umjetne inteligencije u zrakoplovnoj industriji. Usvajanje i primjena AI tehnologije doprinosi poboljšanju učinkovitosti, sigurnosti i konkurentnosti, te su mnoge zrakoplovne organizacije već implementirale razna rješenja umjetne inteligencije za unaprjeđenje i transformaciju svojeg poslovanja i rješavanje izazova. U radu je opisan regulatorni okvir upravljanja sigurnošću u zrakoplovstvu, s detaljnijim opisom sustava upravljanja sigurnošću u zrakoplovstvu. Objasnjena je uloga umjetne inteligencije u zrakoplovstvu, te su analizirani i navedeni primjeri sustava i programskih alata s umjetnom inteligencijom koji se primjenjuju u segmentu upravljanja sigurnosnim rizicima u zrakoplovstvu. Također je naveden i pregled budućih planova primjene umjetne inteligencije u upravljanju sigurnosnim rizicima u zrakoplovstvu.

KLJUČNE RIJEČI: upravljanje sigurnosnim rizicima; umjetna inteligencija; unaprjeđenje; zrakoplovstvo

IMPROVEMENT OF SAFETY RISK MANAGEMENT USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AVIATION

SUMMARY

Aviation is one of the most technologically advanced industries, which is reflected in the significant interest in the application of artificial intelligence in the aviation industry. The adoption and application of AI technology contributes to improving efficiency, safety and competitiveness, and many aviation organizations have already implemented various artificial intelligence solutions to improve and transform their business and solve challenges. The thesis outlines the regulatory framework of aviation safety management, with a detailed description of aviation safety management system. The role of artificial intelligence in aviation is explained, and examples of systems and software tools with artificial intelligence applied in the segment of aviation safety risk management are analyzed and presented. The review of the future plans for the application of artificial intelligence in aviation safety risk management is also provided.

KEYWORDS: safety risk management; artificial intelligence; improvement; aviation

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
2. REGULATORNI OKVIR UPRAVLJANJA SIGURNOSĆU U ZRAKOPLOVSTVU 2	2
2.1. Globalni regulatorni okvir upravljanja sigurnošću u zrakoplovstvu.....	2
2.2. Regionalni regulatorni okvir upravljanja sigurnošću u zrakoplovstvu	7
2.2.1. <i>Europska agencija za sigurnost zračnog prometa</i>	8
2.2.2. <i>Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo</i>	9
2.3. Nacionalni regulatorni okvir upravljanja sigurnošću u zrakoplovstvu	10
3. UPRAVLJANJE SIGURNOSNIM RIZICIMA U ZRAKOPLOVSTVU.....	13
3.1. Identifikacija opasnosti	15
3.2. Definiranje i procjena sigurnosnih rizika	17
3.3. Ublažavanje sigurnosnih rizika	20
4. ULOGA UMJETNE INTELIGENCIJE U ZRAKOPLOVSTVU.....	22
4.1. Utjecaj umjetne inteligencije na dizajn i operacije zrakoplova	24
4.2. Utjecaj umjetne inteligencije na proizvodnju i održavanje zrakoplova.....	25
4.3. Utjecaj umjetne inteligencije na upravljanje zračnim prometom	26
4.4. Utjecaj umjetne inteligencije na aerodrome	27
4.5. Utjecaj umjetne inteligencije na zaštitu okoliša.....	29
4.6. Utjecaj umjetne inteligencije na kibernetičku zaštitu.....	29
4.7. Utjecaj umjetne inteligencije na dronove i urbanu zračnu mobilnost	30
5. PRIMJENA UMJETNE INTELIGENCIJE U UPRAVLJANJU SIGURNOSNIM RIZICIMA	32
5.1. Uloga umjetne inteligencije u upravljanju sigurnosnim rizicima.....	32
5.2. Usporedba djelovanja umjetne inteligencije i stručnjaka pri upravljanju sigurnosnim rizicima	33

5.3. Primjeri upotrebe programskih alata temeljenih na umjetnoj inteligenciji u upravljanju sigurnosnim rizicima.....	36
5.3.1. Baldwin ASMS	36
5.3.2. SafetyCulture.....	37
5.3.3. SMS Pro.....	38
5.3.4. Q5SMS.....	41
5.3.5. Vistair SafetyNet	43
5.3.6. GALIOT Aero.....	44
6. BUDUĆNOST UPRAVLJANJA SIGURNOSNIM RIZICIMA PRIMJENOM UMJETNE INTELIGENCIJE U ZRAKOPLOVSTVU	51
7. ZAKLJUČAK.....	55
LITERATURA	57
POPIS KRATICA	62
POPIS SLIKA.....	64
POPIS TABLICA.....	65
POPIS GRAFIKONA	66

1. UVOD

Zračni promet najsigurniji je oblik prometa na svijetu, ponajviše zbog učinkovitog regulatornog okvira, ali i zbog izvanredne sposobnosti praćenja tehnološkog napretka. Umjetna inteligencija može se smatrati najsloženijim oblikom tog napretka. Umjetna inteligencija već je donijela revolucionarne promjene u zrakoplovstvo, a polako nalazi primjenu i u upravljanju sigurnosnim rizicima.

Umjetna inteligencija (AI – *Artificial Intelligence*) odnosi se na razvoj računalnih sustava za obavljanje složenih zadataka koje je povijesno mogao obavljati samo čovjek, poput rasuđivanja, donošenja odluka ili rješavanja kompleksnih problema. U svrhu rješavanja takvih zadataka, koristi se širok raspon metoda rješavanja problema, poput metoda pretraživanja i matematičke optimizacije, logike, umjetnih neuronskih mreža, analitičkih i statističkih metoda, metoda prognoziranja, kauzalnog modeliranja, ekonometrije, i slično.

U zrakoplovnoj operativi, AI tehnologija je zastupljena u segmentu upravljanja zračnim prometom, održavanju zrakoplova, autonomnih bespilotnih letjelica, planiranja i predviđanja potražnje na letovima, optimizacije potrošnje goriva i dr. AI tehnologija već igra važnu ulogu u zrakoplovstvu, te može biti implementirana u zrakoplove i infrastrukturu zračne luke na razne načine kako bi se olakšalo poslovanje.

Svrha ovog diplomskog rada je u segmentu upravljanja sigurnošću u zrakoplovstvu definirati postojeće postavke upravljanja sigurnosnim rizicima u zrakoplovstvu, istražiti dosadašnju ulogu i primjenu umjetne inteligencije u zrakoplovstvu, te istražiti mogućnosti implementacije alata umjetne inteligencije u svrhu olakšanja i unaprjeđenja upravljanja sigurnosnim rizicima u zrakoplovstvu.

Rad je podijeljen u sedam poglavlja. U prvom poglavlju iznesena su uvodna razmatranja. U drugom pogledu detaljno je objašnjen regulatorni okvir upravljanja sigurnošću. Treće poglavlje opisuje opasnosti, sigurnosne rizike i važnost koju upravljanje sigurnosnim rizicima ima za održavanje prihvatljive razine sigurnosti u zrakoplovstvu. Četvrto poglavlje definira ulogu umjetne inteligencije u zrakoplovstvu te kakav utjecaj ima na pojedine sudionike zračnog prometa. U petom poglavlju opisana je uloga umjetne inteligencije u upravljanju sigurnosnim rizicima te su navedeni primjeri primjene u segmentu upravljanja sigurnosnim rizicima. Šesto poglavlje donosi razmatranja budućnosti razvoja umjetne inteligencije u funkciji upravljanja sigurnosnim rizicima. U posljednjem, sedmom poglavlju navedena su zaključna razmatranja.

2. REGULATORNI OKVIR UPRAVLJANJA SIGURNOŠĆU U ZRAKOPLOVSTVU

Sigurnost je stanje u kojem su rizici povezani sa zrakoplovnim aktivnostima, koji posredno ili izravno podržavaju operacije zrakoplova, smanjeni i kontrolirani na prihvatljivoj razini [1]. Osim što je cilj, sigurnost je i funkcija upravljanja sustavom zračnog prometa. Sustav zračnog prometa izrazito je složen dinamički sustav te ga označuju njemu svojstveni osnovni elementi [2]:

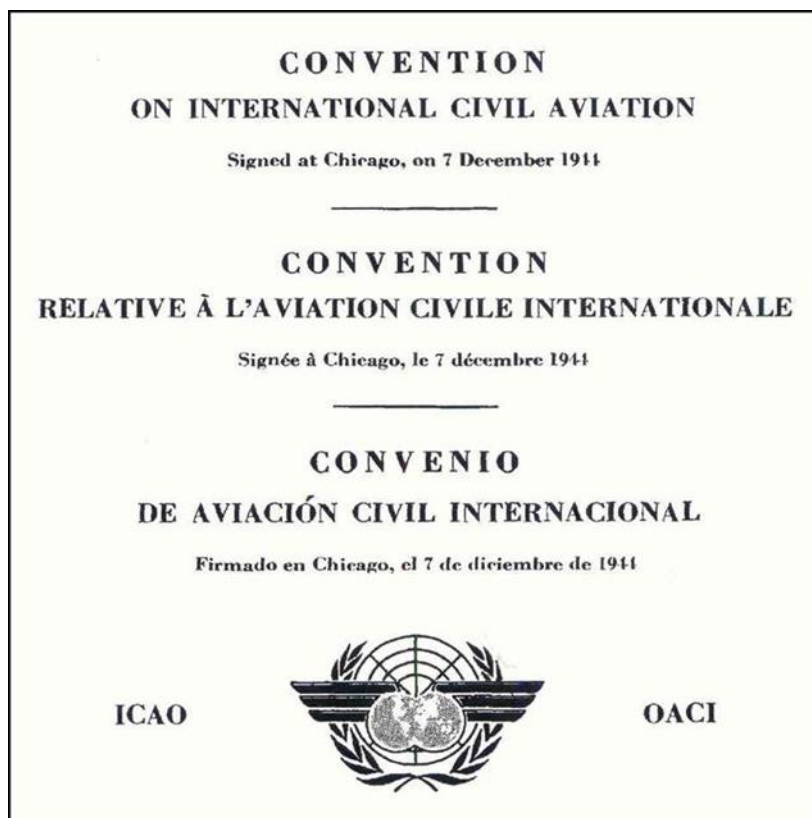
- prijevozna sredstva – zrakoplovi,
- prometna infrastruktura – aerodromi i sredstva navođenja (sredstva kontrole letenja),
- predmet prijevoza – putnici i/ili roba,
- zrakoplovno i ostalo stručno osoblje.

Kroz povijest, svi osnovni elementi bili su predmetom raznih promjena i unaprjeđenja što se odrazilo na kompletno upravljanje sigurnošću. U razvojnim fazama zrakoplovstva, sigurnosne mjere bile su ograničene zbog tadašnje tehnologije što je za posljedicu imalo nesreće koje bi u današnje vrijeme bile izbjegnute. Radar, autopilot i globalni sustav za pozicioniranje smatraju se ključnim tehnološkim poboljšanjima. Moguće je uočiti i promjene u profilu predmeta prijevoza, odnosno u početku je prijevoz zračnim putem bio dostupan samo imućnijim putnicima, a od robe se pretežito prevozila pošta. Danas je zračni promet opsežna gospodarska djelatnost kojom se koriste različiti profili putnika te kojom se prevoze sve vrste robe. U skladu s porastom potražnje za zračnim prometom, znatno su se promijenili aerodromi i ostala infrastruktura kako bi opsluživali sve veći broj putnika i kako bi se sve većom količinom robe moglo sigurno i efikasno rukovati i prevoziti [3]. Za održavanje sigurnosti ovakvog sustava nužni su praktični postupci osiguranja što uključuje zaštitu, regulaciju i kontrolu [2]. S tim ciljem uspostavljena su regulatorna tijela i regulatorni okvir upravljanja sigurnošću u zrakoplovstvu koja se mogu podijeliti prema području nadležnosti:

1. globalni regulatorni okvir upravljanja sigurnošću u zrakoplovstvu,
2. regionalni regulatorni okvir upravljanja sigurnošću u zrakoplovstvu,
3. nacionalni regulatorni okvir upravljanja sigurnošću u zrakoplovstvu.

2.1. Globalni regulatorni okvir upravljanja sigurnošću u zrakoplovstvu

Konvencija o međunarodnom civilnom zrakoplovstvu, poznatija pod nazivom Čikaška konvencija (prikazana na slici 1.), potpisana je 7. prosinca 1944. godine, te je stupila na snagu 4. travnja 1947. Njome su se 52 države potpisnice usuglasile oko brojnih bitnih pravila vezanih uz zračni prostor, zrakoplove te njihovu registraciju i sigurnost, ali i oko osnivanja specijalizirane agencije Ujedinjenih Naroda zadužene za koordinaciju i regulaciju međunarodnog zračnog prometa [4]. Danas je Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva (ICAO – *International Civil Aviation Organization*) odgovorna za sigurnost, registraciju i plovidbenost zrakoplova, sprječavanje ekonomskih gubitaka, pošteno tržišno natjecanje, standardizaciju i zakone o zračnom prometu, te broji 193 države članice [5].



Slika 1. Čikaška konvencija
Izvor: [6]

ICAO Standardi i preporučene prakse (ICAO SARPs – *ICAO Standards and Recommended Practices*) za svako područje nadležnosti ICAO-a dani su u 19 Aneksa navedenih u tablici 1. Aneksi 2, 5, 7 i 8 sadrže samo međunarodne standarde bez ikakvih preporučenih praksi, dok ostalih 15 Aneksa sadrže oboje. Državne potpisnice dužne su obavijestiti o razlikama u standardima te su pozvane da obavijeste o razlikama u preporučenim praksama. Bitno je napomenuti da time ICAO ne sprječava države da razvijaju vlastite nacionalne standarde koji mogu biti stroži od standarda navedenih u Aneksima [7].

Tablica 1. Aneksi ICAO-a

Redni broj Aneksa	Puni naziv Aneksa
1	Licenciranje zrakoplovnog osoblja
2	Pravila letenja
3	Meteorološke usluge
4	Zrakoplovne karte
5	Mjerne jedinice
6	Operacije zrakoplova
7	Nacionalne i registracijske oznake zrakoplova
8	Plovidbenost zrakoplova
9	Olakšice
10	Zrakoplovne telekomunikacije
11	Usluge u zračnom prometu
12	Potruga i spašavanje
13	Istrage zrakoplovnih nesreća i nezgoda
14	Aerodromi
15	Usluge zrakoplovnog informiranja

16	Zaštita okoliša
17	Zaštita u zračnom prometu
18	Prijevoz opasnih tvari zrakom
19	Upravljanje sigurnošću

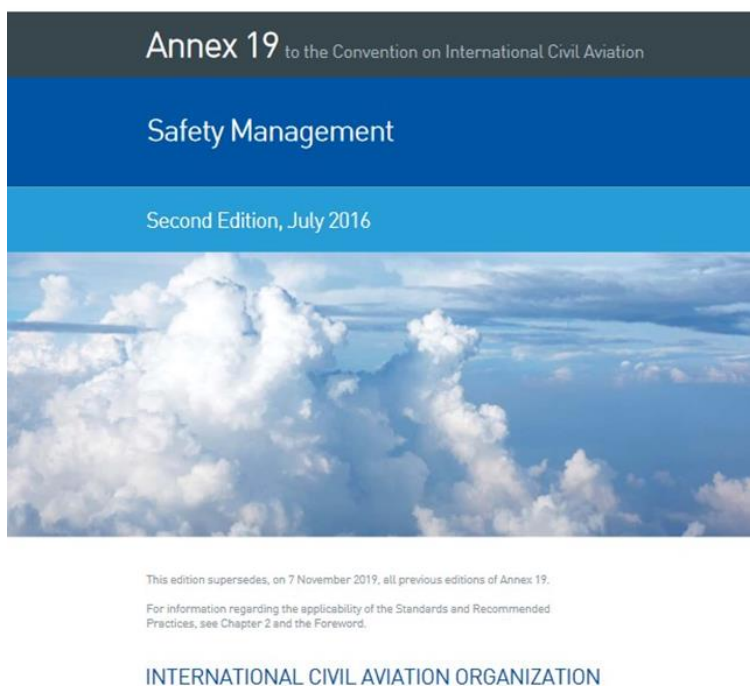
Izvor: [7]

Aneks 19 – Upravljanje sigurnošću, prikazan na slici 2., glavni je globalni dokument vezan uz sigurnost. U njemu su preuzete relevantne odredbe iz Aneksa 1 – Licenciranje zrakoplovnog osoblja, Aneksa 6 – Operacije zrakoplova, Aneksa 8 – Plovidbenost zrakoplova, Aneksa 11 – Usluge u zračnom prometu, Aneksa 13 – Istrage zrakoplovnih nesreća i nezgoda te Aneksa 14 – Aerodromi. Njegovo prvo izdanje postalo je primjenjivo 14. studenog 2013. godine, a drugo izdanje iz 2016. godine stupilo je na snagu 2019. godine [8].



ICAO

International Standards
and Recommended Practices



Slika 2. Aneks 19 – Upravljanje sigurnošću

Izvor: [1]

Aneks 19 od iznimne je važnosti jer doprinosi proaktivnom pristupu upravljanju sigurnosnim rizicima, upravljanju i podupiranju strateškog regulatornog i infrastrukturnog razvoja, jačanju uloge države u upravljanju sigurnošću na državnoj razini (u koordinaciji s pružateljima usluga), te jer naglašava koncept sigurnosti u svim domenama [9]. Aneks 19 sadrži [1]:

- Poglavlje 1 – Definicije,
- Poglavlje 2 – Primjenjivost,
- Poglavlje 3 – Odgovornosti države u upravljanju sigurnošću,

- Poglavlje 4 – Sustav upravljanja sigurnošću (SMS – *Safety Management System*),
- Poglavlje 5 – Prikupljanje, analiza i razmjena podataka o sigurnosti,
- Dodatak 1 – Državni sustav nadzora sigurnosti,
- Dodatak 2 – SMS okvir,
- Prिवитak A – Okvir nacionalnog programa sigurnosti (SSP – *State Safety Programme*)
- Prिवитak B – Pravne smjernice za zaštitu informacija prikupljenih u sigurnosne svrhe.

Drugi ključan dokument ICAO-a vezan uz upravljanje sigurnošću, *ICAO Safety Management Manual* (SMM), Doc 9859 – Priručnik za upravljanje sigurnošću, prikazan je na slici 3.



Slika 3. ICAO priručnik za upravljanje sigurnošću

Izvor: [10]

Njegov nastanak posljedica je ubrzanog tehnološkog razvoja zrakoplovstva i njegovog rasta, ali i potrebe za kontrolom povezanih rizika. Svi sudionici procesa zračnog prijevoza u Priručniku mogu pronaći smjernice za upravljanje sigurnošću. Priručnik za upravljanje sigurnošću je normativa svih međunarodnih sustava upravljanja sigurnošću jer su u njemu navedeni osnovni elementi i načela koje je potrebno slijediti. Njegovo četvrto izdanje iz 2018. godine formirano je u skladu s Aneksom 19 – Upravljanje sigurnošću te s okvirima nacionalnog

programa sigurnosti i sustava upravljanja sigurnošću [8]. ICAO priručnik za upravljanje sigurnošću sastoji se od 9 poglavlja [10]:

- Poglavlje 1 – Uvod,
- Poglavlje 2 – Osnove upravljanja sigurnošću,
- Poglavlje 3 – Sigurnosna kultura,
- Poglavlje 4 – Upravljanje sigurnosnim performansama,
- Poglavlje 5 – Sustavi za prikupljanje i obradu podataka o sigurnosti,
- Poglavlje 6 – Sigurnosna analiza,
- Poglavlje 7 – Zaštita podataka o sigurnosti, sigurnosnih informacija i povezanih izvora,
- Poglavlje 8 – Upravljanje sigurnošću na razini države,
- Poglavlje 9 – Sustavi upravljanja sigurnošću.

Pridržavanje ovih regulatornih okvira na globalnoj razini važno je upravo zbog benefita koji proizlaze iz upravljanja sigurnošću [10]:

- ojačana sigurnosna kultura – uključivanje osoblja u upravljanja sigurnosnim rizicima i naglašavanje važnosti istog može uvelike ojačati sigurnosnu kulturu organizacije; uobičajeno je da osoblje prihvaća i implementira sigurnost kao prioritet u normalnim operacijama ako to mogu vidjeti na primjeru uprave;
- definiran pristup temeljen na osiguranju sigurnosti – utvrđuje jasan i dokumentiran pristup k postizanju sigurnih operacija koji je lako objašnjiv i razumljiv za osoblje; također pomaže optimizaciji resursa potrebnih za implementaciju promjene;
- bolje razumijevanje sučelja i veza relevantnih za sigurnost – proces dokumentiranja i definiranja sučelja za upravljanje sigurnošću dovodi do razumijevanja veza unutar samog procesa što za posljedicu ima bolje shvaćanje kompletnog procesa i važnosti efikasnosti istog;
- poboljšano rano otkrivanje opasnosti vezanih uz sigurnost – poboljšava sposobnost države/pružatelja usluge da detektira sigurnosne ugroze u nastajanju što može dovesti do sprječavanja zrakoplovnih nesreća i nezgoda kroz proaktivnu identifikaciju opasnosti i upravljanje sigurnosnim rizicima;
- donošenje odluka temeljenih na podacima o sigurnosti – omogućava državi/pružatelju usluga olakšano prikupljanje podataka vezanih uz sigurnost s ciljem provođenja sigurnosnih analiza. u kombinaciji sa strateškim razmišljanjem, zaključci izvedeni iz sigurnosnih analiza mogu pomoći u donošenju kvalitetnijih odluka;
- poboljšana komunikacija vezana uz sigurnost – stvara se zajednički „sigurnosni jezik“ za cijelu organizaciju, ali i industriju; zajednički „sigurnosni jezik“ je ključan za razvoj i razumijevanje organizacijskih sigurnosnih ciljeva i postignuća, te se posebice ističe važnost praćenja pokazatelje sigurnosnih performansi (SPIs – *Safety Performance Indicators*) te postavljanja ciljeva sigurnosnih performansi (SPTs – *Safety Performance Targets*) koji pružaju smjernice za upravljanje sigurnošću;

- dokaz da je sigurnost prioritet – demonstrira kako uprava potiče i osigurava sigurnost, kako su sigurnosni rizici identificirani i upravljani te kako su pokazatelji sigurnosnih performansi kontinuirano unaprjeđivani što rezultira povećanim povjerenjem u zrakoplovstvo; povjerenje djelatnika u pokazatelje organizacije može dovesti i do privlačenja i zadržavanja kvalitetnog osoblja;
- moguća značajna financijska ušteda – nekim pružateljima usluga otvara se i mogućnost potraživanja popusta na premije osiguranja te smanjenja kompenzacijskih premija djelatnika;
- poboljšana učinkovitost – uočavanje manjkavosti u postojećim procesima i sustavima može rezultirati i smanjenjem nekih operativnih troškova;
- izbjegavanje troškova – kroz proaktivnu identifikaciju opasnosti i upravljanje sigurnosnim rizicima, trošak koji se pojavljuje zbog zrakoplovnih nesreća i nezgoda može biti izbjegnuto; to se odnosi na direktne troškove poput ozljeda, oštećene imovine, troškove popravka opreme i troškove generirane kašnjenjem, ali i na indirektno troškove kao što su sudski postupci, gubitak posla i narušena reputacija, alati i trening, povećane premije osiguranja, smanjenje produktivnosti osoblja, unutarnje istrage, itd.

2.2. Regionalni regulatorni okvir upravljanja sigurnošću u zrakoplovstvu

ICAO je iz razloga kontinuiranog praćenja rada svoje države članice razvrstala u sedam ICAO regija tj. u regionalne zrakoplovne sigurnosne grupe (RASGs – *Regional Aviation Safety Groups*). Za svaku regiju određen je regionalni ured koji je odgovoran za države članice kojima je dodijeljen, ali i održavanje suradnje s drugim relevantnim državama vezano uz zračnu plovidbu, zračni prijevoz, regionalne organizacije, tehničku suradnju, pravne teme te sigurnost [11]. ICAO regije, prikazane su na slici 4. [12]:

- Azija i Pacifik (APAC) s regionalnim uredom smještenim u Bangkoku,
- Istočna i Južna Afrika (ESAF) s regionalnim uredom smještenim u Nairobiju,
- Europa i Sjeverni Atlantik (EUR/NAT) s regionalnim uredom smještenim u Parizu,
- Bliski Istok (MID) s regionalnim uredom smještenim u Kairu,
- Sjeverna i Središnja Amerika te Karibi (NACC) s regionalnim uredom smještenim u Meksiku,
- Južna Amerika (SAM) s regionalnim uredom smještenim u Limi,
- Zapadna i Središnja Afrika (WACAF) s regionalnim uredom smještenim u Dakru.



Slika 4. ICAO regije

Izvor: [12]

Nesreće po ICAO regijama dio su ICAO godišnjih sigurnosnih izvješća. Tako je u ICAO godišnjem izvješću u 2022. godini prema broju smrtnih slučajeva vodeća bila APAC regija, a slijedile su ju ESAF, WACAF, SAM te NAC regija. Bez zabilježenih smrtnih slučajeva bile su EUR/NAT i MID regije [12].

S aspekta organizacija, najveću regionalnu važnost za europsko područje ima Europska agencija za sigurnost zračnog prometa, dok je za područje Sjedinjenih Američkih Država najvažnija Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo.

2.2.1. Europska agencija za sigurnost zračnog prometa

Europska agencija za sigurnost zračnog prometa (EASA – *European Union Aviation Safety Agency*) je agencija Europske unije osnovana 28. rujna 2003. godine sa sjedištem u Kölnu. EASA ima posebne regulatorne i izvršne zadatke vezane uz civilno zrakoplovstvo. Više od 20 godina, dinamični je centar za zrakoplovnu sigurnost i zaštitu okoliša u Europi. Kao neovisno i neutralno tijelo, osigurava sigurne operacije zračnog prometa u Europi, ali i diljem svijeta na način da predlaže i formira regulativu, standarde i smjernice, certificira zrakoplove, dijelove i opremu te odobrava i nadgleda organizacije u svim domenama zrakoplovstva. Zemlje članice EASA-e su države članice Europske unije te Švicarska, Norveška, Island i Lihtenštajn [13].

Temeljne vrijednosti EASA-e, poštovanje, jedinstvo, integritet, transparentnost i inovativnost, ujedno su i smjernice u ispunjavanju njihovih misija [13]:

- osigurati najvišu razinu sigurnosti za građane europske unije,
- osigurati najvišu razinu zaštite okoliša,
- standardizirati regulatorne i certifikacijske procese u državama članicama,
- pospješiti zrakoplovno tržište i osigurati ravnopravne uvjete tržišnog natjecanja,

- surađivati s drugim međunarodnim zrakoplovnim organizacijama i regulatorima.

Uredba (EU) 2018/1139 Europskog parlamenta i Vijeća centralni je dokument EASA-e kojim je ista i uspostavljena. U njoj je navedeno i da su za upravljanje sigurnošću u zrakoplovstvu nužni i Europski program za sigurnost zračnog prometa i Europski plan za sigurnost zračnog prometa, te za svaku državu članicu vlastiti Nacionalni program sigurnosti i Nacionalni plan za sigurnost zračnog prometa [14].

Uzevši u obzir izvješće Europske komisije koja je provela procjenu EASA-e i Uredbe (EU) 2018/1139, zaključeno je da je Uredba generalno uspješna u realizaciji sigurnih, učinkovitih i jednakih uvjeta za zrakoplovstvo Unije, kao i u rješavanju ekoloških aspekata zrakoplovne industrije. Smatra se da su EASA i Uredba ključne za europsku integraciju u području zračnog prijevoza te doprinose sigurnosti, zaštiti okoliša, učinkovitosti i stvaranju jednakih uvjeta za zrakoplovnu industriju [15].

2.2.2. Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo

Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo (FAA – *Federal Aviation Administration*) je tijelo američkog Ministarstva prometa osnovano 1958. godine, sa sjedištem u Washingtonu, čija je svrha reguliranje i nadziranje civilnog zračnog prometa u Sjedinjenim Američkim Državama. Njihova misija je stvaranje i održavanje sigurnog i najefikasnijeg zrakoplovnog sustava na svijetu. Uključeni su u sve aspekte zračnog prometa uključujući zračne luke, usluge zračne plovidbe, financije i menadžment, upravljanje ljudskim potencijalima, itd. [16].

Isključivo za sigurnost zračnog prometa zadužena je njihova organizacija Sigurnost zračnog prometa (AVS – *Aviation Safety*) koja je odgovorna za certifikaciju, odobrenje proizvoda, kontinuiranu plovidbenost zrakoplova, certificiranje pilota, mehaničara i ostalog osoblja na pozicijama vezanim uz sigurnost. Također su odgovorni za [17]:

- certificiranje svih zrakoplovnih operatora i organizacija za održavanje u domaćem civilnom zrakoplovstvu,
- certificiranje i sigurnosni nadzor približno 7300 komercijalnih zračnih prijevoznika i operatora,
- civilne letačke operacije,
- stvaranje propisa.

Iako najistaknutija regionalna regulatorna tijela vezana uz upravljanje sigurnošću u zrakoplovstvu imaju slične ciljeve, EASA i FAA razlikuju se po pristupima, pravilima i regulativom. U tablici 2. navedene su temeljne razlike [18].

Tablica 2. Temeljne razlike između EASA-e i FAA-e

	EASA	FAA
Teritorijalna pokrivenost	uglavnom područje Europske unije	uglavnom područje Sjedinjenih Američkih Država
Standardi certificiranja	stroži zahtjevi vezani uz zaštitu okoliša i smanjenje buke	fleksibilniji pristup certificiranju
Propisi	stroži pristup, zahtijevaju redovite preglede i revizije od strane regulatornih tijela	pasivniji pristup, operator ima veću kontrolu u održavanju zrakoplova
Pristup sigurnosti	pristup temeljen na određivanju i ispunjavanju određenih standarda	pristup fokusiran na riziku, bazira se na identifikaciji i upravljanju rizicima

Izvor: [18]

U svrhu olakšavanja suradnje i pojednostavljivanja procesa certificiranja, EASA i FAA sklopile su nekoliko bilateralnih sporazuma. Ovi sporazumi omogućuju međusobno priznavanje certifikata i odobrenja što eliminira potrebu za izdavanjem više certifikata. Primarni bilateralni sporazum između EASA-e i FAA-e je Bilateralni sporazum o sigurnosti zračnog prometa (BASA – *Bilateral Aviation Safety Agreement*) u kojem se nalazi aneks o međusobnom priznavanju Dodatnog certifikata tipa (STC – *Supplemental Type Certificate*) kojim se osigurava da su sve preinake i popravci zrakoplova u skladu sa sigurnosnim standardima [19]. Ovim sporazumom EASA i FAA mogu prihvatiti međusobne STC za određene preinake i popravke zrakoplova, što smanjuje vrijeme i financijske resurse potrebne zračnim prijevoznicima i proizvođačima da steknu certifikat obiju agencija. Uz to, benefiti koje pruža BASA su i pojednostavljeni proces certificiranja, povećani pristup tržištu i poboljšana sigurnost jer se ističe imperativ sigurnosti bez obzira na mjesto certificiranja [19].

2.3. Nacionalni regulatorni okvir upravljanja sigurnošću u zrakoplovstvu

Prema Poglavlju 3 Aneksa 19 – Upravljanje sigurnošću, države su dužne uspostaviti i održavati Nacionalni program sigurnosti (SSP – *State Safety Programme*) koji mora biti razmjeran veličini i složenosti nacionalnog sustava civilnog zrakoplovstva. Države smiju delegirati funkcije i aktivnosti povezane s upravljanjem sigurnošću drugoj državi, Regionalnoj organizaciji za nadzor sigurnosti (RSOO – *Regional Safety Oversight Organization*) ili Regionalnoj organizaciji za istraživanje nesreća i nezgoda (RAIO – *Regional Accident and Incident Investigation Organization*) [1].

SSP je integrirani set propisa i aktivnosti čija je svrha poboljšanje sigurnosti na nacionalnoj razini. On predstavlja sustav upravljanja sigurnošću jedne države. Ciljevi SSP-a su [10]:

- osigurati da država ima učinkovit regulatorni okvir s pripadajućim operativnim propisima,
- osigurati usklađivanje državnih regulatornih i upravnih organizacija u njihovim ulogama upravljanja sigurnosnim rizicima,
- podržavati učinkovitu implementaciju i interakciju sa SMS-om pružatelja usluga,
- olakšati praćenje i mjerenje sveukupne sigurnosne izvedbe državne zrakoplovne

industrije,

- održavati i/ili kontinuirano poboljšavati funkcije upravljanja sigurnošću države,

Implementacija SSP-a zahtijeva koordinaciju među brojnim organizacijama odgovornim za zrakoplovstvo države. No, implementacija ne utječe na ulogu tih organizacija niti na njihove međusobne interakcije, već potiče poboljšanje kolektivne sigurnosti. Osnovu SSP-a čine četiri komponente i jedanaest elemenata prikazanih na slici 5. [10].



Slika 5. Četiri osnovne komponente Nacionalnog programa sigurnosti

Izvor: [10]

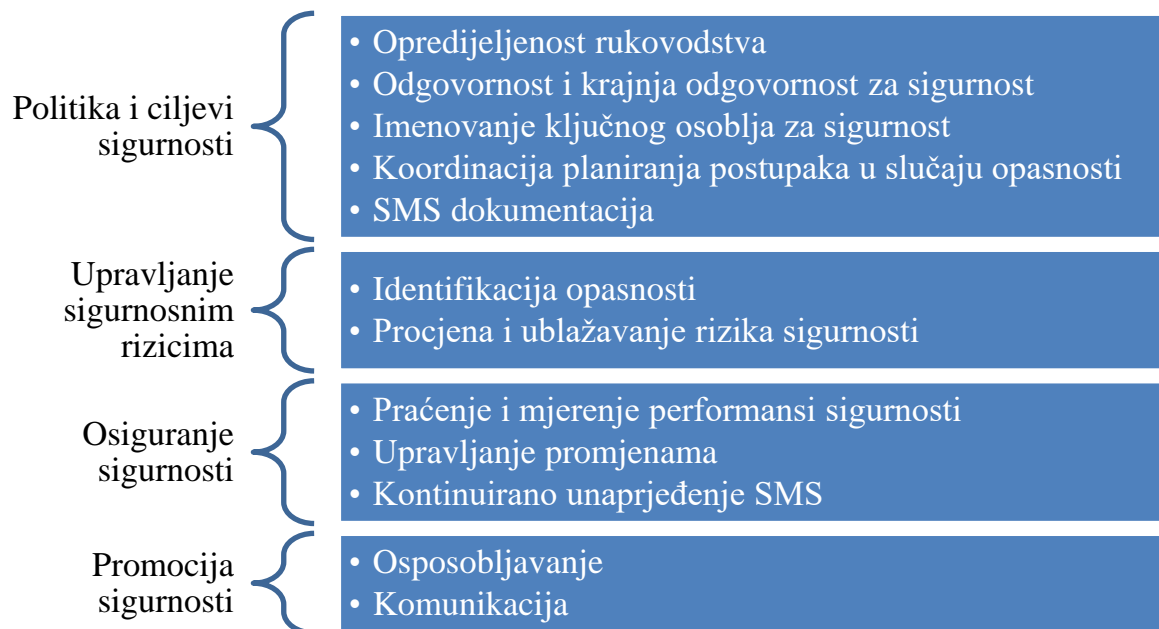
Vlada Republike Hrvatske 24. studenog 2022. donijela je odluku o donošenju Nacionalnog programa sigurnosti u zračnom prometu. Nacionalni program sigurnosti u zračnom prometu sadrži regulatorne zahtjeve i aktivnosti nužne za održavanje i unaprjeđenje sigurnosti u zračnom prometu, a sadržajno je podijeljen na četiri poglavlja [20]:

- Poglavlje 1 – Politika sigurnosti, ciljevi i resursi,
- Poglavlje 2 – Upravljanje rizicima u hrvatskom zrakoplovstvu,
- Poglavlje 3 – Osiguravanje sigurnosti zračnog prometa,
- Poglavlje 4 – Promocija sigurnosti zrakoplovstva.

Uz Nacionalni program sigurnosti, Vlada Republike Hrvatske je 20. ožujka 2023. godine donijela i Plan sigurnosti u zračnom prometu za razdoblje 2023-2025. Plan sigurnosti u

zračnom prometu strateški je dokument komplementaran SSP-u. U njemu su identificirani glavni sigurnosni rizici koji utječu na nacionalni sustav sigurnosti civilnog zrakoplovstva. Zatim se, na način opisan u SSP-u, ti rizici na učinkovit način ublažavaju. Prema planu sigurnosti, glavni nacionalni operativni rizici su integracija sustava bespilotnih zrakoplova, ometanje rada posade laserom, sudari zrakoplova s pticama/divljači, operacije zrakoplova s nekontroliranih aerodroma te rizik vezan uz aktivnosti parajedrilica [21].

Učinkovitost upravljanja sigurnošću od strane države jača je ako je implementirana na formalni način kroz SSP, ali i kroz SMS-e pružatelja usluga. SSP i SMS-i pružatelja usluga sustavno pronalaze sigurnosne rizike, poboljšavaju sigurnosne performanse pružatelja usluga te kolektivno poboljšavaju sigurnosne performanse na nacionalnoj razini [10]. Iz tog razloga je Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo (CCAA – *Croatian Civil Aviation Agency*) donijela Naredbu o zrakoplovnoj sigurnosti ASO-2010-004 čija je svrha predstavljanje okvira za implementaciju SMS-a pružateljima usluga. Iako ne postoji SMS model koji bi pristajao svim tipovima i veličina organizacije pružatelja usluga, ovim putem je izložen referentni okvir prikazan na slici 6. [22].



Slika 6. Okvir za uspostavu SMS-a pružatelja usluga

Izvor: [22]

3. UPRAVLJANJE SIGURNOSNIM RIZICIMA U ZRAKOPLOVSTVU

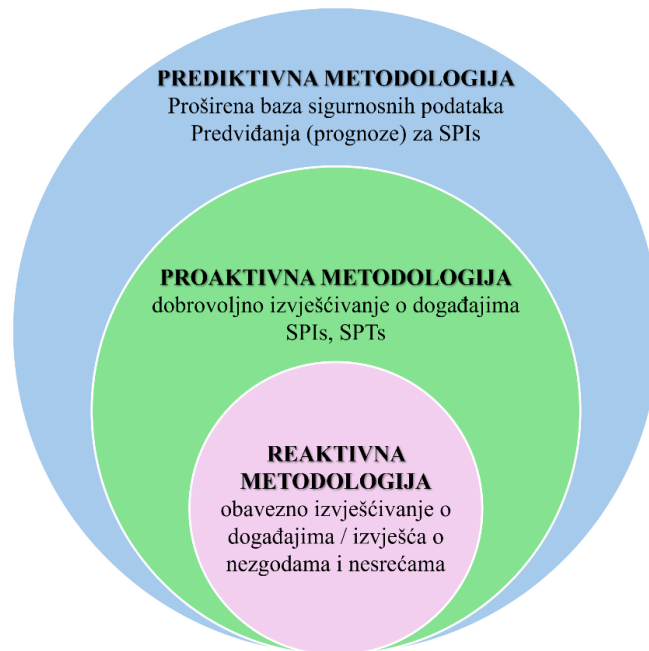
Učinkovit sustav za upravljanje sigurnošću sastoji se od četiri glavne komponente, a to su politika i ciljevi sigurnosti, upravljanje sigurnosnim rizicima, osiguranje sigurnosti i promocija sigurnosti. Druga komponenta, upravljanje sigurnosnim rizicima, ujedno je i srž samog SMS-a [23]. Komponente u procesu upravljanja sigurnosnim rizicima u zrakoplovstvu prikazani su na slici 7.



Slika 7. Komponente u procesu upravljanja sigurnosnim rizicima

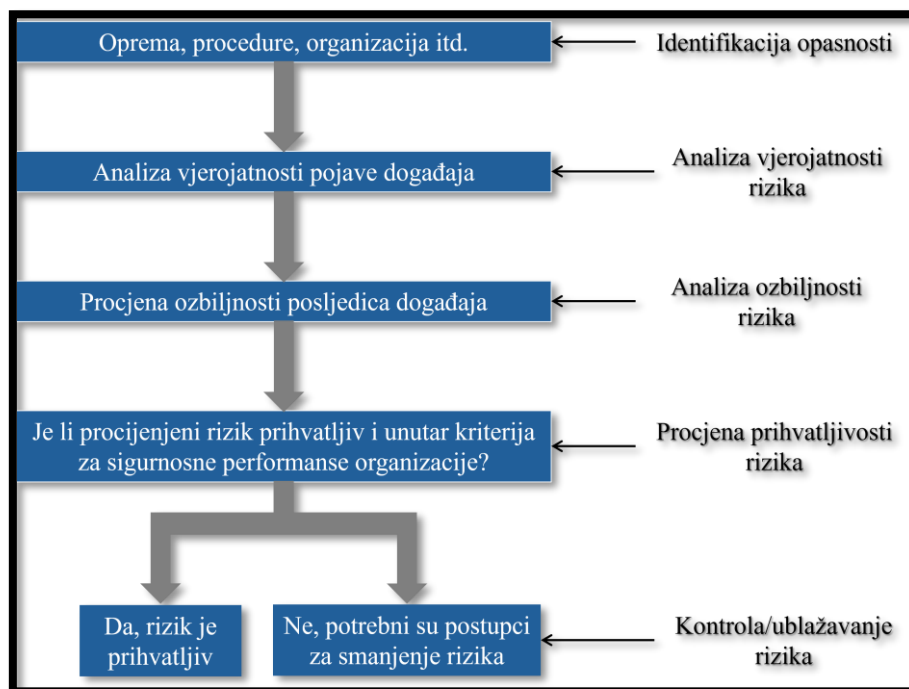
Izvor: [24]

Tri glavne metodologije korištene u upravljanju sigurnošću su reaktivna, proaktivna i prediktivna. Te metodologije usko su povezane s upravljanjem sigurnosnim rizicima i osiguranjem sigurnosti. Reaktivni pristup je tradicionalnija metoda koja se bazira na analizi uzročnosti u aktivnim fazama pojave nesreća ili nezgoda tj. reaktivna metodologija zahtijeva prikupljanje podataka iz prethodnih nesreća ili nezgoda i učenje iz njihovih ishoda. Proaktivna metodologija također zahtijeva prikupljanje podataka, ali iz raznih sustava sigurnosnog izvješćivanja i praćenja pokazatelja sigurnosnih performansi kako bi se otkrili i ublažili potencijalni rizici i opasnosti koji dovode do pojava nezgoda ili nesreća. Prediktivna metodologija je najsuvremeniji pristup koji generira prediktivne analize (prognoze) koristeći trendove i uzorke ponašanja nastale korištenjem povijesnih i aktualnih informacija vezanih uz sigurnost. Te informacije proizlaze iz obaveznog izvješćivanja o događajima (MOR – *Mandatory Occurrence Reporting*), dobrovoljnog izvješćivanja o događajima (VOR – *Voluntary Occurrence Reporting*), podataka dobivenim praćenjem određenih pokazatelja i ciljeva sigurnosnih performansi (SPIs i SPTs), povijesnih i aktualnih informacija vezanih uz sigurnost, itd. [23]. Odnos triju glavnih metodologija prikazan je na slici 8.



Slika 8. Odnos metodologija upravljanja sigurnošću
Izvor: [23]

Upravljanje sigurnosnim rizicima je postupak identifikacije, analize te zatim eliminacije ili ublažavanja opasnosti koje prijete organizaciji na prihvatljivu razinu. Prije implementacije SMS-a, nužno je identificirati opasnosti i biti u mogućnosti upravljati rizikom. Iako su opasnosti po sigurnost u zrakoplovstvu neizbježne, njihova manifestacija i negativne posljedice mogu biti spriječene mjerama za ublažavanje rizika. Zbog toga je identifikacija opasnosti prvi i ključni korak u procesu upravljanja sigurnosnim rizicima, kako je prikazano na slici 9. [25].



Slika 9. Koraci procesa upravljanja sigurnosnim rizicima
Izvor: [10]

3.1. Identifikacija opasnosti

Ključan element učinkovitog SMS-a je proces identifikacije, prijavljivanja, istrage, praćenja, nadzora, analize i kontroliranja opasnosti vezanih uz sigurnost. Direktno, pravovremeno i precizno prijavljivanje opasnosti omogućuje pružatelju usluga da korigira sustav u skladu s njegovim slabostima prije nastanka neželjenih posljedica. Efektivna identifikacija opasnosti temelj je učinkovitog upravljanja rizicima. Nužno ju je provoditi kroz reaktivni, proaktivni i prediktivni pristup, a balans sva tri pristupa tj. metodologije pruža mogućnost identifikacije svih opasnosti organizaciji te ojačava sigurnosnu kulturu [26].

Opasnost čini sve što može uzrokovati ozljedu, štetu i povredu ili imati ikakvu negativnu posljedicu npr. vremenske neprilike, planinsko područje, manjak opreme za hitne slučajeve, značajno radno opterećenje, umor, upotreba alkohola i droga, i slično. Dakle to je svako stanje, događaj ili okolnost koji bi u određenim uvjetima moglo rezultirati nesrećom. Proces upravljanja rizicima identificira sve opasnosti, od opasnosti u kontekstu organizacije do opasnosti koje nastaju zbog neuspješnog prilagođavanja promjenama u operativnom okruženju. Dinamično i promjenjivo ponašanje čovjeka, njegova učinkovitost i kulturološki elementi također trebaju biti kontinuirano promatrani u procesi upravljanja sigurnosnim rizicima [25].

Svaka identificirana i kontrolirana opasnost korisna je za sigurnost organizacije. Postoje razni izvori za identifikaciju opasnosti, a s aspekta organizacije dijele se na unutarnje i vanjske. Neki od unutarnjih izvora su [10]:

- nadziranje redovnih operacija – praćenje svakodnevnih operacija i aktivnosti poput sigurnosnog audita redovnih operacija (LOSA – *Line Operations Safety Audit*),
- automatizirani sustavi nadzora – korištenje automatiziranih sustava za praćenje parametara koji se mogu naknadno analizirati poput sustava za praćenje podataka o letu (FDM – *Flight Data Monitoring*),
- Sustavi dobrovoljnog i obaveznog izvješćivanja o događajima (VOR i MOR sustav) – pružaju mogućnost djelatnicima da prijave opasnost ili ikakav problem vezan uz sigurnost organizacije,
- auditi – korisni za identifikaciju opasnosti putem identificiranih nesukladnosti u procesu nadzora,
- povratne informacije vezane uz osposobljavanje – interaktivno osposobljavanje omogućava identifikaciju opasnosti od strane sudionika tj. djelatnika koji prolaze osposobljavanje,
- sigurnosne istrage koje provodi sam pružatelj usluga – opasnosti identificirane tijekom provođenja internih istraga vezanih uz sigurnost ili iz vlastitih pratećih izvještaja nakon nezgoda ili nesreća.

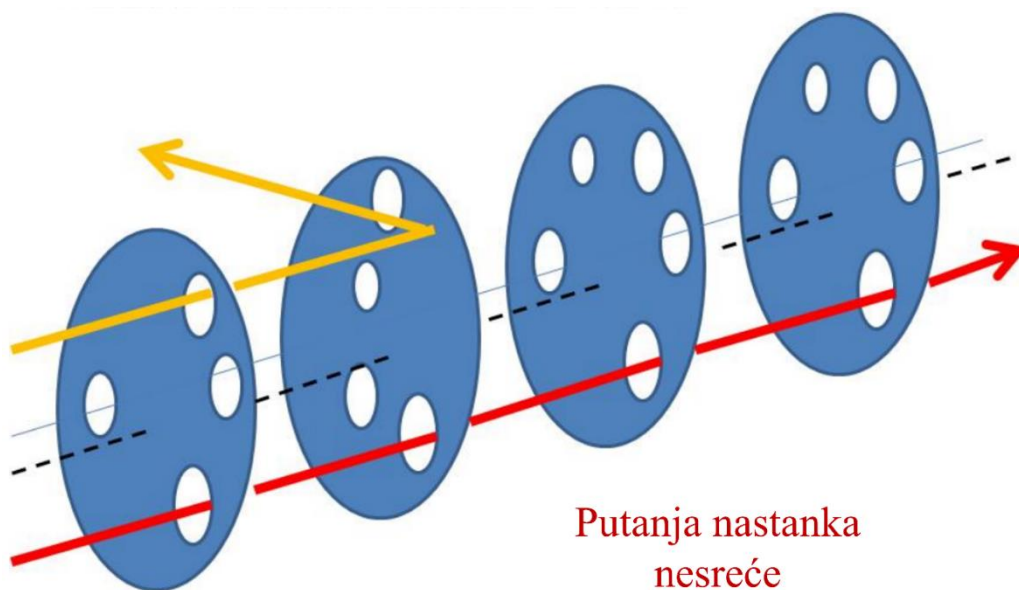
Primjeri vanjskih izvora za identifikaciju opasnosti su [10]:

- izvješća o zrakoplovnim nesrećama – izvješća koje ne pripadaju samom pružatelju usluga, ali su mu srodne zbog nekih faktora npr. nalaze se u istoj državi, tip zrakoplova je isti ili sličan, nalaze se u istoj regiji ili operativnom okruženju,

- državni sustavi dobrovoljnog i obaveznog izvješćivanja o događajima – neke države objavljuju važne informacije iz izvješća o sigurnosti koje primaju od pružatelja usluga,
- državni auditi ili inspekcije koje provodi treća strana – vanjske revizije ponekad lakše identificiraju opasnosti koje inače ne bi bile identificirane ili bi bile neklasificirane,
- udruženja i sustavi razmjene informacija – mnoga trgovačka udruženja i industrijske grupacije su u posjedu podataka vezanih uz sigurnost, a koji mogu pomoći u identificiranju opasnosti.

Uz navedene, postoje i druge metode za identifikaciju opasnosti poput razmjene ideja (*brainstorming*), istraživanja radova i članaka vezanih uz sigurnost, ankete i upitnici za djelatnike, te korištenje konceptualnih modela poput [25]:

- SHELL model – SHELL model je konceptualni alat koji se koristi za analizu interakcije sljedećih komponenti sustava: softvera, hardvera, okoline i čovjek; u središtu modela je čovjek koji je u konstantnoj interakciji s ostalim komponentama, a potencijalna neusklađenost pridonosi ljudskog pogrešci [27];
- model uzročnosti nesreća Jamesa Reasona – tzv. model švicarskog sira (*Swiss Cheese Model*) objašnjava da se većina nesreća može objasniti neuspjehom obrambenih barijera, točnije organizacijskim utjecajem i/ili nekvalitetnim nadzorom i/ili preduvjetima za nesigurna djelovanja i/ili nesigurnim djelovanjima; ako putanja nastanka nesreće (prikazana na slici 10.) uspije proći kroz sve barijere organizacije, tada zasigurno dolazi do nesreće [28];
- leptir-mašna dijagram (*Bow Tie Diagram*) – metodologija leptir-mašne je grafički alat za upravljanje rizicima koji vizualizira kontrolne segmente, barijere i mjere za ublažavanje rizika, a koji se koriste za izbjegavanje opasnosti [29].



Slika 10. Model uzročnosti nesreća Jamesa Reasona
Izvor: [28]

Identifikacija opasnosti predstavlja kontinuiranu, trajnu aktivnost. Neki događaji, poput značajnih promjena u organizaciji i njenim aktivnostima ili neobjašnjivi porast broja događaja povezanih sa sigurnošću, zahtijevat će detaljniju istragu ili procjenu radi utvrđivanja potencijalnih opasnosti. No, važno je proaktivno identificirati opasnosti prije nego dovedu do neželjenog ishoda poput nesreće, nezgode ili nekog drugog događaja vezanog uz sigurnost [25].

3.2. Definiranje i procjena sigurnosnih rizika

Sigurnosni rizik je predviđena vjerojatnost i ozbiljnost posljedica ili ishoda neke opasnosti. Neke opasnosti mogu imati više mogućih ishoda tj. stvoriti više različitih rizika. U tom slučaju je potrebno zabilježiti i definirati sve potencijalne rizike [25]. Pri procjeni rizika, u obzir se uzimaju njegova dva glavna svojstva – vjerojatnost i ozbiljnost. U određivanju vjerojatnosti pojave nekog rizika mogu pomoći sljedeća pitanja [10]:

- Je li već došlo do pojave sličnih događaja ili je ovaj događaj izolirana pojava?
- Postoji li još neka oprema ili komponenta istog tipa sa sličnim problemima?
- Koji broj ljudi obuhvaća ova procedura?
- Kolika je izloženost ovom riziku? Na primjer, koji postotak trajanja operacije je ta oprema u upotrebi?

Na taj način određuje se vjerojatnost pojave rizika. S obzirom na tu vjerojatnost, riziku se dodjeljuje neka od vrijednosti prikazanih u tablici 3.

Tablica 3. Tablica vjerojatnosti sigurnosnih rizika

Vjerojatnost	Značenje	Vrijednost
Učestalo	Vjerojatno je da će se ponavljati (često se događalo)	5
Povremeno	Vjerojatno je da će se ponekad dogoditi (puno puta se dogodilo)	4
Rijetko	Postoji mogućnost da će se dogoditi (rijetko se dogodi)	3
Neznatno	Veoma nevjerovatno da će se dogoditi (nije zabilježeno da se dogodilo)	2
Izuzetno neznatno	Gotovo nezamislivo da će se ikada dogoditi	1

Izvor: [10]

Sljedeći korak u procesu procjene rizika, nakon što je određena vjerojatnost rizika, je procjena ozbiljnosti rizika. To znači da je potrebno procijeniti koliko će biti štetne posljedice potencijalnog događaja. Pri klasifikaciji ozbiljnosti rizika potrebno je uzeti u obzir [10]:

- smrtne slučajeve ili teške povrede koji su posljedica:
 - zbivanja u zrakoplovu,
 - direktnog kontakta s nekim dijelom zrakoplova, uključujući dijelove koji su se odvojili od zrakoplova,
 - direktne izloženosti udarnom valu mlaznog motora,
- štetu:
 - oštećenja strukture nastala na zrakoplovu koja:
 - negativno utječu na stabilnost, performanse ili letne karakteristike zrakoplova,
 - zahtijevaju veće popravke ili zamjenu zahvaćene komponente,
 - šteta nastala na aerodromskoj opremi ili opremi pružatelja usluga u zračnoj plovidbi, a koja:
 - negativno utječe na sposobnost razdvajanja zrakoplova,
 - negativno utječe na sposobnost slijetanja.

Na taj način određuje se ozbiljnost rizika. S obzirom na ozbiljnost, riziku se dodjeljuje neka od vrijednosti prikazanih u tablici 4.

Tablica 4. Tablica ozbiljnosti sigurnosnih rizika

Ozbiljnost	Značenje	Vrijednost
Katastrofalna	<ul style="list-style-type: none"> • zrakoplov i/ili oprema su uništeni • više smrtnih slučajeva 	A
Opasna	<ul style="list-style-type: none"> • fizička nelagoda ili radno preopterećenje zbog koji djelatnici ne mogu precizno i sigurno obavljati svoje zadatke • teške povrede • velika šteta na opremi 	B
Znatna	<ul style="list-style-type: none"> • smanjenje sposobnosti djelatnika da se nose s lošim uvjetima rada kao posljedica porasta u obujmu posla • ozbiljni incidenti • ozlijeđene osobe 	C
Mala	<ul style="list-style-type: none"> • smetnje • operativna ograničenja • aktivacija postupaka za slučaj opasnosti • manji incidenti 	D
Neznatna	<ul style="list-style-type: none"> • minimalne posljedice 	E

Izvor: [10]

Indeks sigurnosnog rizika nastaje kombiniranjem vrijednosti vjerojatnosti i ozbiljnosti rizika. Moguće kombinacije ozbiljnosti i vjerojatnosti nalaze se u matrici rizika (tablica 5.). Ona se koristi za određivanje prihvatljivosti rizika [10].

Tablica 5. Matrica rizika

<u>Sigurnosni rizik</u>	Ozbiljnost				
	Katastrofalna (A)	Opasna (B)	Znatna (C)	Mala (D)	Neznatna (E)
Vjerojatnost					
Učestalo (5)	5A	5B	5C	5D	5E
Povremeno (4)	4A	4B	4C	4D	4E
Rijetko (3)	3A	3B	3C	3D	3E
Neznatno (2)	2A	2B	2C	2D	2E
Izuzetno neznatno (1)	1A	1B	1C	1D	1E

Izvor: [10]

Indekse iz matrice rizika potrebno je prenijeti u tablicu prihvatljivosti sigurnosnih rizika. Prema opisu, sigurnosni rizik može biti prihvatljiv, dozvoljen ili nedozvoljen. U slučaju nedozvoljenog rizika, organizacija mora primijeniti mjere kako smanjila [10]:

- vlastitu izloženost pojedinom riziku tj. smanjila vjerojatnost sigurnosnog rizika,
- težinu posljedica određenog rizika tj. smanjila ozbiljnost sigurnosnog rizika,
- i vjerojatnost i ozbiljnost sigurnosnog rizika kako bi rizik bio dozvoljen.

Osim što se u tablici prihvatljivosti rizika nalaze indeksi i klasifikacija rizika, u njoj moraju biti vidljive i preporučene mjere za svaki tip rizika. Primjer tome je tablica 6.

Tablica 6. Tablični prikaz prihvatljivosti sigurnosnih rizika

Raspon indeksa sigurnosnih rizika	Opis sigurnosnog rizika	Preporučene mjere
5A, 5B, 5C, 4A, 4B, 3A	Nedozvoljen	Odmah poduzeti mjere za ublažavanje rizika ili prekinuti aktivnost dok indeks rizika ne postane dozvoljen.
5D, 5E, 4C, 4D, 4E, 3B, 3C, 3D, 2A, 2B, 2C, 1A	Dozvoljen	Može se tolerirati uz mjere za ublažavanje rizika.
3E, 2D, 2E, 1B, 1C, 1D, 1E	Prihvatljiv	Rizik je prihvatljiv te mjere ublažavanja nisu potrebne.

Izvor: [10]

Sigurnost u zrakoplovstvu uvijek predstavlja prioritet pa je procjena rizika ključna komponenta u osiguravanju sigurnosti svakog leta, ali i prostora te infrastrukture potrebne za zračni promet. Pretpostavlja se da će od 2025. godine pa na dalje sljedećih nekoliko trendova oblikovati procjenu sigurnosnih rizika u zračnom prometu [30]:

- prediktivna procjena rizika – prediktivne metodologije će se kontinuirano razvijati što će omogućiti proaktivnu identifikaciju i ublažavanje potencijalnih rizika; korištenjem povijesnih podataka, operativnih trendova i vanjskih faktora za prognoziranje rizika, sudionici u zračnom prometu moći će poduzimati preventivne mjere kako bi značajno smanjili broj nezgoda i nesreća;
- autentičnost dijelova – osiguravanje autentičnosti zrakoplovnih dijelova i komponenti ključno je za sigurnost leta zrakoplova; nastavit će se s provođenjem opsežnih procjena rizika kako bi se identificirao i ublažio rizik koji predstavljaju krivotvoreni dijelovi i materijali koji ne zadovoljavaju propisane standarde;
- AI i analitika – procjene rizika postajat će sve preciznije i sveobuhvatnije implementacijom analize podataka koju provodi AI; uz dostupne informacije o najnovijim tehnološkim napredcima, sudionici u zračnom prometu moći će precizno i efikasno analizirati velike količine podataka iz različitih izvora;
- procjena rizika u stvarnom vremenu – opremljeni ažurnim informacijama koje pristižu od raznih senzora, vremenskih prognoza, pružatelja usluga u zračnoj plovidbi i mnogih drugih, zračne luke i njihovi partneri moći će održavati aktualniju situacijsku svjesnost; kontinuiranim nadzorom situacije lakše će donositi odluke bazirane na kvalitetnim informacijama i procjenjivati rizike na više dinamičan i pravovremen način;
- prijetnja koju predstavljaju kibernetički rizici – zbog rastuće razine digitalizacije prisutne u zrakoplovima i zračnim lukama, kibernetički rizici će biti sve češći, ali i imati teže posljedice; kako bi se što učinkovitije spriječila eskalacija ovih rizika, potrebno je sve njihove pojavne oblike (uključujući hakiranje, zlonamjerne softvere, povrede podataka, itd.) uključiti u procjenu rizika;
- eskalacija prijetnji – procjena rizika pruža svojevrsnu pripremu za hitne slučajeve i incidente povezane sa sigurnošću; uključivanje scenarija za eskalaciju prijetnji i odgovor na incidente prakticiranjem različitih simulacija i obuka temeljenih na kritičnim rizicima bolje će pripremiti sudionike zračnog prometa za nove, potencijalne prijetnje.

3.3. Ublažavanje sigurnosnih rizika

Ublažavanje sigurnosnih rizika često se naziva i kontrolom sigurnosnih rizika. Sigurnosnim rizicima treba upravljati na prihvatljivoj razini ublažavajući ih primjenom određenih kontrola. Često rezultiraju promjenama u operativnim postupcima, opremi ili infrastrukturi. Ublažavanje sigurnosnih rizika moguće je razvrstati u tri kategorije [10]:

- izbjegavanje – operacija ili aktivnost je otkazana ili izbjegnuta jer sigurnosni rizici nadmašuju benefite operacije/aktivnosti, čime se rizik eliminira u potpunosti,

- smanjenje – učestalost operacije ili aktivnosti je umanjena, ili je poduzeta mjera kako bi se umanjila magnituda posljedica sigurnosnog rizika,
- Segregacija – poduzeta je mjera kako bi se izolirali efekti posljedice sigurnosnog rizika ili ojačala zaštita protiv njih.

Uzimanje ljudskog faktora u obzir nužno je kako bi se identificirale učinkovite mjere ublažavanja rizika jer su ljudi obvezni primjenjivati i doprinostiti mjerama ublažavanja. Nadalje, svaku predloženu mjeru za ublažavanje rizika potrebno je razmotriti kroz sljedeće perspektive [10]:

- učinkovitost – opseg u kojem alternativa smanjuje ili eliminira sigurnosni rizik,
- analiza troškova i dobiti – opseg u kojem dobit nadmašuje trošak stvoren radi implementacije mjere,
- praktičnost – koliko lako mjera za ublažavanje može biti implementirana te koliko je u skladu s dostupnom tehnologijom, financijskim i administrativnim sredstvima, zakonodavstvom, političkom voljom, itd.,
- prihvatljivost – koliko je mjera prihvatljiva za djelatnike koji će ju morati primjenjivati,
- primjenjivost – koliko je mjera u skladu s pravilima, regulativom i operativnim procedurama,
- trajanje – koliko dugo će mjera biti održiva i efektivna,
- preostali sigurnosni rizici – stupanj preostalog rizika te potencijalne mjere koje će isti zahtijevati,
- neželjene posljedice – nove opasnosti i prateći sigurnosni rizici povezani s implementacijom nove mjere za ublažavanje rizika,
- vrijeme – vrijeme potrebno za implementaciju nove mjere za ublažavanje rizika.

Procjena sigurnosnih rizika i ublažavanje rizika trebaju biti kontinuirano praćeni i ažurirani kako bi ostali učinkoviti pri upravljanju rizicima unutar organizacije. To je naročito važno kada se u operativnom okruženju događaju neke promjene. Razlog tome je činjenica da promjene najčešće imaju neželjene posljedice ili donose nove opasnosti u organizaciju [25].

Bez obzira na promjene, postoje principi upravljanja rizicima kojih se potrebno uvijek pridržavati. Organizacije ne smiju prihvaćati nepotrebne rizike te trebaju integrirati upravljanje rizicima u operacije, zadatke, planiranje i aktivnosti na svim razinama. Na kraju, potrebno je kontinuirano primjenjivati proces upravljanja rizicima [26].

4. ULOGA UMJETNE INTELIGENCIJE U ZRAKOPLOVSTVU

Umjetna inteligencija (AI – *Artificial Intelligence*) dio je računalstva usmjeren na osposobljavanje računala za obavljanje zadaća za koje je potreban neki oblik „inteligencije“. Neke od tih zadaća su rasuđivanje, donošenje odluka ili rješavanje kompleksnih problema. Raspon metoda korištenih u svrhu rješavanja takvih zadataka je širok te uključuje metode pretraživanja i matematičke optimizacije, logiku, analitičke i statističke metoda, metodu prognoziranja i sl. AI se u svom djelovanju oslanja i na filozofiju, psihologiju, lingvistiku, neuroznanost i brojna druga polja [31]. AI se već primjenjuje u sklopu brojnih poznatih platformi (YouTube, Netflix, Amazon), aplikacija za razumijevanje ljudskog govora (Siri, Alexa), usluga prijevoda (Google Translate), alata (ChatGPT), itd.

AI je tehnologija širokog spektra, a njeni najrelevantniji pristupi su pristup strojnog učenja (ML – *Machine Learning*), pristup temeljen na logici i znanju (LKB – *Logic- and knowledge-based*) te statistički pristup. Taksonomija relevantnih pristupa AI prikazana je na slici 11. [32].



Slika 11. Taksonomija umjetne inteligencije

Izvor: [32]

Zrakoplovstvo je jedna od tehnološki naprednijih industrija, što se očituje i u značajnom interesu za primjenom umjetne inteligencije u zrakoplovnoj industriji. Usvajanje i primjena AI tehnologije doprinosi poboljšanju sigurnosti, učinkovitosti i konkurentnosti pa su mnoge zrakoplovne organizacije već implementirale neka AI rješenja s ciljem unaprjeđenja i transformacije svog poslovanja te rješavanja izazova (primjeri na slici 12.).



Slika 12. Primjeri primjene umjetne inteligencije u zrakoplovnoj industriji
Izvor: [33]

No, primjena umjetne inteligencije donosi i određene rizike. Najveći rizik je mogućnost kvara ili hakiranja AI tehnologije. Ovaj scenarij može rezultirati neovlaštenom pristupu ključnim sustavima organizacije. Također je važno uzeti u obzir i suradnju čovjeka i AI tehnologije, odnosno ključna je neometana integracija tehnologije, a da se pritom ne kompromitira ljudska prosudba. Nadalje, zrakoplovstvo je prepoznatljivo po strogom regulatornom okviru pa uvođenje AI u isti neće biti jednostavan pothvat. Implementacija AI donosi i rizik gubitka radnih mjesta jer može dovesti do automatizacije većine procesa [34].

AI, kao i većina tehnoloških dostignuća, za sobom povlači i etička pitanja. Kako bi se bi se osiguralo povjerenje ljudi u digitalni napredak, nužno je upotrebljavati AI tehnologije pritom poštujući općeprihvaćene etičke vrijednosti. Zbog toga je ekstrapolirano sedam ključnih etičkih zahtjeva za pouzdanu AI tehnologiju [32]:

- ljudsko djelovanje i nadzor,
- tehnička stabilnost i sigurnost,
- privatnost i upravljanje podacima,
- transparentnost,
- raznolikost, nediskriminacija i pravednost,
- dobrobit ljudi i okoliša,
- odgovornost.

Unatoč rizicima, teži se implementaciji AI tehnologija zbog svih benefita koje ona donosi. Najznačajnija prednost korištenja AI u zrakoplovstvu je pojačana sigurnost, tj. poboljšane sigurnosne mjere kao rezultat bolje i brže analize podataka. Uz to, neke od prednosti su i optimizacija ruta te potrošnje goriva, a time i zaštita okoliša, itd. Stoga se teži opreznom i strateškom pristupu implementacije AI u zrakoplovne organizacije, čime se može postići skladna koegzistencija inovacije i sigurnosti [34].

Brojne domene zrakoplovstva već su zahvaćene ovom inovativnom tehnologijom, a one koje nisu uskoro će biti. Sustav zračnog prometa suočava se s brojnim izazovima: porast obujma zračnog prometa, stroži standardi za zaštitu okoliša, rastuća kompleksnost sustava, veći fokus na kompetitivnost tržišta, itd. Za svaki od navedenih izazova, AI tehnologije mogle bi ponuditi rješenje. Domene zrakoplovstva koje su posebno zahvaćene AI tehnologijama su dizajn i operacije zrakoplova, proizvodnja i održavanje zrakoplova, upravljanje zračnim prometom, aerodromi, zaštita okoliša, kibernetička zaštita te dronovi i urbana mobilnost.

4.1. Utjecaj umjetne inteligencije na dizajn i operacije zrakoplova

Dizajn tj. projektiranje zrakoplova složen je proces koji zahtjeva sveobuhvatan pristup samom projektu. Današnji zrakoplovi su skuplji i potrebno je više vremena za njihovu izgradnju. U samom planiranju ovog procesa, AI tehnologija mogla bi biti od velike pomoći [35]. Ova domena već je poboljšana umjetnom inteligencijom, točnije primjena DL-a je rezultirala računalnim vidom, obradom prirodnog jezika (NLP – *Natural Language Processing*) te analizom vremenskih nizova. Primjena se očituje u detekciji prometa kamerom visoke rezolucije ili asistencijom u komunikaciji kontrolora zračnog prometa pretvaranjem govora u tekst. Nadalje, hibridna umjetna inteligencija koja nastaje kombinacijom DL i LKB pristupa mogla bi postati efikasna podrška pilotu u procesu donošenja odluka [32].

Osim projektiranja, AI može biti od koristi i pri operacijama zrakoplova na način da asistira posadi davajući savjete pri rutinskim zadacima (npr. optimizacija profila leta) ili pružajući ključne podatke pri problemima s upravljanjem zrakoplova tj. u trenucima s povećanim radnim opterećenjem. Kako bi se osiguralo sigurno provođenje operacija, ključno je kontinuirano unaprjeđivati i osposobljavanja posade. To je još jedan aspekt u kojem bi ML bilo korisno jer bi povećalo učinkovitost osposobljavanja korištenjem velike količine podataka prikupljene tijekom prethodnih osposobljavanja i operacija zrakoplova [32]. Iz tog razloga, važnost AI prepoznaju i uspješni zračni prijevoznici poput Air France-a. Air France je vodeći europski zračni prijevoznik s oko 1000 letova popunjenih s prosječno 100 000 putnika na dnevnoj bazi. Još 1958. godine, Air France formira odjel za operativna istraživanja zadužen za promociju i strukturiranje inovacija kompanije. Njegova svrha bila je prilagodba tehnološkom razvoju dinamične industrije. Početkom 2000.-ih počeli su koristiti Prognos sustav za održavanje zrakoplova čime su ušli u eru prediktivne AI. Trenutno imaju preko 80 pokrenutih projekata koji se zasnivaju na korištenju AI u različitim sektorima kompanije pri čemu su neki još uvijek u fazi identifikacije najprikladnijeg rješenja, a neki su već u fazi dokaza koncepta.

Neki od njihovih najpoznatijih AI projekata su [36]:

- CHARLIE: alat koji koriste kompanijski timovi za održavanje zrakoplova, a omogućava pretraživanje zrakoplovnih dijelova po njihovim brojevima u bazama podataka samog prijevoznika ili proizvođača; ovaj alat donosi

vremensku uštedu u trenucima kada je potrebna zamjena ili popravak dijelova zrakoplova, čime doprinosi točnosti prijevoznika tj. pridržavanju reda letenja;

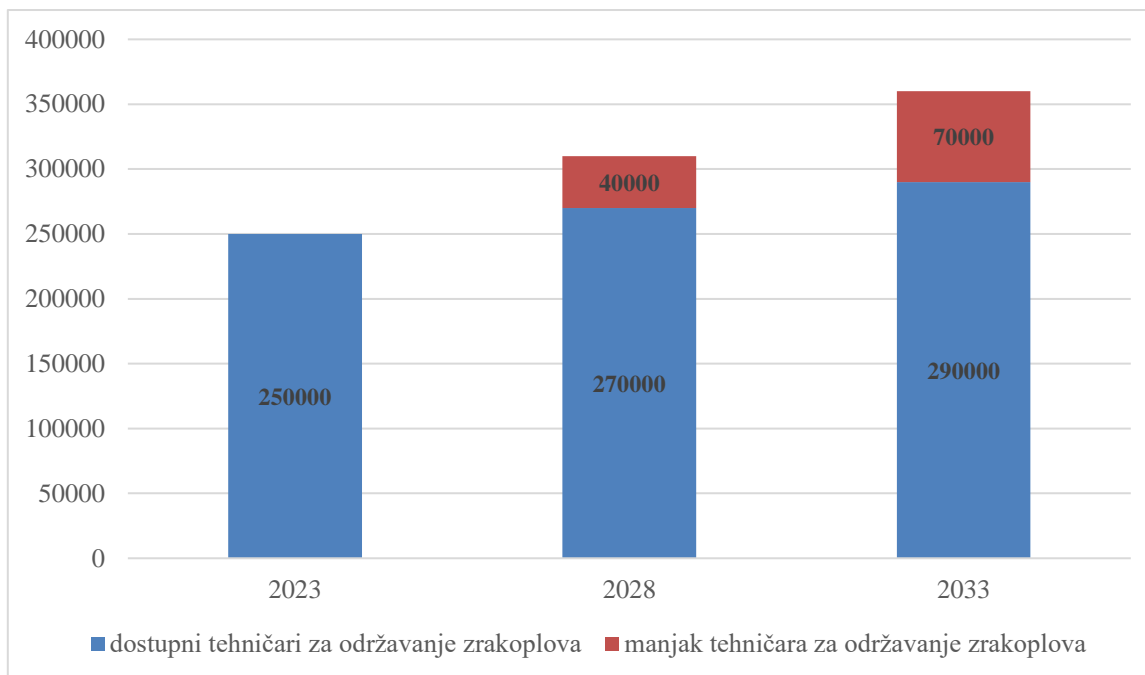
- FOX: alat koji služi za analizu povratnih informacija putnika s ciljem boljeg razumijevanja putničkih očekivanja i problema; korištenjem AI, ovaj alat automatski analizira povratne informacije putnika te može prevoditi raznovrsne i kompleksne tekstove;
- PAMELIA: alat koji pomaže djelatnicima na aerodromima pri pronalasku odgovora na upite putnika direktno putem njihovih iPad-ova; ovaj alat pretražuje priručnike samog prijevoznika te ostalo relevantnu dokumentaciju, nakon čega generira odgovor u obliku spremnom za dijeljenje s putnicima koji može biti preveden na 85 jezika; ovaj projekt trenutno je u testnoj fazi, a 2025. godine bi se trebao početi upotrebljavati na Zračnoj luci Charles de Gaulle u Parizu koja je ujedno i glavno prometno središte Air France-a;
- TALIA: ovaj alat predstavlja internu inačicu ChatGPT-a koja njihovim djelatnicima služi u svrhu pisanja elektroničke pošte, pretraživanja PDF dokumenata u svrhu pronalaska relevantnih informacija, organizaciju događaja, itd.

4.2. Utjecaj umjetne inteligencije na proizvodnju i održavanje zrakoplova

Proizvodnja i održavanje (zajedno s pripadajućim logističkim procesima) domena je u kojoj će umjetna inteligencija imati velik utjecaj. Značajno će promijeniti procese i poslovne modele pojedinih organizacija. Porastom količine podataka kojom organizacije za proizvodnju i održavanje zrakoplova moraju rukovati, raste i potreba za oslanjanjem na AI. Zato su među glavnim trendovima razvoj surogat modela i digitalnih blizanaca u proizvodnji, korištenje „internet stvari“ (IoT – *Internet of Things*) u lancu proizvodnje, te razvoj prediktivnog održavanja koje će, zahvaljujući ogromnim količinama podataka o floti, moći predvidjeti otkaze i predložiti preventivne mjere. Ovakav tip održavanja mogao bi povećati dostupnost zrakoplova za čak 35% [32].

Ključni sudionici industrije već su uvidjeli prednosti prediktivnog održavanja. Tako je Airbus optimizirao održavanje zrakoplova koristeći princip Airman (Aircraft Maintenance Analysis) kojim se konstantno nadzire stanje zrakoplova i njegovih dijelova te se, po potrebi, koristi za slanje upozorenja zemaljskoj kontroli. Uz upozorenja šalju se i potrebna dokumentacija te upute za otklanjanje poteškoća [32].

Mogućnost provedbe prediktivnog održavanja od izuzetne je važnosti za zračnog prijevoznika, prvenstveno zbog velikih troškova održavanja. Osim samog troška, prijevoznik je na gubitku kada je zrakoplov nedostupan u svrhe održavanja zbog toga što tada nije korišten za prijevoz. No osim navedenih, javlja se i problem manjka tehničara za održavanje zrakoplova. Kao što je prikazano na grafikonu 1., predviđa se da će taj kontinuirano rasti, što pridaje još veću važnost na prediktivno održavanje zrakoplova [37].



Grafikon 1. Očekivani broj dostupnih tehničara za održavanje zrakoplova i njihov nedostatak
Izvor: [37]

4.3. Utjecaj umjetne inteligencije na upravljanje zračnim prometom

Upravljanje zračnim prometom (ATM – *Air Traffic Management*) karakteriziraju određene repetitivne procedure koje generiraju enormne količine podataka. Zbog toga je ATM domena zrakoplovstva na koju su AI tehnologije već značajno utjecale s ciljem poboljšanja učinkovitosti njihovih operacija. Primjeri za to su [38]:

- TRUSTY projekt (*Trustworthy intelligent system for remote digital tower*) – udaljeni digitalni tornjevi imali bi mogućnost pružanja usluga zračne plovidbe sigurno i učinkovito kao i pravi tornjevi; cilj projekta je iskoristiti mogućnosti AI tehnologija kako bi se ojačale mogućnosti digitalnih tornjeva u vidu otpornosti, kapaciteta i učinkovitosti; korištenje pouzdanih AI tehnologija omogućit će daljinsko nadziranje uzletno-sletnih staza i voznih staza;
- ASTRA (*AI-enabled tactical flow management position hotspot prediction and resolution*), HARMONIC (*Harmonised network through smart technology and Collaboration*), ARTIMATION (*Transparent artificial intelligence and automation to air traffic management systems*), DART (*Data-driven aircraft trajectory prediction research*) – projekti čija je svrha eliminacija problema prometnih žarišta (*hotspots*) tj. njihovog predviđanja i rješavanja pomoću putanje leta zrakoplova koja se također predviđa AI tehnologijama;
- SMARTS projekt (*Smart sectorisation*) – optimizacija kapaciteta zračnog prostora ključna je kako bi se udovoljilo sadašnjim i budućim potrebama zračnog prometa, a pritom je važno i održavati sigurnost, poboljšavati učinkovitost i reducirati negativan utjecaj na okoliš; ovim projektom će AI tehnologije sudjelovati u dizajnu volumena zračnog prostora koji će imati

optimalno raspoređeno radno opterećenje, te zadovoljavati sigurnosnim i operativnim zahtjevima;

- eORD projekt (*Enhanced optimised runway delivery for arrivals*) – poboljšana optimalna separacija zrakoplova u dolasku uz strojno učenje može generirati preciznija predviđanja finalnih profila brzine što će omogućiti preciznije razdvajanje zrakoplova te umanjiti nepotrebne razmake između uzastopnih dolazaka zrakoplova;
- ISOBAR projekt (*Artificial intelligence solutions to meteo-based DCB imbalances for network operations planning*) – vremenski uvjeti su jedan od glavnih uzroka kašnjenja što stvara troškove putnicima, ali i zračnim prijevoznicima i zračnim lukama; predviđanje vremenskih uvjeta ključan je dio planiranja, zbog čega se taj dio mrežnog planiranja prepušta AI tehnologiji.

AI tehnologije, posebice ML, imaju značajan utjecaj na zračni promet te bi potencijalno mogle preoblikovati upravljanje zračnim prometom da bi se postigla maksimalna učinkovitost. Njihova upotreba poboljšava operacije i umanjuje operativne troškove pružatelja usluga.

4.4. Utjecaj umjetne inteligencije na aerodrome

Mnogi aerodromi diljem svijeta već koriste AI tehnologije kako bi poboljšali produktivnost. Vrijeme čekanja, duljina redova i pješačka udaljenost do određenih dijelova terminala samo su neki od podataka koje AI može koristiti. Na temelju tih podataka AI može predvidjeti zauzetost pojedinih sadržaja na terminalu, zbog čega organizacija može poduzeti mjere za sprječavanje stvaranja zagušenja na promatranim dijelovima terminala. Ova tehnika bila je izuzetno korisna u vrijeme COVID-19 pandemije kada je bilo potrebno eliminirati kontakt između putnika kako bi se spriječio prijenos virusa [35].

Primjenu umjetne inteligencije na aerodromima moguće je promatrati kao AI tehnologije koje se mogu primjenjivati unutar putničkog terminala, te AI tehnologije koje se primjenjuju na zračnoj strani aerodroma. Na zračnoj strani, AI/ML tehnologije koriste se za [32]:

- detekciju ostataka stranih tijela (FOD – *Foreign Object Debris*) na uzletno-sletnoj stazi – prevencija FOD i pregled površina u svrhu detekcije FOD je jedna od ključnih aktivnosti na aerodromima; primjena ML u FOD detekciji mogla bi učiniti sustav pouzdanijim;
- radari za ptice – na aerodromima, prevencija udara ptica predstavlja stalni izazov; no, radari za ptice mogu uočiti točnu putanju leta ptica, kako jata tako i individualnih životinja; ML rješenja mogla bi poduprijeti automatsku detekciju stotina ptica, ali i registrirati njihovu veličinu, brzinu i putanju leta čime bi se omogućile bolje reakcije osoblja za kontrolu ptica;
- detekcija sustava bespilotnih zrakoplova – ako se u okolici aerodroma odvija nezakonita upotreba sustava bespilotnih zrakoplova, to predstavlja opasnost za zrakoplove koji slijeću i polijeću s aerodroma; poboljšanje postojećeg sustava baziranog na senzorima korištenjem ML tehnologija logičan je sljedeći korak u detekciji sustava bespilotnih letjelica.

Unutar putničkog terminala, a vezano uz putničku uslugu, AI tehnologije također imaju značajnu ulogu. Primjer tome je integracija AI u aerodromsku zaštitu za nadzor, osiguranje područja aerodroma te u zaštitni pregled putnika. Nadalje, policija i granična kontrola koriste tehnologiju prepoznavanja lica i tehnologiju milimetarskih valova kako bi skenirali ljude koji prolaze kroz detektorska vrata. ML tehnologije koriste se i za automatsku analizu podataka o rizicima, uključujući podatke o eksplozivima i oružju, pritom ignorirajući bezopasne stvari poput ključeva, remena, itd [32]. Zaštitni pregled na aerodromu središte je većeg broja tehnologija navedenih u tablici 7.

Tablica 7. Tehnologije zaštitnog pregleda na aerodromu

Zaštitni pregled na aerodromu				
	Provjera dokumentacije	Fizički pregled	Pregled prtljage	Interes javnosti
Konvencionalne tehnologije	Čitač identifikacijskih kartica, čitač barkoda	Detektor metala	Rendgenski skener, uređaj za detekciju tragova eksploziva	Dugotrajnost procesa
Aktualne tehnologije	Tehnologija prepoznavanja lica	Napredna tehnologija snimanja	3D CT skener	Pitanje privatnosti, etičko pitanje
Tehnologije nove generacije	Bihevioralna biometrijska tehnologija	AI skener za prolaz		Kibernetička zaštita
	AI vrata za zaštitni pregled			

Izvor: [39]

Primjere utjecaja umjetne inteligencije na aerodrome moguće je pronaći i na velikim, izuzetno prometnim zračnim lukama kao što su Zračna luka Schiphol u Amsterdamu, Zračna luka Singapur te Zračna luka Heathrow u Londonu.

Kroz Zračnu luku Schiphol na godišnjoj razini u prosjeku prođe 70 milijuna putnika što ju čini jednom od najprometnijih europskih zračnih luka. S ciljem lakšeg upravljanja tako velikim obujmom prometa, na zračnoj luci je implementiran prediktivan alat Sustav podrške u donošenju odluka vezanih uz aerodromske operacije (*DSSAO – Decision Support System for Airport Operations*). DSSAO koristi ML algoritme za predviđanje vremena letova i potencijalnih uskih grla koji se stvaraju uslijed aerodromskih operacija. Sustav generira precizna predviđanja, uzimajući u obzir i neočekivane događaje poput vremenskih poremećaja i tehničkih poteškoća. Predviđanjem kašnjenja i optimizacijom resursa, DSSAO je pomogao u smanjenju prometnih zagušenja i poboljšanju sveukupne efikasnosti na Zračnoj luci Schiphol.

Sličan primjer nalazi se u Zračnoj luci Singapur koja ima vlastiti pametni operativni centar (*SOC – Smart Operations Center*). Njegova svrha je nadziranje i optimizacija aerodromskih operacija korištenjem AI tehnologije. Naime, SOC objedinjuje podatke iz različitih izvora poput senzora, kamera i drugih uređaja s ciljem pružanja sveobuhvatnog pogleda na aerodromske operacije. Time se omogućuje brza detekcija i odgovor na potencijalne poteškoće poput neodobrenog ulaza na uzletno-sletnu stazu ili kvara opreme.

Na Zračnoj luci Heathrow u Londonu, koja je među najprometnijim zračnim lukama u svijetu (kroz nju na godišnjoj razini u prosjeku prođe preko 80 milijuna putnika), AI se primjenjuje specifično za optimizaciju kapaciteta uzletno-sletne staze. Sustav baziran na ML algoritmima predviđa vrijeme koje je potrebno zrakoplovu da nakon slijetanja napusti uzletno-sletnu stazu, što omogućava smanjenje vremena između slijetanja te povećava kapacitet same zračne luke [40].

4.5. Utjecaj umjetne inteligencije na zaštitu okoliša

Zračni prijevoznici stavljaju izrazit naglasak na smanjenje potrošnje goriva jer čak i mala redukcija potrošnje goriva može imati velik utjecaj na emisije stakleničkih plinova. Sustavi bazirani na umjetnoj inteligenciji mogu značajno doprinijeti smanjenju potrošnje goriva. Na primjer, koristan bi bio alat koji bi pomoću AI tehnologije predložio pilotima opciju penjanja uz niski stupanj potrošnje goriva. Zbog činjenice da se pri penjanju troši najviše goriva, optimizacija potrošnje u ovoj fazi smanjila bi negativan utjecaj na okoliš, ali i smanjila trošak goriva što bi doprinijelo poslovanju zračnog prijevoznika [35].

Osim stakleničkih plinova, na okoliš štetno utječe i buka. Proces procjenjivanja utjecaja buke na okoliš napredovao je tijekom prošlih nekoliko desetljeća, i to upravo zahvaljujući umjetnoj inteligenciji koja je olakšala obradu podataka [32].

4.6. Utjecaj umjetne inteligencije na kibernetičku zaštitu

Umjetna inteligencija jedan je od temeljnih inovativnih sustava za upravljanje kibernetičkom zaštitom u zrakoplovstvu. Pomoću AI moguće je brže otkriti zone ranjivosti nekog sustava te ojačati sam sustav. ML također može pomoći u detektiranju napada koji nikad ranije nisu viđeni, ali su prepoznati kombinacijom čimbenika iz baze podataka. Iako nikada neće zamijeniti ljudski faktor, AI je vrlo korisna kao podrška u području kibernetičke zaštite jer pomaže u donošenju boljih odluka za sam obrambeni sustav [41].

Domena kibernetičke zaštite sastoji se od tri glavna elementa [32]:

- sustav/organizacija čije slabosti dovode do pojave rizika sa znatnim operativnim posljedicama,
- prijetnja koja nanosi štetu organizaciji koristeći njezine slabosti,
- zaštita u obliku mjera ublažavanja sigurnosnih rizika.

Umjetna inteligencija zahvaća sva tri elementa domene. Uvođenjem AI poboljšava se učinkovitost sustava, no stvaraju se i nove slabosti za kibernetičke napade. Ovakve potencijalne slabosti potrebno je dobro proučiti prije implementacije tehnologije kako bi se za njih pripremile pripadajuće zaštitne kontrole. Korištenje AI za kibernetičke napade nažalost povećava i učinkovitost samih napada pa je nužno identificirati adekvatne protumjere. No, AI tehnologije počele su se koristiti i kao protumjere, pa se benefiti upotrebe AI u kibernetičkoj zaštiti očituju u detekciji, ali i prevenciji prijetnji [32].

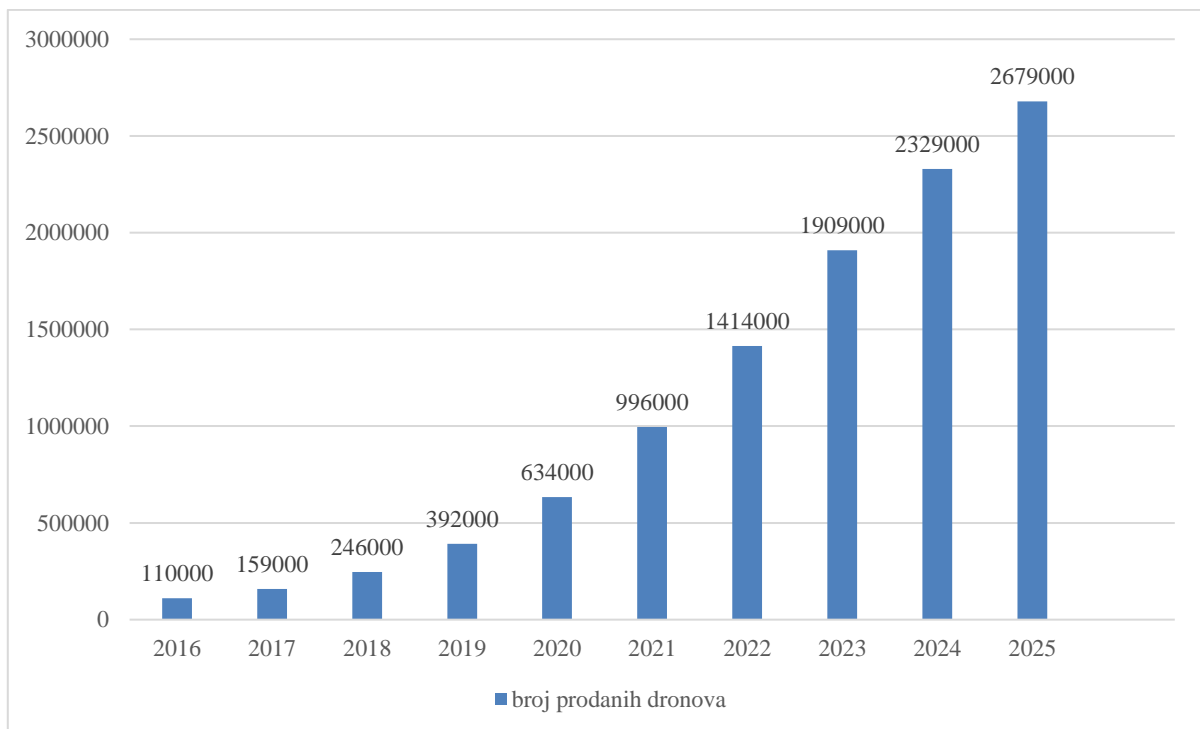
Uzevši u obzir sve navedeno, ali i štetu koju mogu nanijeti realizirani kibernetički napadi, bitno je odrediti korake koji prethode uvođenju nove AI tehnologije u proces kibernetičke zaštite [42]:

- 1. korak – izgraditi testni sustav koji će se koristiti u prikupljanju podataka, obradi podataka i cjelokupnom testiranju;
- 2. korak – razviti metodologiju konkretnih AI/ML algoritama;
- 3. korak – Izraditi okvir kompleksnog AI/ML sustava podataka za usavršavanje i testiranje;
- 4. korak – razviti novu AI tehnologiju za kibernetičku zaštitu,

Na ovom principu već su razvijeni neki AI alati za zaštitu od kibernetičkih rizika poput sustava za detekciju neovlaštenog pristupa (IDS – *Intrusion Detection System*), *firewalls*, *anti-malware*, obavještajni podaci o prijetnjama (*Threat Intelligence*), analiza slabosti, AI kognitivna zaštita, mrežna forenzika, itd [43].

4.7. Utjecaj umjetne inteligencije na dronove i urbanu zračnu mobilnost

Dronovi ili bespilotne letjelice su sredstva bez posade kojima se upravlja na daljinu ili lete autonomno [44]. Predstavljaju rastući trend (grafikon 2.) i temelj urbane zračne mobilnosti.



Grafikon 2. Broj prodanih dronova od 2016. do 2023. godine uz prognozirane vrijednosti do 2025. godine
Izvor: [45]

Urbana zračna mobilnost (UAM – *Urban Air Mobility*) je nov, siguran i održiv sustav zračnog prijevoza putnika i tereta u urbanim sredinama. Prijevoz se odvija pomoću električnih letjelica s pilotom ili upravljanjem na daljinu. Očekuje se da će započeti do 2025. godine u europskim gradovima transportom tereta dronovima i putnika letjelicama kojima upravlja pilot. Očekuje se njen pozitivan ekonomski utjecaj jer bi do 2030. godine trebala kreirati 90 000 radnih mjesta. Predstavlja sigurniji, brži i ekološki osvješteniji oblik prijevoza [46].

AI tehnologija nužna je prvenstveno za integraciju ovakvih prijevoznih sredstava, naročito za urbana područja ili zagušene kontrolirane zone aerodroma. AI/ML rješenja mogu omogućiti i dinamične i brze reakcije na nagle promjene u operativnom okruženju te pripremiti

letjelice na hitne slučajeve (brzu detekciju novonastalih prepreka, predviđanje nepovoljnih vremenskih uvjeta poput zamrzavanja ili percipiranje udaljenosti od tla). Dakle, ove tehnologije bit će tehnički preduvjeti za [32]:

- detekciju i izbjegavanje – temeljene na podacima prikupljenim iz sustava radara i/ili kamera,
- adaptivno izbjegavanje sudara – zahvaljujući dinamičnoj procjeni rizika susreta s drugim objektom te shodno tome prilagođavanju putanje,
- autonomnu navigaciju – poboljšavanje pozicije senzora, načina prikupljanja podataka, itd.

5. PRIMJENA UMJETNE INTELIGENCIJE U UPRAVLJANJU SIGURNOSNIM RIZICIMA

Podatkovna znanost je specijalizirana domena koja kombinira različita područja poput statistike, matematike, napredne tehnike prikupljana informacija, pročišćavanje podataka te programiranje u cilju pripreme velikih setova podataka kako bi isti daljnjom naprednom analizom mogli izdvojiti određene zaključke, uzorke ili informacije. Podatkovna znanost ujedno je i veoma izazovna zbog složenosti kombiniranja i primjenjivanja različitih metoda, algoritama i tehnika programiranja kako bi se mogle provesti prediktivne analize velikih količina različitih podataka [32].

Porast upotrebe AI zahvatit će brojne aspekte tehnologije podatkovne znanosti, ponajviše njen analitički dio, identifikaciju korelacije kompleksnih podataka tj. otkrivanje uzoraka. U modernom upravljanju sigurnosnim rizicima, AI je ključan izvor podrške za [32]:

- otkrivanje novih rizika,
- klasifikaciju tj. procjenu rizika,
- izradu portfelja sigurnosnih rizika i prioritizaciju opasnosti vezanih uz sigurnost.

Uz navedeno, AI tehnologija bit će od iznimne važnosti pri razumijevanju ljudskog čimbenika u zrakoplovstvu i njegovih stanja poput umora, prevelikog radnog opterećenja, te svih ostalih koji mogu uzrokovati smetenost i time dovesti do ozbiljnih nesreća [35].

Konkretno u upravljanju sigurnosnim rizicima, AI tehnologija pomoći će u donošenju zaključaka vezanih uz [32]:

- razumijevanje podataka – zahvaljujući *ad hoc* analizama i velikim količinama podataka iz dostupnih baza podataka,
- identifikaciju skrivene korelacije između podataka – uočavanje poveznice između različitih setova podataka,
- otkrivanje slabosti/ranjivosti,
- detekciju anomalija – zahvaljujući rastućoj količini podataka koji prolaze kroz arhitekturu velike količine podataka u kojoj se uočavaju neuobičajene pojave.

5.1. Uloga umjetne inteligencije u upravljanju sigurnosnim rizicima

Upravljanje sigurnosnim rizicima tradicionalno je usmjereno na identifikaciju, analizu i prioritizaciju rizika nakon čega slijedi koordinirana primjena resursa kako bi se ti rizici minimizirali, promatrali i kontrolirali. Taj tradicionalni pristup uvelike se svodi na povijesne podatke i stručnjake koji se oslanjaju na alate poput registra rizika, matrica rizika, modela nastanka nesreća ili nezgoda te analiza posljedica, kontrolnih listi i kvalitativnih procjena. No, razvojem AI tehnologija u upravljanju sigurnosnih rizika, dolazi do promjene paradigme [47]. Sustavi AI tehnologije pomoću svojih naprednih računalnih mogućnosti mogu brže analizirati velike količine podataka, otkriti korelacije nevidljive ljudskom oku i preciznije odrediti buduće rizike. Uspoređivanjem tradicionalnog pristupa upravljanju sigurnosnim rizicima i upravljanja sigurnosnim rizicima ojačanim AI tehnologijama, uočljiva je značajna transformacija koju karakteriziraju obrada podataka u stvarnom vremenu, prediktivne analize i mogućnost prilagodbe novim informacijama. AI uvodi specifične sposobnosti koje drastično poboljšavaju

identifikaciju rizika i proces evaluacije. ML i napredno traženje podataka pružaju sofisticiran način za analizu velikih setova podataka s ciljem formiranja prediktivnih zaključaka, detekcije anomalija i prognoziranja trendova. ML algoritmi mogu biti i osposobljeni za prepoznavanje kompleksnih uzoraka i donošenje odluka uz minimalnu potrebu za intervencijom čovjeka. U procjeni rizika, AI sustavi koriste te uzorke u svrhu predviđanja potencijalnih rizika i njihovih posljedica što omogućuje zrakoplovnim organizacijama učinkovitiju raspodjelu resursa. Korištenjem AI tehnologija u upravljanju sigurnosnim rizicima postiže se ultimativni cilj – ubrzanje procesa donošenja odluka i točnosti istog [47].

Dakle, uloga umjetne inteligencije u upravljanju sigurnosnim rizicima može se sažeti u sljedeće tri sfere [48]:

- identifikacija i minimizacija sigurnosnih rizika – integrirana u bazama podataka o prethodnim događajima, AI tehnologija pomaže u analizi svih zabilježenih nesreća, izbjegnutih nesreća i sigurnosnih događaja; uz pomoć AI, moguće je brzo i efikasno identificirati opasnosti te učinkovito eliminirati rizike ili ih smanjiti na prihvatljivu razinu;
- optimizacija procjene i prevencije rizika – AI u procesu upravljanja sigurnosnim rizicima, za razliku od čovjeka, nikad neće pokazivati znakove zamora; AI tehnologija je sposobna besprijekorno procijeniti velike količine podataka u vrlo kratkom vremenskom periodu; uz to, identificira uzorke, korelacije i trendove te prezentira zaključke na vrlo jasan i sažet način; također može, na temelju baza podataka, generirati predviđanja i nuditi protumjere koje će osigurati sigurnost;
- automatizacija zadataka koji se ponavljaju – uz brzinu djelovanja, AI tehnologije mogu rasteretiti djelatnike automatizacijom ponavljajućih zadataka; to pruža uštedu vremena i mogućnost boljeg fokusiranja na zahtjevnije zadatke; neki od ponavljajućih zadataka u upravljanju sigurnosnim rizicima koje AI može obavljati su:
 - kontinuirane analize,
 - redovito praćenje podataka,
 - cikličko izvještavanje,
 - odgovaranje na pitanja o upotrebi korištene baze podataka.

AI tehnologije predstavljaju moćan alat za kompletno upravljanje sigurnošću, a naročito su uspješne u područjima analize podataka, upravljanja sigurnosnim rizicima, prediktivnog održavanja, video nadzora i osposobljavanja. Iako daje značajan doprinos učinkovitosti upravljanja sigurnosnim rizicima, AI nikada neće moći zamijeniti ljudsku komponentu jer će čovjek i dalje biti izvor inovativnih ideja, originalnog znanja i kreativnog pristupa. Bitno je zapamtiti da, iako može identificirati uzroke i korelacije, AI nikada neće u potpunosti razumjeti samu sigurnost i njezinu svrhu [48].

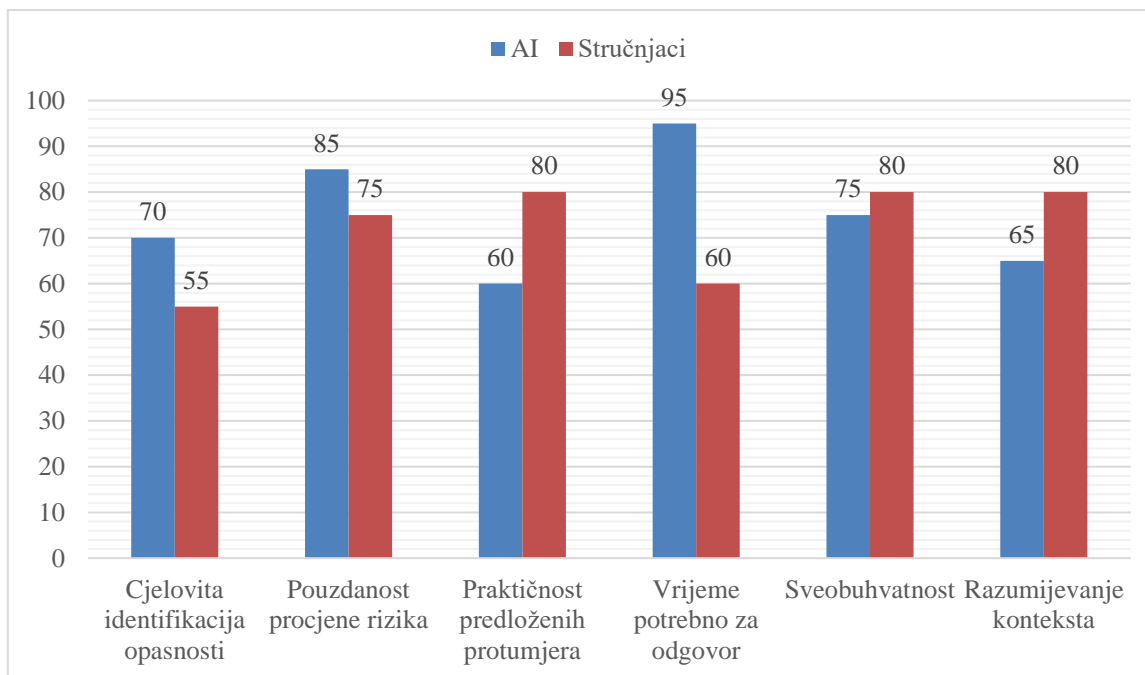
5.2. Usporedba djelovanja umjetne inteligencije i stručnjaka pri upravljanju sigurnosnim rizicima

U vremenima kada su AI sustavi poput ChatGPT-4 sve više korišteni kao dodatak stručnosti osoblja pri upravljanju sigurnosnim rizicima, nužno je pomno ispitati njihove ključne performanse. Upravo na primjeru ChatGPT-4 tehnologije, moguće je analizirati kako AI

zadovoljava različite kriterije u sklopu upravljanja sigurnosnim rizicima, točnije koliko je sustav učinkovit u identifikaciji opasnosti, procjeni rizika i predlaganju protumjera te kako te zaključke koristi u interpretaciji. Također je u obzir uzeta vitalna komponenta primjene AI u upravljanju sigurnosnim rizicima – uloga konteksta. Ona je važna jer uloga AI nije samo procesiranje podataka, nego i razumijevanje konteksta u kojem se rizici pojavljuju. Zato su u razmatranju u obzir uzeti kriteriji koji pokrivaju točnost, praktičnost, vrijeme potrebno za odgovor, sveobuhvatnost i kontekstualno razumijevanje [47]:

- cjelovita identifikacija opasnosti – ovaj kriterij procjenjuje sposobnost ChatGPT-4-a da identificira sve potencijalne opasnosti; procjena se fokusira na točnu detekciju svih opasnosti bez ikakvih propusta, ali i osiguravanje da se bezopasni elementi slučajno ne označe kao opasni; ovaj aspekt je ključan za utvrđivanje pouzdanosti AI tehnologije pri detekciji opasnosti;
- važnost procjene rizika – ovaj kriterij ispituje koliko učinkovito ChatGPT-4 procjenjuje vjerojatnost i ozbiljnost pojedinih rizika; uključuje procjenu dosljednosti u procjeni rizika kroz razne scenarije, osiguravajući da je prosudba tehnologije u skladu s razinom opasnosti;
- praktičnost predloženih protumjera – svrha ovog kriterija je procjena održivosti i prikladnosti protumjera predloženih od strane ChatGPT-4-a; procjenjuje se jesu li predložene protumjere u skladu sa standardima industrije i s drugim korisnim protumjerama za ublažavanje rizika i upravljanje sigurnošću;
- vrijeme potrebno za odgovor – u visokorizičnim okruženjima, ključan kriterij je i brzina kojom ChatGPT-4 generira procjene opasnosti; na ovaj način se ispituje brzina i pravovremenost pružanja informacija;
- sveobuhvatnost – ovaj kriterij procjenjuje dubinu i temeljitost povratnih informacija koje ChatGPT-4 pruža vezano uz identifikaciju opasnosti; utvrđuje je li analiza rizika koju generira ChatGPT-4 uistinu cjelovit pristup potencijalnim opasnostima iz okruženja;
- razumijevanje konteksta – integracija šireg konteksta u analizu rizika također je bitan kriterij za procjenu sposobnosti ChatGPT-4-a; uključuje svijest o lokaciji, kulturnim normama i operativnim uvjetima koji utječu na percepciju rizika i učinkovitost različitih sustava za upravljanje sigurnosnim rizicima;
- ključna pitanja za industriju i sigurnost – posljednji kriterij koji utvrđuje usklađenost ChatGPT-4-a sa sigurnosnim pitanjima i prioritetima zrakoplovne industrije; procjenjuje mogućnost AI tehnologije da uvaži opasnosti koje su specifične za industriju, usklađenost s regulatornim zahtjevima i prilagodljivost procjene i preporuke prema karakterističnim potrebama i praksama; ovaj kriterij osigurava da su procjene rizika od strane ChatGPT-4-a tehnički precizne i praktično relevantne za zahtjeve industrije.

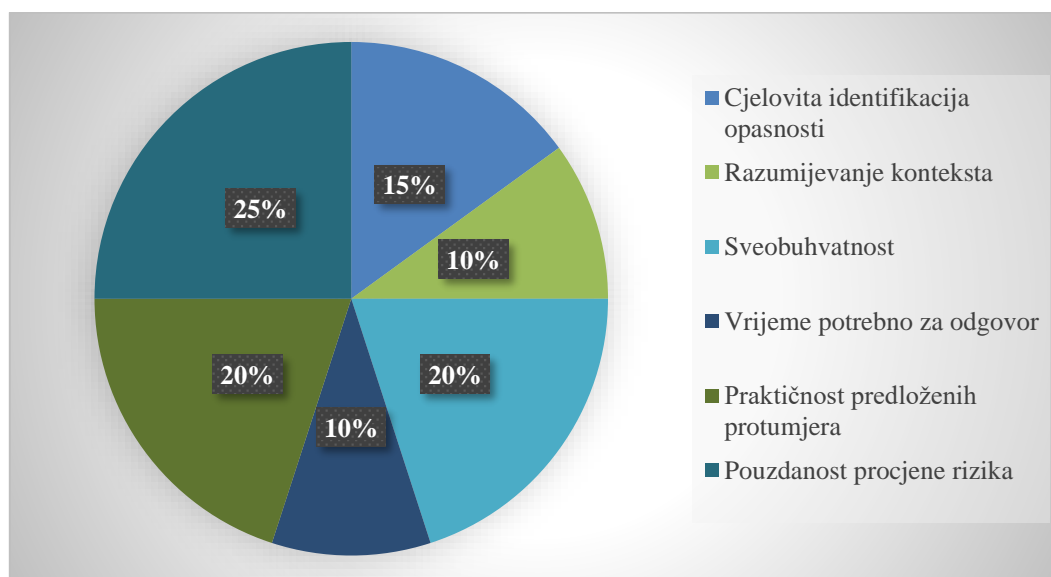
Pomoću ovih kriterija moguće je napraviti valjanu, objektivnu analizu ChatGPT-4-a. Kriteriji pružaju uvid u područja u kojima je AI najkorisnija, ali i u područja u kojima ljudski čimbenik u svrhu nadzora ostaje nezamjenjiv. Usporedba djelovanja umjetne inteligencije i stručnjaka pri upravljanju sigurnosnim rizicima dodjeljivanjem vrijednosti za određene kriterije prikazana je na grafikonu 3.



Grafikon 3. Usporedba kriterija djelovanja umjetne inteligencije i stručnjaka pri upravljanju sigurnosnim rizicima

Izvor: [47]

Za donošenje potpunog zaključka potrebno je znati važnost pojedinih kriterija. Na grafikonu 4. prikazan je omjer važnosti pojedinih kriterija. Dani postotci predstavljaju relativnu važnost pojedinih kriterija u sveukupnom procesu upravljanja sigurnosnim rizicima, što ujedno i ističe koliko pojedini aspekti doprinose efektivnoj procjeni i ublažavanju sigurnosnih rizika.



Grafikon 4. Distribucija važnosti kriterija u procesu upravljanja sigurnosnim rizicima

Izvor: [47]

Podatke iz grafikona 3. i grafikona 4. potrebno je objediniti. Na taj način se dolazi do vodećeg aktera u procesu upravljanja sigurnosnim rizicima. Rezultati su prikazani u tablici 8.

Tablica 8. Raspodjela vodstva sudionika u upravljanju sigurnosnim rizicima prema kriterijima

Poredak kriterija u procesu upravljanja sigurnosnim rizicima po važnosti	Sudionik procesa koji je vodeći prema zadanom kriteriju	Vrijednost za koju je vodeći sudionik bolji od pratećeg
1. Pouzdanost procjene rizika	AI	+10
2. Sveobuhvatnost	Stručnjaci	+5
3. Praktičnost predloženih protumjera	Stručnjaci	+20
4. Cjelovita identifikacija opasnosti	AI	+15
5. Vrijeme potrebno za odgovor	AI	+35
6. Razumijevanje konteksta	Stručnjaci	+15

Izvor: [47]

S obzirom na danu tablicu, izvodi se zaključak da su prema navedenim kriterijima upravljanja sigurnosnim rizicima AI tehnologije i stručnjacima gotovo izjednačeni. No, u kategorijama u kojima ima vodstvo AI ostvaruje značajniju prednost, dodatno ide u prilog hipotezi da će budućnost upravljanja sigurnosnim rizicima u zrakoplovstvu biti bazirana na AI tehnologijama. Unatoč tome, važno je razumjeti da će ljudski čimbenik biti uvijek prisutan u značajnoj mjeri.

5.3. Primjeri upotrebe programskih alata temeljenih na umjetnoj inteligenciji u upravljanju sigurnosnim rizicima

Tehnološki napredak i inovativnost riječi su kojima je najlakše opisati zrakoplovstvo. I u ovom slučaju industrija je prihvatila tehnološki napredak u vidu AI tehnologija i integrirala iste u neke od svojih metodologija.

Dokaz toga su brojni programski alati bazirani na umjetnoj inteligenciji koji se koriste, između ostaloga, za upravljanje sigurnosnim rizicima, a koji su već implementirani u sustav zračnog prometa. Primjeri takvih alata su Baldwin ASMS, SafetyCulture, SMS Pro, Q5SMS, Vistair SafetyNet te GALIOT Aero.

5.3.1. Baldwin ASMS

Baldwin Safety & Compliance, Inc. kompanija je osnovana 2004. godine s temeljnim uvjerenjem da i manje zrakoplovne organizacije trebaju imati pristup jednakim razinama sredstava, programa, usluga te sustavima za upravljanje sigurnošću kao i velike međunarodne

organizacije. Njihova misija je upravljanje sigurnosnim rizicima i prevencija svih vrsta nesreća [49].

Njihova SMS platforma, softver je koji omogućuje organizacijama izradu SMS-a u skladu sa zahtjevima organizacije. AI tehnologija pruža fleksibilna rješenja koja će poboljšati proces upravljanja sigurnosnim rizicima i ojačati sigurnosnu kulturu organizacije [50]. Elementi uključeni u njihovu ponudu prikazani su u tablici 9.

Tablica 9. Ponuda kompanije Baldwin Safety & Compliance

Baldwin LITE		Baldwin Advanced	
✓ Baldwin Internal Evaluation Program (IEP)	✓ Vijesti vezane uz sigurnost	✓ Accident Prevention Effort (APE)	✓ Upravljanje promjenom obrazaca
✓ Identifikacija opasnosti	✓ Postavljanje ciljeva vezanih uz sigurnost	✓ Voditelj audita	✓ Obavljanje potrebnih integracija
✓ Izrada profila sigurnosnih rizika	✓ SPIs	✓ Pripadajući dokumenti, grafikoni, klasifikaciji	✓ Lokacije, karte, podsjetnici
✓ Pripadajuća izvješća		✓ Vanjski linkovi i izvješća	

Izvor: [50]

5.3.2. SafetyCulture

SafetyCulture je aplikacija za upravljanje rizicima pomoću koje korisnici mogu identificirati, procijeniti, ublažiti i pratiti svaku vrstu rizika zahvaljujući proaktivnom pristupu riziku. Aplikacija nudi sveobuhvatni pogled na rizik zahvaljujući velikoj količini već postojećih procjena rizika, izvješća o nesrećama i ostalim povijesnim podacima koje AI tehnologija iznimno brzo obrađuje. Zbog toga se smatra da će odluke donesene vezano uz upravljanje rizicima unutar organizacije biti strateške, etičke i odgovorne [51].

Također se ističe da će se korištenjem ove aplikacije postići i kultura svijesti o riziku tj. da će radno mjesto biti okruženje u kojem će se djelatnici osjećati sigurno pri prijavljivanju potencijalnih problema povezanih uz sigurnost i sigurnosnih rizika. Prednost korištenja ove aplikacije je i usklađenost s regulatornim okvirom o čijim se promjenama korisnici odmah obavještavaju.

Aplikacija je efikasan način za pohranu sve relevantne dokumentacije o nesrećama i događajima, analizama uzroka, indikatorima rizika, procjenama rizika, internim auditima, opasnostima i rizicima, vanjskim auditima i inspekcijama, mitigacijskim mjerama, kritičnim kontrolama, usklađenosti s regulatornim okvirom, itd. Aplikacija je dostupna za 24 američka dolara mjesečno po korisniku [51].

5.3.3. SMS Pro

SMS Pro je proizvod kompanije NorthWest Data Solutions koja se bavi sustavima za upravljanje sigurnošću od 2003. godine. Dostupan je na engleskom, španjolskom, francuskom i njemačkom jeziku, a koriste ga zračni prijevoznici, aerodromi, organizacije za održavanje zrakoplova, organizacije za osposobljavanje zrakoplova, itd. *SMS Pro* centralizira informacije iz svih aspekata organizacije te pruža pravovremene informacije djelatnicima pritom reducirajući manualne poslove u kojima se pogreške često događaju. Osim što pomaže organizacijama u upravljanju sigurnosnim rizicima, koristan je i za upravljanje zaštitom, kvalitetom, usklađenošću i zaštitom okoliša. Fokusira se i na kompletni raspon ICAO SMS zahtjeva pritom poboljšavajući pristup informacijama te rad i efikasnost, te implementacijom protokola i odgovornosti u slučaju eskalacije [52].

Prednosti implementacije ovog sustava su [52]:

- jedinstven, centraliziran i integriran softverski sustav,
- usmjereni procesi i protok rada,
- reduciranje nepotrebnog upisivanja i procesiranja podataka,
- definiranje konzistentnog procesa baziranog na utvrđeno najboljim metodama.

Sustav je primjenjiv u velikim i malim organizacijama, a formira se u skladu sa zahtjevima organizacije i razini na kojoj se SMS nalazi. Po potrebi je moguća izrada personaliziranog alata korištenjem *SMS Pro* modula razvijenih prema specifičnim zahtjevima zrakoplovne industrije. Dakle *SMS Pro* pruža [52]:

- optimizaciju vremena odgovora na pronalazke/zaključke audita pojednostavljuvanjem planiranja i praćenja aktivnosti,
- povećanu efikasnost i efektivnost aktivnosti potrebnih za kvalitetu, sigurnost, zaštitu i regulatornu usklađenost organizacije,
- kolaborativno okruženje koje omogućuje razmjenu politika i procedura između različitih odjela i entiteta,
- precizne i pravovremene podatke i statistiku,
- mogućnost definiranja prilagođenih lista provjere u svrhu provođenja inspekcija, revizija i procjena,
- reviziju i upravljanje revizijom,
- prilagođenu procjenu rizika i klasifikaciju incidenata prema definiranim sustavima za klasifikaciju.

SMS Pro dolazi u nekoliko različitih ponuda, ovisno o potrebama zrakoplovne organizacije [53]:

- Rješenje za prijavu opasnosti (*Hazard Reporting Solution*) čija cijena kreće od 399 američkih dolara mjesečno, a obuhvaća više različitih opcija izvješćivanja o opasnosti, procjenu rizika i definiranje pripadajućih protumjera, automatizirana upozorenja i razne dijagrame vezane uz analizu rizika.
- Rješenje za upravljanje rizicima (*Risk Management Solution*) čija cijena kreće od 550 američkih dolara mjesečno, a obuhvaća modul Rješenje za prijavu opasnosti, proaktivne analize opasnosti, registar rizika, alate za prediktivnu analizu i napredne dijagrame vezane uz analizu rizika.

- Rješenje za osiguranje kvalitete i sigurnosti (*Safety-Quality Assurance Solution*) čija cijena kreće od 799 američkih dolara mjesečno, a obuhvaća modul za upravljanje rizicima, pripreme za audite (kontrolne liste, raspored audita te upravljanje), upravljanje osposobljavanjem, upravljanje promjenom i alate za kontinuirano poboljšanje.
- SMS Pro za SSPs – idealno rješenje za Nacionalne programe sigurnosti koje se sastoji od regionalnog i nacionalnog upravljanja podacima, primjene baza podataka baziranih na AI tehnologijama, te prilagodbe za svaku zračnu luku.

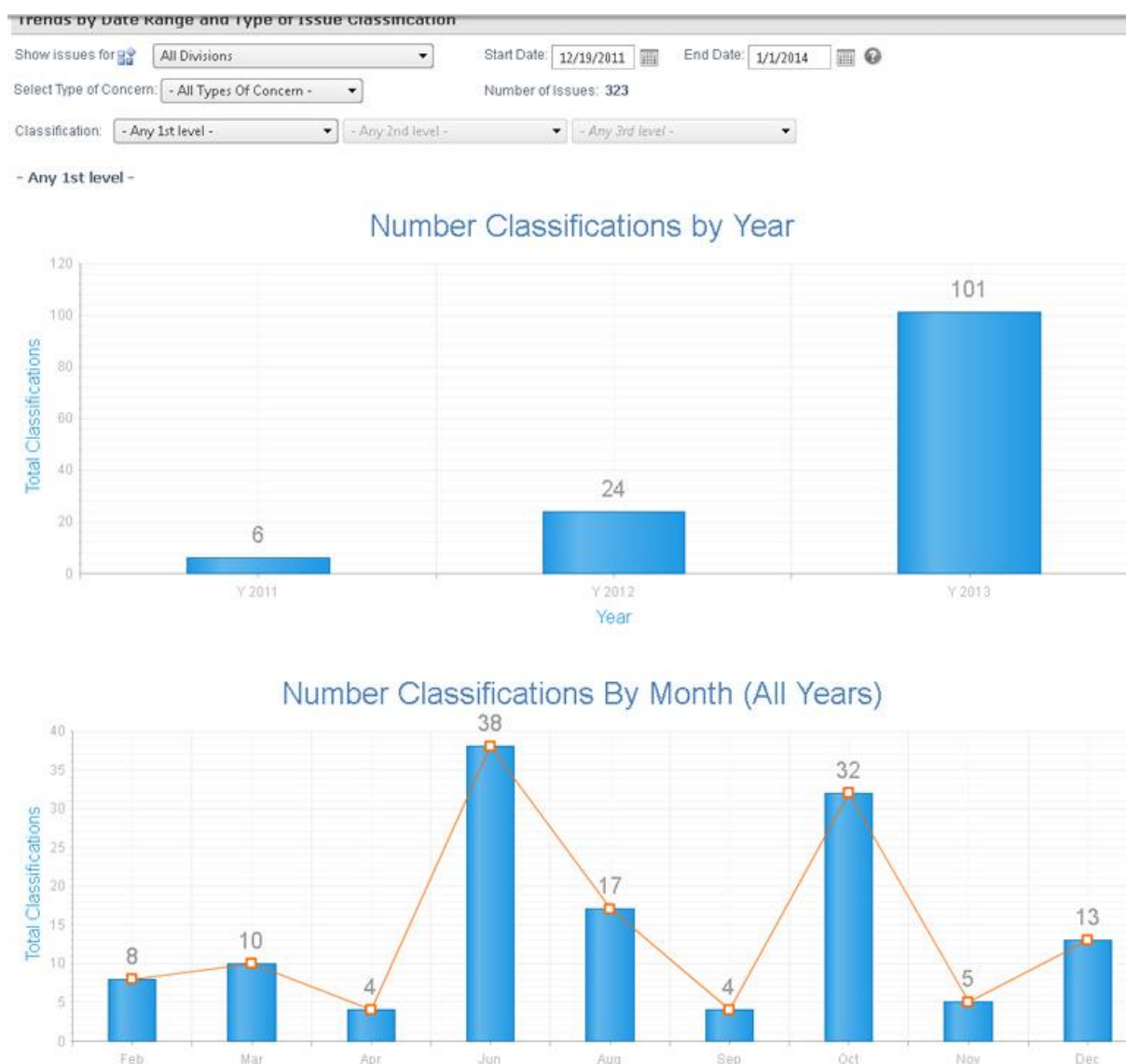
AI algoritmi koriste se u svih 12 ponuđenih programa za upravljanje sigurnosnim rizicima. Prvi program je grafikon analize rizika koji omogućava djelatnicima jednostavan pregled prethodno prijavljenih poteškoća, a time i lakšu identifikaciju svih rizika. Drugi program je leptir-mašna analiza koja se u ovom sustavu sastoji od 4 koraka: odabira glavnog događaja, identifikacija korijena uzroka, identifikacija posljedica i odabir kontrola za identificirane uzroke i posljedice. Treći program su korektivne preventivne mjere (CPA – *Corrective Preventative Action*). Četvrti program je prilagođen prikaz izvještaja koji služi za jednostavan pregled prethodnih incidenata zaposlenicima ili drugim zainteresiranim strankama. Peti program je analiza i izvoz podataka, prikazan na slici 13., ključan za donošenje zaključaka na temelju iskustva s prethodnim događajima. Ti zaključci se zatim mogu formirati u neki od sljedećih oblika: izvješće za korektivno-preventivno mjere, izvješće za vanjski audit, grafikoni za financijsku analizu rizika, grafikoni za analizu korisnih trendova, grafikoni za praćenje pokazatelja, itd [54].

#	Division	Title	Reported By	Date Reported	Status	Department	Assigned To	Type of Concern	Location	P	Risk	A
5	Airport A	RSN-FUEL LEAK	Godwin Balang	12/19/2011	Closed	Not Assigned	Not Assigned	Safety		<input type="checkbox"/>	NC	
7	Airport A	MOB OIL TEMP -HIGH AT OMAGWA PORT HARCOURT INTERNA	Godwin Balang	12/20/2011	Closed	Not Assigned		Safety	PORT HARCOURT INTERNATIONAL AIRPORT	<input type="checkbox"/>	10	
8	Airport A	MISSED APPROACH AND RETURN TO BASE AT OZUMBA NBADI	Godwin Balang	12/26/2011	Closed	Not Assigned		Quality		<input type="checkbox"/>	20	
9	Airport A	DIVERSION TO AGBAMI FIELD DUE WEATHER	Godwin Balang	2/23/2012	Closed	Not Assigned		Safety	IN FLIGHT (OZUMBA TO AKPO)	<input checked="" type="checkbox"/>	20	
10	Airport A	OCCURENCE REVIEW BOARD MEETING	Godwin Balang	2/26/2012	Closed	Not Assigned	Not Assigned	Safety	GM-RW'S OFFICE	<input type="checkbox"/>	10	
11	Airport A	FOR SECURITY REASON	Nigelhusah Ihusah	2/27/2012	Closed	Not Assigned		Safety		<input checked="" type="checkbox"/>	20	
12	Airport A	PASSENGER UNABLE TO OPEN AIRCRAFT DOOR	Eric Duprez	2/28/2012	Closed	Not Assigned	Not Assigned	Safety	NAF ACN RAMP	<input type="checkbox"/>	10	
13	Airport A	SERVO LIGHT AFTER TAKEOFF(SMS)	Henry Ungbuku	3/1/2012	Closed	Not Assigned		Safety	LAGOS	<input type="checkbox"/>	10	

Slika 13. Korištenje AI za analizu i izvoz podataka u alatu SMS Pro

Izvor: [54]

Šesti program unutar *SMS Pro* alata su grafikoni za financijsku analizu rizika. Ovaj program omogućava brzo utvrđivanje problema koji iziskuju najviše vremena i novca za upravljanje, što olakšava donošenje financijskih preporuka. Glavni korišteni kriteriji su trošak i broj ponavljanja događaja, a po potrebi se mogu jednostavno sortirati prema tipu problema, procesu u kojem se javlja, korijenima uzroka, povezanim rizicima i opasnostima, statusu, odjelu, itd. Sedmi program je alat za analizu opasnosti koji se automatski nadovezuje na osmi program tj. prijavu opasnosti/rizika, a baziraju se na algoritmu nazvanom alat za proaktivnu analizu opasnosti (PHAT – *Proactive Hazard Analysis Tool*). Sljedeći program je upravljanje problemima, a neke od njegovih svrha su provođenje procjene rizika, klasifikacija problema, upravljanje korektivnim mjerama, provođenje istraga, itd. Deseti program je upravljanje promjenama, a u njemu se primjenjuju dva modula: kompleksni modul s detaljnim analizama namijenjen menadžmentu i jednostavniji modul namijenjen svim korisnicima. Jedanaesti program je namijenjen formiranju izvješća o klasifikaciji rizika, a tipovi klasifikacije uključuju vrstu problema, ljudski čimbenik, poslovne procese, identificirane opasnosti i učestalost u rasporedu. Posljednji, dvanaesti program izrađuje grafikone o trendovima tj. pojavnosti određenih rizika. Na *x* osi nalazi se definirani vremenski period, a na *y* osi smještene su promjene u analiziranoj varijabli (prikaz na slici 14.) [54].

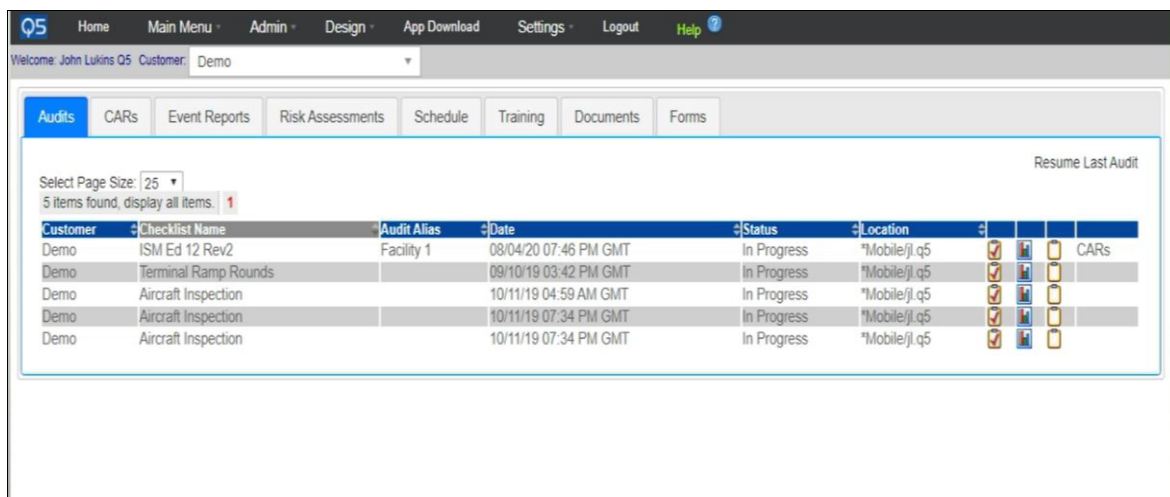


Slika 14. Korištenje AI za utvrđivanje utjecaja rizika na trendove u alatu SMS Pro
 Izvor: [54]

5.3.4. Q5SMS

Q5 Systems je kompanija koja nudi brojne alate, poput upravljanja projektima, upravljanja rizicima, upravljanja nezgodama, upravljanja auditima i inspekcijama te korektivnim mjerama kako bi se osigurala usklađenost s regulatornim okvirom. Svoje usluge nude organizacijama civilnog zrakoplovstva, zračnim lukama, pružateljima usluge zračne plovidbe, zračnim prijevoznicima, pružateljima zemaljskih usluga, organizacijama za održavanje zrakoplova, itd.

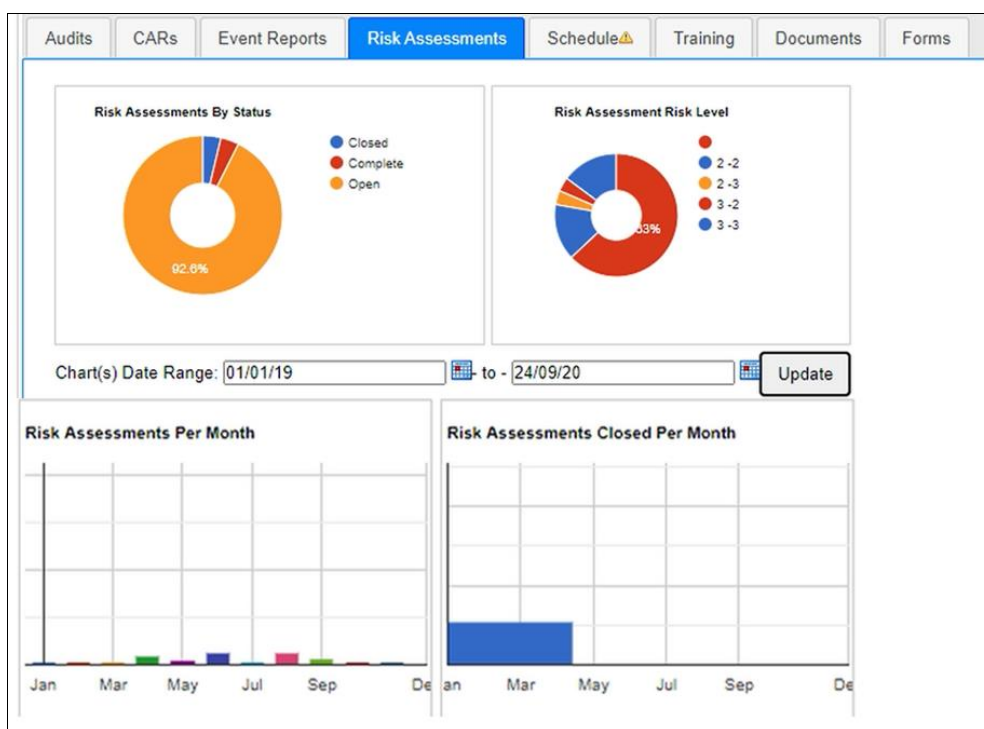
Q5SMS softversko rješenje za sigurnost u zrakoplovstvu sastoji se od sljedećih modula: upravljanje auditima i inspekcijama, prijava događaja (opasnosti i nesreća), praćenje korektivnih mjera (protumjera), upravljanje rizicima, upravljanje istragama, upravljanje dokumentacijom, poslovna inteligencija, te upravljanje praćenjem certificiranja/odobrenja [55]. Korisničko sučelje Q5SMS-a koje je vidljivo korisniku odmah po pristupanju sustavu, prikazano je na slici 15. Glavne ponuđene opcije su obrasci, dokumenti, osposobljavanje, raspored, procjena rizika, itd.



Slika 15. Korisničko sučelje sustava Q5SMS

Izvor: [55]

Za procjenu rizika izuzetno je korisna istoimena opcija jer, osim podataka o registriranim rizicima, nudi i njihove vizualizacije u obliku grafikona. Na slici 16. vidljive su kriteriji prema kojima se grafikonu mogu generirati; njihov status, razina rizika, broj procjena na mjesečnoj razini te broj procjena na godišnjoj razini.



Slika 16. Procjene rizika u sustavu Q5SMS

Izvor: [55]

Nadzor sustava za upravljanje sigurnošću je intenzivan proces koji zahtijeva puno vremena. Iz tog razloga je dizajniran specifičniji softver, Q5SMS/SSP koji povećava efikasnost u svim aspektima nadzora SSP-a. Q5 obuhvaća sljedeće odgovornosti propisane u SSP-u: sigurnosne propise, istraživanje zrakoplovnih nesreća/nezgodna, osiguranje sigurnosti, obavezno

i dobrovoljno prijavljivanje događaja, analiza i razmjena podataka vezanih uz sigurnost te promocija sigurnosti. Brojne su prednosti korištenja *Q5SMS/SSP* softvera za [56]:

- agencije za civilno zrakoplovstvo:
 - kreiranje rasporeda inspekcija/audita,
 - email obavijesti s ciljem osiguranja obavljanja inspekcija i dostavljanja rezultata inspekcija,
 - izvješća koja pokazuju učinkovitost inspektora/revizora,
 - jedinstvena platforma za upravljanje svim aktivnostima povezanim s nadzorom SSP-a;
- inspektore/auditore:
 - jednostavan pregled profila sudionika zračnog prometa, specifično trenda njegovih performansi s ciljem preciznijih i učinkovitijih inspekcija,
 - izdavanje i upravljanje nalazima putem softvera,
 - brzo generiranje izvješća,
 - smanjenje potrebnog vremena za 40-60%;
- ostale sudionike:
 - jednostavno upravljanje nalazima i njihovo rješavanje kroz softver,
 - predaja izvješća o događaju putem poznate platforme.

5.3.5. Vistair SafetyNet

Vistair je jedna od vodećih svjetskih kompanija specijaliziranih za pružanje usluge upravljanja operativnim podacima iz sfere zrakoplovnih tehničkih publikacija, sigurnosti i regulatornog sadržaja. Njihove AI tehnologije donose organizacijama veću razinu sigurnosti, učinkovitosti i usklađenosti s regulatornim okvirom.

Vistair nudi više različitih rješenja baziranih na AI tehnologijama poput *DocuNet*, *DocuNet for Engineering*, *Vistair Intelligence* te *SafetyNet*.

SafetyNet je novi integrirani sustav za upravljanje sigurnošću čiji su glavni benefiti jedinstvena platforma za cijelu organizaciju, proaktivna sigurnosna kultura i korisne informacije za upravljanje sigurnosnim rizicima. Neki od njihovih poznatijih korisnika iz redova zračnih prijevoznika su Delta Airlines, easyJet i Aer Lingus. Sučelje njihovog *Vistair SafetyNet* alata prikazano je na slici 17. [57].



Slika 17. Korisničko sučelje sustava *Vistair SafetyNet*

Izvor: [57]

Prednosti korištenja *Vistair* tehnologije su [57]:

- djelotvorne spoznaje – platforma kombinira podatke iz svih mogućih AI izvora, a uz to ima i korisne alate za istraživanje što omogućuje dobivanje stizanje do spoznaja uz koje će operacije biti efikasnije, sigurnije i usklađenije,
- jednostavno korištenje – podaci su jednostavni za pristup, analizu i upotrebu zbog čega su ključne informacije dostupne svima u organizaciji, a ne samo stručnjacima za analizu podataka,
- proaktivnost i prediktivnost – *Vistair* ima nemjerljivu sposobnost prediktivnih analiza koje su ključne za planiranje poslovanja, a sposobnost prognoziranja i praćenje napretka omogućuju proaktivno djelovanje u odnosu na konkurenciju.

Brojni sudionici u zračnom prometu već su uvidjeli prednosti korištenja *Vistair SafetyNet* softvera. Neki od zadovoljnih klijenata ove kompanije su Frontier, DHL, Delta Airlines, Aer Lingus, Iberia, itd. Dobar primjer je i easyJet, zračni prijevoznik koji s flotom od 240 zrakoplova leti u 30 zemalja. Oni su, nakon implementacije *Vistair SafetyNet* sustava zabilježili porast u prijavljivanju incidenata u iznosu od 60% [58].

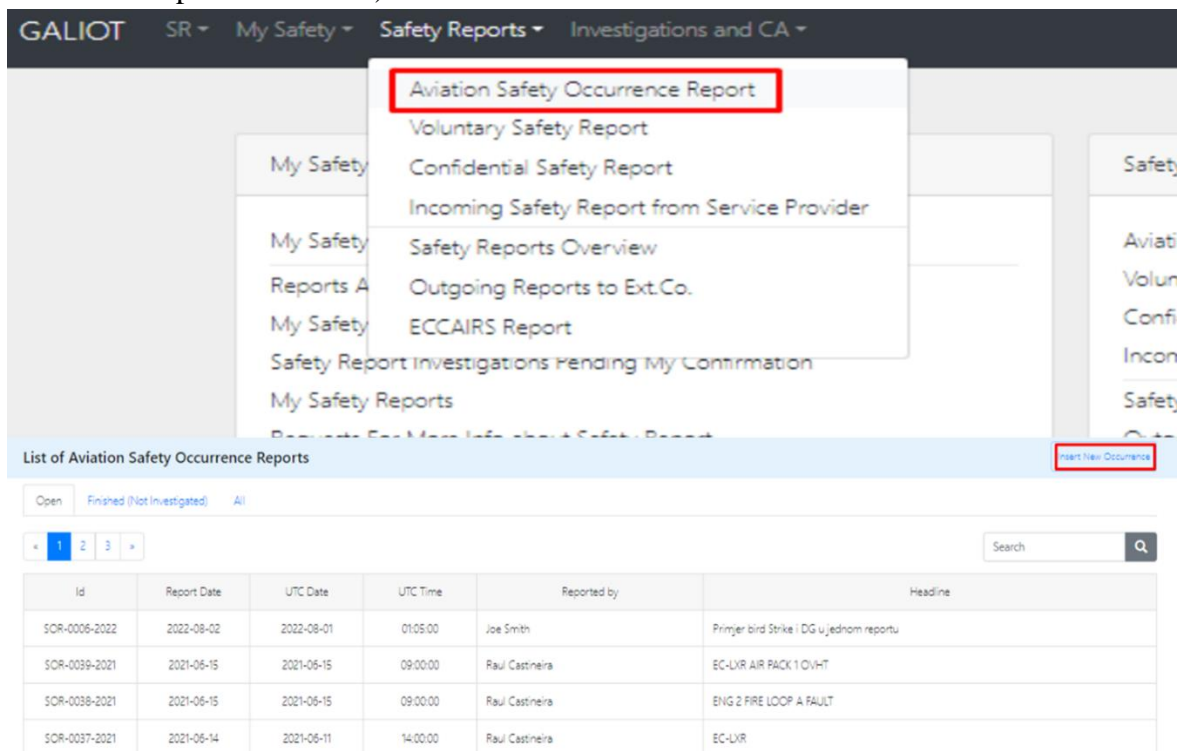
5.3.6. *GALIOT Aero*

GALIOT Aero je hrvatska kompanija smještena u Splitu [59] s misijom pružanja pristupačnih softverskih rješenja koja će pomoći organizacijama u pridržavanju propisa i

standarda, povećavanju razine sigurnosti i usklađenosti s propisima te usvajanju pristupa donošenja odluka koji se temelji na podacima [60].

GALIOT SMS sustav je upravljanja sigurnošću u skladu sa: ICAO Aneksom 19 – Upravljanje sigurnošću, ICAO Priručnikom za upravljanje sigurnošću, EASA-om i drugim relevantnim regulatornim okvirom. Sastoji se od sljedećih integriranih modula [59]:

- GALIOT SR – Safety Reporting (sigurnosno izvješćivanje) (slika 18.),
- GALIOT RM – Risk Management (upravljanje sigurnosnim rizicima),
- GALIOT PM – Safety Performance Management (upravljanje sigurnosnim performansama).



Slika 18. Postupak sigurnosnog izvješćivanja putem sustava GALIOT Aero
Izvor: [61]

Njihovi ostali proizvodi su GALIOT QMS za upravljanje usklađenošću i auditima, GALIOT DM za upravljanje dokumentima, GALIOT TR za osposobljavanje i licenciranje osoblja, GALIOT WM za upravljanje biljnim i životinjskim svijetom koji okružuje zračne luke, GALIOT SeMS za upravljanje zaštitom, GALIOT PS za razvoj, prikupljanje i analizu putničkih, sigurnosnih i zaštitnih anketa te GALIOT MM upravljanje održavanjem za maksimizaciju produktivnosti, generaciju rasporeda, izvješća i analizu aktivnosti vezanih uz održavanje [62].

Softver GALIOT Aero uveo je uporabu AI algoritama u svoje module, pod nazivom GALIOT AI. GALIOT AI koristi ML, NLP i napredne tehnike programiranja za analizu kompleksnih podataka vezanih uz sigurnost. Funkcionira na način da sve metapodatke o događajima, uključujući riječi, fraze i cijele rečenice, transformira u multidimenzionalne vektore. Nakon transformacije, na vektorima se primjenjuju različite metode, ovisno o zadatku. Najčešći zadaci koje GALIOT AI obavlja su identifikacija prioriteta sigurnosnih izvješća i pronalazak sličnih događaja u bazama podataka, predviđanje klasifikacija za novopristigla

izvješća, otkrivanje skrivenih uzoraka i odgovaranje na pitanja [60]. U nastavku su prikazane neke funkcije GALIOT AI.

Slika 19. prikazuje prepoznavanje obrazaca među prijavljenim događajima korištenjem ML algoritama GALIOT AI.

Slika 19. GALIOT AI prepoznavanje obrazaca među prijavljenim događajima

Izvor: [60]

Na slici 20. prikazana su najbolja podudaranja sigurnosnih izvješća u zasebnoj tablici spremna za daljnju analizu.

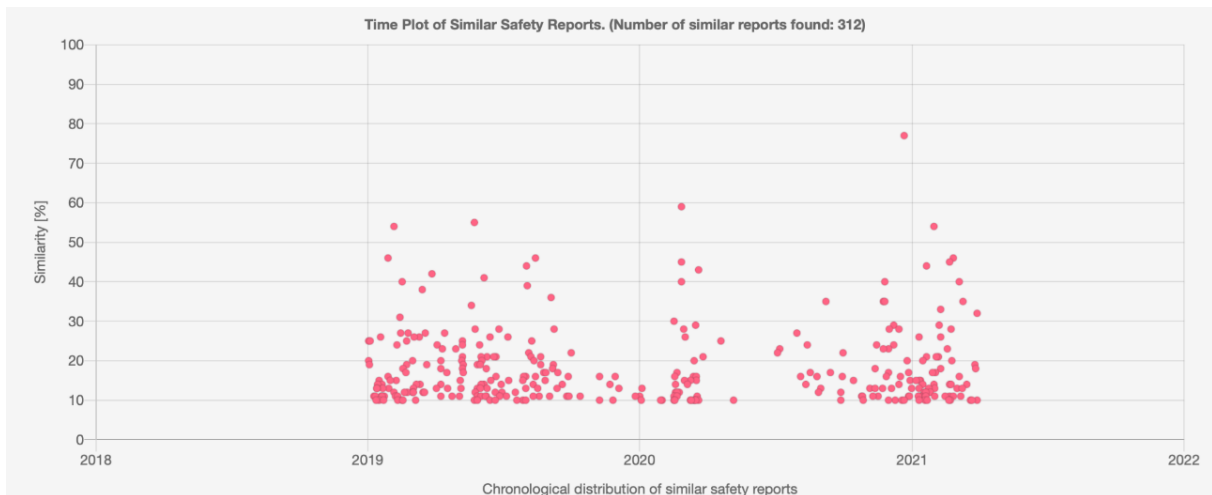
Top Similar Safety Reports (based on TF-IDF method)				
Internal Id	Date	Issue	Dsc	Similarity [%]
ASR-0782-2020	2020-12-21	GO AROUND	On approach into [redacted] a go around was executed after losing contact with the ground on short final after crossing minimums due heavy rain. The go around was executed inappropriately by RSP(PF) whereby altitude was lost with a flap EGPWS aural message requiring Captain to take control. A second approach was conducted uneventfully.	77
ASR-0046-2020	2020-02-26	WEATHER	The crewreported that they had to go around due to heavy rain on short finals runway 06.	59
ASR-0323-2020	2019-05-24	NOTIFICATION OF WEATHER EVENT	Go around was due to heavy rain. Crew unable to see the runway at minimums. The go around was performed and crew attempted an approach on runway 36. A safe landing was made.	55
ASR-0071-2021	2021-01-30	GO AROUND DUE WEATHER	Crew conducted Approach on [redacted] At minimums, they were unable to continue with landing due heavy rain and impaired visibility. Go around was executed. Crew were holding at position [redacted] for approx 30min. Subsequent approach and landing on rwy 24.	54
ASR-0270-2020	2019-02-05	FLIGHT MANAGEMENT	Go- around executed due to unstable approach.	54
ASR-0110-2021	2021-02-25	Go around	Missed Approach due debris on the runway [redacted]	46
ASR-0226-2020	2019-01-28	FLIGHT MANAGEMENT	Crew conducted a Go around due to unstable approach on short finals due to conflicting PAPI and Glide scope.	46
ASR-0392-2020	2019-08-14	FLIGHT MANAGEMENT	A Go- Around was executed below 500AAL due unstabilized conditions	46
ASR-0099-2021	2021-02-20	GO AROUND	Crew carried out a Go around at minimums due no contact. Haze present with visibility reported at 9 KM. From pilot observation visibility appeared significantly less than reported.	45
ASR-0035-2020	2020-02-26	WEATHER	The crew reported they had to go around due to heavy rain. They also had a loss of contact at 100FT. The second attempt was successful.	45

Slika 20. GALIOT AI pregled podudaranja sigurnosnih izvješća

Izvor: [60]

Na slici 21. prikazan je dijagram podudarajućih sigurnosnih izvješća te njihov indeks podudaranja (*Similarity Index*) u postocima tijekom zadanog vremenskog razdoblja. GALIOT AI, na temelju navedenih kriterija, izračunava sličnost (podudaranje) sigurnosnih izvješća te

prikazuje rezultate prikazuju u dijagramu s kronološkom distribucijom sličnih sigurnosnih izvješća.



Slika 21. GALIOT AI dijagram podudarajućih sigurnosnih izvješća

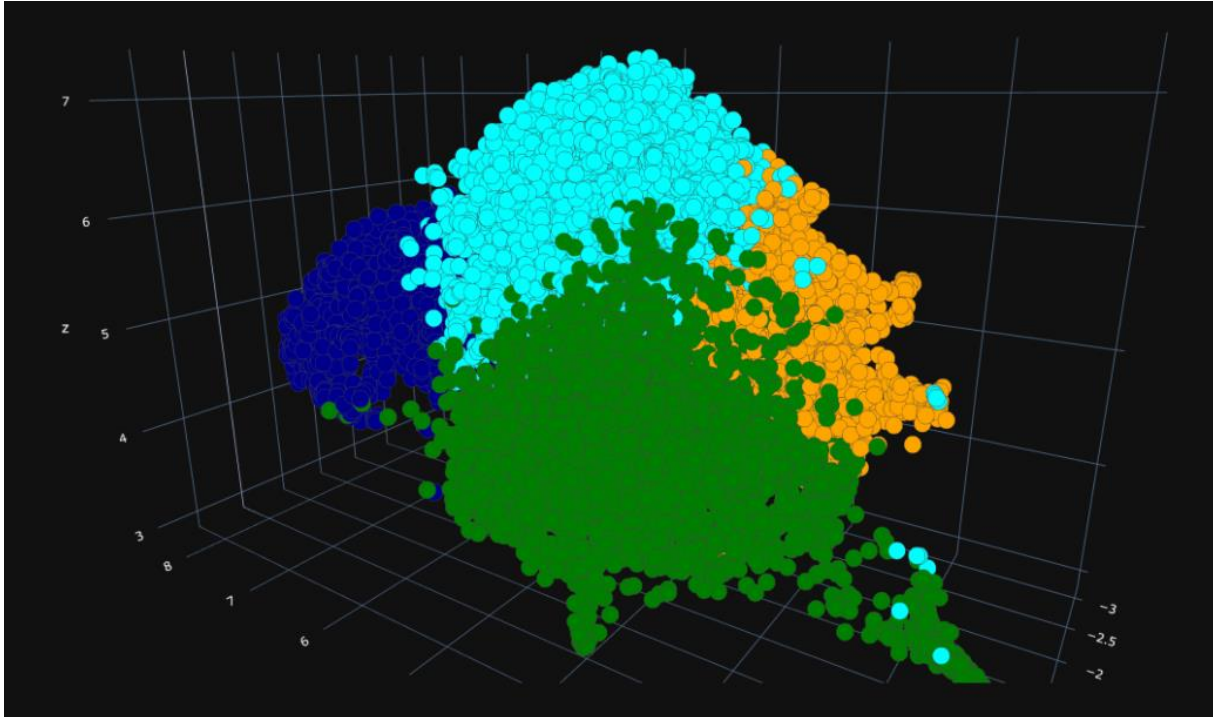
Izvor: [60]

Grupiranje ili klasteriranje (*clustering*) je vrsta nenadzirane metode učenja koja se koristi kao tehnika analize podataka za otkrivanje obrazaca i dijeljenje unosa (u ovom slučaju sigurnosnih izvješća) u više grupa na temelju sličnosti i različitosti među njima. Za ovaj slučaj klasteriranje je provedeno korištenjem BERT-a (*Bidirectional Encoder Representation from Transformers*) kreiran za Google AI za predstavljanje narativnog teksta sigurnosnog izvješća, UMAP (*Uniform Manifold Approximation and Projection*) za smanjenje nelinearne dimenzionalnosti, *K-means* za algoritam klasteriranja i *Silhouette* metoda za tumačenje i provjeru dosljednosti podataka unutar klastera. Odnosi između atributa metapodataka izvješća izračunavaju se pomoću Pearsonovog koeficijenta korelacije [60]. Rezultati se prikazuju u formi pitanje-odgovor, gdje se svako sljedeće postavljeno pitanje temelji na odgovoru na prethodno pitanje.

Primjerice, pitanja mogu biti sljedeća:

- Koliko dosljednih klastera (grupa izvješća) postoji u skupu podataka?
- Koji je najkritičniji klaster?
- Koja su područja klastera 4?
- Koji je najkritičniji događaj (anomalija) u klasteru 4?
- Koja je najkritičnija komponenta zrakoplova u klasteru 4?
- Koji su modeli zrakoplova najviše izloženi problemu s turbinskim motorom u klasteru 4?
- Koji je glavni uzrok problema s turbinskim motorom u klasteru 4?
- Kada (u kojoj fazi leta) je većina problema s turbinskim motorom otkrivena u klasteru 4?
- Tko/što je otkrio/otkrilo najviše problema s turbinskim motorom u klasteru 4?
- Koliko su učinkoviti sustavi automatizacije zrakoplova za otkrivanje problema s turbinskim motorom?

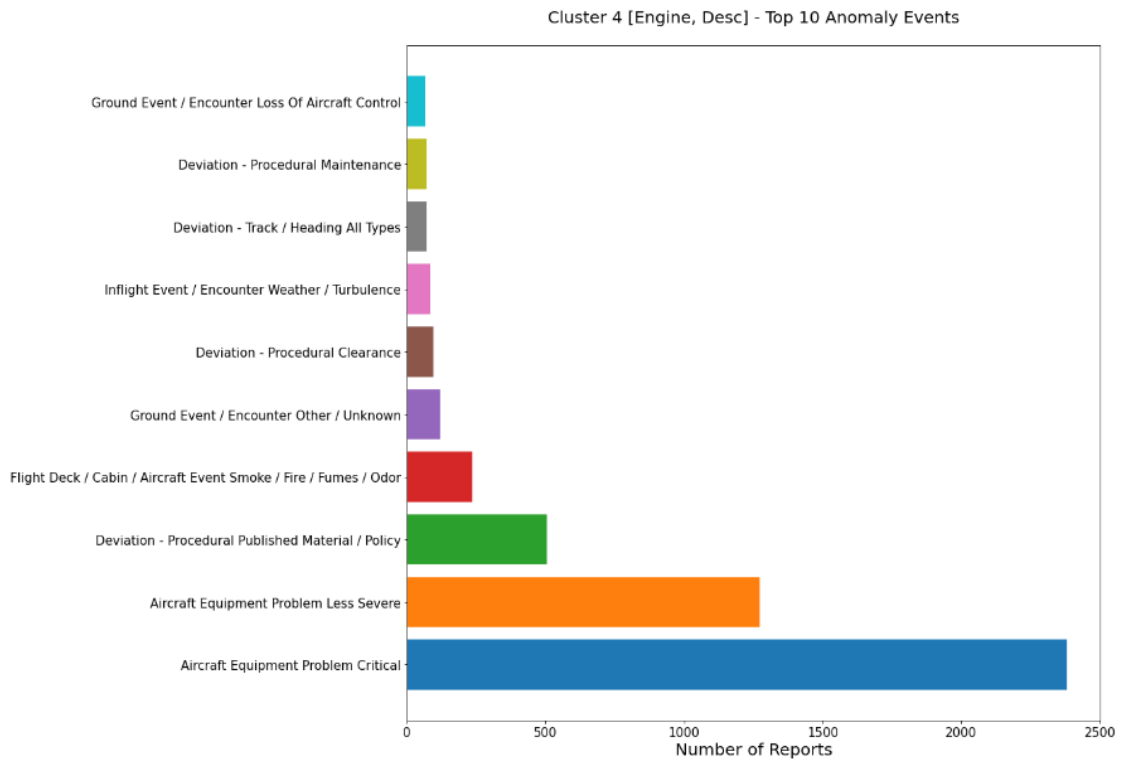
Slika 22. prikazuje kako GALIOT AI odgovara na pitanje „Koliko dosljednih klastera (grupa izvješća) postoji u skupu podataka?“. Sustav je detektirao četiri konzistentna klastera sigurnosnih izvješća. Distribucija izvješća za svaki klaster prikazana je u 3D grafikonu kao točkice različitih boja.



Slika 22. GALIOT AI detekcija konzistentnih klastera sigurnosnih izvješća

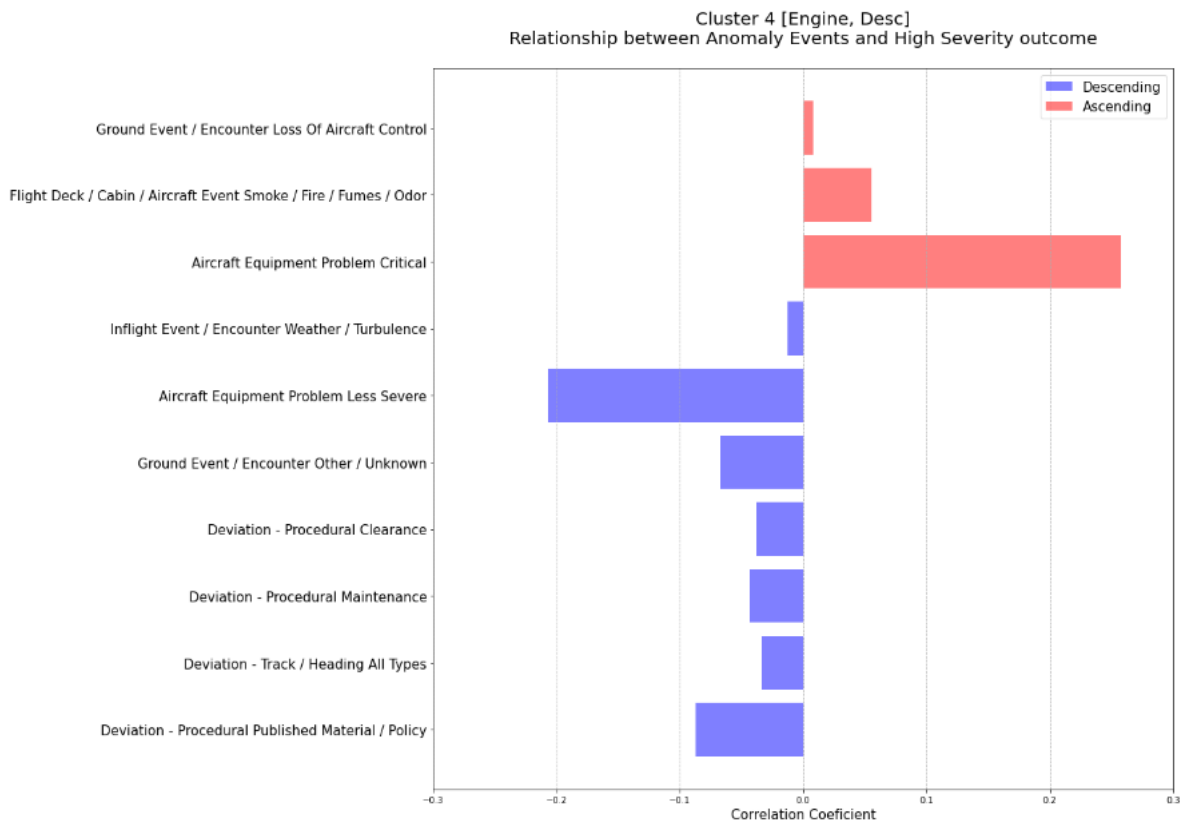
Izvor: [60]

Na sljedećim slikama prikazano je kako GALIOT AI odgovara na pitanje „Koji je najkritičniji događaj (anomalija) u klasteru 4?“. Najkritičniji događaj (anomalija) je „Kritičan problem s opremom zrakoplova“. Kritičnost se izračunava u dva koraka. Prvo se identificira prvih deset događaja (anomalija), a nakon toga se izračunavaju Pearsonovi koeficijenti korelacije između svih događaja (anomalija) i ishoda visoke ozbiljnosti. Slika 23. prikazuje 10 najkritičnijih događaja (anomalija), a slika 24. prikazuje izračun događaja visoke ozbiljnosti.



Slika 23. GALIOT AI detekcija najkritičnijih događaja (anomalija)

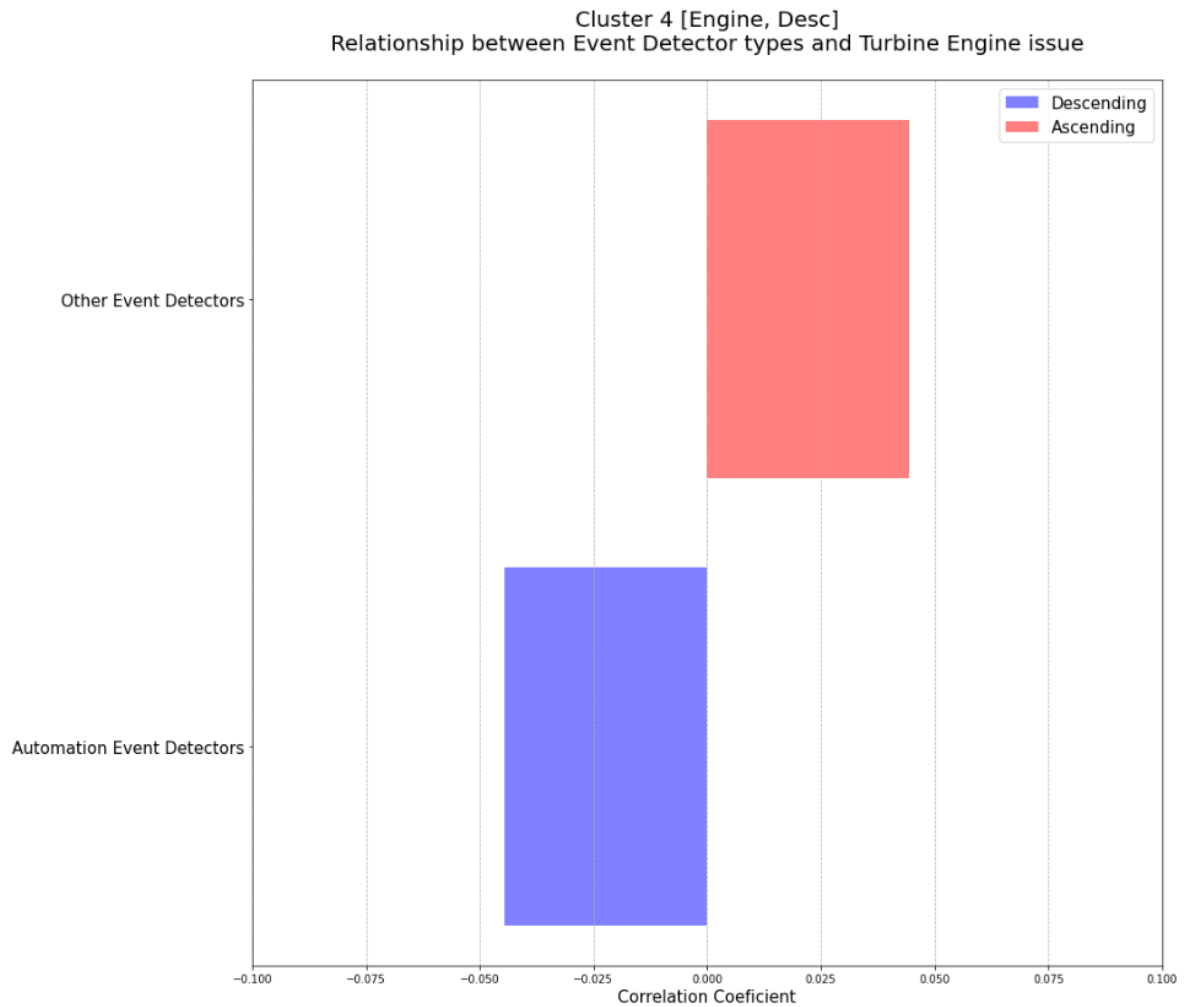
Izvor: [60]



Slika 24. GALIOT AI izračun događaja visoke ozbiljnosti

Izvor: [60]

Na pitanje „Koliko su učinkoviti sustavi automatizacije zrakoplova za otkrivanje problema s turbinskim motorom?“ GALIOT AI pronalazi odgovor te izrađuje grafikon koeficijenta korelacije, kako je prikazano slikom 25. Grafikon koeficijenta korelacije pokazuje lošiju učinkovitost sustava za automatizaciju zrakoplova u otkrivanju problema s turbinskim motorom u usporedbi sa svim drugim sustavima detekcije događaja.



Slika 25. GALIOT AI grafikon koeficijenta korelacije

Izvor: [60]

6. BUDUĆNOST UPRAVLJANJA SIGURNOSNIM RIZICIMA PRIMJENOM UMJETNE INTELIGENCIJE U ZRAKOPLOVSTVU

Budućnost upravljanja sigurnosnim rizicima primjenom umjetne inteligencije uvelike ovisi o međuodnosu tj. partnerstvu između čovjeka i AI tehnologija. EASA smatra da će se pojavljivati šest oblika partnerstva između čovjeka i umjetne inteligencije [63]:

- 1A – ML podrška (već postoji),
- 1B – kognitivni asistent (ekvivalentan naprednoj automatiziranoj podršci),
- 2A – suradljiv agent; može izvršavati zadatke koje zahtijeva operator,
- 2B – suradnik; može surađivati s čovjekom, ali i preuzimati inicijativu te samostalno izvršavati zadatke,
- 3A – AI izvršni agent; AI je potpuno samostalna, ali uz nadzor i mogućnost intervencije čovjeka,
- 3B – potpuno samostalna AI; čovjek ne može intervenirati.

Shodno tome, definirani su i oblici nekih gore navedenih partnerstava, čija se pojava očekuje u budućnosti [63]:

- UC1 – AI tehnologija u kokpitu koja pomaže pilotu u oporavku od neočekivanih događaja koji bi mogli izazvati brzopletu reakciju; s ciljem sprječavanja takvog ishoda, 1B usmjerava pilota prema instrumentima potrebnim za rješavanje hitnog slučaja.
- UC2 – AI tehnologija u kokpitu koja pomaže posadi rerutirati zrakoplov prema novoj destinaciji zbog loših vremenskih uvjeta ili zatvaranja zračne luke pri čemu se u obzir uzima velik broj faktora (kategorija zrakoplova, potrebna duljina uzletno-sletne staze, preostala dostupna količina goriva, udaljenost do zračnih luka, itd.); posada je i dalje glavna, ali mora iskomunicirati optimalno rješenje s 2A/2B AI.
- UC3 – AI tehnologija koja koordinira i nadzire urbani zračni promet; 3A AI je izvršni agent koji odrađuje posao, a čovjek ga nadzire.
- UC4 – AI tehnologija je u službi digitalnog asistenta koji djeluje u udaljenom kontrolnom tornju i time olakšava opterećenje kontrolora zračnog prometa; 2A AI izvršava repetitivni zadatke, a čovjek intervenira samo u slučaju neregularnog događaja (obilazak zrakoplova ili zrakoplov koji unatoč uputi nije napustio uzletno-sletnu stazu).
- UC5 – digitalni asistent koji pomaže djelatnicima zračne luke s neželjenim situacijama koje se javljaju s određenim uzorkom, a još uvijek nisu uspješno eliminirane, djeluje 1A/1B/2A AI.
- UC6 – AI tehnologija u obliku robota za komunikaciju čija je svrha usmjeravanje putnika u slučaju nužde, npr. pojava zrakom prenosivog patogena (COVID-19); 1B AI govori putnicima gdje otići kako bi izbjegli kontakt s patogenom.

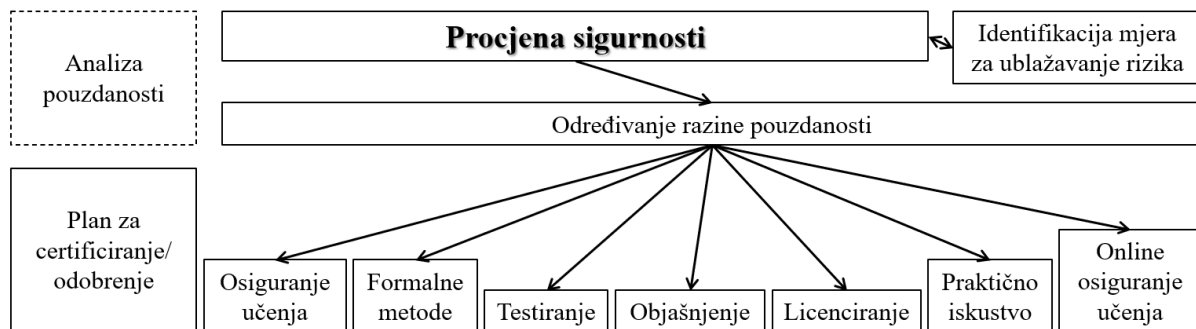
Mnoge su druge prognozirane primjene AI u zrakoplovstvu, no gore navedeni primjeri su specificirani za upravljanje sigurnosnim rizicima. Redoslijedom pojave, prvi korak će biti asistencija 1A i 1B AI tehnologija. Zatim se očekuje prijelaz na automatizirana rješenja u kojima će biti upotrebljavani 2A/2B AI tehnologije te automatizacija uz čovjekov nadzor (3A

AI). Posljednji korak bit će potpuna autonomija (3B). Vremenski period u kojem se ovi koraci očekuju je [32]:

- prvi korak – asistencija čovjeku (2023-2025+),
- drugi korak – partnerstvo čovjeka i AI tehnologije (2025-2035+),
- treći korak – napredna autonomija AI tehnologije (2035-2050+).

Izazov u korištenju umjetne inteligencije u upravljanju sigurnosnim rizicima predstavljat će proces certificiranja/odobravanja koji će svaki proizvod temeljen na AI tehnologijama morati proći. Iz tog razloga osnovana je EUROCAE WG 114/SAE G34 grupa koja bi trebala pomoći u uklapanju AI proizvoda u postojeće regulatorne okvire [64].

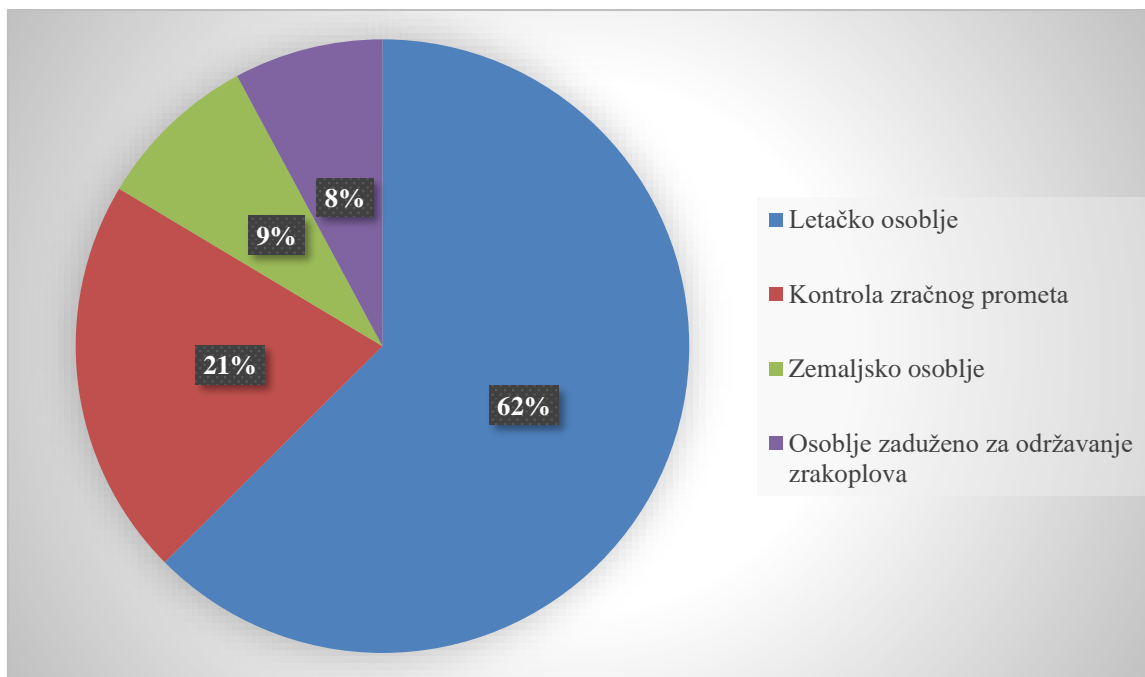
Ta novoosnovana grupa radi na procesu certificiranja/odobravanja koji bi bio djelomično prilagođen specifičnostima AI proizvoda, a uključivat će značajke poput osiguranja učenja, formalnih metoda, testiranja, objašnjenja, licenciranja, praktičnog iskustva te online osiguranja učenja. Ovisno o proizvodu koji je potrebno certificirati/odobriti, moguća je i potreba za analizom ili procjenom pouzdanosti. Prijedlog budućeg procesa za AI proizvode prikazan je na slici 26. [64].



Slika 26. Predloženi proces certificiranja/odobravanja AI proizvoda

Izvor: [64]

Temeljni proces u kojem će budući oblici AI imati glavnu ulogu je sigurnosna analiza. Provedeno istraživanje temeljeno na sustavu izvješćivanja o sigurnosti u zrakoplovstvu (ASRS – *Aviation Safety Reporting System*) baziralo se na usporedbi sažetaka incidenata koje su generirali ChatGPT i ljudi. Osim što su bili izuzetno slični ljudskim, sažetci generirani od strane ChatGPT-a sadržavali su i sve informacije ključne za izvješćivanje. Pri povezivanju ljudskog čimbenika s uzrocima incidenata, stručnjaci su se s procjenom ChatGPT-a složili u 61% slučajeva. Ova manjkavost može se pripisati ograničenju AI u traženju uzroka izvan sadržaja narativa. Zadnji segment istraživanja odnosio se na određivanje specifičnog entiteta koji je posredovao nezgodi, što je rezultiralo omjerom prikazanim na grafikonu 5.

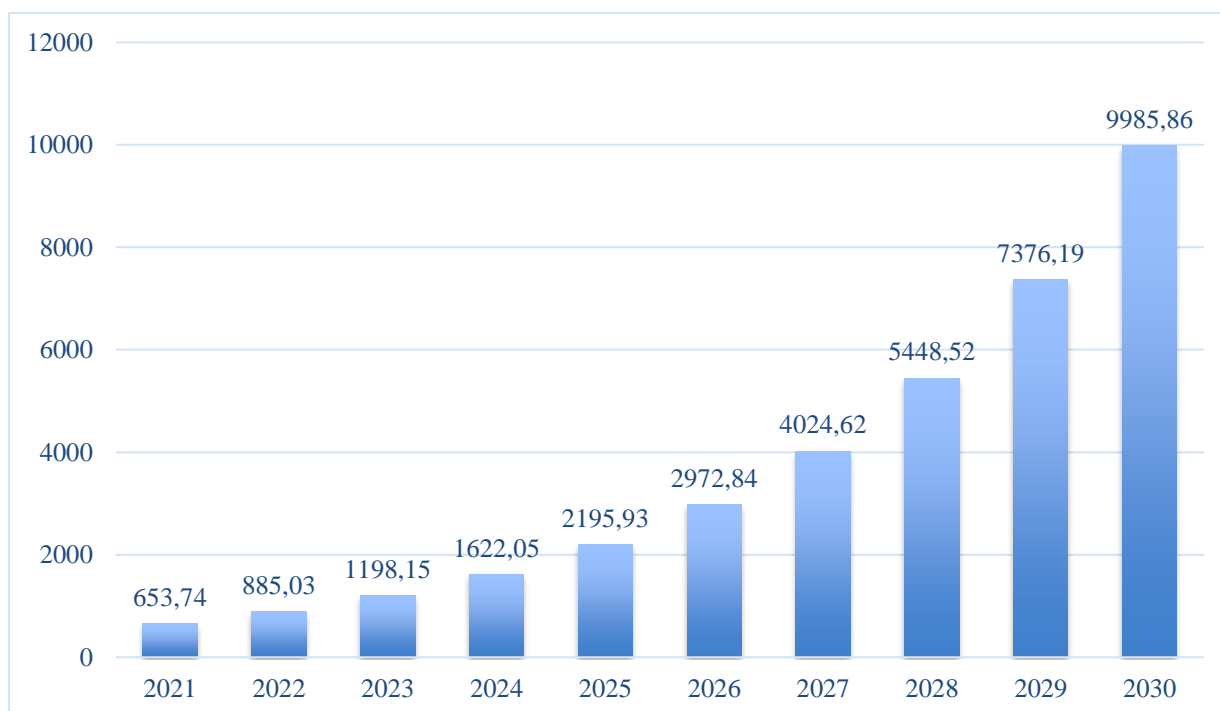


Grafikon 5. Entiteti koji su posredovali zrakoplovnim nezgodama prema prosudbi AI

Izvor: [65]

Iz istraživanja je moguće zaključiti da generativni jezični modeli predstavljaju značajan potencijal, barem s aspekta zrakoplovne sigurnosti, no uz napomenu da se AI sustavi trebaju koristiti isključivo kao asistenti stručnjacima u generiranju sigurnosnih analiza. Dakle, nije pouzdano prepustiti im samostalno djelovanje. Proširenje spektra odgovornosti u procjeni sigurnosnih rizika sa standardnih uzroka (kao što su putnici, vremenski uvjeti, tehnički kvarovi) te uključivanje detaljnijih pod-kategorija moglo bi doprinijeti preciznosti i učinkovitosti ovih modela. No, s ciljem definiranja odgovornosti potrebno je zahtijevati ručne provjere ili neku drugu dokazanu metodologiju na barem određenom dijelu seta podataka. Dizajniranje interaktivnih sustava u kojem stručnjaci za sigurnosnu analizu određuju očekivane izlazne podatke modela, ili sustav pruža potencijalna objašnjenja kako bi pomogao stručnjacima u donošenju odluka doprinijet će efikasnosti i točnosti cjelokupnog sustava [65].

Iako nije sigurno koliku će ulogu imati AI sustavi u budućem upravljanju sigurnosnim rizicima te kolika će biti njihova autonomija, definitivno je da će ta uloga postojati. Tome u prilog idu i brojke o utjecaju umjetne inteligencije na zrakoplovno tržište. U 2021. godini AI vrijednost iznosila je 653.74 milijuna američkih dolara, a procjenjuje se da će 2030. godine iznositi oko 10 milijardi američkih dolara [66]. Kompletna prognoza nalazi se na grafikonu 6.



Grafikon 6. Utjecaj AI na zrakoplovno tržište za razdoblje od 2021. do 2029. godine (vrijednosti u američkim dolarima)

Izvor: [66]

Taj utjecaj moguće je razmatrati i po pojedinim regijama svijeta. Po tom kriteriju, 2021. godine dominirala je Sjeverna Amerika, a pratile su ju Europa i Azija Pacifik. Smatra se da će u prognoziranom periodu tržišna dominacija preseliti na prostor Azije jer države poput Kine, Indije, Tajlanda, Južne Koreje, itd. značajno ulažu u napredak infrastrukture zračnih prijevoznika s ciljem ojačanja turizma na prostoru te regije [66].

Implementacija AI tehnologije u sustave upravljanja sigurnošću označava značajan napredak prema sofisticiranom, preventivnom i prediktivnom režimu upravljanja sigurnosnim rizicima. Uz to što ovakvi alati predstavljaju korisne alate za analizu podataka, prepoznavanje uzoraka i potpomaganje donošenja odluka, oni su glavni razlog razvoja sigurnosne kulture zrakoplovne industrije. Sustavi nadziranja i izvješćivanja, prediktivno održavanje, upravljanje sigurnosnim rizicima te osposobljavanje i simulacija bit će ojačane AI tehnologijama, što će sam sustav učiniti učinkovitijim i sigurnijim.

7. ZAKLJUČAK

Zračni promet, osim što je tehnološki najnapredniji i najbrži, također je i najsigurniji oblik prometa. Kako bi se takav status održao, prvenstveno je bilo potrebno definirati regulatorni okvir vezan uz sigurnost zračnog prometa, ili preciznije za upravljanje sigurnošću u zračnom prometu. Taj regulatorni okvir razmatra se na globalnoj, regionalnoj i nacionalnoj razini.

Osnovni dokument za razvoj globalnog regulatornog okvira predstavljala je Konvencija o međunarodnom civilnom zrakoplovstvu poznatija pod nazivom Čikaška konvencija. Njome je, između ostalog, osnovana specijalizirana agencija Ujedinjenih Naroda zadužena za koordinaciju i regulaciju međunarodnog zračnog prometa – Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva (ICAO). ICAO je donijela najbitniji dokument za sigurnost zračnog prometa na globalnoj razini, Aneks 19 – Upravljanje sigurnošću. Uz njega donesen je i ICAO Priručnik za upravljanje sigurnošću koji se bavi svim relevantnim temama vezanim uz sigurnost, odnosno sigurnosnom kulturom, upravljanjem sigurnosnim performansama, sigurnosnom analizom, upravljanjem sigurnošću na razini države, itd. S regionalnog aspekta, najznačajnije organizacije koje pružaju regulatorni okvir su Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo za područje Sjedinjenih Američkih Država te Europska agencija za sigurnost zračnog prometa za prostor Europske Unije. Na razini pojedinih država ključni dokumenti su Nacionalni program sigurnosti te Plan sigurnosti u zračnom prometu, a nadležno tijelo je Agencija za civilno zrakoplovstvo.

Učinkovit sustav za upravljanje sigurnošću temelji se na upravljanju sigurnosnim rizicima čiji su glavne komponente identifikacija sigurnosnih rizika, procjena sigurnosnih rizika, definiranje mjera za ublažavanje rizika, implementacija mjera za ublažavanje rizika i praćenje rezultata te mjerenje sigurnosnih performansi. Za te komponente značajne su tri glavne metodologije korištene u upravljanju sigurnošću; reaktivna, proaktivna i prediktivna. Bez obzira na promjene i inovacije, postoje principi upravljanja rizicima kojih se potrebno uvijek pridržavati. Organizacije ne smiju prihvaćati nepotrebne rizike te trebaju integrirati upravljanje rizicima u operacije, zadatke, planiranje i aktivnosti na svim razinama.

Umjetna inteligencija dio je računalstva usmjeren na osposobljavanje računala za obavljanje zadaća za koje je potreban neki oblik „inteligencije“, a njeni glavni pristupi su pristup strojnog učenja, pristup temeljen na logici i znanju te statistički pristup. Usvajanje i primjena AI tehnologije doprinosi poboljšanju sigurnosti, učinkovitosti i konkurentnosti pa su mnogi sudionici zračnog prometa već implementirali AI tehnologije u svoja poslovanja. Primjer toga su projekti relevantni za upravljanje zračnim prometom poput SMARTS, ASTRA, TRUSTY te tehnologije zračnih luka Heathrow, Singapur i Schiphol koji koriste AI za poboljšanje protoka putnika/zrakoplova. Ostali segmenti zračnog prometa u kojima je AI našla svoju primjenu su dizajn i operacije zrakoplova, proizvodnja i održavanje zrakoplova, zaštita okoliša, itd.

Umjetna inteligencija ostvarila je i značajan doprinos u području upravljanja sigurnosnim rizicima. Ona je ključna u otkrivanju novih rizika, klasifikaciji tj. procjeni rizika te izradi portfelja sigurnosnih rizika i prioritizacije opasnosti vezanih uz sigurnost. Zbog svih prednosti u odnosu na stručnjake, poput brzine obrade podataka i mogućnosti obrade veće količine podataka, neizbježne su usporedbe između AI i stručnjaka za sigurnost. U ispitivanju

šest najvažnijih kriterija (cjelovita identifikacija opasnosti, pouzdanost procjene rizika, praktičnost predloženih protumjera, vremena potrebnog za odgovor, sveobuhvatnost i razumijevanje konteksta) stručnjaci za sigurnost i AI postigli su podjednake rezultate. Zaključeno je da se AI rješenja trebaju koristiti jer su vrijedan resurs, ali isključivo pod nadzorom stručnjaka.

Neka od AI rješenja koja se već koriste za upravljanje sigurnosnim rizicima i koji su opisani u ovom radu su Baldwin ASMS, SafetyCulture, SMS Pro, Q5SMS, Vistair SafetyNet i GALIOT Aero.

Upravo zbog međuodnosa stručnjaka i AI rješenja, teško je precizirati kako će budućnost upravljanja sigurnosnim rizicima izgledati. Smatra se da će u razdoblju od 2023. godine do 2025. godine, AI tehnologije biti isključivo asistenti stručnjacima, razdoblje od 2025. godine do 2035. godine obilježit će partnerstvo čovjeka i AI, a nakon 2035. godine očekivana je napredna autonomija AI tehnologija. No, bez obzira na njihov odnos, implementacija AI tehnologije u sustave upravljanja sigurnošću označava značajan iskorak prema sofisticiranom, preventivnom i prediktivnom režimu upravljanja sigurnosnim rizicima.

LITERATURA

- [1] International Civil Aviation Organization. *Annex 19 – Safety Management*. Izdanje: 2. Montréal: ICAO; 2016.
- [2] Steiner S. *Elementi sigurnosti zračnog prometa*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 1999.
- [3] HRD Aero Systems. *The History of Aviation Safety*. Preuzeto s: <https://www.hrd-aerosystems.com/blog/history-of-aviation-safety/> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [4] SKYbrary. *Chicago Convention*. Preuzeto s: <https://skybrary.aero/articles/chicago-convention> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [5] SKYbrary. *International Civil Aviation Organisation*. Preuzeto s: <https://skybrary.aero/articles/international-civil-aviation-organisation-icao> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [6] The Postal History of ICAO. *The Chicago Convention*. Preuzeto s: https://applications.icao.int/postalhistory/the_chicago_convention.htm [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [7] SKYbrary. *ICAO Annexes and Doc Series*. Preuzeto s: <https://skybrary.aero/articles/icao-annexes-and-doc-series> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [8] Steiner S. *Međunarodna sigurnosna regulativa – organizacijski i normativni ustroj*. [Prezentacija] Sigurnost zračnog prometa. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu. 2024.
- [9] SKYbrary. *ICAO Annex 19, Safety Management*. Preuzeto s: <https://skybrary.aero/articles/icao-annex-19-safety-management> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [10] International Civil Aviation Organization. *ICAO Safety Management Manual (SMM), Doc 9859*. Izdanje: 4. Montréal: ICAO; 2018.
- [11] ICAO. *ICAO's Regional Presence*. Preuzeto s: <https://www.icao.int/secretariat/RegionalOffice/Pages/default.aspx> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [12] ICAO. Statistička izvješća 1465: *Safety Report*. 2023. Preuzeto s: https://www.icao.int/safety/Documents/ICAO_SR_2023_20230823.pdf [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [13] EASA. *The Agency*. Preuzeto s: <https://www.easa.europa.eu/en/the-agency/the-agency> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [14] EASA. *Easy Access Rules for the Basic Regulation (Regulation (EU) 2018/1139)*. Preuzeto s: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/easy-access-rules-basic-regulation-regulation-eu-20181139> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [15] Europska komisija. *Izvješće komisije Europskom parlamentu i vijeću o evaluaciji Agencije Europske unije za sigurnost zračnog prometa i Uredbe (EU) 2018/1139 o zajedničkim pravilima u području civilnog zrakoplovstva i osnivanju Agencije Europske unije za sigurnost zračnog prometa*. 2023. Preuzeto s: <https://eur->

lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52023DC0524
[Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]

- [16] Federal Aviation Administration. *About FAA*. Preuzeto s: <https://www.faa.gov/about>
[Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [17] Federal Aviation Administration. *Aviation Safety*. Preuzeto s:
https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/avs [Pristupljeno: 7.
lipnja 2024.]
- [18] Flying Academy. *EASA vs FAA*. Preuzeto s: <https://flyingacademy.com/easa-vs-faa-understanding-the-key-differences/> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [19] CertAer. *The final word on FAA vs EASA STC*. Preuzeto s: <https://certaer.com/stc-faa-vs-easa/> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [20] Vlada Republike Hrvatske. *Odluka o donošenju Nacionalnog programa sigurnosti u zračnom prometu*. Zagreb: Narodne novine; 2022.
- [21] Povjerenstvo za upravljanje sigurnošću u zračnom prometu. *Odluka o donošenju Plana sigurnosti u zračnom prometu za razdoblje 2023-2025*. Zagreb: Narodne novine; 2023.
- [22] Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo. *Naredba o zrakoplovnoj sigurnosti ASO-2010-004*. Zagreb: HACZ; 2016.
- [23] Bartulović D. *Development of Predictive Safety Management Methodology in Aviation*. Disertacija. Sveučilište u Zagrebu; 2022.
- [24] EASA. *Safety Risk Management*. Preuzeto s:
<https://www.easa.europa.eu/en/domains/safety-management/safety-risk-management> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [25] Civil Aviation Safety Authority. *Safety management system basics*. Preuzeto s:
<https://www.casa.gov.au/sites/default/files/2021-06/safety-management-systems-book-1-safety-management-system-basics.pdf> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [26] Defence Aviation Safety Authority. *Aviation Safety Management System*. Preuzeto s:
<https://dasa.defence.gov.au/sites/default/files/ASMS-System-Guidebook.pdf>
[Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [27] SKYbrary. *ICAO SHELL Model*. Preuzeto s: <https://skybrary.aero/articles/icao-shell-model> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [28] SKYbrary. *James Reason HF Model*. Preuzeto s:
<https://skybrary.aero/articles/james-reason-hf-model> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [29] SKYbrary. *Bow Tie Risk Management Methodology*. Preuzeto s:
<https://skybrary.aero/articles/bow-tie-risk-management-methodology> [Pristupljeno:
7. lipnja 2024.]
- [30] Ideagen. *10 key focus areas for the future of aviation*. Preuzeto s:
<https://www.ideagen.com/thought-leadership/whitepapers/what-will-the-future-of-aviation-look-like> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [31] Hrvatska enciklopedija. *Umjetna inteligencija*. Preuzeto s:
<https://www.enciklopedija.hr/clanak/umjetna-inteligencija> [Pristupljeno: 7. lipnja
2024.]

- [32] EASA. *EASA Artificial Intelligence Roadmap 2.0*. Preuzeto s: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/easa-artificial-intelligence-roadmap-20> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [33] Symphony Solutions. *The Rise of Artificial Intelligence in Aviation: Transforming the Skies*. Preuzeto s: <https://symphony-solutions.com/insights/ai-in-aviation> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [34] Poente Technical. *Unveiling the Pros and Cons of AI in Aviation*. Preuzeto s: <https://www.poentetechnical.com/news/pros-and-cons-of-ai-in-aviation/> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [35] ICAO. *Using Artificial Intelligence to Improve Global Aviation Safety*. Preuzeto s: https://www.icao.int/Meetings/a41/Documents/WP/wp_090_en.pdf [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [36] Air France. *How Air France is using Artificial Intelligence to optimize its business activities and improve the customer experience*. Preuzeto s: <https://corporate.airfrance.com/en/news/how-air-france-using-artificial-intelligence-ai-optimize-its-business-activities-and-improve> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [37] McKinsey & Company. *The generative AI opportunity in airline maintenance*. Preuzeto s: https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/the-generative-ai-opportunity-in-airline-maintenance#/ [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [38] SESAR. *How useful is artificial intelligence in air traffic management?*. Preuzeto s: <https://www.sesarju.eu/news/how-useful-artificial-intelligence-air-traffic-management> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [39] Zhang Z. *Technologies Raise the Effectiveness of Airport Security Control*. Preuzeto s: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8973152> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [40] Medium. *Using AI for Air Traffic Management in Big Airports*. Preuzeto s: <https://medium.com/@nimbo9446/using-ai-for-air-traffic-management-in-big-airports-959aebd3c916> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [41] Bogdan T. *Upravljanje kibernetičkim rizicima u zrakoplovstvu*. Završni rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2022. Preuzeto s: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:362798> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [42] Garcia AB, Babiceanu RF, Seker R. *Artificial Intelligence and Machine Learning Approaches For Aviation Cybersecurity: An Overview*. Preuzeto s: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9441594> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [43] Koroniotis N, Moustafa N, Schiliro F, Gauravaram P, Janicke H. *A Holistic Review of Cybersecurity and Reliability Perspectives in Smart Airports*. Preuzeto s: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9252856> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [44] Hrvatska tehnička enciklopedija. *Bespilotna letjelica*. Preuzeto s: <https://tehnika.lzmk.hr/bespilotna-letjelica/> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [45] Statista. *Commercial Drones are Taking Off*. Preuzeto s: <https://www.statista.com/chart/17201/commercial-drones-projected-growth/> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]
- [46] EASA. *Urban Air Mobility*. Preuzeto s: <https://www.easa.europa.eu/en/what-is-uam> [Pristupljeno: 7. lipnja 2024.]

- [47] Yazdi M, Zarei E, Adumene S, Beheshti A. *Navigating the Power of Artificial Intelligence in Risk Management: A Comparative Analysis*. Preuzeto s: <https://www.mdpi.com/2313-576X/10/2/42> [Pristupljeno: 8. lipnja 2024.]
- [48] Quentic. *Artificial intelligence in risk and safety management*. Preuzeto s: <https://www.quentic.com/articles/ai-in-risk-and-safety-management/#c80277118> [Pristupljeno: 8. lipnja 2024.]
- [49] Baldwin. *Baldwin Safety and Compliance*. Preuzeto s: <https://www.baldwinsms.com/about> [Pristupljeno: 8. lipnja 2024.]
- [50] Baldwin. *Baldwin SMS Platform*. Preuzeto s: <https://www.baldwinsms.com/baldwinsms> [Pristupljeno: 8. lipnja 2024.]
- [51] SafetyCulture. *Risk Management & Compliance*. Preuzeto s: <https://safetyculture.com/risk-management-and-compliance/> [Pristupljeno: 8. lipnja 2024.]
- [52] SMS Pro. *SMS Pro History and Timeline*. Preuzeto s: <https://www.asms-pro.com/smspro.aspx> [Pristupljeno: 8. lipnja 2024.]
- [53] SMS Pro. *Aviation SMS Software Solutions by SMS Pro*. Preuzeto s: <https://www.asms-pro.com/Products.aspx> [Pristupljeno: 8. lipnja 2024.]
- [54] SMS Pro. *Introduction to Aviation SMS Data Analysis*. Preuzeto s: <https://www.asms-pro.com/Modules/RiskManagement/DataAnalysisExport.aspx> [Pristupljeno: 8. lipnja 2024.]
- [55] Q5SMS. *Aviation Safety Management System*. Preuzeto s: <https://www.q5sms.aero/#banner> [Pristupljeno: 8. lipnja 2024.]
- [56] Q5SMS. *Q5SMS for Regulators*. Preuzeto s: <https://www.q5sms.aero/caa-safety-sms.html> [Pristupljeno: 8. lipnja 2024.]
- [57] Vistair. *SafetyNet*. Preuzeto s: <https://www.vistair.com/safetynet-aviation-safety-management-system> [Pristupljeno: 8. lipnja 2024.]
- [58] Vistair. *Partner Case Studies*. Preuzeto s: <https://www.vistair.com/resources/case-studies> [Pristupljeno: 8. lipnja 2024.]
- [59] Galiot Aero. *GALIOT Safety Management System*. Preuzeto s: https://www.galiot.net/products_SMS.html [Pristupljeno: 8. lipnja 2024.]
- [60] Galiot Aero. *Machine learning techniques applied in aviation safety domain!*. Preuzeto s: https://galiot.net/discover_6.html [Pristupljeno: 8. lipnja 2024.]
- [61] Kos A. *Primjena programskih alata u upravljanju sigurnošću zračnog prometa*. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2023. Preuzeto s: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:652944> [Pristupljeno: 8. lipnja 2024.]
- [62] Galiot Aero. *Our Products*. Preuzeto s: <https://www.galiot.net/index.html> [Pristupljeno: 8. lipnja 2024.]
- [63] Kirwan B. *The Impact of Artificial Intelligence on Future Aviation Safety Culture*. Preuzeto s: <https://www.mdpi.com/2673-7590/4/2/18> [Pristupljeno: 8. lipnja 2024.]
- [64] Eurocontrol. *The FLY AI Report*. Preuzeto s: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2020-03/eurocontrol-fly-ai-report-032020.pdf> [Pristupljeno: 8. lipnja 2024.]
- [65] Tikayat Ray A, Bhat AP, White RT, Nguyen VM, Pinon Fischer OJ, Mavris DN. *Examining the Potential of Generative Language Models for Aviation Safety*

Analysis: Case Study and Insights using the Aviation Safety Reporting System (ASRS). Preuzeto s: <https://www.preprints.org/manuscript/202307.0192/v2>
[Pristupljeno: 8. lipnja 2024.]

[66] Precedence Research. *Artificial Intelligence in Aviation Market*. Preuzeto s: <https://www.precedenceresearch.com/artificial-intelligence-in-aviation-market>
[Pristupljeno: 8. lipnja 2024.]

POPIS KRATICA

- AI (*Artificial Intelligence*) Umjetna inteligencija
- ATM (*Air Traffic Management*) Upravljanje zračnim prometom
- AVS (*Aviation Safety*) Sigurnost zračnog prometa
- BASA (*Bilateral Aviation Safety Agreement*) Bilateralni sporazum o sigurnosti zračnog prometa
- CCAA (*Croatian Civil Aviation Agency*) Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo
- CPA (*Corrective Preventative Action*) Korektivne preventivne mjere
- DL (*Deep Learning*) Duboko učenje
- DSSAO (*Decision Support System for Airport Operations*) Sustav podrške u donošenju odluka vezanih uz aerodromske operacije
- EASA (*European Union Aviation Safety Agency*) Europska agencija za sigurnost zračnog prometa
- FAA (*Federal Aviation Administration*) Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo
- FDM (*Flight Data Monitoring*) Praćenje podataka o letu
- FOD (*Foreign Object Debris*) Ostaci stranih tijela
- ICAO (*International Civil Aviation Organization*) Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva
- ICAO SARPs (*ICAO Standards and Recommended Practices*) ICAO standardi i preporučene prakse
- IDS (*Intrusion Detection System*) Detekcija neovlaštenog pristupa
- IoT (*Internet of Things*) Internet stvari
- LKB (*Logic- and knowledge-based*) Temeljeno na logici i znanju
- LOSA (*Line Operations Safety Audit*) Sigurnosni audit redovnih operacija
- ML (*Machine Learning*) Strojno učenje
- MOR (*Mandatory Occurrence Reporting*) Obavezno izvješćivanje o događajima
- NLP (*Natural Language Processing*) Obrada prirodnog jezika
- PHAT (*Proactive Hazard Analysis Tool*) Alat za proaktivnu analizu opasnosti
- RAIO (*Regional Accident and Incident Investigation Organization*) Regionalna organizacija za istraživanje nesreća i nezgoda
- RASGs (*Regional Aviation Safety Groups*) Regionalne zrakoplovne grupe za sigurnost
- RSOO (*Regional Safety Oversight Organization*) Regionalna organizacija za nadzor sigurnosti

SMM (*Safety Management Manual*) Priručnik za upravljanje sigurnošću
SMS (*Safety Management System*) Sustav upravljanja sigurnošću
SOC (*Smart Operations Center*) Pametni operativni centar
SPIs (*Safety Performance Indicators*) Pokazatelji sigurnosnih performansi
SPTs (*Safety Performance Targets*) Ciljevi sigurnosnih performansi
SSP (*State Safety Programme*) Nacionalni program sigurnosti
STC (*Supplemental Type Certificate*) Dodatni certifikat tipa
UAM (*Urban Air Mobility*) Urbana zračna mobilnost
VOR (*Voluntary Occurrence Reporting*) Dobrovoljno izvješćivanje o događajima

POPIS SLIKA

Slika 1. Čikaška konvencija	3
Slika 2. Aneks 19 – Upravljanje sigurnošću	4
Slika 3. ICAO priručnik za upravljanje sigurnošću	5
Slika 4. ICAO regije.....	8
Slika 5. Četiri osnovne komponente Nacionalnog programa sigurnosti	11
Slika 6. Okvir za uspostavu SMS-a pružatelja usluga	12
Slika 7. Komponente u procesu upravljanja sigurnosnim rizicima.....	13
Slika 8. Odnos metodologija upravljanja sigurnošću.....	14
Slika 9. Koraci procesa upravljanja sigurnosnim rizicima.....	14
Slika 10. Model uzročnosti nesreća Jamesa Reasona.....	16
Slika 11. Taksonomija umjetne inteligencije	22
Slika 12. Primjeri primjene umjetne inteligencije u zrakoplovnoj industriji	23
Slika 13. Korištenje AI za analizu i izvoz podataka u alatu SMS Pro	40
Slika 14. Korištenje AI za utvrđivanje utjecaja rizika na trendove u alatu SMS Pro	41
Slika 15. Korisničko sučelje sustava Q5SMS	42
Slika 16. Procjene rizika u sustavu Q5SMS.....	42
Slika 17. Korisničko sučelje sustava Vistair SafetyNet	44
Slika 18. Postupak sigurnosnog izvješćivanja putem sustava GALIOT Aero	45
Slika 19. GALIOT AI prepoznavanje obrazaca među prijavljenim događajima.....	46
Slika 20. GALIOT AI pregled podudaranja sigurnosnih izvješća	46
Slika 21. GALIOT AI dijagram podudarajućih sigurnosnih izvješća.....	47
Slika 22. GALIOT AI detekcija konzistentnih klastera sigurnosnih izvješća.....	48
Slika 23. GALIOT AI detekcija najkritičnijih događaja (anomalija).....	49
Slika 24. GALIOT AI izračun događaja visoke ozbiljnosti	49
Slika 25. GALIOT AI grafikon koeficijenta korelacije	50
Slika 26. Predloženi proces certificiranja/odobravanja AI proizvoda.....	52

POPIS TABLICA

Tablica 1. Aneksi ICAO-a.....	3
Tablica 2. Temeljne razlike između EASA-e i FAA-e	10
Tablica 3. Tablica vjerojatnosti sigurnosnih rizika	17
Tablica 4. Tablica ozbiljnosti sigurnosnih rizika	18
Tablica 5. Matrica rizika	19
Tablica 6. Tablični prikaz prihvatljivosti sigurnosnih rizika	19
Tablica 7. Tehnologije zaštitnog pregleda na aerodromu	28
Tablica 8. Raspodjela vodstva sudionika u upravljanju sigurnosnim rizicima prema kriterijima	36
Tablica 9. Ponuda kompanije Baldwin Safety & Compliance.....	37

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Očekivani broj dostupnih tehničara za održavanje zrakoplova i njihov nedostatak	26
Grafikon 2. Broj prodanih dronova od 2016. do 2023. godine uz prognozirane vrijednosti do 2025. godine	30
Grafikon 3. Usporedba kriterija djelovanja umjetne inteligencije i stručnjaka pri upravljanju sigurnosnim rizicima	35
Grafikon 4. Distribucija važnosti kriterija u procesu upravljanja sigurnosnim rizicima	35
Grafikon 5. Entiteti koji su posredovali zrakoplovnim nezgodama prema prosudbi AI	53
Grafikon 6. Utjecaj AI na zrakoplovno tržište za razdoblje od 2021. do 2029. godine (vrijednosti u američkim dolarima)	54

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 mogega 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 **Unaprjeđenje upravljanja sigurnosnim rizicima primjenom umjetne inteligencije u zrakoplovstvu**, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student:

Tihana Bogdan



(ime i prezime, *potpis*)

U Zagrebu, 02.07.2024.