

UNIVERZITET U BEOGRADU
SAOBRAĆAJNI FAKULTET

Milica M. Milovanović

**METODOLOGIJA OPTIMIZACIJE ULAGANJA
U BEZBEDNOST BAZIRANA NA
INDIKATORIMA STATISTIČKE VREDNOSTI
LJUDSKOG ŽIVOTA U OPERACIJAMA
VAZDUHOPLOVA**

Doktorska disertacija

Beograd, 2026

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF TRANSPORT AND TRAFFIC ENGINEERING

Milica M. Milovanović

**METHODOLOGY FOR OPTIMIZING
INVESTMENT IN SAFETY BASED ON
INDICATORS OF THE VALUE OF
STATISTICAL LIFE IN AIRCRAFT
OPERATIONS**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2026

Mentor:

Redovni profesor **dr Olja Čokorilo**,
Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet

Članovi komisije:

Redovni profesor **dr Nebojša Petrović**,
Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet

Redovni profesor **dr Snežana Tadić**,
Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet

Vanredni profesor **dr Marina Zanne**,
Univerzitet u Ljubljani – Fakultet za pomorstvo i saobraćaj
(Univerza v Ljubljani – Fakulteta za pomorstvo in promet)

Datum odbrane: _____

IZJAVA ZAHVALNOSTI

Zahvaljujem se uvaženoj mentorki, prof. dr Olji Čokorilo na stručnom vođstvu, korisnim savetima i kontinuiranoj podršci tokom izrade ove disertacije.

Posebnu zahvalnost dugujem mom životnom mentoru Miši Mijatoviću, čija su bezrezervna podrška, vera u mene i snaga koju mi je pružao bili presudni da upišem doktorske studije i da istrajem na ovom putu. Njegovo prisustvo, razumevanje i ohrabrenje utkani su u svaku stranicu ovog rada. Zato ova disertacija nije samo moja – ona je podjednako i njegova.

METODOLOGIJA OPTIMIZACIJE ULAGANJA U BEZBEDNOST BAZIRANA NA INDIKATORIMA STATISTIČKE VREDNOSTI LJUDSKOG ŽIVOTA U OPERACIJAMA VAZDUHOPLOVA

Rezime: Glavni cilj istraživanja jeste razvoj i potvrda funkcionalnosti metodologije optimizacije ulaganja u bezbednost bazirane na indikatorima statističke vrednosti ljudskog života u operacijama vazduhoplova koja omogućava racionalno, dosledno i transparentno donošenje odluka o ulaganju u bezbednost vazdušnog saobraćaja kroz implementaciju mera bezbednosti.

Kroz detaljan pregled literature prikazan je koncept hazarda, mera bezbednosti, kao i metode višekriterijumskog odlučivanja primenljive u procesu rangiranja mera bezbednosti (Fuzzy FARE, Delphi, AHP, ADAM). Dat je opis sistema upravljanja bezbednošću u vazdušnom saobraćaju sa posebnim naglaskom stavljenim na sistematičan i proaktivan pristup u procesu upravljanja bezbednošću koji podrazumeva neprekidnu identifikaciju hazarda i kontrolu bezbednosnih rizika. Razmatraće se sistemi i standardi vazduhoplovnih organizacija i kompanija (ICAO, IATA, EASA, Boeing i Airbus). Biće obrađena pravila razumevanja, identifikacije, analize i dokumentovanja hazarda, kao i pristupi upravljanju bezbednosnim rizicima.

Posebna pažnja posvećena je indikatorima bezbednosti, mogućnostima unapređenja bezbednosnih performansi kroz cost–benefit analizu, kao i detaljnoj klasifikaciji troškova udesa vazduhoplova, uključujući direktne i indirektne troškove. U okviru teorijskog okvira razvijen je i sistematski prikaz koncepta statističke vrednosti ljudskog života (VOSL), njegovih modela, empirijskih aspekata i etičkih izazova, čime je postavljena osnova za primenu ekonomskih kriterijuma u procesima donošenja bezbednosnih odluka.

Na tim osnovama oblikovana je metodologija SABEL, zasnovana na proaktivnoj analizi bezbednosti i definisanju bezbednosnih pokazatelja kroz šest jasno strukturisanih koraka – od identifikacije bezbednosnog problema, preko analize hazarda i bezbednosnog rizika, do evaluacije i prioritizacije mera bezbednosti (razvijen je novi hibridni fuzzy FARE – ADAM model) uz procenu troškova, statističke vrednosti života i ukupne isplativosti. Validacija metodologije sprovedena je kroz studiju slučaja, u kojoj su identifikovani dominantni hazardi, određeni nivoi rizika i predložene optimalne mere bezbednosti.

Dalje, razvijen je novi hibridni Grey Delphi – AHP – ADAM model za selekciju mera bezbednosti, koji integriše ekspertske procene u uslovima neizvesnosti i omogućava rangiranje alternativnih rešenja na osnovu više kriterijuma. Primena modela pokazala je njegovu efikasnost u realnim operativnim uslovima i potvrdila da kombinacija subjektivnih i objektivnih metoda može značajno unaprediti proces donošenja bezbednosnih odluka.

Sveobuhvatno posmatrano, rezultati istraživanja doprinose unapređenju teorijskih i praktičnih pristupa upravljanju bezbednosnim rizicima u vazdušnom saobraćaju, posebno u kontekstu kompleksnih sistema i operacija savremenih vazduhoplova. Očekuje se da predložena metodologija ima značajnu praktičnu primenu u operativnom okruženju, omogućavajući donošenje racionalnih, ekonomskih i bezbednosno zasnovanih odluka, kao i podizanje ukupnog nivoa bezbednosti vazdušnog saobraćaja.

Ključne reči: vazdušni saobraćaj, bezbednost, statistička vrednost ljudskog života, vazduhoplovi, udesi, procena rizika, višekriterijumsko odlučivanje, cost-benefit analiza, metodologija

Naučna oblast: Saobraćajno inženjerstvo

Uža naučna oblast: Vazduhoplovna prevozna sredstva

UDK broj:

METHODOLOGY FOR OPTIMIZING INVESTMENT IN SAFETY BASED ON INDICATORS OF THE VALUE OF STATISTICAL LIFE IN AIRCRAFT OPERATIONS

Abstract: The main objective of the research is the development and validation of a methodology for optimizing investments in safety, based on indicators of the Value of a Statistical Life (VOSL) in aircraft operations. This methodology enables rational, consistent, and transparent decision-making regarding investments in aviation safety through the implementation of safety measures.

Through a comprehensive literature review, the concepts of hazards and safety measures are presented, along with multi-criteria decision-making methods applicable to the ranking of safety measures (Fuzzy FARE, Delphi, AHP, and ADAM). The aviation safety management system is described, with particular emphasis on a systematic and proactive approach to safety management, which includes continuous hazard identification and safety risk control. The systems and standards of aviation organizations and companies (ICAO, IATA, EASA, Boeing, and Airbus) are examined. The principles of understanding, identifying, analyzing, and documenting hazards, as well as approaches to safety risk management, are also addressed.

Special attention is devoted to safety indicators, opportunities for improving safety performance through cost-benefit analysis, and a detailed classification of aircraft accident costs, including direct and indirect costs. Within the theoretical framework, a systematic overview of the Value of a Statistical Life concept is developed, including its models, empirical aspects, and ethical challenges, thereby establishing a foundation for applying economic criteria in safety decision-making processes.

On these foundations, the SABEL methodology is formulated, based on proactive safety analysis and the definition of safety performance indicators through six clearly structured steps—from the identification of a safety problem, through hazard and safety risk analysis, to the evaluation and prioritization of safety measures (a new hybrid fuzzy FARE-ADAM model was developed), including cost assessment, statistical value of life estimation, and overall cost-effectiveness evaluation. The methodology was validated through a case study in which dominant hazards were identified, risk levels were determined, and optimal safety measures were proposed.

Furthermore, a new hybrid Grey Delphi-AHP-ADAM model was developed for the selection of safety measures, integrating expert judgments under conditions of uncertainty and enabling the ranking of alternative solutions based on multiple criteria. The application of the model demonstrated its effectiveness in real operational conditions and confirmed that the combination of subjective and objective methods can significantly enhance the safety decision-making process.

Overall, the research results contribute to the advancement of both theoretical and practical approaches to safety risk management in aviation, particularly within the context of complex systems and modern aircraft operations. The proposed methodology is expected to have significant practical application in operational environments, enabling rational, economically justified, and safety-based decision-making, as well as improving the overall level of aviation safety.

Key words: aviation, safety, value of statistical life, aircraft, accidents, risk assessment, multi-criteria decision making, cost-benefit analysis, methodology

Scientific field: Traffic Engineering

Scientific subfield: Transport Aircraft

UDC number:

SADRŽAJ

SPISAK SLIKA.....	X
SPISAK TABELA.....	XI
1. UVODNE NAPOMENE.....	1
2. PREGLED LITERATURE.....	8
2.1. HAZARDI.....	8
2.2. MERE BEZBEDNOSTI.....	9
2.3. METODE VIŠEKRITERIJUMSKOG ODLUČIVANJA.....	9
2.2.1. Fuzzy FARE metoda.....	10
2.2.2. ADAM metoda.....	10
2.2.3. Delphi metoda.....	10
2.2.4. AHP metoda.....	11
3. SISTEM UPRAVLJANJA BEZBEDNOŠĆU U VAZDUŠNOM SAOBRAĆAJU.....	13
3.1. PREGLED PRISTUPA BEZBEDNOSTI U VAZDUŠNOM SAOBRAĆAJU.....	15
3.1.1. ICAO.....	15
3.1.2. IATA.....	18
3.1.3. BOEING.....	20
3.1.4. EASA.....	22
3.1.5. AIRBUS.....	23
3.2. HAZARD.....	26
3.2.1. Prvo pravilo – razumevanje hazarda.....	26
3.2.2. Drugo pravilo – identifikacija hazarda.....	26
3.2.3. Treće pravilo – analiza hazarda.....	27
3.2.4. Četvrto pravilo – dokumentovanje hazarda.....	27
3.3. BEZBEDNOSNI RIZIK.....	27
4. INDIKATORI BEZBEDNOSTI U VAZDUŠNOM SAOBRAĆAJU.....	30
4.1. ANALIZA TRENUTNOG NIVOA BEZBEDNOSTI U VAZDUŠNOM SAOBRAĆAJU.....	30
4.2. MOGUĆNOST UNAPREĐENJA NIVOA BEZBEDNOSTI U VAZDUŠNOM SAOBRAĆAJU KROZ PRIMENU COST-BENEFIT ANALIZE.....	31
5. KLASIFIKACIJA I ANALIZA TROŠKOVA UDESA VAZDUHOPLOVA.....	32
5.1. DIREKTNİ TROŠKOVI.....	32
5.2. INDIREKTNİ TROŠKOVI.....	32
6. KONCEPT STATISTIČKE VREDNOSTI LJUDSKOG ŽIVOTA.....	34
6.1. NASTANAK STATISTIČKE VREDNOSTI LJUDSKOG ŽIVOTA.....	34
6.2. OSNOVNI KONCEPT STATISTIČKE VREDNOSTI LJUDSKOG ŽIVOTA.....	36
6.3. MODELI (PRISTUPI) ZA PROCENU STATISTIČKE VREDNOSTI LJUDSKOG ŽIVOTA.....	36

6.3.1. Pristup ljudskog kapitala	37
6.3.2. Pristup sudskih presuda	37
6.3.3. Pristup spremnosti društva da plati.....	38
6.4. VOSL MODEL	40
6.4.1. Standardni model.....	40
6.4.2. Višeperiodni modeli	43
6.5. EMPIRIJSKI ASPEKTI	43
6.5.1. Izvlačenje preferencija.....	43
6.5.2. Procena VOSL iz literature.....	45
6.5.3. Politika upotrebe VOSL u vazdušnom saobraćaju	45
6.6. ETIKA, VARIJABILNOST I ZNAČAJ STATISTIČKE VREDNOSTI LJUDSKOG ŽIVOTA U VAZDUŠNOM SAOBRAĆAJU – OSNOVA ZA RAZVOJ METODOLOGIJE OPTIMIZACIJE ULAGANJA U BEZBEDNOST	47
7. METODOLOGIJA SABEL	50
7.1. KORAK 1: BEZBEDNOSNI PROBLEM	52
7.2. KORAK 2: OPIS DOGAĐAJA	53
7.3. KORAK 3: ANALIZA BEZBEDNOSTI.....	54
7.3.1. Identifikacija i analiza hazarda	54
7.3.2. Ocena bezbednosnog rizika	55
7.4. KORAK 4: IDENTIFIKACIJA MERA BEZBEDNOSTI ZA SMANJENJE RIZIKA	60
7.5. KORAK 5: ODREĐIVANJE PRIORITETA MERA BEZBEDNOSTI HIBRIDNIM MODELOM VIŠEKRITERIJUMSKOG ODLUČIVANJA	60
7.6. KORAK 6: DONOŠENJE ODLUKE	64
7.6.1. Određivanje troškova implementacije mera bezbednosti	65
7.6.2. Određivanje statističke vrednosti ljudskog života	65
7.6.3. Određivanje isplativosti.....	66
8. VALIDACIJA RAZVIJENE METODOLOGIJE KROZ STUDIJU SLUČAJA (DOKAZ H1, H2 I H3)	67
8.1. KORAK 1: BEZBEDNOSNI PROBLEM	67
8.2. KORAK 2: OPIS DOGAĐAJA	69
8.3. KORAK 3: ANALIZA BEZBEDNOSTI.....	72
8.3.1. Identifikacija i analiza hazarda	72
8.3.2. Ocena bezbednosnog rizika	72
8.4. KORAK 4. IDENTIFIKACIJA MERA BEZBEDNOSTI ZA SMANJENJE RIZIKA	83
8.5. KORAK 5: ODREĐIVANJE PRIORITETA MERA BEZBEDNOSTI HIBRIDNIM MODELOM VIŠEKRITERIJUMSKOG ODLUČIVANJA	85
8.6. KORAK 6: DONOŠENJE ODLUKE	87
8.6.1. Određivanje troškova implementacije mera bezbednosti	87
8.6.2. Određivanje statističke vrednosti ljudskog života	87

8.6.3. Određivanje isplativosti.....	88
9. SELEKCIJA MERA BEZBEDNOSTI U OPERACIJAMA VAZDUHOPLOVA: HIBRIDNI GREY DELPHI–AHP–ADAM MODEL.....	89
9.1. HIBRIDNI GREY D-AHP-ADAM MODEL	94
9.2. REZULTATI	99
10. DISKUSIJA	105
11. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA	107
PRILOG 1: Udesi vazduhoplova prema tipu pogonske grupe	117
PRILOG 2: Rizici od smrtnog ishoda prema tipu pogonske grupe	118
PRILOG 3: Fatalni udesi prema tipu pogonske grupe	119
PRILOG 4: Totalno oštećenje vazduhoplova prema tipu pogonske grupe	120
PRILOG 5: AIS skala	121
PRILOG 6: Različite vrednosti VOSL u različitim zemljama	122
PRILOG 7: Procena troškova implementacije mera bezbednosti	123
PRILOG 8: Vrednovanje projekata u saobraćaju i transportu	124
BIOGRAFIJA AUTORA.....	128

SPISAK SLIKA

Slika 1 Trend udesa (2019-2023) [54]	16
Slika 2 Evidencija udesa: redovne komercijalne operacije (2019–2023) [54]	17
Slika 3 Evidencija udesa sa smrtnim ishodima: redovne komercijalne operacije (2019–2023) [54]	17
Slika 4 Istorijski trendovi za redovne komercijalne operacije [54]	18
Slika 5 Upravljanje organizacionim rizicima [49]	19
Slika 6 Posledice udesa vazduhoplova u odnosu na instaliranu pogonsku grupu prema IATA [71] ..	19
Slika 7 Stope udesa i smrtni ishodi (1959-2024) prema Boeing-u [17].....	21
Slika 8 Odnos između broja fatalnih udesa i broja poginulih lica u različitim fazama leta prema Boeing-u [17]	21
Slika 9 Trend ukupne stope nezgoda, fatalnih nezgoda i obima saobraćaja (1975-2024) [17]	22
Slika 10 Broj udesa sa smrtnim ishodima i broj poginulih prema EASA [35]	23
Slika 11 Broj poginulih u operacijama vazduhoplova na globalnom nivou prema EASA [35]	23
Slika 12 Generacija 1: Prosečna stopa udesa sa smrtnim ishodima na milion letova [5]	24
Slika 13 Generacija 2: Prosečna stopa udesa sa smrtnim ishodima na milion letova [5]	25
Slika 14 Generacija 3: Prosečna stopa udesa sa smrtnim ishodima na milion letova [5]	25
Slika 15 Generacija 4: Prosečna stopa udesa sa smrtnim ishodima na milion letova [5]	25
Slika 16 Upravljanje bezbednosnim rizikom – nivoi rizika [27]	28
Slika 17 Statistička vrednost ljudskog života: Indiferentna kriva u odnosu na verovatnoću preživljavanja (p) i bogatstvo (w) [73]	41
Slika 18 Izgled metodologije SABEL.....	51
Slika 19 Korak 1 metodologije SABEL.....	52
Slika 20 Korak 2 metodologije SABEL.....	53
Slika 21 Korak 3 metodologije SABEL.....	54
Slika 22 Korak 4 metodologije SABEL.....	60
Slika 23 Korak 5 metodologije SABEL.....	61
Slika 24 Korak 6 metodologije SABEL.....	65
Slika 25 Trajektorija leta vazduhoplova [12, 70].....	70
Slika 26 Oslobođanje krhotina u pravcu kretanja vazduhoplova tokom njegovog sudara sa zemljom – snimak sa kamere [12, 70]	70
Slika 27 Veza između interesnih grupa, hazarda i mera bezbednosti [110]	93
Slika 28 Analiza osetljivosti [110]	103

SPISAK TABELA

Tabela 1 Verovatnoća pojave bezbednosnog rizika [27, 52, 72]	55
Tabela 2 Ozbiljnost posledica pojave bezbednosnog rizika [27, 52, 72]	56
Tabela 3 Kompozitna matrica bezbednosnih rizika [27, 52, 72]	57
Tabela 4 Prihvatljivost bezbednosnog rizika na osnovu indeksa bezbednosnog rizika [27, 52, 72] ..	58
Tabela 5 Analiza udesa (Kontrola rizika)	59
Tabela 6 Skala za ocenjivanje [75, 109]	61
Tabela 7 Prikupljene informacije o događaju [12]	68
Tabela 8 Identifikovani hazardi	72
Tabela 9 Kontrola rizika za generički hazard H_1	73
Tabela 10 Kontrola rizika za generički hazard H_2	74
Tabela 11 Kontrola rizika za generički hazard H_3	75
Tabela 12 Kontrola rizika za generički hazard H_4	76
Tabela 13 Kontrola rizika za generički hazard H_5	77
Tabela 14 Kontrola rizika za generički hazard H_6	78
Tabela 15 Kontrola rizika za generički hazard H_7	79
Tabela 16 Kontrola rizika za generički hazard H_8	80
Tabela 17 Kontrola rizika za generički hazard H_9	81
Tabela 18 Hazardi koji su uzrok neprihvatljivih rizika	82
Tabela 19 Identifikacija mera bezbednosti za smanjenje rizika [75]	83
Tabela 20 Veza između hazarda i mera bezbednosti za odabranu studiju slučaja [75]	84
Tabela 21 Ulazni i izlazni podaci za fuzzy FARE metodu [75]	85
Tabela 22 Ulazni i izlazni podaci za ADAM metodu [75]	86
Tabela 23 Okvirni troškovi implementacije mera bezbednosti	87
Tabela 24 Opšti hazardi [27, 110]	90
Tabela 25 Identifikovane mere bezbednosti za smanjenje rizika [110]	91
Tabela 26 Veze između hazarda i mera bezbednosti [110]	92
Tabela 27 Grey skala za vrednovanje [110]	95
Tabela 28 Ocene poređenja značaja prirodnih hazarda u odnosu na interesne grupe [110]	99
Tabela 29 Ocene poređenja značaja tehničkih hazarda u odnosu na interesne grupe [110]	99
Tabela 30 Ocene poređenja značaja ekonomskih hazarda u odnosu na interesne grupe [110]	100
Tabela 31 Ocene poređenja značaja grupe hazarda u odnosu na interesne grupe [110]	100
Tabela 32 Konačne težine kriterijuma [110]	100
Tabela 33 Ocena mera bezbednosti u odnosu na hazarde, konačne vrednosti i rangiranje [110]	101
Tabela 34 Analiza osetljivosti [110]	102

SPISAK SKRAĆENICA

ADAM	Assessment and Decision Analysis Method
AHP	Analytic Hierarchy Process
AIS	Abbreviated Injury Scale
ALARP	As Low As Reasonably Practicable
ASI	Airspeed Indicator
ASN	Aviation Safety Network
ASR	Annual Safety Review
ASTER	Aviation Safety Targets for Effective Regulation
ATIS	Automatic Terminal Information Service
CAST	Commercial Aviation Safety Team
CBA	Cost Benefit Analysis
CRM	Crew Resource Management
CI	Consistency Ratio
CV	Contingent Valuation
DOT	Department of Transportation
EASA	European Union Aviation Safety Agency
EASP	European Aviation Safety Plan
ECR	European Central Repository
EFTA	European Free Trade Association
ERCS	European Risk Classification Scheme
EU	European Union
EUROCONTROL	European Organization for the Safety of Air Navigation
FAA	Federal Aviation Administration
FBW	Fly-by-wire
FHA	Functional Hazard Analysis
FLE	Full-Loss Equivalents
FMS	Flight Management System
GHSP	Ground Handling Service Providers
GSE	Ground Support Equipment
IAS	Indicated Airspeed

IATA	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organization
IMF	International Monetary Fund
ISAGO	IATA Safety Audit for Ground Operations
JAA	Joint Aviation Authorities
LC	Local Time
LFPP	Logarithmic Fuzzy Preference Programming
LGPP	Logarithmic Grey Preference Programming
LVO	Low Visibility Operations
MAK	МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ
MCDM	Multi Criteria Decision Making
METAR	Meteorological Aerodrome Report
MRS	Marginal Rate of Substitution
MTOW	Maximum Take-Off Weight
NAA	National Aviation Authority
NOTAM	Notice to Air Mission
ORM	Organizational Risk Management
PI	Profitability Index
PP	Payback Period
RI	Random Index
QAR	Quick Access Recorder
QMS	Quality Management System
RAND	Research and Development Corporation
SABEL	Safety Assessment Benefit Evaluation Life-based
SARPs	Standards and Recommended Practices
SCC	Spearman's Correlation Coefficient
SDR	Special Drawing Rights
SMM	Safety Management Manual
SMS	Safety Management System
SOP	Standard Operating Procedures

SPIs	Safety Performance Indicators
SR	Safety Recommendations
SRM	Safety Risk Management
SSP	State Safety Program
SV	Sadašnja vrednost
TAF	Terminal Aerodrome Forecast
TAWS	Terrain Awareness and Warning System
TFNs	Triangular Fuzzy Numbers
TLH	Top Level Hazard
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UNITE	Unified Transport Evaluation
USAF	United States Air Force
USDOT	United States Department of Transportation
UTC	Coordinated Universal Time
VOSL	Value of Statistical Life
VSJ	Value of a Statistical Injury
VSLY	Value of a Statistical Life Year
WTA	Willingness To Accept
WTP	Willingness To Pay
ZVS	Zakon o vazdušnom saobraćaju

1. UVODNE NAPOMENE

OBRAZLOŽENJE MOTIVA ZA IZBOR TEME

Bezbedno odvijanje operacija vazduhoplova je preduslov uspešnog i profitabilnog poslovanja svih vazduhoplovnih subjekata. U vazdušnom saobraćaju, koji se statistički smatra najbezbednijim vidom prevoza, postoje kontinuirani procesi koji se sprovode u cilju kontinuiranog održavanja ili povećanja postojećeg nivoa bezbednosti, koji prate trendove stalnog porasta saobraćajne tražnje. Ključnu ulogu u postizanju i održavanju prihvatljivog nivoa bezbednosti ima sistem upravljanja bezbednošću (eng. *Safety Management System – SMS*), čije se dve vitalne komponente zasnivaju na identifikaciji opasnosti (hazarda) i upravljanju bezbednosnim rizicima [50, 51].

Sistem upravljanja bezbednošću i istraživanje udesa predstavljaju dva različita, ali komplementarna pristupa u održavanju definisanog nivoa bezbednosti u vazdušnom saobraćaju. Dok istraživanje udesa pruža važne uvide u istorijske podatke (reaktivni pristup), SMS deluje proaktivno i/ili prediktivno u smislu sprečavanja potencijalnih nezgoda/udesa, čime se poboljšava opšti nivo bezbednosti u vazdušnom saobraćaju. Istraživanje udesa se oslanja na analizu događaja koji su se već desili, u cilju identifikacije uzroka i posledica tih događaja. Ovaj proces uključuje prikupljanje podataka, svedočenja i drugih relevantnih informacija kako bi istražitelji sprovedi sveobuhvatnu analizu o događajima koji su doveli do udesa. Istraživanje udesa pruža važne lekcije koje se mogu primeniti kako bi se sprečili slični neželjeni događaji u budućnosti. Sa druge strane, SMS predstavlja proaktivan pristup koji se fokusira na identifikaciju i upravljanje bezbednosnim rizicima pre nego što dođe do nezgode/udesa. Kroz SMS, vazduhoplovne organizacije sistematski analiziraju potencijalne hazarde (prirodne, tehničke i ekonomske). Ovaj proces uključuje procenu bezbednosnih rizika kako bi se sagledale moguće posledice i uticalo na operativne procedure i politike. SMS sistem je sistematičan, proaktivan i eksplicitan [27, 52].

Unapređenje mera bezbednosti može podrazumevati velika finansijska ulaganja što predstavlja izazov u efikasnom upravljanju raspoloživim resursima. Primera radi, primena koncepta 2P (eng. *Protection vs. Profitability*) u sistemu vazdušnog saobraćaja ukazuje na potrebu balansiranja između optimizacije finansijskih ulaganja u bezbednost i finansijske opravdanosti posmatranih ulaganja. U praksi, povećanje ulaganja u aktivnosti za povećanje bezbednosti najčešće uzrokuje dodatne troškove. Takve investicije su ključne za smanjenje bezbednosnih rizika od nezgoda/udesa, što dugoročno doprinosi očuvanju stabilnosti i reputacije svih vazduhoplovnih subjekata u samom sistemu vazdušnog saobraćaja.

Analiza troškova udesa vazduhoplova zahteva definisanje svih pojedinačnih troškova koji se javljaju kao posledica ugrožavanja bezbednosti u vazdušnom saobraćaju. Svi oni se u praksi prema modelu troškova leta vazduhoplova mogu svrstati u dva osnovna tipa troškova, a to su direktni i indirektni troškovi [25, 27, 29, 92].

Direktni troškovi udesa vazduhoplova (direktni troškovi bezbednosti) su troškovi koje je moguće relativno jednostavno ustanoviti i čije su vrednosti uglavnom nadoknadive iz osiguranja. Ovi troškovi su u direktnoj vezi sa nastalom štetom (šteta nastala na samom vazduhoplovu, dekontaminacija i raščišćavanje nakon udesa, gubitak prtljaga, zatvaranje aerodroma, šteta trećim licima); gubicima usled povlačenja vazduhoplova iz saobraćaja (mogući gubitak prilikom dalje pre(prodaje) vazduhoplova, gubitak usled neoperativnosti vazduhoplova, troškovi avioprevozioca usled kašnjenja); kao i naknadama za potencijalno stradala i povređena lica.

Nasuprot ovoj grupi troškova, ispoljavanje indirektnih troškova je veoma teško predvideti. Naime, indirektni troškovi udesa vazduhoplova (indirektni troškovi bezbednosti) obuhvataju sve one

troškove koje nije moguće naznačiti i definisati u polisama osiguranja i na taj način nadomestiti njihov nastanak.

Troškovi stradalih i povređenih lica, pored troškova štete nastale na samom vazduhoplovu, imaju najveći uticaj na ukupnu vrednost troškova bezbednosti. Iznos ovih troškova zavisi od vrste nezgode/udes, kao i od popunjenosti putničke kabine. Troškovi koji su nastali kao posledica udesa vazduhoplova i potencijalnih žrtava zahtevaju definisanje tzv. statističke vrednosti ljudskog života (eng. *Value of Statistical Life – VOSL*).

U ekonomskoj teoriji, statistička vrednost ljudskog života se definiše kao vrednost za koju društvo smatra da je ekonomski efikasno da „potroši“/uloži da bi se izbegla smrt pojedinca. Takođe, VOSL se može definisati kao monetarna vrednost povećanja bezbednosti, odnosno vrednost smanjenja rizika od smrtnosti [21]. Izraz „vrednost života“ je zapravo skraćeni oblik pojma „statistička vrednost ljudskog života“, pod kojim se podrazumeva monetarna vrednost smanjenja rizika od smrtnosti kojom bi se sprečio gubitak jednog statističkog života uzrokovan saobraćajnim udesom. Budući da se radi o očekivanim okolnostima, odnosno o statističkoj verovatnoći da će postojati određeni broj žrtava ukoliko se ne preduzme odgovarajuća akcija koja podrazumeva regulativu, tehnologiju i obuku osoblja (preventivne mere), cilj bezbednosnih mera je očuvanje „statističkih života“.

Ključne zainteresovane strane (vazduhoplovne organizacije, agencije, itd.) koje se bave pitanjem određivanja statističke vrednosti ljudskog života su: EUROCONTROL (eng. *European Organization for the Safety of Air Navigation*), EASA (eng. *European Union Aviation Safety Agency*), ICAO (eng. *International Civil Aviation Organization*), USDOT (eng. *United States Department of Transportation*) ili DOT (eng. *Department of Transportation*) i ASTER (eng. *Aviation Safety Targets for Effective Regulation*) [73].

Određivanje statističke vrednosti ljudskog života je jedno od najkompleksnijih pitanja prilikom primene *cost-benefit* analize. U kontekstu ove analize, statistička vrednost ljudskog života predstavlja benefit. Ona predstavlja sumu „izbegnutih“ troškova od strane pojedinca i društva u slučaju sprečavanja gubitka života [41, 48].

Komercijalni vazdušni saobraćaj predstavlja bezbedan sistem zahvaljujući implementaciji SMS sistema koji ga održava bezbednim [52]. Ipak, trošak po sačuvanom životu je „koristan alat“ za procenu varijantnih rešenja, koja mogu da budu polazna osnova za dalja razmatranja i detaljnije i složenije analize kako upravljati često sukobljenim društvenim normama u vezi sa procenom rizika, troškova i benefita u vazdušnom saobraćaju.

Bezbednost i finansije su dva pojma koja su usko povezana, posebno u kontekstu vazdušnog saobraćaja. Ova veza postaje posebno očigledna kada se razmatraju situacije poput udesa. Kada dođe do udesa vazduhoplova, reakcije putnika mogu značajno uticati na finansijsku stabilnost aviokompanije. U slučaju nezgode, ozbiljne nezgode ili čak udesa vazduhoplova, putnici su „preplavljeni“ panikom i strahom. Takve reakcije putnika mogu imati dalekosežne posledice po aviokompaniju. Aviokompanije se suočavaju sa dodatnim troškovima koji uključuju odštete, pravne postupke, kao i troškove smanjenja ili gubitka reputacije, što može dovesti do smanjenja broja putnika u budućnosti. Ovo je posebno značajno u situacijama kada postoji konkurentnost više aviokompanija na ruti na kojoj se dogodio neželjeni događaj (kada većina potencijalnih putnika bira drugu aviokompaniju). Stoga je jasno da bezbednost putnika ne samo da je moralna i etička obaveza, već i ključni faktor u očuvanju finansijske održivosti aviokompanija u vazdušnom saobraćaju. Investiranje u bezbednosne protokole i obuku osoblja može značajno smanjiti bezbednosne rizike i doprineti poverenju putnika, što je od suštinskog značaja za uspeh u avio – industriji. U današnje vreme, gde su informacije lako dostupne, iskustva putnika brzo se šire putem društvenih mreža, što dodatno naglašava potrebu za proaktivnim i/ili prediktivnim pristupom bezbednosti u vazdušnom saobraćaju.

U vazduhoplovnoj industriji bezbednost je apsolutni prioritet, ali ona dolazi uz značajne troškove — kako u vidu kapitalnih ulaganja, tako i kroz operativne troškove.

Sveobuhvatna analiza bezbednosti u vazдушnom saobraćaju podrazumeva određivanje finansijskih parametara koji služe za procenu troškova udesa vazduhoplova, ali i za procenu nivoa potrebnih ulaganja u povećanje aktuelnog nivoa bezbednosti.

Postoji potreba da se unapredi proces donošenja odluka o ulaganjima u bezbednost u vazдушnom saobraćaju, jer tradicionalni pristupi često ne uzimaju u obzir stvarnu ekonomsku vrednost sprečavanja nezgoda/udesu i spašavanja ljudskih života. Savremeni sistemi upravljanja bezbednošću zahtevaju kvantitativne i transparentne metode, koje omogućavaju objektivno određivanje prioriteta i opravdanosti ulaganja, posebno u okruženju gde su resursi ograničeni, a bezbednosni zahtevi sve strožiji. Upravo zato javlja se potreba za metodologijom optimizacije ulaganja u bezbednost bazirane na indikatorima statističke vrednosti ljudskog života u operacijama vazduhoplova, koja integriše procese identifikacije i analize hazarda, ocene bezbednosnog rizika i implementaciju mera bezbednosti koje bi smanjile rizike od nastanka katastrofalnih posledica (pre svega smrtnih ishoda).

Kako bi se održao određeni nivo bezbednosti u operacijama vazduhoplova, neophodno je razumevanje načina identifikacije, analize i praćenja hazarda. Hazard ili opasnost (eng. *Hazard*) u vazдушnom saobraćaju je situacija, stanje ili aktivnost u kome se javlja mogućnost pojave potencijalnog neželjenog događaja koji bi mogao prouzrokovati povredu ili smrt putnika, posade, osoblja ili trećih lica, oštećenje opreme, gubitke ili smanjenje mogućnosti za obavljanje prvobitne funkcije [27]. Uopšteno, hazard je bilo koji izvor potencijalne opasnosti koji može prouzrokovati povredu ljudi, oštećenje imovine, degradaciju životne sredine ili narušavanje redovnog funkcionisanja sistema. Hazardi se mogu uočiti i pre nego što dođe do neželjenog događaja (nezgode/udesu) ili se mogu identifikovati kroz proaktivne i prediktivne procese koji imaju za cilj identifikaciju hazarda pre nego što oni izazovu događaj koji ugrožava bezbednost.

Mnogi istraživači su se bavili pojmom hazarda i njegovim definisanjem u kontekstu bezbednosti i upravljanja rizicima. Esterhuyzen i Louw ukazuju da su postojeće teorije o bezbednosnim hazardima često nedovoljno struktuirane, te predlažu jasniji naučni okvir za razumevanje šta zapravo predstavlja hazard [37]. U praksi se za njihovu identifikaciju primenjuju različite metode, među kojima je i HAZOP (eng. *Hazard and Operability Study*) metoda koja se zasniva na sistematskom pregledu kritičnih tačaka u sistemu i upotrebi „ključnih reči“ za otkrivanje odstupanja u radu [100]. Takođe, pristupi poput Job Safety Analysis klasifikuju hazarde prema njihovoj prirodi (fizički, hemijski, ergonometrijski, biološki, organizacioni) i opisuju načine na koje oni mogu dovesti do povreda ili drugih neželjenih posledica [45, 112]. U industrijskoj praksi, kontrola hazarda često se sprovodi prema hijerarhiji mera (eng. *Hierarchy of Hazard Controls*), koja daje prednost eliminaciji i zameni izvora opasnosti, zatim inženjerskoj kontroli, administrativnim postupcima i, kao poslednjoj liniji odbrane, upotrebi lične zaštitne opreme [110].

Mere bezbednosti direktno proističu iz identifikovanih hazarda i njihovog rizika. One predstavljaju skup aktivnosti, procedura, tehnoloških rešenja i organizacionih intervencija čiji je cilj da smanje verovatnoću ostvarivanja hazarda ili da umanje posledice ukoliko se on ostvari. Nakon sprovedene identifikacije hazarda, analize hazarda i određivanja indeksa rizika, sprovodi se identifikacija konkretnih mera bezbednosti koje imaju za cilj smanjenje ukupnog nivoa rizika. Ove mere se odnose na tehničke, operativne, organizacione i regulatorne intervencije, koje treba da deluju preventivno i korektivno u odnosu na prepoznate potencijalne hazarde i ublaže bezbednosni rizik.

Identifikacija se zasniva na analizi svakog hazarda pojedinačno, pri čemu se koristi kombinacija sledećih izvora:

- Rezultati prethodnih istraga udesa [12];
- Regulatorni zahtevi i preporuke koje dolaze od međunarodnih i nacionalnih organizacija i regulatornih tela (npr. ICAO, EASA, FAA (eng. *Federal Aviation Administration*)), kao i važeći bezbednosni standardi;

- Postojeće procedure operatora, prethodno sprovedene bezbednosne analize, kao i prikupljena ekspertska znanja adekvatnih stručnjaka.

Mere mogu uključivati dodatnu obuku osoblja, promene u procedurama, ugradnju tehničkih sistema zaštite, jačanje sistema nadzora, izmenu regulatornog okvira.

Postoji značajan broj naučnih radova koji se bave identifikacijom i implementacijom mera bezbednosti u vazdušnom saobraćaju, posebno kroz sistem upravljanja bezbednošću i analizu rizika. Među ključnim izvorima ističe se ICAO priručnik za upravljanje bezbednošću (eng. *Safety Management Manual – SMM*) [52] koji pruža detaljne smernice za identifikaciju opasnosti, smanjenje rizika i upravljanje bezbednosnim rizicima. Reason u svom klasičnom radu razmatra ljudske i organizacione faktore, naglašavajući sistemski pristup u sprečavanju udesa [91], dok Milovanović i saradnici kroz analizu uticaja atmosferskih električnih pražnjenja na bezbednost letenja identifikuju hazarde i mere za smanje hazarda [72]. Wiegmann i Shappell se u svom radu fokusiraju na ljudske faktore u analizi udesa vazduhoplova i predlažu konkretne mere za smanjenje ljudskih grešaka [121]. Lee dodatno obrađuje kvantitativne metode procene rizika i izbor mera za njihovo efikasno smanjenje u vazduhoplovnim operacijama [65]. Zajedno, ovi radovi pružaju osnov za sistemsko i sveobuhvatno upravljanje merama bezbednosti u vazdušnom saobraćaju. Međutim, ovi radovi ne omogućavaju rangiranje i prioritizaciju mera na osnovu njihovog doprinosa smanjenju ukupnog rizika [75, 110].

Ključno je povezivanje hazarda i mera bezbednosti jer omogućava da se resursi usmere na one mere koje najefikasnije utiču na smanjenje rizika. U okviru metodologije, mere bezbednosti je potrebno rangirati prema njihovoj efikasnosti, troškovima i uticaju na redukciju rizika, što omogućava izbor optimalnih mera i donošenje ekonomično opravdanih odluka. Za rešenje ovog problema, u disertaciji će se koristiti višekriterijumsko odlučivanje (eng. *Multi Criteria Decision Making – MCDM*) koje omogućava sistematsko i objektivno poređenje mera bezbednosti kroz definisane kriterijume kao što su bezbednosna korist, finansijski zahtevi, tehnička izvodljivost i operativni uticaj. Na ovaj način obezbeđuje se da se najefikasnije i najisplativije mere primene prioritarno, što direktno doprinosi smanjenju rizika, sprečavanju neželjenih događaja i racionalnom korišćenju resursa u operacijama vazduhoplova.

Uzimajući u obzir prethodno izložene nalaze i uočene nedostatke u dosadašnjim istraživanjima i praksi, motivi za odabir teme se mogu sumirati na sledeći način:

- Prvi motiv se odnosi na činjenicu da se u međunarodnoj praksi koncept VOSL sve češće koristi kao osnova za donošenje bezbednosnih politika, dok u vazdušnom saobraćaju još uvek ne postoje integrisana metodološka rešenja koja povezuju VOSL sa identifikacijom, implementacijom i prioritizacijom mera bezbednosti. Ova „praznina“ otežava racionalno donošenje odluka i pravovremenu primenu mera koje najefikasnije smanjuju rizik, a istovremeno optimizuju troškove. Upravo zbog toga postoji potreba za razvojem metodologije koja integriše procenu rizika, ekonomske analize i višekriterijumsko odlučivanje, omogućavajući da se ulaganja u bezbednost planiraju na osnovu kvantitativnih indikatora, maksimizujući zaštitu ljudskih života i istovremeno osiguravajući ekonomski opravdane odluke.
- Drugi motiv proizilazi i iz sve veće složenosti i rizika u savremenim vazduhoplovnim operacijama, kao i potrebe za racionalnim, transparentnim i ekonomično opravdanim ulaganjima u bezbednost. Pojavom novih tehnologija i kompleksnijih vazduhoplovnih sistema, postoji potreba za razvojem metodologije koja omogućava preciznu procenu koristi i troškova bezbednosnih mera, smanjuje subjektivnost u odlučivanju i unapređuje performanse sistema bezbednosti.
- Treći motiv se odnosi na stvaranje osnova za primenu novih modela višekriterijumskog odlučivanja u vazduhoplovstvu, što doprinosi racionalnom korišćenju raspoloživih resursa.

PREDMET I NAUČNI CILJ RADA

Predmet istraživanja obuhvata razvoj, analizu i validaciju integrisane metodologije optimizacije ulaganja u bezbednost bazirane na indikatorima statističke vrednosti ljudskog života u operacijama vazduhoplova, koja povezuje procese identifikacije hazarda, analize rizika, vrednovanja bezbednosnih mera i ekonomske analize. Istraživanje se fokusira na razumevanje načina na koji hazardi nastaju, manifestuju se i utiču na nivo bezbednosti, kao i na procenu verovatnoće njihovog pojavljivanja i potencijalnih posledica po ljude, imovinu i funkcionisanje vazduhoplovnog sistema. Ključni deo predmeta istraživanja predstavlja integracija ekonomskih kriterijuma, pre svega *cost-benefit* analize i koncepta statističke vrednosti ljudskog života, u proces donošenja odluka o prioritetnim merama bezbednosti.

U okviru predmeta istraživanja razmatraju se i mogućnosti primene višekriterijumskih metoda odlučivanja – posebno Fuzzy FARE, Delphi, AHP (eng. *Analytic Hierarchy Procces*), ADAM (eng. *Assessment and Decision Analysis Method*) i njihove hibridne kombinacije – u procesu rangiranja hazarda i bezbednosnih mera, a sve u svrhu optimizacije ulaganja u bezbednost. Time se omogućava balansiranje potreba regulatornih tela, aviokompanija i korisnika vazdušnog saobraćaja u kontekstu ograničenih resursa i zahtevanog nivoa bezbednosti. Celokupni predmet istraživanja usmeren je na unapređenje transparentnosti, racionalnosti i efikasnosti procesa donošenja odluka u oblasti bezbednosti vazdušnog saobraćaja kroz razvoj metodologije koja omogućava jasno sagledavanje hazarda, objektivnu procenu rizika i dosledno vrednovanje mera bezbednosti. Time se obezbeđuje pouzdana osnova za izbor investicija koje zaista doprinose smanjenju rizika, uz optimalno korišćenje resursa i minimalizovanje subjektivnosti u proceni.

Opšti cilj istraživanja jeste razvoj i potvrda funkcionalnosti razvijene metodologije koja omogućava racionalno, dosledno i transparentno donošenje odluka o ulaganju u bezbednost vazdušnog saobraćaja kroz implementaciju mera bezbednosti. Cilj je da se kroz kombinovanje postupaka identifikacije hazarda, analize rizika, višekriterijumskog odlučivanja i ekonomskog vrednovanja obezbedi sveobuhvatan okvir koji omogućava utvrđivanje prioriteta u unapređenju bezbednosti, uz istovremenu optimizaciju korišćenja raspoloživih resursa. Metodologija je osmišljena tako da integriše statističku vrednost ljudskog života i troškove implementacije mera, čime se omogućava procena isplativosti pojedinačnih i kombinovanih bezbednosnih rešenja. Time se doprinosi donošenju proaktivnih odluka zasnovanih na podacima, a ne samo na subjektivnim procenama stručnjaka, i obezbeđuje bolja kontrola rizika u kompleksnim operativnim uslovima savremenog vazduhoplovstva.

U skladu sa opštim ciljem, izdvajaju se sledeći specifični ciljevi istraživanja:

- Razviti metodološki okvir za identifikaciju, analizu i dokumentovanje hazarda. Ovaj cilj obuhvata definisanje postupaka za prepoznavanje potencijalnih izvora opasnosti, analizu njihovih uzroka, procenu njihovih posledica i sistematizaciju informacija u obliku biblioteke bezbednosti (eng. *Safety Library*), čime se obezbeđuje kontinuiran proces upravljanja hazardima.
- Odrediti nivo (indeks) bezbednosnog rizika na osnovu verovatnoće pojave i ozbiljnosti posledica bezbednosnog rizika.
- Identifikovati i analizirati mere bezbednosti koje mogu ublažiti ili eliminisati rizike. Ovaj cilj podrazumeva definisanje skupa mogućih intervencija, tehničkih, organizacionih i proceduralnih mera koje različiti vazduhoplovni subjekti mogu primeniti radi smanjenja rizika.
- Razviti hibridne modele višekriterijumskog odlučivanja za rangiranje hazarda i mera bezbednosti. Cilj je da se na primeru vazduhoplovnih operacija kombinuju prednosti fuzzy, grey i klasičnih MCDM metoda (FARE, Delphi, AHP, ADAM), kako bi se obezbedilo pouzdano određivanje prioriteta u uslovima neizvesnosti i različitih interesnih perspektiva. Za

- razvijenu metodologiju biće razvijen fuzzy FARE – ADAM model, dok će za selekciju mera bezbednosti za opšte hazarde biti razvijen Delphi – AHP – ADAM model.
- Integrisati ekonomske parametre u ocenu bezbednosnih mera. Ovaj cilj obuhvata uključivanje troškova narednog udesa (akcenat na VOSL) i troškova implementacije mera u ukupnu evaluaciju njihove isplativosti, zasnivajući odluke na *cost–benefit* analizi.
 - Razviti sveobuhvatan model za procenu opravdanosti investicija u bezbednost. Cilj je povezati rezultate procene rizika i višekriterijumskog rangiranja sa ekonomskim indikatorima kako bi se obezbedila objektivna osnova za donošenje odluka o investicijama.
 - Validirati razvijenu metodologiju kroz studiju slučaja iz realnih vazduhoplovnih operacija (koristeći podatke iz ASN baze). Ovaj cilj obuhvata primenu metodologije na stvarnim podacima, prikaz procesa analize hazarda, rangiranja mera i ekonomske procene, što omogućava testiranje hipoteza i potvrdu praktične upotrebljivosti.
 - Unaprediti proces donošenja bezbednosnih odluka u vazдушnom saobraćaju. Usmereno je ka stvaranju rešenja koje omogućava vazduhoplovnim subjektima da objektivnije, efikasnije i transparentnije upravljaju rizicima, koristeći resurse na optimalan način.

POLAZNE HIPOTEZE

Najvažnije polazne hipoteze u izradi navedene teme doktorske disertacije su:

- H1: Primena metodologije optimizacije ulaganja u bezbednost bazirane na indikatorima statističke vrednosti ljudskog života u operacijama vazduhoplova omogućava sistematsku identifikaciju i analizu hazarda u operacijama vazduhoplova, što vodi do preciznije ocene bezbednosnog rizika u realnim operativnim uslovima.
- H2: Primena hibridnih modela višekriterijumskog odlučivanja (fuzzy FARE – ADAM i Grey Delphi – AHP – ADAM) poboljšava proces rangiranja i selekcije mera bezbednosti u situacijama neizvesnosti, u poređenju sa korišćenjem pojedinačnih metoda.
- H3: Integracija ekonomskih kriterijuma, uključujući statističku vrednost ljudskog života i *cost–benefit* analizu, omogućava racionalno planiranje ulaganja u bezbednost i podržava donošenje odluka koje balansiraju bezbednosne koristi i troškove predloženih mera.

TOK ISTRAŽIVANJA

Početak istraživanja biće posvećen sveobuhvatnim pregledom literature iz oblasti hazarda, bezbednosnih mera i višekriterijumskih metoda odlučivanja (Fuzzy FARE, ADAM, Delphi, AHP), čime se formira teorijski okvir i identifikuje naučni prostor u kojem se ostvaruje doprinos disertacije. Nakon toga, biće predstavljen sistem upravljanja bezbednošću u vazдушnom saobraćaju sa naglaskom na proaktivan pristup koji podrazumeva kontinuiranu identifikaciju hazarda, ocenu rizika i izbor adekvatnih mera za postizanje prihvatljivog nivoa bezbednosti. U nastavku sledi analiza bezbednosti koja obuhvata identifikaciju hazarda i procenu bezbednosnog rizika, pri čemu se posebna pažnja posvećuje utvrđivanju neprihvatljivih rizika i hazarda sa potencijalno katastrofalnim posledicama. Na osnovu teorijskih i analitičkih saznanja biće razvijena integrisana metodologija koja omogućava racionalno i transparentno donošenje odluka o investiranju u bezbednosne mere korišćenjem koncepta statističke vrednosti ljudskog života, ukupnih troškova implementacije i višekriterijumskih modela rangiranja mera bezbednosti, pri čemu metodologija služi kao sistem podrške u odlučivanju i sredstvo za opravdavanje ulaganja u bezbednost. Validacija predloženog modela biće izvedena primenom na konkretan slučaj kako bi se proverila njegova pouzdanost, upotrebljivost i stabilnost,

nakon čega će po potrebi biti identifikovane mogućnosti za njegovo unapređenje. U nastavku će biti prikazan razvijeni hibridni Grey Delphi–AHP–ADAM model, specijalizovan za određivanje prioriteta mera bezbednosti kroz integraciju ekspertskih procena. Na kraju istraživanja biće predstavljena ključna saznanja, doprinosi, prednosti i ograničenja metodologije, kao i preporuke za buduća istraživanja usmerena na dalje unapređenje procesa donošenja odluka o ulaganjima u bezbednost u vazdušnom saobraćaju.

2. PREGLED LITERATURE

Pregled literature u ovom radu fokusiran je na teorijske i metodološke osnove koje su neposredno relevantne za razvoj integrisanog modela procene ulaganja u bezbednost u vazduhoplovstvu. Kako se predmet istraživanja zasniva na identifikaciji hazarda, implementaciji mera bezbednosti i primeni višekriterijumskih modela odlučivanja za rangiranje mera bezbednosti, literatura je ciljano usmerena na radove koji obuhvataju: koncept hazarda, mere bezbednosti i savremene metode višekriterijumskog odlučivanja (Fuzzy FARE, ADAM, Delphi, AHP).

Ovakav pristup omogućava pregled dosadašnjih istraživanja iz oblasti upravljanja bezbednošću u vazдушnom saobraćaju i jasno definiše naučni prostor u kojem ova disertacija ostvaruje svoj doprinos.

2.1. HAZARDI

Mnogi istraživači su se bavili pojmom hazarda i njegovim definisanjem u kontekstu bezbednosti rada i upravljanja rizicima. Esterhuyzen i Louw ukazuju da su postojeće teorije o bezbednosnim hazardima često nedovoljno strukturisane, te predlažu jasniji naučni okvir za razumevanje šta zapravo predstavlja hazard [37]. U praksi se za njihovu identifikaciju primenjuju različite metode, među kojima je i HAZOP, koji se zasniva na sistematskom pregledu kritičnih tačaka u sistemu i upotrebi „ključnih reči“ za otkrivanje odstupanja u radu [100]. Takođe, pristupi poput Job Safety Analysis klasifikuju hazarde prema njihovoj prirodi (fizički, hemijski, ergonometrijski, biološki, organizacioni) i opisuju načine na koje oni mogu dovesti do povreda ili drugih neželjenih posledica [2, 45, 112]. U industrijskoj praksi, kontrola hazarda često se sprovodi prema hijerarhiji mera, koja prioritizuje eliminaciju i zamenu izvora opasnosti, zatim inženjerske kontrole, administrativne postupke i, kao poslednju liniju odbrane, upotrebu lične zaštitne opreme [81].

Hazardima u vazдушnom saobraćaju pristupaju iz različitih uglova i metodoloških okvira. Čokorilo i Dell'Acqua detaljno predstavljaju primenu sistema upravljanja bezbednošću za identifikaciju hazarda u vazduhoplovstvu, naglašavajući praktičan i sistemski pristup smanjenju bezbednosnih rizika [30]. Oztekin i Luxhoj koriste induktivno rezonovanje (zaključivanje) za izgradnju modela rizika baziranih na analizi vazduhoplovnih nezgoda, direktno se fokusirajući na identifikaciju i kvantifikaciju hazarda [86]. Plattner i saradnici ističu koliko je važno razumeti način na koji ljudi doživljavaju i razumeju rizik prilikom procene bezbednosnih problema u vazduhoplovstvu. To pomaže da se rizici sagledaju na realniji i potpuniji način i shvati razlika između rizika i hazarda [89]. Shyur razvija kvantitativni model za procenu bezbednosnih rizika sa fokusom na precizno upravljanje hazardima u operacijama vazduhoplova [98]. Tang i saradnici koriste teoriju igara i oblačni model za ocenu rizika u sistemima kontrole vazdušnog saobraćaja, što pomaže u razumevanju faktora koji utiču na bezbednost letenja [111]. NASA koristi funkcionalnu analizu hazarda (eng. *Functional Hazard Analysis – FHA*) i sistemsku teorijsku analizu procesa za procenu rizika u mobilnosti vazdušnog saobraćaja [80]. Xiong i drugi predlažu korišćenje mašinskog učenja i upotrebu automatskog izvlačenja korisnih informacija iz velikih količina neuređenih tekstualnih podataka koji pomažu u identifikaciji potencijalnih rizika [122]. Xu primenjuje mašinsko učenje za analizu narativnih izveštaja o bezbednosti, čime se poboljšava identifikacija hazarda [123]. Sun i drugi se bave procenom bezbednosti kontrole vazdušnog saobraćaja na malim i srednjim aerodromima koristeći metode mašinskog učenja. Oni razvijaju kvantitativni model zasnovan na SHEL konceptu (Softver, Hardver, Okruženje, Ljudi) i oblačnom modelu kako bi se bolje procenila bezbednost [102]. Broj radova o hazardima u vazduhoplovstvu nije veliki, ali raste naročito u poslednjih nekoliko godina usled sve većeg oslanjanja na sistemske pristupe, nove tehnologije i regulativu. Sve ove studije zajedno pružaju

temeljan i višedimenzionalan pristup identifikaciji i upravljanju hazardima u vazdušnom saobraćaju, od tehničkih i operativnih aspekata do psiholoških i sistemskih faktora. Međutim, ovi radovi ne omogućavaju identifikaciju i kvantifikaciju mera bezbednosti za svaki pojedinačni opšti hazard u vazduhoplovnim operacijama [110].

2.2. MERE BEZBEDNOSTI

Ove mere se odnose na tehničke, operativne, organizacione i regulatorne intervencije, koje treba da deluju preventivno i korektivno u odnosu na prepoznate potencijalne opasnosti i uzroke potencijalno kritičnih događaja; i ublaže bezbednosni rizik.

Identifikacija se zasniva na analizi svakog hazarda, pri čemu se koristi kombinacija sledećih izvora: rezultati prethodnih istraga udesa [12]; regulatorni standardi i smernice koje dolaze od međunarodnih i nacionalnih regulatornih tela (npr. ICAO, EASA, FAA), kao i važeći bezbednosni standardi; i postojeće procedure operatora, prethodno sprovedene bezbednosne analize, kao i ekspertska znanja dostupnih stručnjaka. Mere mogu uključivati dodatnu obuku osoblja, promene u procedurama, ugradnju tehničkih sistema zaštite, jačanje sistema nadzora, izmenu regulatornog okvira [110].

Postoji mali broj naučnih radova koji se bave identifikacijom i implementacijom mera bezbednosti u vazduhoplovstvu, posebno kroz sistem upravljanja bezbednošću i analizu rizika. Među ključnim izvorima ističe se ICAO-ov priručnik za upravljanje bezbednošću (eng. *Safety Manage*, koji pruža detaljne smernice za identifikaciju opasnosti, smanjenje rizika i upravljanje bezbednosnim rizicima [52]. Reason u svom klasičnom radu razmatra ljudske i organizacione faktore, naglašavajući sistemski pristup u sprečavanju udesa, dok Milovanović vrši analizu udesa vazduhoplova u poletanju primenom Reason modela dajući mere za sprečavanje nastanka sličnih događaja [27, 71, 91]. Takođe, Milovanović i saradnici kroz analizu atmosferskih električnih pražnjenja na bezbednost letenja identifikuju hazarde i mere za smanje nastanka potencijalnih opasnosti [72]. Wiegmann i Shappell fokusiraju se na ljudske faktore u analizi udesa vazduhoplova i predlažu konkretne mere za smanjenje ljudskih grešaka [121]. Lee dodatno obrađuje kvantitativne metode procene rizika i izbor mera za njihovo efikasno smanjenje u vazduhoplovnim operacijama [65]. Zajedno, ovi radovi pružaju temelj za sistemsko i sveobuhvatno upravljanje merama bezbednosti u vazdušnom saobraćaju. Međutim, ovi radovi ne omogućavaju rangiranje i prioritizaciju mera na osnovu njihovog doprinosa smanjenju ukupnog rizika [110].

2.3. METODE VIŠEKRITERIJUMSKOG ODLUČIVANJA

Višekriterijumsko odlučivanje pomaže donosiocima odluka da procene alternative na osnovu više kriterijuma. Poslednjih decenija razvija se veliki broj metoda MCDM, koje se često nadograđuju, modifikuju i kombinuju, kako bi se različitim pristupima optimizovalo donošenje odlukau zavisnosti od problema koji se rešava, da bi se iskoristile prednosti i suzbili nedostaci pojedinih metoda [109, 110].

2.2.1. Fuzzy FARE metoda

FARE metodu je razvio Ginevicius 2011. godine. Ova metoda podrazumeva definisanje odnosa između svih elemenata uključenih u donošenje odluka (kriterijumi, podkriterijumi). Podaci koji se ispituju se unose u matrice poređenja. Poređenje podataka u matrici, koja je konzistentna, osigurava da će primenom ove metode rezultati biti pouzdaniji i stabilniji, što je velika prednost ove metode [75, 109]. Ova metoda se zasniva na mišljenjima donosilaca odluka, gde se u obzir uzimaju subjektivne i neizvesne informacije, pa se ovo može smatrati i nedostatkom ove metode ukoliko pojedinci koji porede kriterijume nemaju realnu sliku o povezanosti između kriterijuma. Proširena FARE metoda, koristeći *fuzzy* logiku, razvijena je od strane Roya [93].

Ova metoda se široko primenjuje u raznim oblastima. Iako se može primenjivati samostalno, češće se koristi kao deo hibridnih MCDM modela koji kombinuju više metoda. Kombinujući ovu sa drugim metodama vršena je evaluacija održivih rešenja poslednje milje [61], izbor dobavljača logističkih usluga [93], proizvodnih materijala [124]; mašinskih procesa [19], vidljivosti u teretnim vozilima [88], itd [75, 109].

2.2.2. ADAM metoda

Kako bi se prevazišli nedostaci postojećih metoda, razvijena je ADAM metoda, nova metoda višekriterijumskog odlučivanja, formirajući sopstvenu grupu [63]. To je metoda agregiranog merenja zasnovana na aksijalnim rastojanjima. Glavne prednosti ADAM metode u poređenju sa prethodno navedenim su da je jednostavna, lako razumljiva, laka za korišćenje, neosetljiva na povećanje broja kriterijuma, veoma intuitivna i ima veoma mali rizik od promene ranga [63, 75, 109].

Metoda je u nemodifikovanom obliku ili u fazi okruženju, samostalno ili u kombinaciji sa drugim metodama primenjena u radovima o poljoprivredno-prehrambenoj industriji: za vrednovanje biznis modela zasnovanih na cirkularnoj ekonomiji u lancima snabdevanja [63], vrednovanje strateških alternativa za podršku donosiocima odluka u postizanju ciljeva cirkularnosti [3], utvrđivanje pokretača e-sledljivosti u lancima snabdevanja [62], ali takođe i u literaturi iz oblasti logistike: za izbor početne tačke isporuke elektronski poručene robe [107]. S obzirom da je nastala kao kombinacija dve MCDM metode koje su korišćene u različitim oblastima, uključujući već navedene (poljoprivredno-prehrambena industrija, lanci snabdevanja, logistika), ali i menadžment, strategiju, ekonomiju, informacione sisteme, izvesno je da će se ADAM metoda takođe koristiti u ovim oblastima [109, 110].

2.2.3. Delphi metoda

Delphi metoda je razvijena od strane Dalkey-a i Helmer-a 1963. godine [31] i uglavnom se koristi za iterativnu obradu mišljenja donosioca odluka dok se ne postigne zajedničko mišljenje o predmetu istraživanja [105].

Grey Delphi metoda kombinuje Delphi metodu (anonimno, iterativno prikupljanje mišljenja stručnjaka) sa grey pristupom – umesto preciznih ocena, koriste se *grey brojevi* (intervali) koji omogućavaju modelovanje nesigurnosti i nepreciznosti mišljenja. Delphi metoda se koristi u situacijama gde postoji rizik od subjektivnosti; kada su problemi veliki, složeni i multidisciplinarni; kada postoji nesigurnost u procesu donošenja odluke i kratak vremenski okvir za donošenje odluke;

kada se traže mišljenja više donosioca odluka i kada je poželjna anonimnost, itd. Prednosti ove metode su: anonimnost, iterativnost, kontrolisana povratna informacija i statistički grupisani odgovor. Neki od nedostataka su potreba za višestrukim ponavljanjem upitnika da bi se postigla konvergencija i visoki troškovi prikupljanja podataka, naročito kod velikih i složenih problema [105]. Delphi metoda je široko prihvaćena u literaturi i koristi se samostalno ili u kombinaciji sa nekim drugim metodama višekriterijumskog odlučivanja za rešavanje različitih problema, kao što su: razvoj Blockchain integrisane IoT tehnologije za lanac snabdevanja hranom [99], definisanje indikatora bezbednosti saobraćaja na putevima [68], za identifikaciju i određivanje prioriteta ključnih faktora koji utiču na produktivnost radne snage [15], rangiranje barijera za primenu dronova u logistici poslednje milje [108], unapređenje organizacije međunarodnih aktivnosti univerzitetskih odeljenja (postdiplomskih instituta) – sa primerom jednog odeljenja (postdiplomskog instituta) u nacionalnom institutu tehnologije [56], izbor lokacije suve luke [105]. Nguyen istražuje inovacione sposobnosti u vijetnamskom proizvodnom sektoru koristeći Grey Delphi metodu za postizanje konsenzusa među stručnjacima [82], dok Gupta i Jain primenjuju Grey Delphi metodu za identifikaciju i analizu prepreka u unapređenju logističkih procesa u industriji teretnog saobraćaja [46], itd [110].

2.2.4. AHP metoda

Analitički hijerarhijski proces, razvijen od strane Thomasa Saaty-ja 1970-ih, predstavlja metodu za donošenje odluka u složenim situacijama koje uključuju više kriterijuma [94]. Ova metoda koristi hijerarhijsku strukturu problema, gde se cilj nalazi na vrhu, kriterijumi i podkriterijumi u srednjem sloju, a alternativne opcije na dnu, omogućavajući sistematsko poređenje elemenata u parovima [110]. Na osnovu ovih poređenja izračunavaju se težinski koeficijenti, a provera konzistentnosti pomaže u identifikaciji i ispravljanju eventualnih nelogičnosti u ocenjivanju [43]. Fleksibilnost AHP-a omogućava njegovu primenu u različitim oblastima, od poslovnog odlučivanja i upravljanja projektima, preko zdravstva i javne politike, do ekologije i obrazovanja, što ga čini široko primenljivim alatom za integrisanje kvantitativnih i kvalitativnih podataka u proces donošenja odluka. Međutim, AHP nije bez svojih ograničenja. Subjektivnost u ocenjivanju može uticati na pouzdanost rezultata, naročito ukoliko korisnici nisu dosledni ili objektivni u poređenjima. Takođe, sa rastom broja kriterijuma i alternativa broj potrebnih poređenja brzo raste, što može povećati kompleksnost i zahtevati značajno vreme za analizu [113]. Pravilna struktura hijerarhije i razumevanje skale poređenja su ključni za postizanje relevantnih i preciznih rezultata. Uprkos ovim izazovima, AHP metoda ostaje veoma koristan zbog svoje jasnoće i mogućnosti da uključi različite perspektive, što ga čini efektivnim alatom za donošenje odluka i u individualnim i u grupnim kontekstima. AHP je jedna od najčešće korišćenih MCDM metoda, posebno za određivanje težinskih koeficijenata kriterijuma, kako samostalno tako i u kombinaciji sa nekim drugim metodama. Koristi se za rešavanje različitih problema, kao što su: rangiranje scenarija logističkih sistema [104], izbor medicinskih tretmana [97], izbor dobavljača u proizvodnji [47]. Cheng i Li kombinuju Grey Statistical Technique i AHP u evaluaciji rehabilitacionih pejzaža parkova, pri čemu se smanjuje subjektivnost u izboru indikatora i dodeljivanju težina [20]. Ortega i saradnici razvijaju dvofazni pristup zasnovan na Grey AHP metodi za izbor lokacija park-and-ride sistema u urbanim sredinama, poredeći rezultate sa FAHP i BWM metodologijama [85]. Duleba i saradnici primenjuju Grey AHP za procenu izbora prevoza u Budimpešti, pri čemu su razmatrani javni prevoz, automobil, rad od kuće i bicikl, uzimajući u obzir neizvesnost u preferencijama [33]. Tadić i saradnici koriste fazi AHP metodu za utvrđivanje težine kriterijuma, a potom VIKOR metodu za izbor logističkog sistema centralne zone grada (eng. *Central Business District*) [104]. Zhang i saradnici koriste kombinaciju AHP i Grey System Theory za razvoj hijerarhijskog modela ocene sistema nadzora bezbednosti u transportu u kineskoj provinciji Henan [126]. Tadić i saradnici kombinuju AHP i MARCOS metode

u fazi okruženju za rangiranje inicijativa city logistike [106]. Li se bavi poboljšanjem AHP modela kombinovanog sa grey korelacionim modelom i njegovom primenom u inženjerskim projektima [66].

3. SISTEM UPRAVLJANJA BEZBEDNOŠĆU U VAZDUŠNOM SAOBRAĆAJU

Prema Zakonu o vazdušnom saobraćaju – ZVS [127] i pravilnicima iz ove oblasti [77, 78] bezbednost u vazduhoplovstvu se definiše kao „stanje u kome su rizik od ugrožavanja života i zdravlja ljudi i prouzrokovanja štete imovini smanjeni i održavani na prihvatljivom nivou, stalnim uočavanjem opasnosti i kontrolom rizika od uočenih opasnosti“. Bezbednost predstavlja najvažniji prioritet u obavljanju vazdušnog saobraćaja. Akcenat je na dinamičnom i sistematskom pristupu bezbednosti koji podrazumeva stalno praćenje i prilagođavanje sistema kako bi se bezbednosni rizici sveli na minimum. Bezbednost nije statično stanje, već rezultat stalnog upravljanja promenama, analiziranja podataka i primene korektivnih mera [52].

Prema definiciji, „nezgoda vazduhoplova (eng. *Incident*) je događaj koji nastupi od trenutka kada je jedno lice ili više lica ukrcano u vazduhoplov kojim treba da se obavi let do trenutka njihovog iskrcavanja, a ima za posledicu oštećenje delova vazduhoplova ili pogonske grupe, lakšu telesnu povredu lica u vazduhoplovu ili van njega ili manje oštećenje imovine trećeg lica“. U slučaju pojave ovakve nezgode ništa ne ukazuje da je moglo doći do udesa, nema ozbiljnijih povreda ili velikih oštećenja vazduhoplova ili velikih oštećenja imovine trećih lica. Ukoliko je nezgoda takva da obuhvata okolnosti koje ukazuju da je moglo doći do udesa, naziva se ozbiljna nezgoda (eng. *Serious Incident*) [27].

Događaj čije su posledice katastrofalne naziva se udes. Prema definiciji, „udes vazduhoplova (eng. *Accident*) je događaj koji je povezan s korišćenjem vazduhoplova i koji se desio od ukrcavanja lica do iskrcavanja lica iz vazduhoplova, pri čemu je nastala bilo koja od sledećih posledica“ [27]:

- smrt ili teška telesna povreda lica usled boravka u vazduhoplovu, direktnog kontakta s delom vazduhoplova, uključujući i delove koji su se odvojili od vazduhoplova, ili usled direktne izloženosti izduvnom mlazu mlaznog motora, izuzev kada su smrt ili teška telesna povreda posledica prirodnih uzroka, samopovređivanja ili su ih prouzrokovala druga lica ili kad je nastupila smrt ili teška telesna povreda slepih putnika koji su se skrivali izvan delova na raspolaganju putnicima i posadi;
- oštećenje vazduhoplova, otkaz njegove strukture koji negativno deluje na jačinu strukture ili karakteristike leta vazduhoplova ili zahteva veću opravku ili zamenu oštećene komponente, izuzev otkaza ili oštećenja motora (kada je oštećenje ograničeno na motor, kapotaže ili agregate) ili oštećenja elisa, krajeva krila, antena, guma, kočnica, oplata, malih udubljenja ili proboja u oplati vazduhoplova;
- vazduhoplov je nestao ili mu nije moguće prići.

Upravljanje bezbednošću je preduslov za održivo poslovanje avio-industrije. Tokom 1950-ih i 1960-ih godina, tehnički faktori imali su presudan uticaj na bezbedno odvijanje vazdušnog saobraćaja. Od 1970-ih godina usledila je era ljudskog faktora. Nakon što je komercijalno vazduhoplovstvo doživelo intenzivan razvoj, počelo se uviđati da tehnički problemi više nisu glavni uzrok nezgoda i udesa. Vazduhoplovi su postajali sve pouzdaniji zahvaljujući napretku u konstrukciji i boljem razumevanju aerodinamike, što je smanjilo broj tehničkih kvarova. U takvim uslovima, pažnja stručnjaka počinje da se usmerava ka ljudima koji upravljaju tim sistemima – pilotima, kontrolorima letenja i tehničkom osoblju. Sredinom 1990-ih godina počinje sistematsko posmatranje bezbednosti u vazdušnom saobraćaju koje je obuhvatilo organizacione, ljudske i tehničke faktore zajedno pa se ovaj period naziva – era organizacionih faktora. Ova unapređenja su postavila temenje za razvoj sistema upravljanja bezbednošću. Početkom 21. veka, mnoge države i pružaoci usluga prihvatili su ove bezbednosne pristupe. Nastupila je era totalnog sistema, a njen cilj je da uključi sve bezbednosne

aspekte vazdušnog saobraćaja u jedinstvenu, centralizovanu mrežu nadzora (praćenja) i kontrole, radi minimizacije bezbednosnih rizika i samim tim brže reakcije na potencijalne pretnje [27].

Međunarodna organizacija civilnog vazduhoplovstva definiše sistem upravljanja bezbednošću kao sistematski pristup upravljanja bezbednošću, koji uključuje neophodne organizacione strukture, odgovornosti, pravila i procedure. SMS je okvir koji omogućava organizaciji da proaktivno identifikuje bezbednosne rizike, analizira ih, preduzima mere za njihovo ublažavanje i neprekidno unapređuje bezbednosne performanse. EUROCONTROL definiše SMS kao sistematski i eksplicitan pristup definisanju aktivnosti pomoću kojih organizacija sprovodi upravljanje bezbednošću u cilju postizanja prihvatljivog nivoa bezbednosti [27].

EUROCONTROL izveštaj pokazuje da se dugoročna troškovna efikasnost pružaoca usluga u vazdušnoj plovidbi mora ostvarivati uz očuvanje prihvatljivog nivoa bezbednosti, što potvrđuje ključnu ulogu sistema upravljanja bezbednošću u balansiranju operativnih performansi, troškova i bezbednosti [40].

Sistem upravljanja bezbednošću je [27]:

1. Sistematičan (aktivnosti u vezi upravljanja bezbednošću se odvijaju u skladu sa unapred definisanim planom i primenjuju se na konzistentan način u celoj vazduhoplovnoj organizaciji);
2. Proaktivan (oslanja se na pristup koji naglašava identifikaciju hazarda i kontrolu i ublažavanje bezbednosnih rizika, pre nego što se pojave događaji koji narušavaju bezbednost);
3. Eksplicitan (sve aktivnosti koje se tiču upravljanja bezbednošću su dokumentovane, dostupne i samim tim zaštićene).

Iako bezbednost predstavlja najvažniji prioritet u obavljanju vazdušnog saobraćaja i katastrofe u vazduhoplovstvu su retki događaji, nezgode i ozbiljne nezgode se javljaju znatno češće. Analiziranjem događaja u vazdušnom saobraćaju i uzroka njihovih nastanka utvrđuju se hazardi (potencijalne opasnosti koje mogu dovesti do udesa) i pronalaze se mere za sprečavanje, elimisanje i umanjeње hazarda, a samim tim i smanjenje broja neželjenih događaja u vazdušnom saobraćaju. SMS podrazumeva konstantnu (dnevnu) identifikaciju hazarda, prikupljanje i analizu podataka, procenu bezbednosnih rizika i primenu olakšavajućih strategija. To je neprekidni proces koji se nikada ne zaustavlja i čiji je cilj neprestano poboljšanje opšteg nivoa bezbednosti organizacije [27].

Mnoge organizacije u vazdušnom saobraćaju posvećuju veliku pažnju sistemu upravljanja bezbednošću, kao što su:

- Međunarodna organizacija civilnog vazduhoplovstva;
- Federalna uprava za aviaciju;
- Evropska agencija za bezbednost vazdušnog saobraćaja;
- Međunarodno udruženje vazduhoplovnih prevozlaca (eng. *International Air Transport Association – IATA*).

Prema ICAO i EASA, SMS se sastoji iz četiri komponente [34, 52]:

- Bezbednosna politika i ciljevi (definisanje politike, procedura i organizacione strukture za postizanje ciljeva koji obezbeđuju kontinualnu bezbednost, jasno definisanje nadležnosti i odgovornosti);
- Upravljanje bezbednosnim rizikom (identifikacija potencijalnih opasnosti koje mogu dovesti do udesa, procena bezbednosnog rizika i definisanje odgovarajućih mera za njegovo ublažavanje);

- Uverenje o bezbednosti (praćenje i merenje bezbednosnih indikatora i postavljenih ciljeva bezbednosti, upravljanje promenama, konstantno unapređenje sistema upravljanja bezbednošću);
- Promocija bezbednosti (podizanje svesti, obuke, edukacije, razvijanje kulture bezbednosti u organizaciji i komunikacija).

3.1. PREGLED PRISTUPA BEZBEDNOSTI U VAZDUŠNOM SAOBRAĆAJU

Najznačajnije međunarodne organizacije i vodeći proizvođači aviona posvećuju posebnu pažnju pitanjima bezbednosti u vazdušnom saobraćaju, razvijajući različite politike, standarde i preporuke sa ciljem minimizacije rizika i postizanja visokog nivoa sigurnosti u svim fazama leta.

3.1.1. ICAO

Strateški cilj Međunarodne organizacije civilnog vazduhoplovstva se odnosi na globalnu bezbednost celokupnog sistema vazdušnog saobraćaja. U tom smislu ICAO konstantno koordinira niz aktivnosti na globalnom nivou, a koje se odnose na sve zemlje članice ICAO [71]:

- Praćenje ključnih bezbednosnih trendova i indikatora;
- Sprovođenje bezbednosne analize;
- Inicijative za politiku i standardizaciju;
- Implementacija programa za rešavanje pitanja bezbednosti.

Primeru radi, ICAO Annex 13 [50] koji se odnosi na istrage vazduhoplovnih nezgoda i udesa zahteva od država članica da istraže nezgode i udese kako bi se sprečile takve pojave. Jedan od rezultata procesa istrage bezbednosti je set bezbednosnih preporuka (eng. *Safety Recommendations – SR*) koje mogu biti upućene državama, na primer državi u kojoj se projektuju i grade vazduhoplovi, ili ICAO-u ako istražitelji definišu nalaze i predloge mera za određene promene u dokumentima ICAO. U slučaju ovog drugog, ICAO će obavestiti telo koje je podnelo dati predlog u roku od 90 dana od prijema SR-a o preduzetim radnjama, merama koje treba preduzeti ili razlozima zbog kojih ICAO neće preduzeti nikakve mere. Neki od SR-ova upućeni ICAO-u takođe se prosleđuju relevantnim ekspertskim grupama, koje mogu predložiti nove amandmane i/ili razvoj novih ICAO dokumenata. Primeru radi, 2018. godine ICAO je dobio šest SR-a iz šest država [71].

U ICAO Annex 19 se nalaze odredbe za uspostavljanje Nacionalnog programa bezbednosti u civilnom vazduhoplovstvu (eng. *State Safety Program – SSP*) kojim se utvrđuju načela, pravila i aktivnosti za unapređenje i dostizanje prihvatljivog nivoa bezbednosti u civilnom vazduhoplovstvu u skladu sa standardima i preporučenom praksom (eng. *Standards and Recommended Practices – SARPs*) [27, 51, 71].

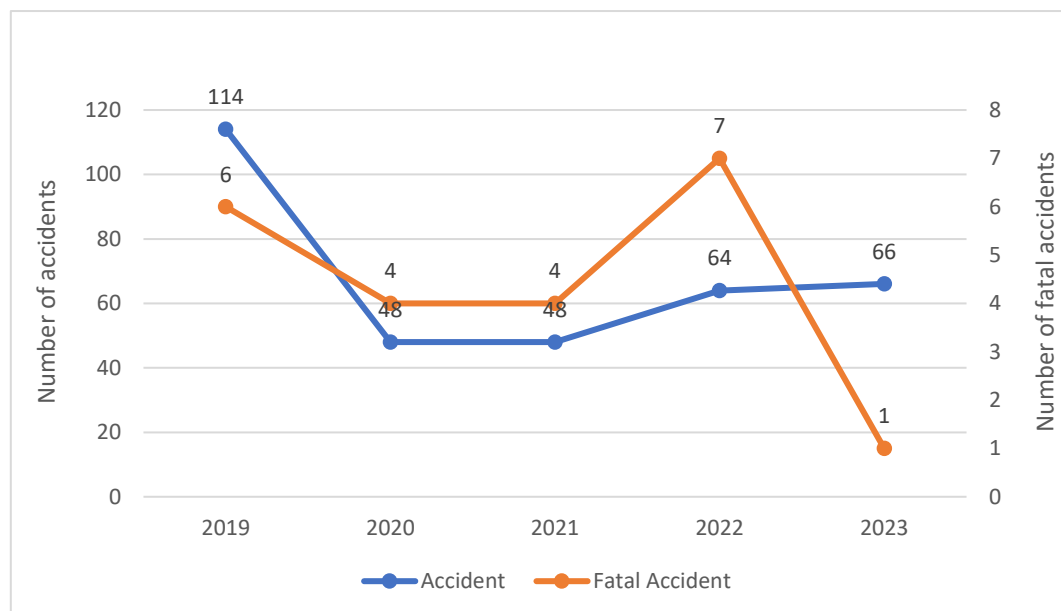
ICAO Annex 19 se odnosi na upravljanje bezbednošću (eng. *Safety Management*) i sastoji se od 5 poglavlja [27]:

- Definicije (eng. *Definitions*);
- Primenljivost (eng. *Applicability*);
- Odgovornosti za upravljanje bezbednošću na nacionalnom nivou (eng. *State Safety Management Responsibilities*);

- Sistem upravljanja bezbednošću;
- Prikupljanje, analiza i razmena podataka o bezbednosti (eng. *Safety Data Collection, Analysis and Exchange*).

Annex 19 sadrži i dva dodatka: Dodatak 1 – Nacionalni sistem bezbednosnog nadzora (eng. *State Safety Oversight System*), Dodatak 2 – Okvir za sistem upravljanja bezbednošću (eng. *Framework for a Safety Management System*), kao i Prilog A – Okvir za izradu nacionalnog programa bezbednosti (eng. *Framework for a State safety programme*) i Prilog B – Pravni aspekt zaštite informacija o prikupljanju podataka bezbednosti i sistema obrade podataka (eng. *Legal guidance for the protection of information from safety data collection and processing systems*) [27, 71].

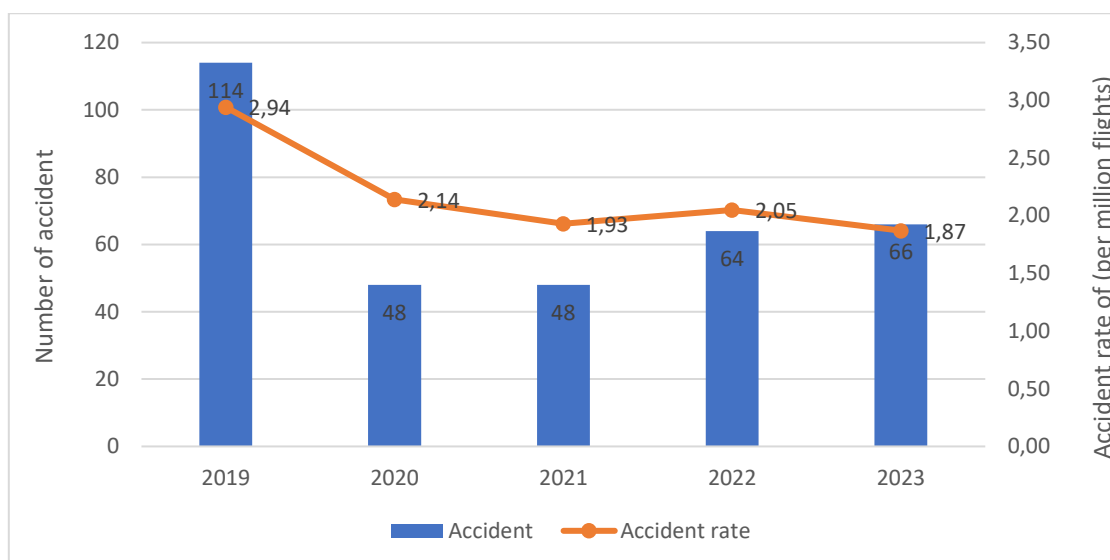
Međunarodna organizacija civilnog vazduhoplovstva redovno objavljuje izveštaje o bezbednosti vazdušnog saobraćaja na globalnom nivou, koji pružaju pregled ključnih bezbednosnih trendova i statističkih pokazatelja. Prema najnovijem izveštaju o bezbednosti iz 2024. godine, prikazani su podaci o broju ukupnih udesa i udesa sa fatalnim ishodom na redovnim komercijalnim letovima u periodu od 2019. do 2023. godine. Najmanji broj smrtonosnih udesa u poslednjih pet godina zabeležen je u 2023. godini (Slika 1).



Slika 1 Trend udesa (2019-2023) [54]

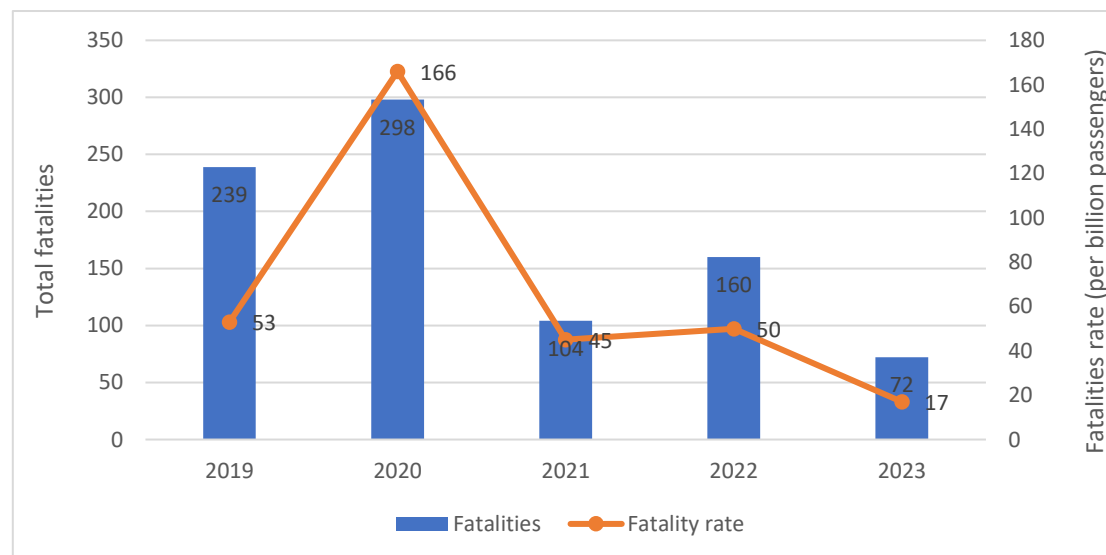
Trenutno, 193 zemlje članice ICAO aktivno rade na postizanju definisanog globalnog bezbednosnog cilja, a to je nula smrtnih slučajeva do 2030. godine kroz jačanje svojih regulatornih kapaciteta, uz paralelno sprovođenje različitih programa i ciljeva usmerenih na unapređenje bezbednosti u vazdušnom saobraćaju, uključujući nadzor i mere za ublažavanje rizika [54].

Globalna stopa udesa, prema ICAO-u, predstavlja ključni pokazatelj ukupnih bezbednosnih performansi vazduhoplovnog sistema. Ova stopa se izračunava na osnovu podataka o komercijalnim operacijama vazduhoplova čija maksimalna poletna masa (eng. *Maximum Take-Off Weight – MTOW*) prelazi 5700 kg. Kategorizacija vazduhoplovnih udesa vrši se u skladu sa Aneksom 13 ICAO-a [71]. Godišnja statistika udesa prikazana na Slici 2 ukazuje na blagi porast ukupnog broja udesa, uz smanjenje globalne stope udesa u 2023. godini.



Slika 2 Evidencija udesa: redovne komercijalne operacije (2019–2023) [54]

Slika 3 prikazuje podatke koji se odnose na udesa sa smrtnim ishodima u okviru redovnih komercijalnih operacija u periodu od 2019. do 2023. godine. Podaci za 2023. godinu pokazuju da je u okviru redovnih komercijalnih operacija zabeležen najmanji broj udesa sa smrtnim ishodom u poslednjih pet godina. Ovaj rezultat ukazuje na nastavak pozitivnog trenda unapređenja bezbednosti u vazdušnom saobraćaju, uprkos povećanju obima saobraćaja. Iako je broj ukupnih udesa blago porastao, broj smrtnih ishoda se značajno smanjio, što sugerise da su sprovedene mere nadzora, regulatorne kontrole i implementacija bezbednosnih programa dali vidljive rezultate u pogledu zaštite života putnika i posade.



Slika 3 Evidencija udesa sa smrtnim ishodima: redovne komercijalne operacije (2019–2023) [54]

Kao odgovor na postojeće i nove trendove, ICAO sarađuje sa međunarodnim organizacijama u oblasti civilnog vazduhoplovstva na postizanju budućih unapređenja bezbednosti, sa posebnim naglaskom na poboljšanje bezbednosnih performansi i smanjenje operativnog bezbednosnog rizika kroz podršku standardizaciji, implementaciji i nadzoru. Istovremeno, obim vazdušnog saobraćaja kontinuirano raste na globalnom nivou, dok se uprkos tome udesi i dalje događaju, ali u manjem broju u odnosu na ranije periode. Posebno je značajno istaći da stopa fatalnih udesa beleži kontinuiran i izražen pad, što potvrđuje efikasnost savremenih bezbednosnih mera i regulatornih okvira (Slika 4).



Slika 4 Istorijski trendovi za redovne komercijalne operacije [54]

3.1.2. IATA

Međunarodno udruženje vazduhoplovnih prevoznika blisko sarađuje sa zainteresovanim stranama u vazduhoplovnoj industriji kako bi se osiguralo da je svaki od ovih stubova iskorišćen za postizanje ključnih bezbednosnih ciljeva. IATA prioriteti su [71]:

- Poboljšati kvalitet i smanjiti operativni rizik;
- Zalagati se za unapređenje vazduhoplovne infrastruktуре;
- Podržati unapređenje i dostizanje prihvatljivog nivoa bezbednosti;
- Sistem upravljanja bezbednošću;
- Podržati efikasno zapošljavanje i obuku osoblja;
- Identifikovanje i adresiranje novih sigurnosnih pitanja.

IATA godišnji izveštaj o bezbednosti, koji je sada u 61. godini izdanja je vodeći IATA dokument o bezbednosti od 1964. godine. Ovaj dokument pruža podatke dobijene iz analiza udesa vazduhoplova, kako bi se razumeli bezbednosni rizici i što je pre moguće elimisali [49].

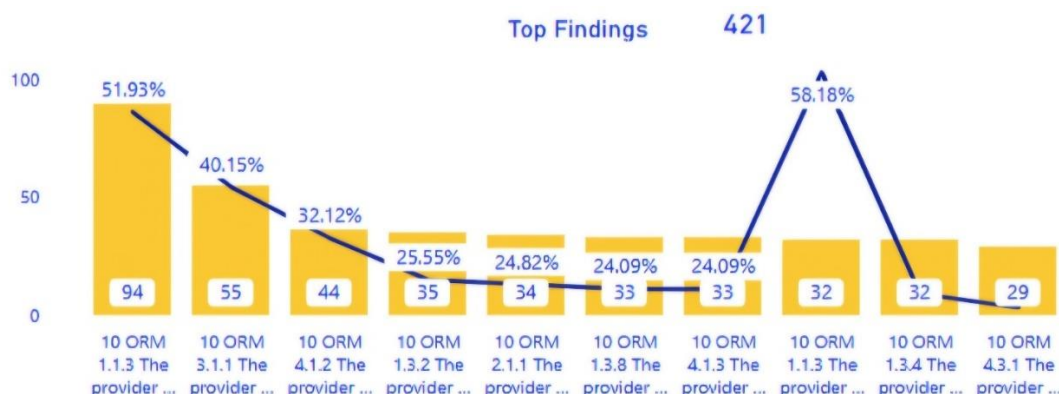
IATA program ISAGO (eng. *IATA Safety Audit for Ground Operations – ISAGO*) je globalni audit¹ program koji je pokrenut 2008. Godine s ciljem da standardizuje procedure i sisteme upravljanja bezbednošću kod provajdera zemaljskog opsluživanja (eng. *Ground Handling Service Providers – GHSP*), uz istovremeno smanjenje rizika i troškova kroz eliminaciju lokalnih audita.

Najčešći nalazi ISAGO programa za 2024. godinu, za period od 1. januara do 31. decembra, ukazuju da su glavni problemi u oblasti upravljanja organizacionim rizicima (eng. *Organizational Risk Management – ORM*²) povezani sa nedostacima u sistemu upravljanja bezbednošću, neadekvatnom

¹ Audit je formalni i sistematski pregled ili ispitivanje organizacije, sistema, procesa, finansijskih izveštaja ili usklađenosti sa određenim standardima, koji vrše nezavisni i stručno osposobljeni auditor-i.

² Na organizacionom nivou, ORM je krovni sistem kontrole rizika.

kontrolom dokumentacije, slabostima u procesu obuke, neodgovarajućim održavanjem opreme za pružanje usluga na zemlji (eng. *Ground Support Equipment – GSE*), kao i sa nerešenim pitanjima u okviru sistema upravljanja kvalitetom (eng. *Quality Management System – QMS*), što je prikazano na Slici 5.

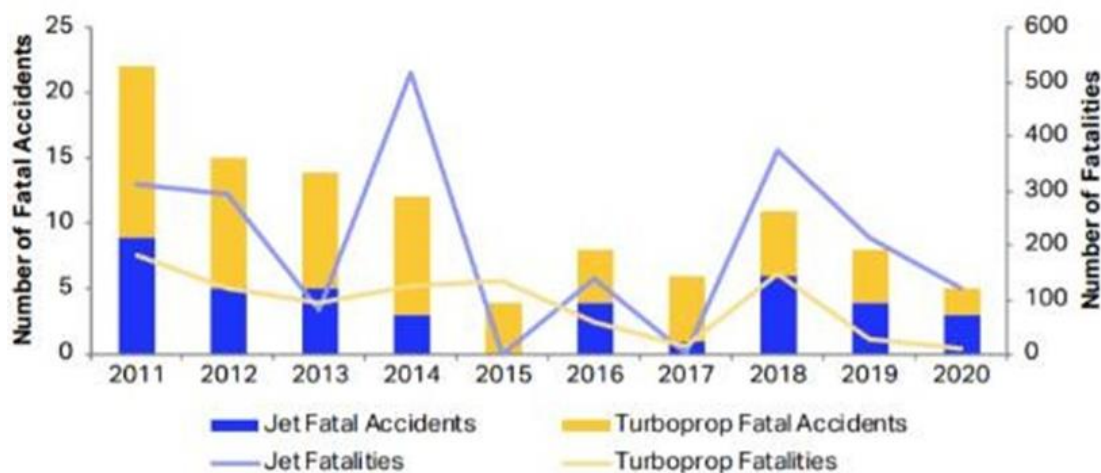


Slika 5 Upravljanje organizacionim rizicima [49]

U cilju sagledavanja trendova i nivoa bezbednosti u civilnom vazduhoplovstvu, neophodno je analizirati relevantne statističke pokazatelje koji se odnose na vazduhoplovne udesi, fatalne ishode i stepen oštećenja vazduhoplova. Analiza podataka koje objavljuje IATA omogućava detaljniji uvid u kretanje bezbednosnih performansi u periodu od 2011. do 2020. godine, kao i procenu efikasnosti primenjenih mera za unapređenje bezbednosti vazdušnog saobraćaja. U tom kontekstu, u prilogima su prikazani najznačajniji pokazatelji koji se odnose na udesi prema pogonskoj grupi aviona, rizik od smrtnog ishoda, fatalne udesi i totalna oštećenja vazduhoplova.

U Prilogu 1 dati su udesi u odnosu na instaliranu pogonsku grupu aviona prema IATA za period od 2011. do 2020. godine [71]. U Prilogu 2 dati su rizici od smrtnog ishoda prema IATA za period od 2011. do 2020. godine. Rizik od smrtnog ishoda se izražava kao ekvivalentni puni gubici (eng. *Full-Loss Equivalents – FLE*) na million letova [71]. U Prilogu 3 dati su fatalni udesi prema IATA za period od 2011. do 2020. godine [71]. U Prilogu 4 dato je totalno oštećenje vazduhoplova prema IATA za period od 2011. do 2020. godine. Totalno oštećenje vazduhoplova odnosi se na vazduhoplov koji je oštećen bez popravke ili su troškovi popravke iznad komercijalne vrednosti vazduhoplova [71].

Na Slici 6. prikazan je ukupan broj stradalih i broj fatalnih udesa prema tipu pogonske grupe vazduhoplova [71].



Slika 6 Posledice udesa vazduhoplova u odnosu na instaliranu pogonsku grupu prema IATA [71]

3.1.3. BOEING

Iako se naponi kompanije Boeing u prvom redu fokusiraju na sprečavanje udesa u vazдушnom saobraćaju, veliki napor ulaže se u podršku istragama nakon udesa. U tom smislu Boeing razvija strategije koje uključuju nova tehnološka rešenja za obuku letačke posade i mehaničare, nove operativne procedure, poboljšanja infrastrukture, modifikacije u projektovanje vazduhoplova i ugradnju novih tehnologija u sisteme na vazduhoplovima. Radeći zajedno, zaposleni u vazduhoplovnoj industriji i vazduhoplovni istražitelji uspeali su da praktično eliminišu neke od najčešćih uzroka nesreća u prošlosti i uvereni su da će i dalje moći da unaprede bezbednost vazdušnog saobraćaja [71].

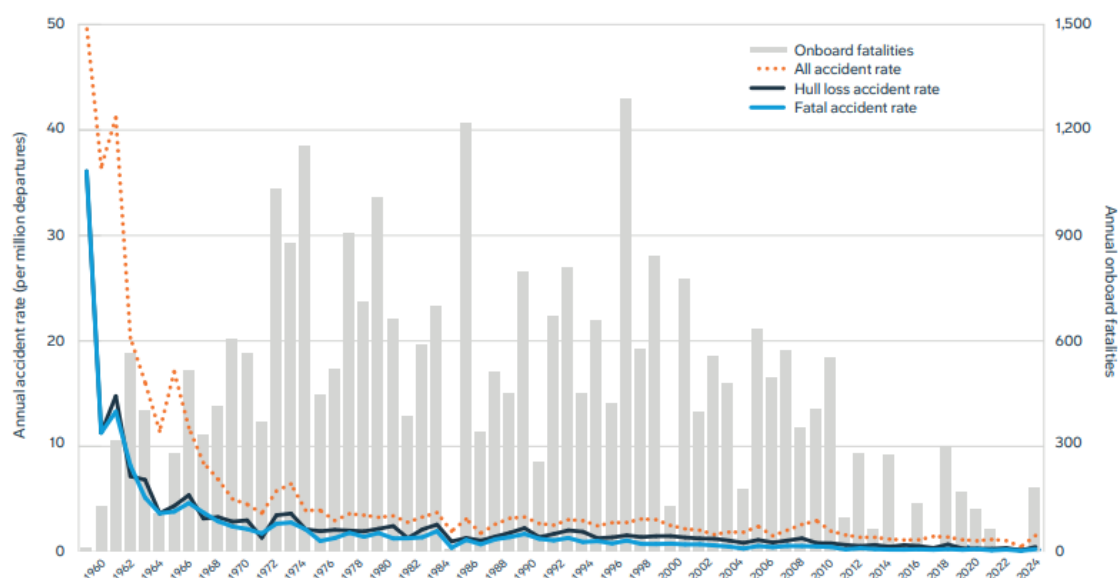
Bezbednost u vazдушnom saobraćaju predstavlja zajednički rezultat [71]:

- Projektovanja i proizvodnje aviona;
- Regulatornog nadzora;
- Rada i održavanja vazduhoplova;
- Vazdušnog saobraćaja i aerodroma – infrastrukture.

Boeing se udružuje sa vazduhoplovnom industrijom i međunarodnim organizacijama u vazдушnom saobraćaju kako bi kontinuirano unapređivao bezbednost u svim aspektima globalnog sistema vazdušnog transporta.

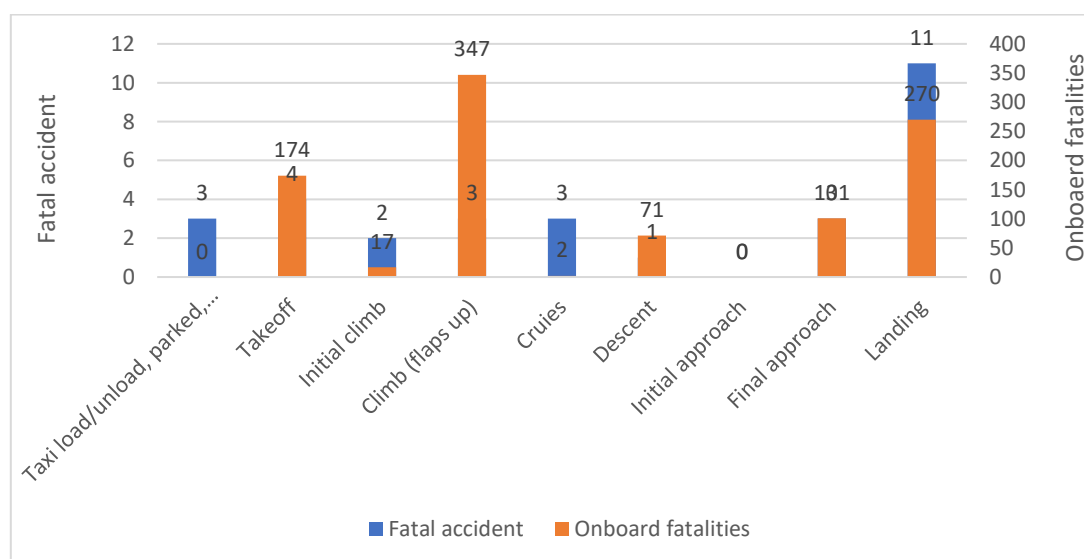
Ovaj zajednički pristup je efikasniji od regulatornog delovanja. Boeing kontinuirano sarađuje sa predstavnicima industrije, udruženjima civilnog vazduhoplovstva, civilnim vazduhoplovnim vlastima i operaterima kako bi osigurao efikasnost i usklađenost bezbednosnih napora širom sveta. Primer ove saradnje je Tim za bezbednost u komercijalnom saobraćaju (eng. *Commercial Aviation Safety Team – CAST*), koji čine predstavnici aviokompanija, proizvođača, zaposlenih u industriji i vlade. Osnovan 1998. godine, CAST je pomogao smanjenju stope udesa u SAD-u za 83 % u periodu od 1998. do 2007. godine sistemskom analizom podataka o nezgodama i udesima širom sveta. CAST je do danas razvio više od 96 bezbednosnih mera i preporuka i do sada ih je primenio više od polovine. Bezbednosni naponi oslanjaju se na istraživanje prošlih nesreća radi sprečavanja budućih i ispitivanjem vazduhoplovnih operativnih podataka kako bi se identifikovali manje očigledni ili novi obrasci i potencijalni uslovi pre nego što se nesreće dogode [71].

Od 1959. godine, svake četvrte godine, kompanija Boeing objavljuje izveštaj „Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accident, Worldwide Operations“, koji predstavlja ključni alat za unapređenje nivoa bezbednosti u komercijalnom vazдушnom saobraćaju. Ovaj dokument pruža sveobuhvatan pregled trendova udesa kroz višedecenijski period, omogućavajući identifikaciju dominantnih uzroka udesa i identifikaciju oblasti sa povećanim bezbednosnim rizicima. Na osnovu ovih podataka, Boeing analizira obrasce ponašanja i operativne faktore koji doprinose udesima, što omogućava razvoj ciljanih mera za prevenciju. Rezultati izveštaja koriste se za unapređenje dizajna vazduhoplova, optimizaciju procedura obuke letačkog osoblja i uvođenje dodatnih bezbednosnih sistema. Takođe, izveštaj služi kao referenca za regulatorna tela i aviokompanije prilikom donošenja odluka o prioritetima u upravljanju rizicima i implementaciji bezbednosnih preporuka, doprinoseći smanjenju učestalosti i posledica udesa u globalnom vazдушnom saobraćaju [17].



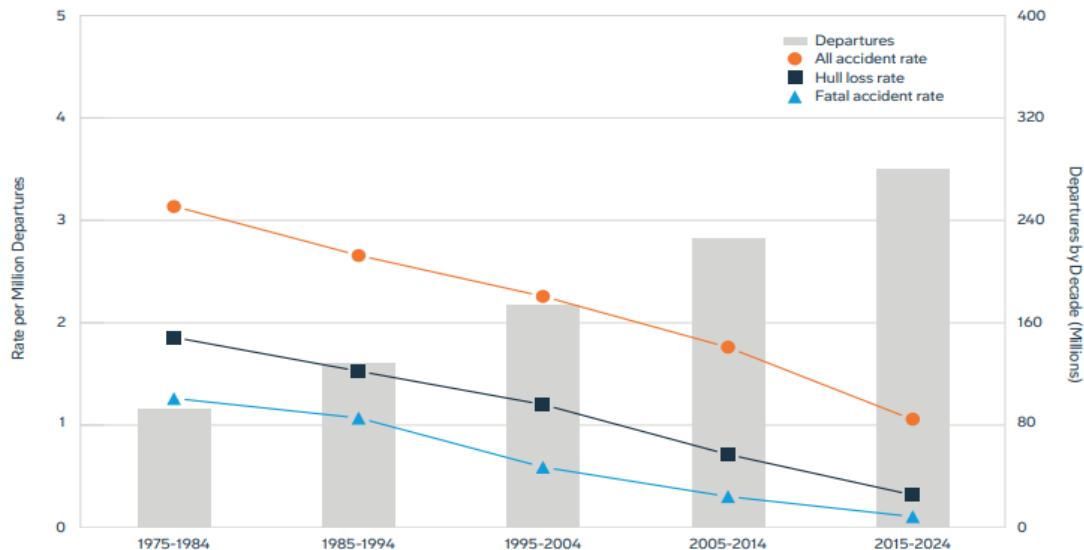
Slika 7 Stope udesa i smrtni ishodi (1959-2024) prema Boeing-u [17]

Na Slici 7 date su stope udesa i smrtni ishodi prema Boeing za period od 1959. do 2024. godine. Tokom posmatranog perioda primećuje se značajan pad stope fatalnih udesa. Najveće vrednosti zabeležene su početkom osamdesetih godina, nakon čega dolazi do kontinuiranog opadanja. Boeing statistika pokazuje da se najveći broj udesa dešava na aerodromu ili u njegovoj neposrednoj blizini i da se 37 % ishoda sa katastrofalnim posledicama događa tokom operacija sletanja u odnosu na ostale faze leta [17].



Slika 8 Odnos između broja fatalnih udesa i broja poginulih lica u različitim fazama leta prema Boeing-u [17]

Sa Slike 8 može se zaključiti da faza sletanja ima najveći broj fatalnih udesa, kao i najveći broj poginulih lica u vazduhoplovstvu što potvrđuje da je sletanje jedna od najkritičnijih faza leta. Faza penjanja sa izvučenim zakrilcima beleži najveći broj poginulih, iako broj fatalnih nezgoda nije najveći. To pokazuje da se nezgode u ovoj fazi retko događaju, ali kada se dogode posledica su veoma teške. Tokom poletanja zabeležen je značajan broj poginulih što potvrđuje da su početne faze leta visoko rizične. U fazama krstarenja i početnog penjanja broj fatalnih nezgoda postoji, ali je ukupan broj poginulih manji u odnosu na kritične faze. Faza prilaza nema zabeleženih fatalnih nezgoda niti poginulih, dok završni prilaz pokazuje određeni broj poginulih uprkos malom broju nezgoda.



Slika 9 Trend ukupne stope nezgoda, fatalnih nezgoda i obima saobraćaja (1975-2024) [17]

Slika 9 prikazuje promene stopa vazduhoplovnih nezgoda kroz više vremenskih perioda, uporedo sa rastom obima vazdušnog saobraćaja. Grafikon pokazuje odnos između razvoja vazdušnog saobraćaja i nivoa bezbednosti. Kroz decenije obim vazdušnog saobraćaja se povećava. Istovremeno, ukupna stopa nezgoda pokazuje konstantan pad, a najniže vrednosti zabeležene su u periodu od 2015. do 2024. godine, uprkos najvećem broju letova. Ovakav trend ukazuje na značajno unapređenje bezbednosti vazdušnog saobraćaja zahvaljujući tehnološkom napretku, strožim regulativama i unapređenju operativnih procedura.

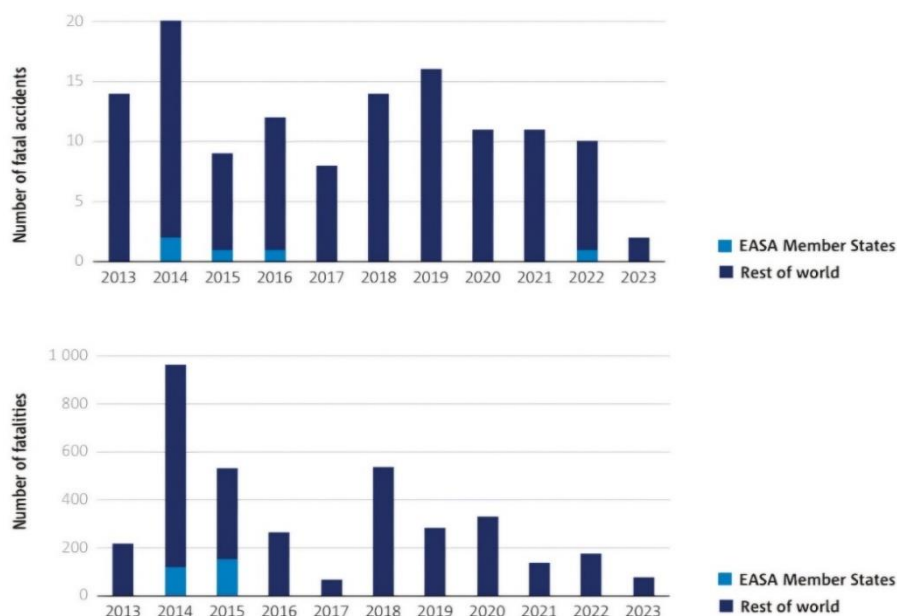
3.1.4. EASA

Godišnji pregled bezbednosti EASA (eng. *Annual Safety Review – ASR*) za 2024. godinu predstavlja sveobuhvatan prikaz bezbednosnih performansi civilnog vazduhoplovstva u Evropskoj uniji za 2023. godinu. ASR je ključni deo evropskog procesa upravljanja bezbednosnim rizicima (eng. *Safety Risk Management – SRM*), u okviru kojeg Evropska agencija za bezbednost vazduhoplovstva, nacionalne vazduhoplovne vlasti (eng. *National Aviation Authority – NAA*) i predstavnici industrije zajedno rade na utvrđivanju bezbednosnih prioriteta u evropskom vazduhoplovstvu. Rezultat ovog procesa ogleda se u definisanju konkretnih bezbednosnih mera koje se implementiraju kroz Evropski plan bezbednosti u civilnom vazduhoplovstvu (eng. *European Aviation Safety Plan – EASP*) [35].

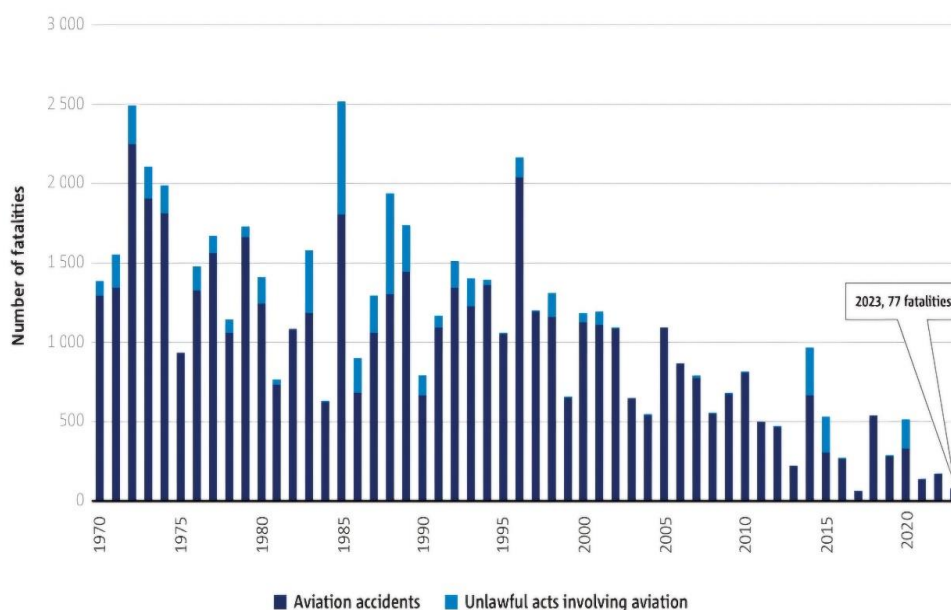
Ovogodišnji ASR pokriva sve segmente civilnog vazduhoplovstva kroz posebna poglavlja, uključujući avione (komercijalne, specijalizovane i nekomercijalne operacije), helikoptere, balone, jedrilice, bespilotne vazduhoplove (UAS/dronove), aerodrome i zemaljsko opsluživanje, upravljanje vazdušnim saobraćajem i usluge vazdušne navigacije, kao i informacije iz Evropskog centralnog repozitorijuma (eng. *European Central Repository – ECR*) i standardizacione vežbe. Po prvi put u ASR-u uvedeno je posebno poglavlje posvećeno bezbednosnim performansama dronova. Novina je i potpuna primena Evropske šeme klasifikacije rizika (eng. *European Risk Classification Scheme – ERCS*), pri čemu se svi bezbednosni događaji rangiraju na osnovu nivoa rizika koje definišu nacionalni organi država članica EASA, uz dodatke sa detaljnim analizama za javnost [35].

Prema EASA izveštaju, sa 77 smrtnih slučajeva, broj poginulih u 2023. godini je drugi najniži u poslednjoj deceniji (Slika 10) i blizu rekorda takozvane „najsigurnije godine“ u komercijalnom

vazduhoplovstvu sa velikim avionima, koji je postavljen 2017. godine sa 66 smrtnih slučajeva (Slika 11).



Slika 10 Broj udesa sa smrtnim ishodima i broj poginulih prema EASA [35]



Slika 11 Broj poginulih u operacijama vazduhoplova na globalnom nivou prema EASA [35]

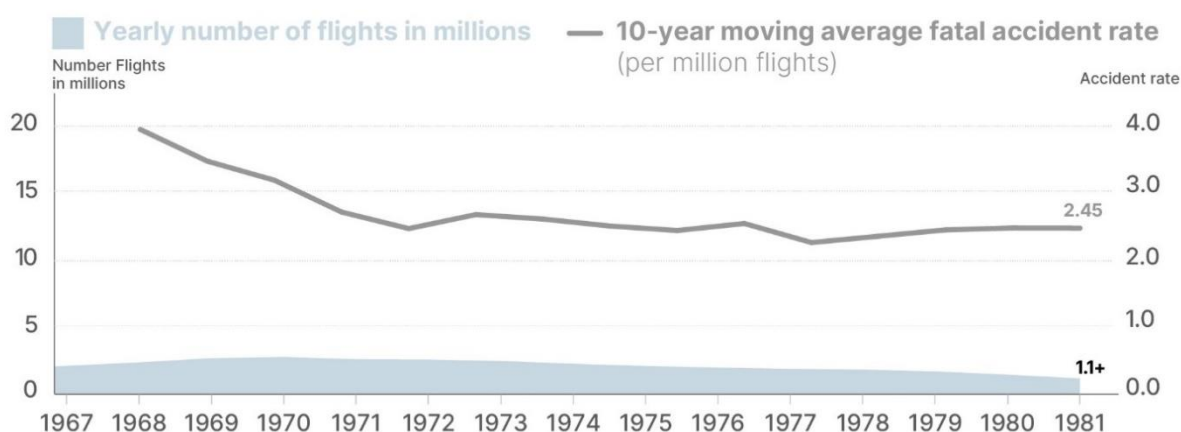
3.1.5. AIRBUS

Prioritet broj jedan kompanije Airbus je kontinuirano održavanje zadovoljavajućeg nivoa bezbednosti putnika i bezbednog prevoza tereta na svim svojim vazduhoplovima, uz jasan stav da nijedna nesreća nije prihvatljiva. Kada do udesa ipak dođe, Airbus se usmerava na detaljnu analizu svakog događaja

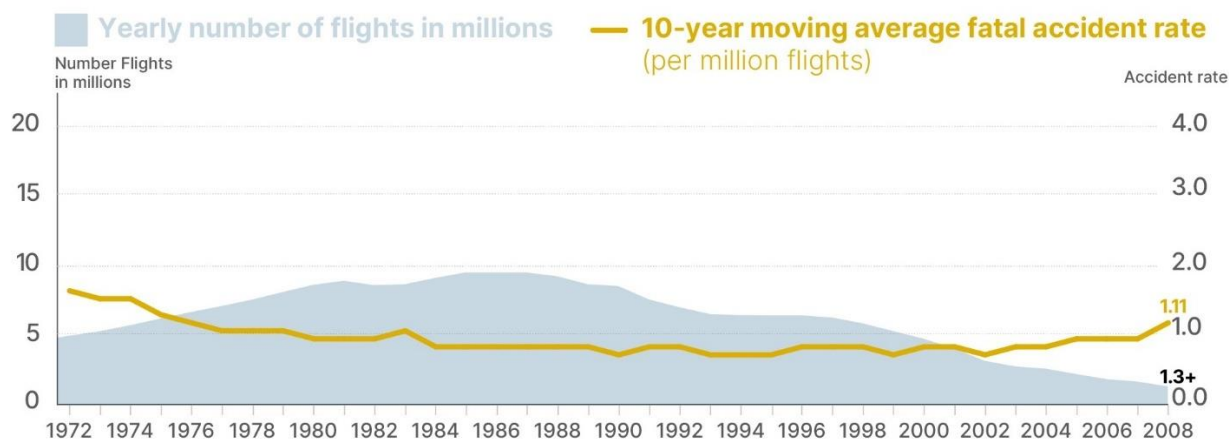
kako bi identifikovao uzroke i primenio sve neophodne mere za unapređenje bezbednosti. Izveštaji o statistici udesa a deo su ovih napora, jer kroz transparentno deljenje podataka, kompanija pruža uvid u istorijske trendove i aktuelni nivo bezbednosti u komercijalnom vazdušnom saobraćaju. Analiza pokazuje da je vazduhoplovna industrija, zahvaljujući razvoju tehnologije i poboljšanim procedurama, u poslednje dve decenije postigla značajno smanjenje rizika i unapredila sistem upravljanja bezbednošću.

Poseban značaj ima i redovan izveštaj Airbus-a pod nazivom „Safety First“, koji kroz stručne analize i praktične preporuke dodatno doprinosi širenju znanja o bezbednosnim izazovima i merama za njihovo prevazilaženje [5].

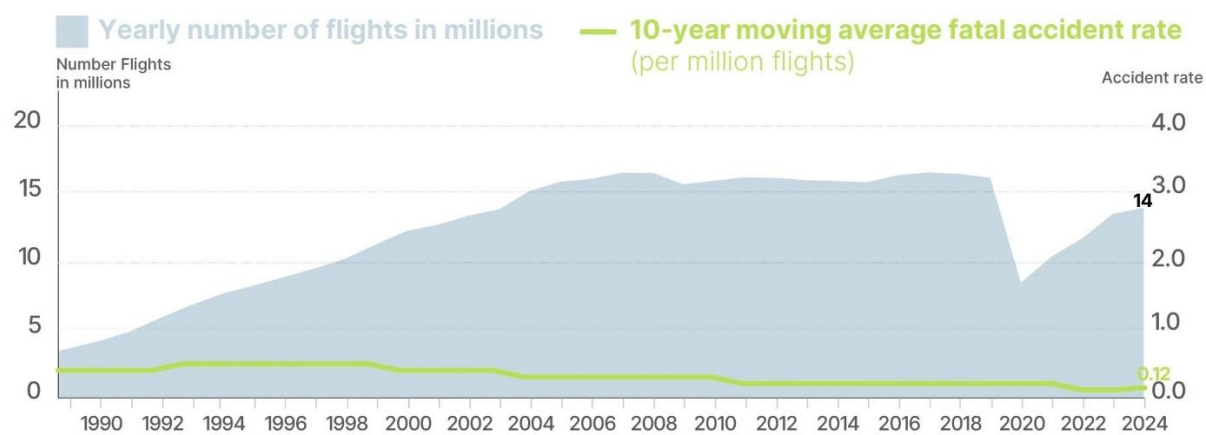
Prema Airbus-u, poređenje stopa udesa prema generacijama vazduhoplova prikazano je na Slici 12, Slici 13, Slici 14 i Slici 15. Kontinuirano unapređenje bezbednosti u komercijalnom vazduhoplovstvu rezultat je kombinacije delotvorne regulative, razvijene bezbednosne kulture, unapređene obuke posada i značajnog tehnološkog napretka. Svaka nova generacija aviona uvodila je napredne sisteme sa ciljem smanjenja rizika – od osnovnih analognih sistema prve generacije, preko automatskih sistema druge generacije, do digitalnih kokpita sa sistemom za upravljanje letom (eng. *Flight Management System – FMS*) i sistemom za svest o terenu i upozoravanje na opasnost od sudara sa zemljom (eng. *Terrain Awareness and Warning System – TAWS*) treće generacije. Najnovija, četvrta generacija, uvedena sa Airbus A320, koristi FBW tehnologiju (eng. *Fly-by-wire – FBW*), značajno smanjujući udesa. Statistički podaci jasno pokazuju da nove tehnologije doprinose stalnom smanjenju učestalosti i težine posledica udesa, potvrđujući važnost ulaganja u tehničke inovacije [5].



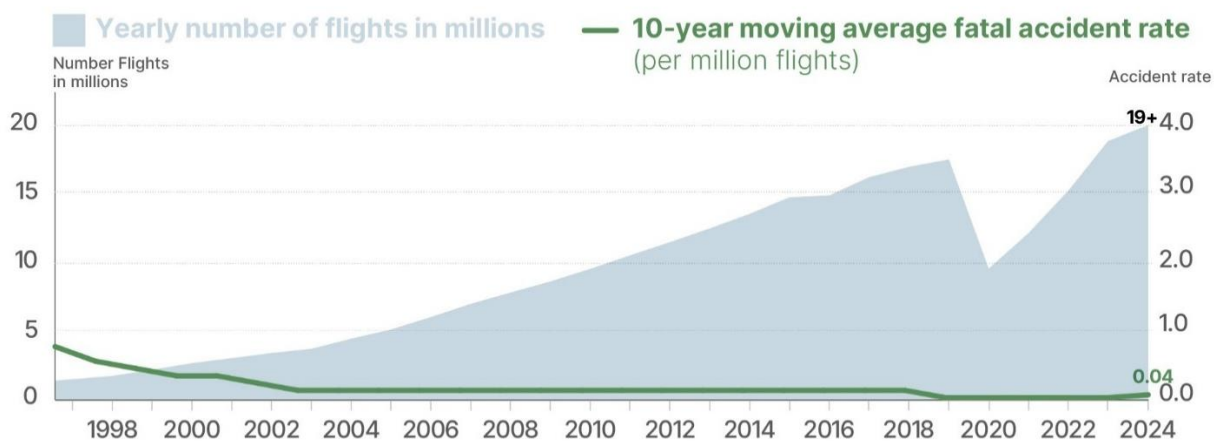
Slika 12 Generacija 1: Prosečna stopa udesa sa smrtnim ishodom na milion letova [5]



Slika 13 Generacija 2: Prosečna stopa udesa sa smrtnim ishodima na milion letova [5]



Slika 14 Generacija 3: Prosečna stopa udesa sa smrtnim ishodima na milion letova [5]



Slika 15 Generacija 4: Prosečna stopa udesa sa smrtnim ishodima na milion letova [5]

3.2. HAZARD

Hazard ili opasnost u vazдушnom saobraćaju je situacija, stanje ili aktivnost u kome se javlja mogućnost pojave potencijalnog neželjenog događaja koji bi mogao prouzrokovati povredu ili smrt putnika, posade, osoblja ili trećih lica, oštećenje opreme, gubitke ili smanjenje mogućnosti za obavljanje prvobitne funkcije [27].

Kako bi se održao određeni nivo bezbednosti u operacijama vazduhoplova, neophodno je razumevanje načina identifikacije, analize i praćenja hazarda.

3.2.1. Prvo pravilo – razumevanje hazarda

Hazard predstavlja izvor potencijalne opasnosti, odnosno određenu situaciju, uslov, stanje, propust ili neispravnost koja može dovesti do neželjenog događaja. Suština hazarda je u tome što ukazuje na to šta može poći po zlu, bez obzira na to da li će se to zaista i dogoditi. Sa druge strane, posledica hazarda odnosi se na konkretan ishod koji može nastati ukoliko hazard ostane neotkriven ili se ne preduzmu odgovarajuće mere kontrole. Drugim rečima, hazard je uzrok koji stvara rizik, dok je posledica krajnji rezultat koji se može javiti zbog neadekvatnog upravljanja rizikom.

Razumevanje razlike između hazarda i njegove posledice je od ključnog značaja u analizama bezbednosti, jer omogućava jasno odvajanje uzroka od posledica. Fokusiranje na hazard omogućava proaktivan pristup upravljanju rizicima, jer se preventivnim merama eliminiše ili smanjuje verovatnoća njegovog nastanka. Sa druge strane, fokusiranje samo na posledice vodi reaktivnom pristupu, gde se deluje tek nakon što se dogodi štetni ishod. Ispravno prepoznavanje hazarda omogućava bolju kontrolu rizika i doprinosi smanjenju verovatnoće nastanka neželjenih događaja [27].

Prema ICAO, hazardi se mogu podeliti u tri grupe [27]:

- Prirodni hazardi (posledica sredine ili okruženja unutar kojeg se obavljaju operacije vazduhoplova);
- Tehnički hazardi (rezultat različitih izvora energije ili funkcija kod kojih je bezbednost kritična, a koji su neophodni za obavljanje operacija pružanja usluga);
- Ekonomski hazardi (posledica društveno-političkog okruženja u kome se odvijaju operacije vazduhoplova).

3.2.2. Drugo pravilo – identifikacija hazarda

Hazardi se mogu uočiti i pre nego što dođe do neželjenog događaja (nezgode ili udesa) ili se mogu identifikovati kroz proaktivne i predviđajuće procece koji imaju za cilj identifikaciju hazarda pre nego što oni izazovu događaj koji ugrožava bezbednost. Postoje interni (unutar organizacije) i eksterni izvori za identifikaciju hazarda [27].

Interni izvori identifikacije hazarda uključuju [27]:

- Analizu podataka o letu;
- Dobrovoljni sistem izveštavanja kompanije;

- Bezbednosna istraživanja;
- Bezbednosne revizije;
- Procedure nadgledanja normalnih operacija vazduhoplova;
- Analizu trendova;
- Povratke informacije sa obuka;
- Istragu i praćenje incidenata [53].

Eksterni izvori identifikacije hazarda uključuju [27]:

- Izveštaje o udesima;
- Obavezni državni sistem prijavljivanja događaja;
- Dobrovoljni državni sistem prijavljivanja;
- Državni revizorni nadzor;
- Sisteme za razmenu informacija.

3.2.3. Treće pravilo – analiza hazarda

Analiza hazarda podrazumeva procenu identifikovanih izvora opasnosti sa ciljem utvrđivanja njihove verovatnoće nastanka i potencijalnih posledica po bezbednost sistema [27]. Na osnovu ove analize određuju se prioriteti za preduzimanje preventivnih i korektivnih mera kako bi se smanjio ukupni rizik. U razvijenoj metodologiji, detaljno će biti prikazana analiza hazarda.

3.2.4. Četvrto pravilo – dokumentovanje hazarda

Dokumentovanje hazarda obuhvata sistematsko beleženje svih identifikovanih izvora opasnosti, zajedno sa opisom njihovih karakteristika, potencijalnih uzroka, mogućih posledica i postojećih mera kontrole. Ovaj proces omogućava kreiranje biblioteke bezbednosti (eng. *Safety library*), koja predstavlja organizovanu bazu podataka o poznatim hazardima i služi kao referenca za kontinuirano praćenje, ažuriranje i unapređenje bezbednosnog sistema [27].

Biblioteka bezbednosti doprinosi standardizaciji pristupa upravljanju rizicima, olakšava obuku zaposlenih i omogućava dosledno praćenje trendova u pogledu pojave određenih rizika. Redovno ažuriranje ove baze na osnovu novih saznanja, incidenata i promena u operativnim uslovima značajno poboljšava sposobnost organizacije da preventivno deluje i pravovremeno prepozna kritične oblasti koje zahtevaju dodatnu pažnju.

3.3. BEZBEDNOSNI RIZIK

Rizik (eng. *Risk*) je kombinacija verovatnoće ili učestalosti ponavljanja određene opasnosti i ozbiljnosti posledice koju ta opasnost može da izazove. Procenom rizika (eng. *Risk Assessment*) se utvrđuje da li se ostvaren ili uočen rizik može tolerisati ili ne [27, 69].

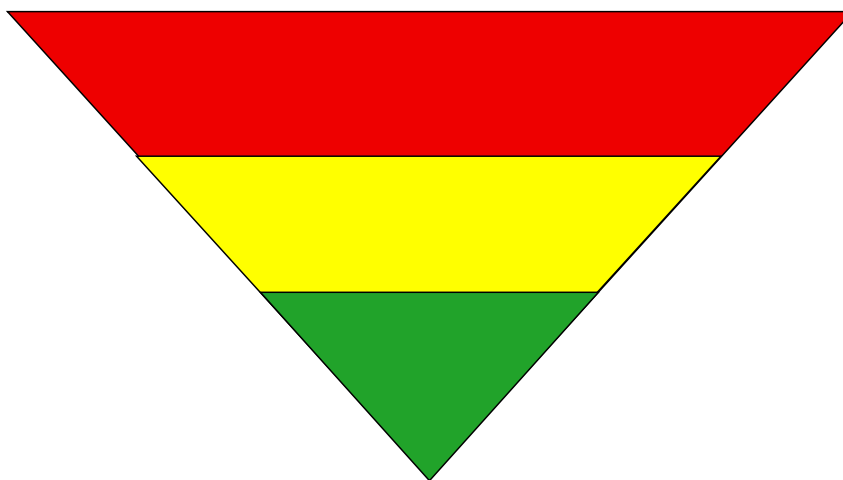
Analiza rizika se može posmatrati kroz sledeće faze (osnove) [27]:

- Prva osnova – upravljanje bezbednosnim rizikom;
- Druga osnova – verovatnoća pojave bezbednosnog rizika;
- Treća osnova – ozbiljnost posledica bezbednosnog rizika;
- Četvrta osnova – prihvatljivost bezbednosnog rizika;
- Peta osnova – kontrola/ublažavanje bezbednosnog rizika.

Tipična polazna tačka za bilo koji proces identifikacije rizika je pregled postojećih podataka o udesima. Takav pregled moći će da obezbedi generalan uvid u ključne opasnosti i njihove posledice, zavisno od obima i kvaliteta dostupnih izveštaja, i faktora koji doprinose njihovom nastanku.

Ključnu ulogu u procesu upravljanja bezbednošću ima upravljanje bezbednosnim rizikom. Upravljanje bezbednosnim rizikom je opšti pojam koji obuhvata procenu i strategiju smanjivanja bezbednosnog rizika na najniži praktično izvodljiv nivo (eng. *As Low As Reasonably Practicable* – *ALARP*). Cilj upravljanja bezbednosnim rizikom je da obezbedi osnovu za uravnoteženu alokaciju resursa između svih procenjenih bezbednosnih rizika i onih bezbednosnih rizika koje je moguće kontrolisati ili umanjiti. Grafički se ALARP koncept često prikazuje trouglom ili stepenastim dijagramom koji ilustruje tri zone (Slika 16) [27]:

- Crvena zona neprihvatljivog rizika (Bezbednosni rizici koji spadaju u ovu zonu su neprihvatljivi pod bilo kojim okolnostima);
- Žuta zona tolerancije rizika (Ukoliko se bezbednosni rizik koji spada u ovu zonu može ublažiti onda je prihvatljiv uz primenu Cost-Benefit analize);
- Zelena zona prihvatljivog rizika (Bezbednosni rizik koji spada u ovu zonu je prihvatljiv u postojećem obliku).



Slika 16 Upravljanje bezbednosnim rizikom – nivoi rizika [27]

Svođenje bezbednosnog rizika na najniži praktično izvodljivi nivo znači da bi svako dalje smanjenje rizika bilo ili neizvodljivo ili bi za sobom povlačila prevelika finansijska ulaganja. U slučaju kada vazduhoplovna organizacija prihvati bezbednosni rizik, to ne znači da je on potpuno uklonjen. Prema definiciji pojma bezbednosti (Poglavlje 2) je poznato da rizici treba da budu smanjeni ili održavani na prihvatljivom nivou, a to znači da neki nivo bezbednosnog rizika ostaje; taj prihvaćeni deo bezbednosnog rizika je dovoljno nizak u odnosu na dobit koja se ostvaruje njegovim prihvatanjem [27].

Preostale četiri osnove će biti detaljno objašnjenje u koraku K3.2 metodologije optimizacije ulaganja u bezbednost u operacijama vazduhoplova baziranim na indikatorima statističke vrednosti ljudskog života.

Pristupi upravljanja bezbednosnim rizikom

Pristupi upravljanja bezbednosnim rizikom u vazdušnom saobraćaju mogu se podeliti na tradicionalni i savremeni pristup.

Tradicionalni pristup upravljanja rizikom – zasnivao se na konceptu usklađivanja veliko broja regulativa i zahteva. Stopa udesa se povećavala, a fokus je bio na reaktivnom delovanju, odnosno reagovanju nakon što se nezgoda ili udes dogodi. Analizom prethodnih događaja, uvodile su se korektivne mere sa ciljem sprečavanja ponavljanja istih uzroka. Ovaj pristup se uglavnom oslanjao na regulatorne zahteve, inspekcije, kontrolu i disciplinske mere, sa nedostatkom sistematskog prepoznavanja rizika pre nego što dođe do neželjenog događaja [27].

Savremeni pristup upravljanja rizikom – zasnovan je na proaktivnom i prediktivnom delovanju sa ciljem prevencije neželjenih događaja pre nego što se dese. U fokusu je sveobuhvatno upravljanje rizikom koje obuhvata sve nivoe sistema, uključujući regulatorne organe, operatore i ostale učesnike u vazduhoplovstvu. Ovaj pristup podrazumeva [27]:

- primenu naučnih metoda za prepoznavanje i procenu rizika;
- izgradnju otvorenog bezbednosnog okruženja zasnovanog na razmeni informacija;
- uključivanje svih relevantnih institucija kroz zajedničke obuke i razmenu iskustava;
- kontinuirano usavršavanje osoblja kroz obuke i licenciranje;
- striktno sprovođenje standardnih operativnih procedura i pripremni aktivnosti;
- uspostavljanje sistema za prijavljivanje događaja (obaveznih i dobrovoljnih);
- negovanje pozitivne bezbednosne kulture koja podstiče prijavljivanje i otvorenost;
- sprovođenje temeljnih i sistematskih istraga u slučaju incidenata;
- praćenje performansi bezbednosti kroz identifikaciju i otklanjanje zona povećanog rizika.

4. INDIKATORI BEZBEDNOSTI U VAZDUŠNOM SAOBRAĆAJU

Praćenje i analiza indikatora bezbednosti predstavlja osnovu za razumevanje trenutnog stanja bezbednosti u vazdušnom saobraćaju i za prepoznavanje oblasti koje zahtevaju intervenciju i unapređenje. Indikatori bezbednosnih performansi (eng. *Safety Performance Indicators – SPIs*) kvantitativno ili kvalitativno odražavaju efikasnost sistema upravljanja bezbednošću i omogućavaju merenje postignutih rezultata u odnosu na definisane ciljeve.

Bezbednosni ciljevi i bezbednosni indikatori u Republici Srbiji definisani su na osnovu principa Evropskog programa za bezbednost civilnog vazduhoplovstva. U skladu sa EASP, urađena je struktura nacionalnog plana bezbednosti, gde su aktivnosti podeljene u četiri kategorije [27]:

- Sistemska pitanja;
- Operativna pitanja;
- Novonastala pitanja,
- Nacionalna pitanja.

Bezbednosni indikatori mogu se podeliti u tri kategorije [27]:

- Bezbednosni indikatori prve kategorije se odnose na praćenje i merenje pojava koje za rezultat imaju ozbiljne posledice, kao što su ozbiljne nezgode i udesi. Njihova osnovna svrha je da kvantifikuju učestalost događaja sa najtežim posledicama po ugrožavanje bezbednosti, odnosno onih koji dovode do značajne materijalne štete, teških povreda ili gubitka ljudskih života. Ovi indikatori pružaju jasan uvid u krajnje ishode bezbednosnih slabosti i predstavljaju ključnu osnovu za procenu stvarnog nivoa bezbednosti u vazdušnom saobraćaju. Njihovo praćenje omogućava identifikaciju negativnih trendova i pravovremeno preduzimanje korektivnih mera u cilju smanjenja broja teških incidenata i udesa;
- Bezbednosni indikatori druge kategorije se koriste za praćenje delova sistema u kojima je neophodno primeniti bezbednosne mere (ozbiljne nezgode ili udesi). U ove indikatore spada: izletanje vazduhoplova sa rulne i poletno-sletne staze, neovlašćeni izlazak na poletno-sletnu stazu, sudar vazduhoplova u vazduhu i opasno približavanje, kontrolisani let u teren i slične situacije, gubitak kontrole nad vazduhoplovom u letu, bezbednost zemaljskih delatnosti i pojava vatre ili dima u vazduhoplovu u letu ili na zemlji koja nije rezultat udara;
- Bezbednosni indikatori treće kategorije su uzročni faktori nezgoda ili udesa koji pripadaju drugoj kategoriji. Praćenjem indikatora treće kategorije, definisanjem ciljeva bezbednosti izbegavaju se nezgode druge kategorije.

4.1. ANALIZA TRENUTNOG NIVOA BEZBEDNOSTI U VAZDUŠNOM SAOBRAĆAJU

Analiza trenutnog nivoa bezbednosti u vazdušnom saobraćaju zasniva se na sistematskom praćenju bezbednosnih performansi kroz definisane indikatore. Primena indikatora bezbednosti omogućava praćenje događaja i utvrđivanje trendova koji mogu ukazati na eventualna sistemska odstupanja ili slabosti u funkcionisanju sistema upravljanja bezbednošću.

Na osnovu izveštaja relevantnih nacionalnih i međunarodnih tela, uključujući Nacionalni plan bezbednosti civilnog vazduhoplovstva Republike Srbije, Evropski program za bezbednost civilnog vazduhoplovstva i godišnje bezbednosne izveštaje organizacija kao što su ICAO, EASA i IATA, može se konstatovati da se nivo bezbednosti u vazdušnom saobraćaju kontinuirano unapređuje.

Međutim, pojedini segmenti i dalje predstavljaju izazov, naročito kada su u pitanju ozbiljne nezgode i specifične kategorije događaja koje ne rezultiraju udesom, ali ukazuju na sistemske propuste.

Praćenjem indikatora prve kategorije, evidentan je trend smanjenja broja fatalnih udesa na globalnom nivou, što je rezultat uvođenja novih tehnologija, poboljšanih procedura i efikasnijeg regulatornog nadzora. S druge strane, indikatori druge i treće kategorije pokazuju povećanu učestalost pojedinih tipova incidenata, poput izletanja sa poletno-sletne staze, neovlašćenog ulaska na poletno-sletnu stazu kao i događaja povezanih sa gubitkom kontrole vazduhoplova u letu, što ukazuje na potrebu daljeg unapređenja preventivnih mera i obuke.

Zaključuje se da, iako statistički pokazatelji govore u prilog pozitivnog trenda smanjenja ozbiljnih nezgoda i udesa, postoji kontinuirana potreba za unapređenjem sigurnosnih praksi kroz integrisanje prediktivnih analiza i aktivno upravljanje sigurnosnim rizicima, posebno u oblastima koje su identifikovane kao kritične kroz indikatore druge i treće kategorije.

4.2. MOGUĆNOST UNAPREĐENJA NIVOVA BEZBEDNOSTI U VAZDUŠNOM SAOBRAĆAJU KROZ PRIMENU COST-BENEFIT ANALIZE

Cost-benefit analiza (eng. *Cost Benefit Analysis – CBA*) predstavlja ključni alat u odlučivanju o prioritetima ulaganja u bezbednost vazdušnog saobraćaja, jer omogućava objektivno vrednovanje koristi od uvođenja novih bezbednosnih mera u odnosu na troškove njihove implementacije. Primena ove analitičke metode omogućava donošenje racionalnih odluka zasnovanih na principima ekonomske efikasnosti, ali i na imperativu zaštite ljudskih života.

Upotreba cost-benefit analize u sektoru civilnog vazduhoplovstva omogućava regulatornim telima i operaterima da identifikuju mere koje donose najveću korist u smislu smanjenja broja nezgoda i posledica po ljudske živote, uz prihvatljive troškove implementacije. Ova analiza posebno je korisna pri donošenju odluka o uvođenju novih tehničkih rešenja, unapređenju procedura, obuke posada, kao i unapređenju infrastrukture i sistema nadzora.

U okviru razvijene metodologije u ovom radu, cost-benefit analiza se koristi kao završna faza procesa odlučivanja, kojom se kvantifikuje ekonomska opravdanost predloženih bezbednosnih mera. Na osnovu identifikovanih hazarda i njihovog prioritizovanja primenom fuzzy FARE metode, kao i rangiranja potencijalnih bezbednosnih mera primenom ADAM metode, cost-benefit analiza omogućava sveobuhvatnu procenu odnosa troškova i koristi. Na taj način se obezbeđuje donošenje odluka koje ne samo da smanjuju rizik od nastanka neželjenih događaja, već i osiguravaju optimalno korišćenje raspoloživih resursa u cilju postizanja maksimalnog efekta na unapređenje bezbednosti vazdušnog saobraćaja.

5. KLASIFIKACIJA I ANALIZA TROŠKOVA UDESA VAZDUHOPLOVA

Iako su udesi vazduhoplova relativno retki događaji u poređenju sa drugim vidovima saobraćaja, njihova ukupna šteta po bezbednost, imovinu, reputaciju i društvo u celini je izrazito visoka [29]. Oni izazivaju višeslojne posledice koje se ne mogu svesti samo na materijalne gubitke, već obuhvataju i širok spektar ekonomskih, regulatornih i etičkih pitanja [51]. Precizna klasifikacija i kvantifikacija troškova predstavlja osnov za procenu efikasnosti mera bezbednosti kroz analize troškova i koristi. Analiza troškova udesa vazduhoplova zahteva definisanje svih pojedinačnih troškova koji se javljaju kao posledica ugrožavanja bezbednosti vazdušnog saobraćaja. Svi oni se u praksi prema modelu troškova leta vazduhoplova mogu svrstati u dva osnovna tipa troškova, a to su direktni i indirektni troškovi [25, 26, 27, 29, 92, 120].

5.1. DIREKTNI TROŠKOVI

Direktni troškovi predstavljaju sve neposredne finansijske izdatke koji nastaju kao posledica konkretnog događaja, kao što je udes vazduhoplova, i obuhvataju materijalnu štetu, medicinsku negu i naknade povezane sa gubicima života. Ovi troškovi su uglavnom lako merljivi i mogu se dokumentovati, što ih čini osnovom za ekonomsku procenu posledica udesa u vazdušnom saobraćaju. Veći deo direktnih troškova, kao što su šteta na avionu, troškovi hitnih službi i medicinska zbrinutost povređenih, nadoknađuje se putem osiguravajućih polisa, čime se smanjuje neposredni finansijski udar na aviokompaniju. Pored toga, veće i profitabilne avio-kompanije često unapred odvajaju sredstva kao rezervu za slučaj neželjenog događaja čime stvaraju finansijski „jastuk“ koji im omogućava da pokriju rizike koji možda nisu u potpunosti obuhvaćeni osiguranjem. Ovakav pristup osigurava stabilnost poslovanja i smanjuju finansijske posledice nepredviđenih događaja. Direktni troškovi uključuju [26]:

- vrednost uništenog vazduhoplova;
- troškove hitnih službi (gašenje požara, evakuacija, spasavanje);
- medicinske troškove za povređene;
- naknade porodicama poginulih, uključujući osiguranje i odštete;
- repatrijaciju tela, smeštaj porodica, psihološka podrška porodici [59].

5.2. INDIREKTNI TROŠKOVI

Pored prethodno definisanih troškova koji se uglavnom pokrivaju preko osiguranja, postoje i brojni troškovi koje nije moguće osigurati. Sushinsko razumevanje ovih indirektnih troškova je ključno za sagledavanje ekonomskog aspekta bezbednosti vazdušnog saobraćaja.

Indirektni troškovi nastaju kao posledica dugoročnih efekata udesa na organizaciju i sektor, a obuhvataju sve one finansijske i operativne posledice koje se ne manifestuju odmah. Oni najčešće prevazilaze direktne troškove i mogu se manifestovati tokom više godina nakon samog događaja. Konačna vrednost ovih troškova može biti izuzetno visoka, a obično se sastoji od troškova koji se odnose na [26]:

- traganje za vazduhoplovom i spasavanje (troškovi osoblja koje učestvuje u istrazi);
- trenutno reagovanje aviokompanije (obraćanje aviokompanije u javnosti – troškovi akcija kojima se omogućava i osigurava zadržavanje pozicije aviokompanije na tržištu);
- istraga i veštačenje (troškovi osoblja angažovanog na ispitivanju događaja, troškovi neophodnih analiza, troškovi reparacije „olupine“ vazduhoplova i troškovi rekonstrukcije događaja);
- gubitak priliva sredstava usled negativnog „rejtinga“ na tržištu (direktan gubitak prihoda);
- povećanje troškova osiguranja (ukoliko su se operacije određene aviokompanije pokazale kao nebezbedne, osiguravajuće društvo joj može dodeliti kategoriju povećanog rizika i time povećati buduće premije osiguranja);
- gubitak reputacije (troškovi gubitka stečenog ugleda na tržištu, koji impliciraju direktne gubitke potencijalnih prihoda. Međutim, u situacijama u kojima određena aviokompanija posluje bez konkurencije na pojedinim linijama, troškovi gubitka reputacije su neznatni.).

Troškovi stradalih i povređenih lica, pored troškova štete nastale na samom vazduhoplovu, imaju najveći uticaj na ukupnu vrednost troškova bezbednosti. Iznos ovih troškova zavisi od vrste udesa/nezgode, kao i od popunjenosti putničke kabine [28]. Troškovi koji su nastali kao posledica udesa vazduhoplova i potencijalnih žrtava zahtevaju definisanje tzv. statističke vrednosti ljudskog života.

Upravo zbog toga, efektivno upravljanje bezbednošću u vazдушnom saobraćaju mora uzeti u obzir i indirektne troškove, jer oni mogu imati dugoročne posledice po finansijsku stabilnost i operativnu sposobnost aviokompanije.

6. KONCEPT STATISTIČKE VREDNOSTI LJUDSKOG ŽIVOTA

Troškovi stradalih i povređenih lica, pored troškova štete nastale na samom vazduhoplovu, imaju najveći uticaj na ukupnu vrednost troškova bezbednosti. Iznos ovih troškova zavisi od vrste udesa/nezgode, kao i od popunjenosti putničke kabine. Troškovi koji su nastali kao posledica udesa vazduhoplova i potencijalnih žrtava zahtevaju definisanje tzv. statističke vrednosti ljudskog života.

U ekonomskoj teoriji, statistička vrednost ljudskog života se definiše kao vrednost za koju društvo smatra da je ekonomski efikasno da potroši/uloži da bi se izbegla smrt pojedinca. Takođe, VOSL se može definisati kao monetarna vrednost povećanja bezbednosti, odnosno vrednost smanjenja rizika od smrtnosti [21].

Izraz „vrednost života“ je zapravo skraćeni oblik pojma „statistička vrednost ljudskog života“, pod kojim se podrazumeva monetarna vrednost smanjenja rizika od smrtnosti kojom bi se sprečio gubitak jednog statističkog života uzrokovan saobraćajnim udesom. Budući da se radi o očekivanim okolnostima, odnosno o statističkoj verovatnoći da će određeni broj života biti izgubljen ukoliko se ne preduzme odgovarajuća akcija koja podrazumeva regulativu, tehnologiju i obuku osoblja (preventivne mere), cilj bezbednosnih mera je očuvanje „statističkih (neidentifikovanih) života“.

6.1. NASTANAK STATISTIČKE VREDNOSTI LJUDSKOG ŽIVOTA

Stavljanje cene na ljudski život predstavlja jedno od najtežih pitanja sa kojima se ekonomisti suočavaju prilikom sprovođenja analize troškova i koristi. Ova analiza, koja predstavlja eksplicitnu normativnu osnovu za informisanje donosilaca politika o tome da li treba ili ne treba realizovati određeni projekat, uvedena je u procese planiranja transporta 1960-ih godina. U to vreme, jedini uticaji koji su bili uključeni u prve analize odnosili su se na vreme putovanja, operativne troškove vozila i nezgode. Budući da je ova tehnika zasnovana na principima ekonomije „blagostanja“, i da zahteva izražavanje svih uticaja politike u monetarnim terminima, neminovno se postavilo pitanje dodeljivanja novčane vrednosti spašavanju života ili kvalitetu života.

Terminologiju statističke vrednosti ljudskog života uveo je Šeling 1968. godine [96]. Po navodima ovog autora, neke od najranijih upotreba ovog parametra potiču upravo iz oblasti bezbednosti vazdušnog saobraćaja. Poreklo statističke vrednosti ljudskog života može se pratiti još 20 godina unazad. Jedan od ranih i ujedno najkontroverznijih primera uvođenja statističke vrednosti ljudskog života u formalne analitičke modele potiče iz perioda neposredno nakon što je Sovjetski Savez detonirao svoju prvu nuklearnu bombu. Tada je Ratno vazduhoplovstvo Sjedinjenih Američkih Država (eng. *United States Air Force – USAF*) zatražilo od Korporacije RAND (eng. *Research and Development Corporation – RAND*) da primenom systemske analize, razvije plan za potencijalni preventivni nuklearni napad na teritoriju Sovjetskog Saveza [16].

Ekonomisti angažovani u okviru RAND-a pokušali su da upotrebe metode operacionih istraživanja kako bi identifikovali optimalnu kombinaciju nuklearnih bombi i bombardera, sa ciljem maksimizacije nanete štete, uz ograničenja koja su uključivala fiksni novčani budžet (za nabavku, operativne troškove i održavanje borbenih sredstava), kao i ograničen pristup fisilnim materijalima³. Međutim, problem je nastao zbog toga što funkcija cilja, korišćena u optimizacionom modelu, nije

³ Fisilni materijali su materijali sposobni da održe lančanu nuklearnu fisiju, odnosno proces cepanja atomskih jezgara, pri čemu se oslobađa velika količina energije. Ovi materijali su ključni sastojci za rad nuklearnih reaktora i proizvodnju nuklearnog oružja.

dodeljivala nikakvu vrednost ljudskim životima – konkretno, životima pripadnika posada bombardera. Kao rezultat toga, model je favorizovao strategiju koja je podrazumevala korišćenje jeftinijih bombardera sa klipnim (propelerskim) motorima, koji su imali veći rizik po ljudski život, u odnosu na tada znatno skuplje, ali bezbednije bombardere na mlazni pogon, koje je USAF preferirao. Ovakvo zanemarivanje vrednosti ljudskog života izazvalo je snažno nezadovoljstvo unutar vojnih struktura, posebno među oficirima koji su prethodno bili piloti. Pod pritiskom tih nezadovoljstava, ali i šire političke reakcije, Korporacija RAND bila je primorana da revidira svoj pristup i u svoj model uključi eksplicitno statističko vrednovanje ljudskog života kao element optimizacione funkcije. U rešavanje ovog konceptualnog problema uključio se i Tomas Šeling, dobitnik Nobelove nagrade i jedan od najuticajnijih teoretičara strategijskog odlučivanja koji je i uveo terminologiju VOSL. Ovaj događaj označio je početak sistemskog uključivanja koncepta statističke vrednosti ljudskog života u analitičke procese odlučivanja. I do danas, pojam statističke vrednosti ljudskog života igra ključnu ulogu u procesu odlučivanja raspoloživog budžeta predviđenog za održavanje i unapređenje postojećeg nivoa bezbednosti u vazдушnom saobraćaju [16].

Suočeni sa statističkom verovatnoćom da će određeni broj života biti izgubljen ukoliko se ne preduzme određena radnja koja podrazumeva pravila, procedure i tehnologije koje imaju implikacije na bezbednost, agencije za bezbednost u vazduhoplovstvu su zainteresovane da sačuvaju „statistički ljudski život”. Aktivnosti sa velikim potencijalom za gubitak života, ili sa teškim ekonomskim i društvenim posledicama, oduvek su bile predmet kvantitativnih procena rizika, gde su kriterijumi prihvatljivosti rizika bili zasnovani na analizi troškova i koristi. Mnogi rizici mogu se smanjiti, ali po rastućim troškovima. Posmatrano iz tog ugla, poređenje koristi i troškova je neophodno kako bi se odabrala ona razina ulaganja u bezbednost pri kojoj se marginalna korist izjednačava sa marginalnim troškom [73].

Za vazduhoplovnu industriju, eksplicitno definisane statističke vrednosti ljudskog života su neophodne jer se donose investicione i operativne odluke u vezi sa objektima i sistemima koji povećavaju bezbednost. Takođe, operativne procedure – kao što su minimalni zahtevi za vidljivost pri sletanju, maksimalna dozvoljena poletna težina, ili količina rezervnog goriva – utiču i na profitabilnost aviokompanija, ali i na verovatnoću udesa [101]. Jednom kada se proceni, set statističkih vrednosti ljudskog života može poslužiti u više svrha [44]:

- Kao pokazatelj iznosa koji bi korisnici vazdušnog saobraćaja bili spremni da plate za povećanje bezbednosti;
- Kao referentna vrednost na osnovu koje se mogu upoređivati implicitne vrednosti ljudskog života u projektima i procedurama koje povećavaju bezbednost;
- Kao vodič i opravdanje za javne subvencije, ukoliko se društvene koristi, iznad nivoa korisničke „spremnosti na plaćanje“, mogu pripisati potencijalnim ulaganjima u bezbednost.

Tokom poslednjih pet decenija publikovan je značajan broj radova koji tretiraju problematiku određivanja kredibilne statističke vrednosti ljudskog života u svim sektorima društvenog delovanja [7, 9, 10, 11, 14, 16, 32, 48, 57, 69, 90, 116, 117]. Pandemija COVID-19 izazvala je veliki porast interesovanja za primenu koncepta statističke vrednosti ljudskog života u ekonomskim i zdravstvenim analizama. Mere koje su sprovedene i usmerene na ublažavanje posledica širenja virusa, analizirane su kroz prizmu toga koliko se ekonomski isplati spasiti jedan statistički život, što je otvorilo niz važnih etičkih, metodoloških i političkih pitanja u vezi sa upravljanjem rizikom u kriznim situacijama [103]. Međutim, razmatrajući različite pristupe i metode za određivanje ove vrednosti u oblasti vazdušnog saobraćaja, može se zaključiti da nije postignuta jednakost i uniformnost u definisanju ove vrednosti koja je jedna od ključnih elemenata za ocenu bezbednosti.

Dosadašnja iskustva pokazuju da se procene statističke vrednosti ljudskog života zasnivaju na političkim, psihološkim, socijalnim, kulturološkim, ekonomskim, bezbednosnim i drugim teško

merljivim parametrima [1, 18, 48, 58, 60, 95, 118, 119, 126]. Sredstva za smanjenje rizika treba da budu raspoređena na dosledan i pravičan način kako bi se postigli najbolji rezultati za društvo u celini [73]. U praksi, uvođenje mera koje koštaju desetine ili stotine miliona novčanih jedinica za očuvanje jednog ljudskog života se ne mogu racionalno i moralno opravdati kroz politike poslovanja.

6.2. OSNOVNI KONCEPT STATISTIČKE VREDNOSTI LJUDSKOG ŽIVOTA

Iako se smatra etički pogrešnim, vrednovanje ljudskog života je suštinski i neodvojivi element analize troškova i koristi, a time i neizbežan alat čija je jedina svrha da se stekne uvid u količinu resursa koji se moraju potrošiti na sprečavanje udesa i ozbiljnih incidenata i unapređenje ukupnog nivoa bezbednosti [1, 25, 42].

Određivanje statističke vrednosti ljudskog života je jedno od najkompleksnijih pitanja prilikom primene *cost-benefit* analize. U kontekstu ove analize, statistička vrednost ljudskog života predstavlja benefit. Ona predstavlja sumu „izbegnutih“ troškova od strane pojedinca i društva u slučaju sprečavanja gubitka života [41, 48, 73]. Statistička vrednost ljudskog života je takođe fundamentalno povezana sa konceptima vrednosti statističke godine života (eng. *Value of a Statistical Life Year – VSLY*) i vrednosti statističke povrede (eng. *Value of a Statistical Injury – VSI*), koji prožimaju literaturu o ekonomiji rada i zdravlja. Stoga se isti tipovi pristupa vrednovanju statističke vrednosti ljudskog života mogu koristiti za monetizaciju nefatalnih povreda i rizika od smrtnosti koji imaju veoma male efekte na očekivani životni vek [60]. Ekonomisti koriste termin „vrednost života“ kako bi uputili na novčanu vrednost povećane bezbednosti, posebno vrednost smanjenja rizika od smrtnosti [21]. Ovaj izraz je skraćeni oblik „statističke vrednosti ljudskog života“, koji definiše novčanu vrednost smanjenja rizika od smrtnosti koja bi sprečila jednu statističku smrt. Međutim, važno je napomenuti da ovu vrednost ne treba tumačiti kao stepen do kojeg su pojedinci spremni da plate da bi spasili određeni život [9].

Aktivnosti poput vazduhoplovnih operacija, koje imaju veliki potencijal da izazovu gubitak života ili značajne ekonomske ili socijalne posledice su oduvek bile predmet metodoloških i kvantitativnih procena rizika, pri čemu je kriterijum prihvatljivosti rizika baziran na *cost-benefit* analizi, posebno u delu kada je neophodno oceniti potrebna ulaganja za unapređenje bezbednosti. Ova metoda ekonomske analize, koja podrazumeva eksplicitnu normativnu osnovu kojom se upoređuju i vrednuju sve prednosti i nedostaci određenog projekta analizom troškova i koristi i time ima ključnu ulogu u procesu donošenja ispravne odluke i za korekciju projekata, je uvedena u procese planiranja saobraćaja šezdesetih godina [36]. Prvobitno, osnovni parametri koji su bili uključeni u prve analize su: vreme putovanja, operativni troškovi prevoznih sredstava i broj nezgoda ili udesa. Budući da se ova tehnika zasniva na ekonomici „blagostanja“ i zahteva definisanje parametara u monetarnom smislu, vrlo brzo su analize počele da uključuju određivanje novčane vrednosti očuvanja ljudskog života ili kvaliteta života.

6.3. MODELI (PRISTUPI) ZA PROCENU STATISTIČKE VREDNOSTI LJUDSKOG ŽIVOTA

Tehnike i modeli za procenu statističke vrednosti ljudskog života su razvijani tokom proteklih decenija do danas. Ipak, neizvesnost procena je prisutna i u savremenim istraživanjima. Najveći doprinos u ovoj oblasti je dao autor Viscusi [117]. Posebna pažnja u predloženom istraživanju biće

posvećena definisanju i opisu ove vrednosti, njenoj evoluciji kroz implementaciju na brojne probleme, kao i na različitim aspektima i mogućnostima primene.

6.3.1. Pristup ljudskog kapitala

Prvi pristup koji je korišćen za vrednovanje statističkog života bio je tzv. pristup „ljudskog kapitala“ (eng. *Human capital approach*), koji podrazumeva da je vrednost za prevenciju smrti ili povrede srazmerna vrednosti gubitka proizvodnje. Ovakav pristup je imao prilično neprihvatljivu posledicu kojom se pretpostavlja da očuvanje života ljudi van radnog veka, kao što su deca ili penzioneri, nema monetarnu vrednost, budući da oni nisu uključeni u proizvodne procese koji imaju jasnu tržišnu vrednost. Drugi nedostatak ovakvog pristupa je u tome što ne odražava individualne preferencije u vezi bezbednosti.

Ovaj pristup polazi od pretpostavke da se statistička vrednost ljudskog života može izračunati na osnovu ekonomske produktivnosti čoveka, odnosno iznosa budućih prihoda koje bi pojedinac ostvario tokom preostalog radnog veka [24, 76]. U tom smislu, prevencija smrti ili ozbiljne povrede ima onoliko vrednosti koliko bi gubitak pojedinca značio u smislu smanjenja ukupne proizvodnje ili dohotka u društvu. Ovakva interpretacija je bila dominantna tokom ranih faza razvoja ekonomske analize rizika i koristi, naročito u oblastima saobraćaja, industrije i zdravstvene politike sredinom 20. veka [24, 76, 79].

Međutim, ovaj pristup je ubrzo naišao na ozbiljne kritike. Jedna od najspornijih posledica koje proizilaze iz ovakvog modela jeste impliciranje da ljudski životi koji ne učestvuju aktivno u tržišnoj proizvodnji – poput dece, starijih osoba ili lica sa invaliditetom – nemaju ekonomsku vrednost, jer nisu izvor opipljive ekonomske dobiti. Time se implicitno potcenjuje značaj očuvanja života i dobrobiti onih članova društva koji, iako možda nisu radno aktivni, imaju izuzetno važnu socijalnu i emocionalnu. Ovakvo svođenje vrednosti ljudskog života na njegovu tržišnu produktivnost je društveno neodrživo, jer ignoriše temeljne vrednosti jednakosti, dostojanstva i univerzalne zaštite prava na život.

6.3.2. Pristup sudskih presuda

Jedan od alternativnih pristupa proceni statističke vrednosti ljudskog života oslanja se na metod koji je u literaturi poznat kao pristup sudskih presuda (eng. *Court award approach*). Ovaj pristup je delimično zasnovan na pristupu ljudskog kapitala, prema kojem se vrednost života izražava kroz ekonomski doprinos koji bi pojedinac ostvario tokom preostalog životnog veka da nije došlo do smrti. U osnovi, ovaj metod polazi od ideje da se vrednost života može kvantifikovati kao suma očekivanih budućih prihoda koje bi preminula osoba ostvarila, diskontovanih na sadašnju vrednost [23].

Međutim, ovaj pristup se u praksi retko oslanja isključivo na finansijske projekcije. Naime, u okviru sudskih postupaka za naknadu štete usled smrti, posebno u anglosaksonskim pravnim sistemima, porota (ili sudija u parničnom postupku) ima diskreciono pravo da u obzir uzme i nematerijalne štete, uključujući [8, 116]:

- emocionalnu bol i patnju članova porodice;
- gubitak društva i podrške koje bi preminuli pružali porodici;
- psihološke posledice za porodicu i prijatelje;

- kao i kaznene odštete (eng. *Punitive damages*), koje imaju za cilj kažnjavanje okrivljenog i odvraćanje od sličnog ponašanja u budućnosti.

Fleksibilnost koju sudovi imaju u odlučivanju o visini novčane nadoknade za gubitak života dovodi do velikih razlika u iznosima koji se dosuđuju u različitim slučajevima. Takva varijabilnost otežava mogućnost da se sudske presude koriste kao stabilan i pouzdan izvor za procenu statističke vrednosti ljudskog života, jer ne postoji jedinstven metod određivanja tih iznosa. Sudske odluke se zasnivaju na konkretnim okolnostima svakog pojedinačnog slučaja, što znači da iznosi odštete mogu značajno da variraju, čak i kada su posledice po žrtvu i njenu porodicu slične.

Ukoliko bi svi podaci koji su korišćeni prilikom donošenja presude bili jasno dostupni, bilo bi moguće izvršiti ono što se naziva analitičkom dekompozicijom ukupno dodeljene naknade. To znači da bi se ukupna vrednost presuđene odštete mogla razložiti na njene osnovne sastavne delove, odnosno na pojedinačne faktore koji su uticali na formiranje iznosa. Na taj način bilo bi moguće jasno razlikovati šta u okviru presude predstavlja privatni gubitak porodice – kao što su izgubljeni prihodi preminule osobe, troškovi lečenja i sahrane – a šta se odnosi na šire društvene posledice, poput psihološkog bola, narušenog blagostanja zajednice ili promene u ponašanju drugih učesnika u sistemu, na primer kroz veći oprez i povećane zahteve za bezbednosnim merama. Ova podela na privatne i društvene komponente ima važno značenje za kreiranje javnih politika. Naime, ukoliko je moguće jasno razumeti koja komponenta gubitka dominira, donosioci odluka mogu preciznije usmeravati sredstva i prioritete. Ako su gubici dominantno privatnog karaktera, politika bi se mogla fokusirati na osiguranje i porodičnu zaštitu, dok bi u slučaju pretežno društvenih posledica opravdanje moglo biti jačanje regulatornih okvira, preventivnih mera i intervencija u oblasti bezbednosti.

Uprkos potencijalu da se kroz ovakav pristup dobije dublje razumevanje efekata gubitka ljudskog života, korišćenje sudskih presuda za kvantitativno određivanje statističke vrednosti ljudskog života suočava se sa nizom nedostataka. Najpre, nedostaje konzistentnost u presudama, jer se svaka odluka donosi na osnovu različitih činilaca i u različitim kontekstima. Takođe, presude su podložne subjektivnim procenama sudija ili porota, čiji stavovi o „pravičnoj“ naknadi mogu varirati. Dodatno, geografske i kulturne razlike među zemljama, pa čak i među različitim regijama unutar iste države, dovode do neujednačenih standarda u određivanju odštete. Konačno, presude često nisu dokumentovane na način koji omogućava potpun uvid u sve faktore koji su uzeti u obzir prilikom određivanja konačne sume, što onemogućava pouzdanu analizu.

Zbog svega navedenog, pristup sudskih presuda u praksi se uglavnom koristi kao dopunski izvor informacija, dok se u regulatornim okvirima prednost daje modelima koji se oslanjaju na ponašanje i preferencije pojedinaca.

6.3.3. Pristup spremnosti društva da plati

Procena statističke vrednosti ljudskog života je danas uglavnom zasnovana na konceptu „spremnosti“ društva da plati (eng. *Willingness To Pay – WTP*), za malo smanjenje rizika kako bi se sačuvao jedan statistički život (neidentifikovan u pogledu starosti, pola i sl.) od smrti ili povrede [73]. Spremnost da se plati je mera koristi i podrazumeva osnovu cost-benefit analize. Iz toga se može zaključiti da statistička vrednost ljudskog života generalno obuhvata osiguranje i spremnost društva da plati kako bi se izbegle katastrofalne posledice. Budući da bezbednost nije tržišno dobro, neophodno je razviti metodologije za procenu koliko je svaki pojedinac spreman da plati za očuvanje i unapređenje postojećeg nivoa bezbednosti. U osnovi postoje tri metodologije koji se koriste u ove svrhe, i to: anketna istraživanja, ekonometrijske studije tržišta rada i studije specifičnih proizvoda. Procena spremnosti društva da plati za netržišna dobra (kao što je bezbednost vazdušnog saobraćaja) je kompleksan zadatak koji uključuje mnoge potencijalne hazarde. Pojedincu je veoma teško da

subjektivno oceni malo povećanje promene rizika. Pojedini rizici, kao što je verovatnoća udesa vazduhoplova, su toliko minorni (npr. jedan na 100,000 operacija), da pojedincu predstavlja problem da napravi razliku čak i u značajnijim promenama visine rizika, kao što bi bila dvostruko ili trostruko veća verovatnoća dešavanja nezgode/udesu. Iz tog razloga, kao osnovni nedostatak ovog pristupa ističe se nemogućnost dobijanja pravilne procene vrednosti koju je društvo spremno da plati. Pored toga, neodobrovanje ovog pristupa leži i u činjenici da spremnost da se plati u velikoj meri zavisi od sposobnosti društva da plati [95].

6.3.3.1. Anketna istraživanja

U okviru ove metodologije, pojedincu se postavlja niz pitanja koja imaju za cilj da mu pomognu da izrazi koliko bi sumu bio spreman da plati kako bi izbegao određeni (hipotetički) rizik. Međutim, ovaj pristup ima dve ključne slabosti. Prvo, ljudima je teško da racionalno procene veoma male promene u riziku. Neki rizici, poput verovatnoće udesa/nezgode vazduhoplova (npr. 1 na 100.000 operacija), toliko su mali da je pojedincu teško da uoči razliku čak i pri višestrukom uvećanju verovatnoće. Drugo, odgovori na ankete često variraju u velikoj meri među ispitanicima. Ukoliko odgovori nisu koncentrisani oko određene vrednosti tada statistička obrada podataka može biti nepouzdana, a dobijene vrednosti mogu da zavise od metoda analize, izbora uzorka, formulacije pitanja itd. U takvim slučajevima se postavlja pitanje da li su ti podaci uopšte upotrebljivi za ozbiljne analize troškova i koristi, jer rezultati mogu značajno varirati u zavisnosti od metodoloških pretpostavki, a ne stvarnih preferencija populacije. Treći problem predstavlja interpretacija slučajeva u kojima ispitanici dodeljuju nultu vrednost merama bezbednosti – ukoliko ti odgovori nisu racionalni, rezultati anketa postaju upitni [95].

6.3.3.2. Ekonometrijske studije tržišta rada

Osnovna ideja ove metodologije jeste da se kroz razliku u zaradama među radnicima, koji obavljaju poslove sa različitim nivoima rizika, može proceniti koliko je pojedinac spreman da prihvati određeni rizik u zamenu za višu platu. Iako su se raniji radovi često oslanjali na anketne metode, savremeni pristupi dominantno primenjuju ekonometrijske modele [95].

U ovim modelima, visina nadoknade (zarade) se objašnjava nizom determinanti – karakteristikama radnika (npr. obrazovanje, godine iskustva, starost), karakteristikama posla (npr. potrebni nivo veština, odgovornost, hijerarhijska pozicija), ali i pokazateljima stepena profesionalnog rizika, uključujući rizik od fatalnih ishoda. Ukoliko je model metodološki ispravno postavljen i dobro statistički prilagođen, značajna vrednost koeficijenta koji se odnosi na varijablu rizika može se tumačiti kao implicitna cena koju radnici traže da bi prihvatili dodatni rizik – tj. kao empirijska mera njihove spremnosti na plaćanje za smanjenje rizika [95].

Na osnovu tako dobijenih rezultata, moguće je ostvariti preciznije procene statističke vrednosti ljudskog života, koje se potom mogu koristiti u analizama troškova i koristi javnih politika, uključujući i one u oblasti bezbednosti u saobraćaju.

6.3.3.3. Studije specifičnih proizvoda

Treća metodologija koja se temelji na pristupu spremnosti društva da plati bavi se analizom konkretnih proizvoda i usluga koji su povezani sa različitim nivoima rizika po korisnika. Ovi pristupi direktno procenjuju koliko su potrošači spremni da plate za smanjenje rizika kroz izbor između alternativnih proizvoda koji se razlikuju u pogledu bezbednosti [95].

Spremnost na plaćanje u ovom kontekstu može se meriti na dva osnovna načina. Prvi pristup podrazumeva analizu cene koju potrošači plaćaju za bezbedniju varijantu proizvoda unutar homogene klase proizvoda. Na primer, ako postoje dve verzije automobila istog modela – jedna sa dodatnim bezbednosnim funkcijama (npr. napredni sistemi za kočenje, detekcija mrtvog ugla) i druga bez njih – razlika u ceni koju su potrošači spremni da plate za bezbedniju verziju, uz kontrolu za sve ostale karakteristike (performanse, izgled, brend itd.), predstavlja meru njihove implicitne spremnosti na plaćanje za smanjenje rizika [95].

Drugi pristup se zasniva na analizi ponašanja korisnika u pogledu upotrebe proizvoda koji doprinose povećanju lične bezbednosti. Na primer, korišćenje sigurnosnih pojaseva, kaciga, detektora dima ili vazdušnih jastuka može se posmatrati kao indikator spremnosti pojedinaca da aktivno izbegnu rizik. Kroz korelaciju između socio-demografskih karakteristika (kao što su starost, obrazovanje, prihod, iskustvo u vožnji) i obrasca korišćenja takvih bezbednosnih proizvoda, moguće je izvesti zaključke o njihovoj individualnoj toleranciji prema riziku, odnosno implicitnoj vrednosti koju pridaju sopstvenoj bezbednosti [95].

Ovi pristupi su posebno korisni jer se oslanjaju na realna ponašanja na tržištu, za razliku od anketnih istraživanja koja se zasnivaju na hipotetičkim scenarijima.

6.4. VOSL MODEL

Izraz „vrednost života“ predstavlja nesrećno pojednostavljenje izraza statistička vrednost ljudskog života, koji označava monetarnu vrednost smanjenja rizika smrtnosti (koji je mali i sličan među populacijom), a koji bi sprečio jednu statističku smrt. Stoga se ovaj pojam ne sme tumačiti kao iznos koji su pojedinci spremni da plate za spasavanje identifikovanog života [9].

6.4.1. Standardni model

Standardni model statističke vrednosti ljudskog života za jedan vremenski period može se predstaviti na sledeći način: pojedinac maksimizuje svoju očekivanu indirektnu korisnost, koja zavisi od stanja, i data je formulom [9]:

$$V \equiv pu(w) + (1 - p) v(w) \quad (1)$$

gde je p verovatnoća da će pojedinac preživeti posmatrani vremenski period, $u(w)$ predstavlja korisnost bogatstva w u slučaju da preživi, dok $v(w)$ označava korisnost istog nivoa bogatstva u slučaju smrti (najčešće se interpretira kao korisnost nasleđstva).

Ovaj model su uveli Dreze (1962) i Jones-Lee (1974), a kasnije je postao standard u literaturi o statističkoj vrednosti ljudskog života [9, 67, 73].

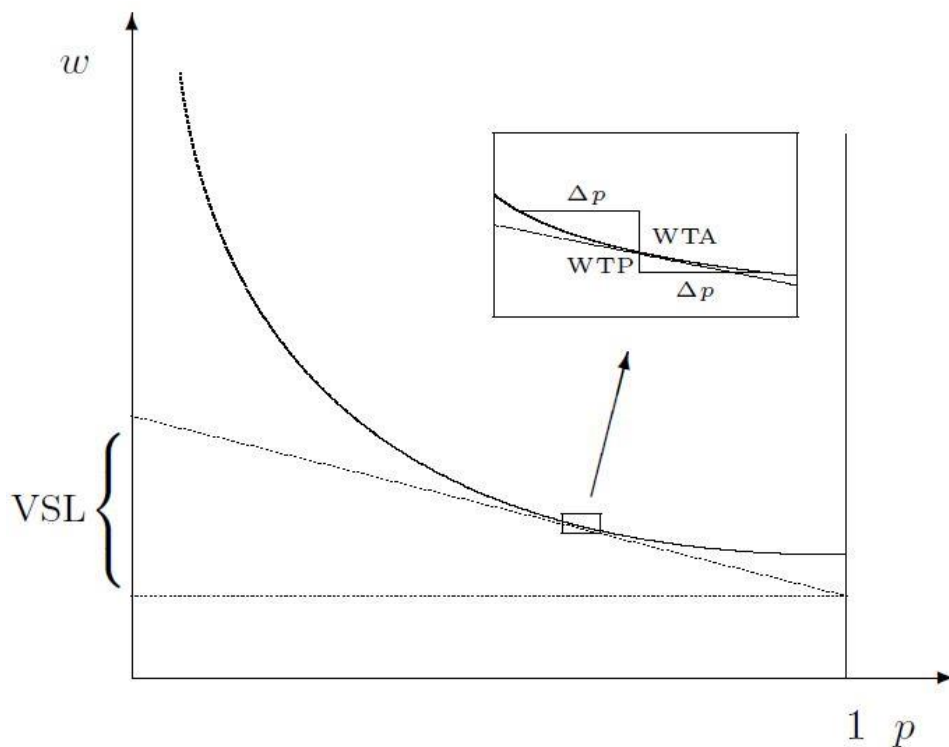
U skladu sa tim, mogu se usvojiti standardne pretpostavke da su funkcije u i v dvostruko diferencijabilne, uz sledeće odnose:

$$u > v; u' > v' \geq 0; u'' \leq 0 \text{ i } v'' \leq 0 \quad (2)$$

Drugim rečima, korisnosti zavisne od stanja (živ ili mrtav) rastuće su funkcije bogatstva i slabo konkavne. Na svakom nivou bogatstva, i korisnost i granična korisnost su veće ako je pojedinac živ nego ako je mrtav.

Pod ovim standardnim pretpostavkama, indiferentne krive u prostoru (w, p) su opadajuće i strogo konveksne, kao što je prikazano na Slici 17 [9]. Nagib krive predstavlja graničnu stopu supstitucije između verovatnoće preživljavanja (p) i bogatstva (w).

Spremnost društva da plati (WTP) odnosno spremnost na prihvatanje rizika (eng. *Willingness To Accept* – WTA) predstavlja maksimalan iznos koji je pojedinac spreman da plati (ili prihvati) za smanjenje (ili povećanje) rizika smrtnosti (Δp).



Slika 17 Statistička vrednost ljudskog života: Indiferentna kriva u odnosu na verovatnoću preživljavanja (p) i bogatstvo (w) [73]

Spremnost društva da plati (WTP) za smanjenje rizika od smrtnosti $\Delta p \equiv \varepsilon$ označava se kao $C(\varepsilon)$ i data je sledećom jednačinom:

$$(p + \varepsilon) u(w - C(\varepsilon)) + (1 - p - \varepsilon) v(w - C(\varepsilon)) = V \quad (3)$$

gde je V definisano u jednačini (1). Slično tome, spremnost na prihvatanje rizika od smrtnosti (WTA) $p \equiv \varepsilon$ označava se kao $P(\varepsilon)$ i data je sledećom jednačinom:

$$(p - \varepsilon) u(w + P(\varepsilon)) + (1 - p + \varepsilon) v(w + P(\varepsilon)) = V \quad (4)$$

Na osnovu jednačina (3) i (4), očigledno je da WTP i WTA zavise od veličine promene rizika ε . Međutim, za veoma male vrednosti ε , važno je naglasiti da bi WTP i WTA trebalo da budu gotovo jednake po iznosu i približno proporcionalne vrednosti ε .

Statistička vrednost ljudskog života ne meri koliko je pojedinac spreman da plati kako bi izbegao sigurnu smrt, niti koliko je spreman da prihvati kako bi se suočio sa sigurnom smrću. Ona meri WTP ili WTA za veoma malu promenu rizika. VOSL se dobija uzimanjem granične vrednosti WTP ili WTA kada promena rizika teži nuli, tj. kada je $\varepsilon \rightarrow 0$. Drugim rečima, VOSL predstavlja graničnu stopu supstitucije⁴ (eng. *Marginal Rate of Substitution – MRS*) između bogatstva i verovatnoće preživljavanja, odnosno (negativan) nagib indiferentne krive u tački (w, p) . VOSL se definiše na sledeći način:

$$VOSL \equiv \frac{-dw}{dp} = \frac{u(w)-v(w)}{pu'(w)+(1-p)v'(w)} \quad (5)$$

Statistička vrednost ljudskog života dakle zavisi posebno od karakteristika osnovnog (početnog) rizika, preko verovatnoće p , kao i od karakteristika samog pojedinca, preko funkcija korisnosti u, v i nivoa bogatstva w .

6.4.1.1. Efekat „ionako mrtav“

Efekat „ionako mrtav“ (eng. *Dead-anyway effect*) koji su definisali Pratt i Zeckhauser, a koji opisuje kako statistička vrednost ljudskog života raste sa početnim rizikom $(1 - p)$, odnosno kako statistička vrednost ljudskog života opada sa povećanjem verovatnoće preživljavanja p . Intuitivno, pojedinac koji se suočava sa velikom verovatnoćom smrti ima malo podsticaja da ograničava potrošnju na smanjenje rizika, jer je ionako mala verovatnoća da će preživeti. U izrazu (5), brojilac je nezavistan od p , dok smanjenje p smanjuje vrednost imenioca (budući da je $u' > v'$) [9].

6.4.1.2. Efekat bogatstva

Efekat bogatstva (eng. *Wealth effect*), koji opisuje kako statistička vrednost ljudskog života raste sa porastom bogatstva w . Intuicija iza ovog efekta je dvostruka [9]:

1. Bogatiji pojedinci imaju više toga da izgube ako umru – brojilac u jednačini (5) raste sa w (zato što je $u' > v'$),
2. Trošak potrošnje za njih je manji jer imaju slabo opadajuću graničnu korisnost (zbog averzije prema riziku), tj. imenilac u izrazu (5) se ne povećava (budući da je $u'' \leq 0$ i $v'' \leq 0$).

Kao posledica ova dva efekta, statistička vrednost ljudskog života raste kako se pojedinac kreće nagore i ulevo duž indiferentne krive, kao što je prikazano na Slici 17.

Pretpostavimo da je (granična) korisnost nasledstva jednaka nuli, tj. $v(w) = 0$, i da je funkcija korisnosti izoelastična, u obliku: $u(w) = w^{1-\gamma}/(1-\gamma)$, gde je $\gamma \in [0, 1]$

⁴ Granična stopa supstitucije je definisana kao odnos graničnih korisnosti dva dobra, tj. koliko jedinica jednog dobra pojedinac mora da žrtvuje da bi dobio dodatnu jedinicu drugog, pri čemu zadržava isti nivo korisnosti [87].

Ova pretpostavka daje sledeću formulu:

$$VOSL \equiv \frac{w}{p(1-\gamma)} \quad (6)$$

6.4.1.3. Averzija prema riziku i pozadinski rizici

Često se sugerše da statistička vrednost ljudskog života dobijena iz studija koje se zasnivaju na kompenzaciji za rad u rizičnim industrijama potcenjuje prosečnu VOSL u populaciji, jer osobe koje biraju da rade u takvim opasnim industrijama imaju manju averziju prema riziku. Međutim, ova tvrdnja zahteva preciznije definisanje onoga što se podrazumeva pod terminom „manja averzija prema riziku“.

Kod funkcija korisnosti koje ne zavise od stanja (npr. da li je osoba živa ili mrtva), uobičajeno je da se averzija prema riziku definiše preko koeficijenta zakrivljenosti funkcije korisnosti, kako su to uveli Pratt (1964) i Arrow (1971, poglavlje III) [9].

6.4.2. Višeperiodni modeli

U realističnijim višeperiodnim modelima, pojedinci imaju preferencije u vezi sa verovatnoćama trajanja života, kao i u vezi sa nivoima potrošnje u svakom periodu života. Ovaj pristup se može ilustrovati korišćenjem najjednostavnijeg dvoperiodnog modela [73]:

$$J \equiv \max_c u(c) + \beta p u(r(w - c)) \quad (7)$$

gde je β faktor diskontovanja, r faktor kamate, c potrošnja u prvom periodu, a p verovatnoća preživljavanja iz prvog u drugi period. Ne postoji motiv zaostavštine (nasleđa), a pojedinac koji preživi prvi period sigurno umire u drugom. Statistička vrednost ljudskog života, definisana kao marginalna stopa supstitucije između bogatstva w i verovatnoće preživljavanja p , tada iznosi:

$$VOSL = \frac{-dw}{dp} = \frac{\partial J / \partial p}{\partial J / \partial w} = \frac{u(r(w - c^*))}{p r u'(r(w - c^*))} \quad (8)$$

pri čemu je c^* optimalna potrošnja. Dobijena formula za statističku vrednost ljudskog života nije mnogo različita od one u jednoperiodnom modelu (5) (pod pretpostavkom da ne postoji motiv zaostavštine).

6.5. EMPIRIJSKI ASPEKTI

6.5.1. Izvlačenje preferencija

Uopšteno, postoje dve glavne metode za empirijsko merenje statističke vrednosti ljudskog života [13]:

1. Metode procene zasnovane na iskazanim preferencijama (eng. *Stated preference valuation methods*);

2. Metode procene zasnovane na otkrivenim preferencijama (eng. *Revealed preference valuation methods*).

Pristupi zasnovani na iskazanim preferencijama pokušavaju da utvrde statističku vrednost ljudskog života putem hipotetičke⁵ ili referencirane procene⁶. U ovom pristupu se najčešće koriste ankete, pri čemu način sprovođenja ankete ima veliki uticaj na procenjenu VOSL. Terminologija varira u okviru ovog pristupa. Modeli „iskazanog izbora“ (eng. *Stated choice models*) odnose se na novije i sofisticiranije modele zasnovane na iskazanim preferencijama koji se široko koriste u oblasti bezbednosti u saobraćaju, dok se „kontingentna procena“ (eng. *Contingent Valuation – CV*) češće vezuje za starije i potencijalno kontroverznije modele koji se koriste u procenama u životnoj sredini, gde CV i dalje ostaje najšire korišćena metoda za procenu vrednosti koje nisu povezane sa upotrebom (eng. *non-use values*) [13].

Metoda CV uključuje direktno postavljanje pitanja ljudima – putem ankete – koliko bi bili spremni da plate (WTP) ili private za konkretne ishode (WTA). Naziva se „kontingentna“ procena jer se od ispitanika traži da iskažu svoju spremnost da plate u zavisnosti od određenog hipotetičkog scenarija. U tom smislu, čini se da nema velike razlike između termina „kontingentna procena“ i „iskazane preferencije“. U oba slučaja, osnovna karakteristika je da vrednosti ne potiču iz stvarnih, realnih odluka, za razliku od metoda otkrivenih preferencija [13].

Postoje tri preferirana pristupa koja se mogu koristiti za procenu statističke vrednosti ljudskog života [13, 73]:

1. **Ex-post pristup:** Ako biste se suočili sa stanjem k , koliko biste bili spremni da platite kako biste imali koristi od intervencije z ?
2. **Ex-ante pristup:** Ako bi verovatnoća da doživite stanje k bila i %, koliko biste bili spremni da platite kako biste dobili intervenciju z ?
3. **Ex-ante pristup zasnovan na osiguranju** (eng. *insurance-based*): Koliko biste bili spremni da platite za osiguranje koje bi pokrilo troškove intervencije z u slučaju da dođe do stanja k ? (Ova metoda se smatra najrealističnijom, jer najtačnije odražava uslove iz stvarnog života.)

U pristupu zasnovanom na otkrivenim preferencijama koriste se empirijske studije iz stvarnog sveta kako bi se prikupile informacije o ponašanju ljudi kada su zaista suočeni sa kompromisima. Ograničenje ovog pristupa je u tome što se mogu analizirati samo oni kompromisi koje su ljudi zaista iskusili, pa se statistička vrednost ljudskog života može izvesti samo iz tih slučajeva [73].

Velika prednost ovog pristupa je to što se on samopotvrđuje, jer se cene izводе iz stvarnih kupovina, ponašanja koje uključuje preuzimanje rizika ili drugih razmena, koje najčešće uključuju razlike u zaradama kao kompenzaciju za rizik ili istraživanja tržišta proizvoda (npr. cena za kupovinu vazdušnih jastuka ili za instalaciju protivpožarnih uređaja poput detektora dima) [73].

⁵ Hipotetičke procene podrazumevaju da se ispitanicima u anketi predstavi izmišljeni (ali realističan) scenario u kome moraju da odluče koliko bi bili spremni da plate za neku korist (npr. bezbedniji prevoz, lek, zaštitu). Ove procene ne zavise od stvarnog ponašanja ljudi već oni samo deklarativno izražavaju svoje stavove [13].

⁶ Referencijalne procene podrazumevaju da se ispitanicima u anketi predstavi scenario koji može da bude zasnovan na stvarnim iskustvima drugih ljudi, prethodnim događajima, poznatim slučajevima iz medija ili statističkim podacima. Ova procena je slična hipotencičkoj, ali se poziva na stvarne činjenice [13].

6.5.2. Procena VOSL iz literature

Različite zemlje, kao i različiti sektori unutar jedne zemlje, koriste različite statističke vrednosti ljudskog života. Međutim, istraživanja takođe ukazuju na to da bi vrednosti VOSL trebalo da se razlikuju, budući da se i preferencije razlikuju u zavisnosti od karakteristika populacije i rizika. Ispitivanja niza alternativnih vrednosti sprovedena u brojnim studijama uglavnom se kreću u rasponu od 1 do 10 miliona američkih dolara [126].

6.5.3. Politika upotrebe VOSL u vazдушnom saobraćaju

Ključne zainteresovane strane (vazduhoplovne organizacije, agencije, itd.) koje se bave pitanjem određivanja statističke vrednosti ljudskog života su: EUROCONTROL, EASA, ICAO, USDOT ili DOT i ASTER [73].

EUROCONTROL je Evropska organizacija za bezbednost vazdušne plovidbe. Osnovana je 1960. godine i predstavlja međunarodnu organizaciju koja radi na postizanju jedinstvenog evropskog upravljanja vazдушnim saobraćajem. EUROCONTROL je civilna organizacija koja trenutno ima 41 zemlju članicu, a sedište joj se nalazi u Harenu, u Briselu. Organizacija koordinira i planira kontrolu vazdušnog saobraćaja u celoj Evropi, sarađujući sa nacionalnim vlastima, pružaocima usluga vazdušne plovidbe, civilnim i vojnim korisnicima vazdušnog prostora, aerodromima i drugim organizacijama. Aktivnosti obuhvataju sve faze pružanja usluga vazdušne plovidbe – od strateškog do taktičkog upravljanja saobraćajem, obuke kontrolora, regionalne kontrole vazdušnog prostora, bezbednosno potvrđenih tehnologija i procedura, kao i naplate taksi za korišćenje usluga vazdušne plovidbe [73]. Preporučena statistička vrednost ljudskog života prema EUROCONTROL-u iznosi 3,3 miliona evra [39].

EASA je Evropska agencija za bezbednost vazdušnog saobraćaja, agencija Evropske unije koja ima regulatornu i izvršnu funkciju u oblasti bezbednosti civilnog vazduhoplovstva. Sa sedištem u Kelnu, Nemačka, EASA je osnovana 15. jula 2003. godine, a punu funkcionalnost je postigla 2008. godine preuzimanjem nadležnosti od Zajedničkih vazduhoplovnih vlasti (eng. *Joint Aviation Authorities – JAA*). Zemljama članicama Evropske asocijacije slobodne trgovine (eng. *European Free Trade Association – EFTA*) omogućeno je učešće u radu agencije. Nadležnosti EASA obuhvataju sprovođenje bezbednosnih analiza i istraživanja, odobravanje stranih operatora, davanje stručnih saveta u vezi sa izradom zakonodavstva Evropske Unije (eng. *European Union – EU*), implementaciju i nadzor nad bezbednosnim pravilima (uključujući i inspekcije u državama članicama), izdavanje sertifikata za tip aviona i komponenti, kao i odobravanje organizacija koje se bave projektovanjem, proizvodnjom i održavanjem avio-proizvoda. Preporučena statistička vrednost ljudskog života prema EASA iznosi 2 miliona evra [73].

Odluka Saveta 2001/539/EC od 5. aprila 2001. godine, kojom je Evropska zajednica prihvatila Konvenciju za unifikaciju određenih pravila za međunarodni vazdušni prevoz (poznatu kao Montrealska konvencija), objavljena je u Službenom listu L 194 od 18. jula 2001. godine. Ovom odlukom ratifikovana je Montrealska konvencija koju je usvojila Međunarodna organizacija civilnog vazduhoplovstva. Montrealska konvencija ustanovljava sistem odgovornosti avio-prevoznika za štetu nastalu u međunarodnom vazдушnom saobraćaju. U skladu sa njenim odredbama, aviokompanije snose objektivnu (strogu) odgovornost za dokazanu štetu do iznosa od 113.100 Specijalnih prava vučenja (eng. *Special Drawing Rights – SDR*⁷). Specijalna prava vučenja predstavljaju obračunsku

⁷ SDR nije fizička valuta i ne koristi se za plaćanje u svakodnevnim transakcijama. To je obračunska jedinica koja služi kao osnova za međunarodne monetarne transakcije i kompenzaciju između centralnih banaka i

jedinicu koju definiše Međunarodni monetarni fond (eng. *International Monetary Fund – IMF*) kao korpu nekoliko ključnih svetskih valuta (evro, američki dolar, japanski jen, britanska funta i kineski yuan) [73].

U momentu kada su Sjedinjene Američke Države ratifikovale Konvenciju 2003. godine, navedeni iznos od 113.100 SDR odgovarao je približno 138.000 američkih dolara po putniku, dok je prema kursu iz decembra 2012. godine ta vrednost dostigla oko 175.989 USD (odnosno 136.972 evra prema tadašnjem kursu). Za iznose štete koji prelaze 113.100 SDR, avio-prevoznik može izbeći odgovornost samo ukoliko dokaže da do nesreće nije došlo usled njegove nemarnosti ili da je odgovornost snosila treća strana. Ova pravna mogućnost ne važi kada se traži nadoknada do iznosa od 113.100 SDR – u tom slučaju prevoznik nema pravo na izuzeće od odgovornosti. Montrealska konvencija takođe je proširila nadležnost sudova, u poređenju sa prethodnim Varšavskim režimom, omogućavajući putnicima ili njihovim porodicama da pokrenu tužbu protiv stranog avio-prevoznika u zemlji u kojoj žrtva ima stalno prebivalište. Takođe, Konvencija obavezuje sve aviokompanije da imaju obavezno osiguranje odgovornosti za putnike [22, 73].

Montrealska konvencija, koja je usvojena 1999. godine na diplomatskoj konferenciji zemalja članica ICAO, predstavlja savremeni međunarodni pravni okvir za regulisanje prava i obaveza u međunarodnom vazdušnom prevozu putnika, prtljaga i robe. U kontekstu statističkog vrednovanja ljudskog života, iznos od 113.100 SDR često se koristi kao orijentaciona VOSL u okviru sistema odgovornosti u avijaciji [22].

Ministarstvo saobraćaja Sjedinjenih Američkih Država (USDOT ili DOT) predstavlja federalno ministarstvo u okviru vlade SAD, nadležno za pitanja saobraćaja. Osnovano je aktom Kongresa 15. oktobra 1966. godine, a sa radom je počelo 1. aprila 1967. godine. Ministarstvom rukovodi Sekretar za saobraćaj Sjedinjenih Američkih Država (eng. *United States secretary of transportation*). Misija ovog ministarstva jeste da obezbedi brz, bezbedan, efikasan, pristupačan i praktičan sistem saobraćaja koji zadovoljava ključne nacionalne interese i doprinosi unapređenju kvaliteta života građana Sjedinjenih Američkih Država. Na osnovu dokumenta *Revised Departmental Guidance: Treatment of the Value of Preventing Fatalities and Injuries in Preparing Economic Analyses of the USDOT* iz 2008. godine, preporučena statistička vrednost ljudskog života koju koristi USDOT iznosi 12,5 miliona evra po izbegnutoj smrti [73].

Ciljani bezbednosni nivoi u civilnom vazduhoplovstvu za potrebe efikasne regulative (ASTER) je projekat koji je sproveden u ime Generalnog direktorata VII Evropske komisije tokom 2000. i 2001. godine. Projekat ASTER je iniciran kao odgovor na Ključnu akciju 2.2 iz Petog okvirnog programa Evropske komisije („*Konkurentni i održivi rast*“). Ova akcija definiše ciljeve istraživanja i tehnološkog razvoja u cilju promocije održivosti transporta sa ekonomskog, društvenog i ekološkog stanovišta, uz istovremeno unapređenje bezbednosti, sigurnosti i optimizaciju ljudske uloge i performansi. Udruženje ASTER-a, u okviru Radnog paketa 3 (eng. *Work Package 3*), koji su pripremili NEI Transport, Airclaims i NLR za Generalni direktorat za transport i energetiku Evropske komisije u martu 2001. godine, predložilo je listu zvaničnih vrednosti koje su u to vreme bile u upotrebi u Evropi (Prilog 1) [38, 73].

Međunarodnog monetarnog fonda. SDR je međunarodna rezervna imovina. SDR nije valuta, ali je njegova vrednost zasnovana na korpi od pet valuta - američkom dolaru, evru, kineskom juanu, japanskom jenu i britanskoj funti sterlinga [55].

Statistička vrednost povrede

Uspostavljena je procedura za vrednovanje sprečenih povreda u vazduhoplovstvu na osnovu trenutne statističke vrednosti ljudskog života i skraćene skale povreda (eng. *Abbreviated Injury Scale – AIS*). AIS je sveobuhvatan sistem za ocenjivanje težine povreda. Ovaj sistem prepoznaje šest nivoa težine povreda. On klasifikuje nefatalne povrede u pet kategorija u zavisnosti od kratkoročne težine povrede. Šesta kategorija odgovara povredama koje dovode do smrti 30 ili više dana nakon nesreće. Pet nefatalnih AIS kategorija zasnivaju se prvenstveno na opasnosti po život koju predstavlja povreda. [39]. Prilog 1 daje pregled klasifikacije različitih povreda prema nivou AIS-a i njihovoj opasnosti po život prema pristupu i podacima iznetim u priručniku o spoljnim troškovima transporta [114]. Dakle, Prilog 1 prikazuje: nivoe povreda, kategorije povreda, procenete koji predstavljaju odnos statističke vrednosti povrede u odnosu na statističku vrednost ljudskog života, kao i izračunate novčane iznose statističke vrednosti povreda u evrima, na osnovu tih procenata i prethodno utvrđene statističke vrednosti ljudskog života. U okviru ovog pristupa koristi se šest nivoa povreda, pri čemu MAIS 1 i MAIS 2 predstavljaju lake povrede, MAIS 3 do MAIS 5 teške povrede, dok MAIS 6 označava smrtni ishod [39].

Određivanje troškova ozbiljnih povreda je slično kao i za gubitak života. Pojedinaac nije sposoban da radi i zarađuje svoju platu i pored toga, mora da plaća medicinske troškove. Njegova porodica takođe gubi svoj deo prihoda. Tu su i troškovi istrage nesreće i gubici usluga u zajednici. Nažalost, osim brojeva, vrlo malo se zna o obimu povreda, prosečnoj dužini hospitalizacije, medicinskim troškovima i tako dalje. Ovde se pretpostavlja da je prosečan interval koji je pojedincu potreban da se oporavi od nesreće oko pola godine [39, 73].

6.6. ETIKA, VARIJABILNOST I ZNAČAJ STATISTIČKE VREDNOSTI LJUDSKOG ŽIVOTA U VAZDUŠNOM SAOBRAĆAJU – OSNOVA ZA RAZVOJ METODOLOGIJE OPTIMIZACIJE ULAGANJA U BEZBEDNOST

Savremena etička stanovišta su zasnovana na moralnim načelima koja se protive dodeljivanju novčane vrednosti ljudskom životu. Kada se vrši procena statističke vrednosti ljudskog života, potrebno je razmotriti brojna pitanja. Postoje i konceptualna pitanja koja treba uzeti u obzir. Naime, u sektoru saobraćaja, statistička vrednost ljudskog života se može razlikovati u zavisnosti od individualnih karakteristika samog vida prevoza unutar jedne zemlje. Pri tome, pod značajnim individualnim karakteristikama se podrazumevaju prihod, starost i kultura, dok se karakteristike vida prevoza odnose na nivo rizika i individualni stepen kontrole tokom prevoza.

Zavisnost statističke vrednosti ljudskog života od demografskih faktora kao što su starost, rasa, pol i zdravstvene navike je bila predmet istraživanja u postojećoj literaturi [8, 119]. Razumevanje ovih zavisnosti ima ključnu ulogu u definisanju bezbednosnih politika i strategija u vazdušnom saobraćaju. Iako se ovi faktori mogu značajno razlikovati među različitim grupama, važno je naglasiti da statistička vrednost ljudskog života ne bi trebalo da zavisi od demografskih ili socioekonomskih karakteristika pojedinca. Imovinska karta pojedinca takođe može uzrokovati velike međuljudske razlike [60]. Heterogenost statističke vrednosti ljudskog života je u praksi kontroverznija ukoliko se razmatra i način na koji je došlo do njenog gubitka [117]. Zbog toga je od ključne važnosti da se prilikom analize bezbednosnih rizika ne razmatra samo ekonomska vrednost ljudskog života, već i etički principi, uvažavajući jedinstvenost svakog pojedinca. U tom smislu, prioritet bi trebalo da bude prevencija nezgoda i udesa i minimiziranje bezbednosnih rizika za sve putnike, bez obzira na njihove demografske ili socioekonomske karakteristike. Ovakav pristup omogućava da bezbednost u

vazdušnom saobraćaju bude postavljena kao univerzalna vrednost, koja se kontinuirano unapređuje u cilju zaštite svakog pojedinca (odnosno za svaki ljudski život).

Bezbednost se smatra „normalnim“ dobrom, što znači da su lica sa većim dohotkom „spremniji da plate“ i time mogu ostvariti veću statističku vrednost ljudskog života. To takođe objašnjava zbog čega su procene statističke vrednosti ljudskog života niže u zemljama u razvoju (zemlje trećeg sveta) u odnosu na razvijene zemlje. Osetljivost statističke vrednosti ljudskog života na imovinsku moć pojedinca je prikazana u brojnim studijama [11, 119]. Međutim, korišćenje različite vrednosti statističke vrednosti ljudskog života za različite vidove prevoza usled različite prosečne visine ličnog dohotka, stvara oprečna etička i ekspertska pitanja. Primera radi, ukoliko korisnici usluga vazdušnog saobraćaja imaju veću imovinsku moć u odnosu na korisnike usluga železničkog saobraćaja, može se zaključiti da više vrednosti statističke vrednosti ljudskog života treba implementirati kroz bezbednosnu politiku u operacijama vazduhoplova, u odnosu na npr. politiku bezbednosti železničkog saobraćaja. Takođe, moguće je utvrditi i funkcionalnu zavisnost između statističke vrednosti ljudskog života i socijalnog statusa putnika kod niskotarifnih avioprevoznika.

U teoriji, statistička vrednost ljudskog života za određenu primenu treba da odražava nivo njenog rizika [125]. Bezbednosne analize u različitim vidovima prevoza se najčešće sprovode na osnovu broja žrtava na milijardu ostvarenih putovanja, sati ili pređenih kilometara. Budući da ova poređenja favorizuju vazdušni saobraćaj u odnosu na konvencionalne načine drumskog prevoza, u praksi bi se to manifestovalo nižom statističkom vrednosti ljudskog života za putnike u vazdušnom saobraćaju u odnosu na putnike u drumskom saobraćaju [73]. Primera radi, procena statističke vrednosti ljudskog života u drumskom i vazdušnom saobraćaju ima značajan uticaj na usvajanje saobraćajnih politika, donošenje odluka u vezi sa infrastrukturnim ulaganjima i regulativom, kao i na bezbednost ljudi. Razumevanje razlika između statističke vrednosti ljudskog života ova dva sektora omogućava ekonomistima, inženjerima i drugim ekspertima u sektoru saobraćaja da preciznije procene potencijalne koristi od ulaganja u bezbednost, kao i da usmere potrebne resurse na najefikasniji način [73].

Stepen kontrole, upravljivosti i odgovornosti koje pojedinac ima u određenom vidu prevoza takođe utiče na „vrednost“ njegovog života. Pojedina istraživanja sugerišu da se rizici na koje je moguće ostvariti manji uticaj kako bi se izbegle njihove negativne posledice višestruko precenjuju [18, 57]. Putnici u železničkom ili vazdušnom saobraćaju mogu subjektivno osećati niži stepen kontrole nad svojom bezbednošću u odnosu na putovanje sopstvenim vozilom i zbog toga su spremni da plate više za unapređenje nivoa bezbednosti u navedenim vidovima saobraćaja.

Važno je razmotriti i kvalitet života u preostalim („sačuvanim“) godinama života. U slučaju narušenog zdravlja i kvaliteta života, pojedincu ljudski život može imati manju vrednost u odnosu na onu vrednost koju bi imao u „dobrom“ zdravlju. Iz tog razloga, neki analitičari su predložili da ova mera treba da bude prilagođena kvalitetu života [115].

Postavlja se pitanje da li jedinstvena i zajednička statistička vrednost ljudskog života u određenom sektoru kao što je vazdušni saobraćaj, treba da bude definisana u odnosu na navedene faktore. U savremenoj literaturi definišu se argumenti „pravičnosti“ za korišćenje „prosečne“ statističke vrednosti ljudskog života unutar jedne zemlje [125], pa čak i unutar grupe zemalja poput Evropske Unije [84].

Predloženo istraživanje u okviru doktorske disertacije nadovezuje se na navedene pristupe u proceni statističke vrednosti ljudskog života i biće zasnovano na stečenim znanjima (eng. *Best Practice*) iz prošlosti. Do sada ovakav pristup nije razmatran u literaturi.

U skladu sa tim, prepoznata je potreba za ispitivanjem mogućnosti definisanja statističke vrednosti ljudskog života koja će biti zasnovana na usaglašenom i etički ravnopravnom interesu društva kao celine. Iz tog razloga, problem određivanja statističke vrednosti ljudskog života odabran je za predmet istraživanja u jednom koraku metodologije u doktorskoj disertaciji imajući u vidu da ova vrednost

može poslužiti kao polazna osnova za ocenu bezbednosti, uz mogućnost prilagođavanja ove vrednost specifičnim zahtevima.

U vazdušnom saobraćaju je potrebno definisati statističku vrednost ljudskog života, budući da se ulaganja i operativni troškovi moraju zasnivati na merama koje promovišu bezbednost. Brojni rizici se u praksi mogu eliminisati ili smanjiti uz određena finansijska ulaganja. U skladu sa tim, cilj predloženog istraživanja je da se razvije metodologija za vrednovanje ovog osnovnog parametra kako bi se izabrala ona mera ulaganja u nivo bezbednosti pri kojoj će se postići izjednačenje marginalnih koristi i troškova. Takođe, cilj je i da se iskoristi znanje iz prošlosti i da se to znanje pohrani u metodologiju koja će omogućiti optimizaciju ulaganja u bezbednost baziranu na indikatorima statističke vrednosti ljudskog života u operacijama vazduhoplova i time se omogućiti pojednostavljen i kontinuirani razvoj i unapređenje sveobuhvatnog nivoa bezbednosti u operacijama vazduhoplova.

7. METODOLOGIJA SABEL

Metodologija optimizacije ulaganja u bezbednost u operacijama vazduhoplova, razvijena u okviru predmetnog istraživanja – kao instrument za identifikaciju, kvantifikaciju i vrednovanje koristi od bezbednosnih mera na osnovu statističke vrednosti ljudskog života – nosi naziv SABEL metodologija, što predstavlja skraćenicu od:

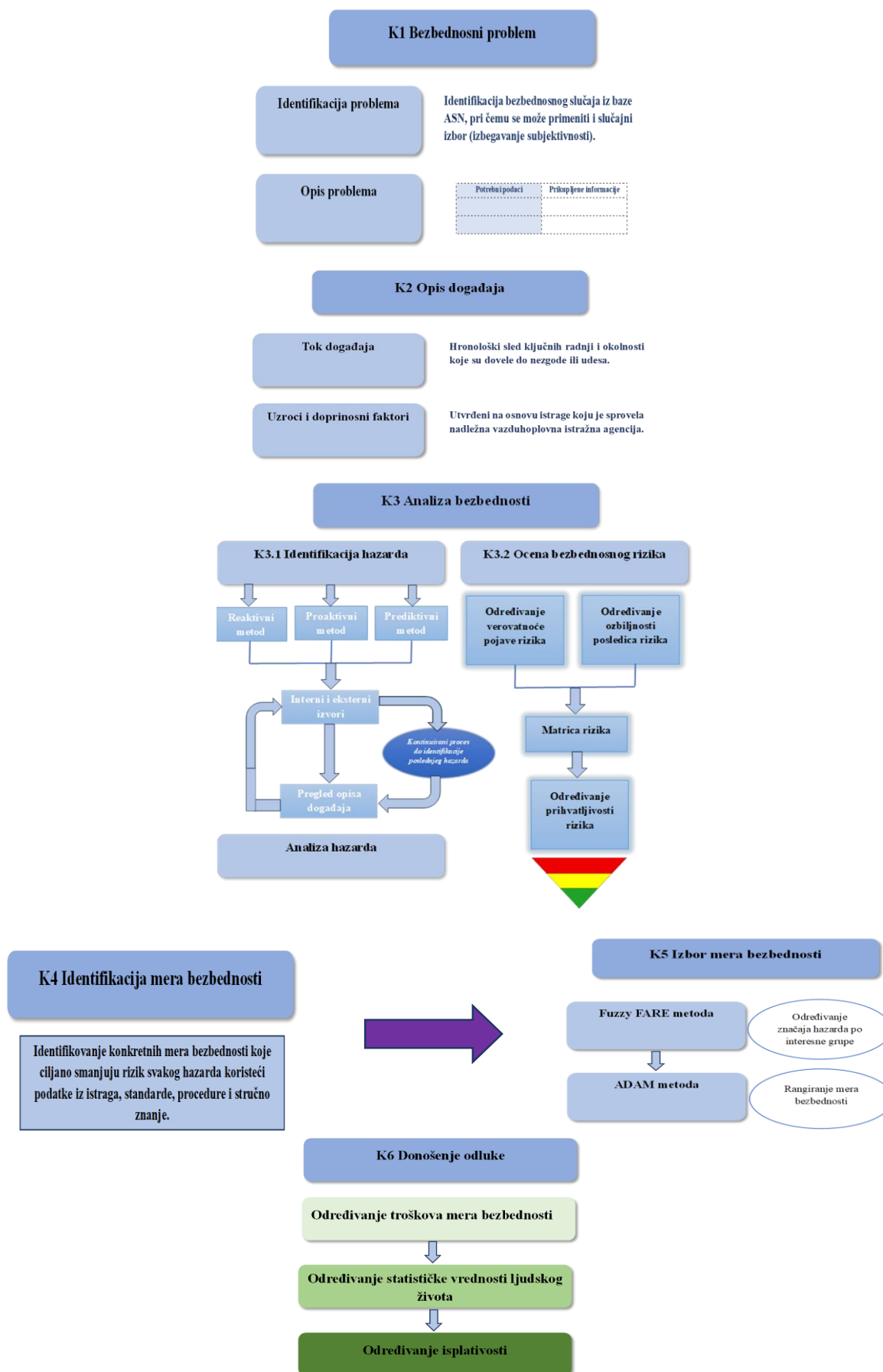
- **S** – eng. Safety;
- **A** – eng. Assessment;
- **BE** – eng. Benefit Evaluation;
- **L** – eng. Life-based.

SABEL metodologija je utemeljena na principima kvantitativnog odlučivanja, integracijom statističkih, ekonomskih i bezbednosnih pokazatelja u jedinstveni analitički okvir. Osnovni cilj metodologije jeste omogućavanje racionalnog i transparentnog donošenja odluka o investiranju u bezbednosne mere, na osnovu odnosa između očekivane koristi (izražene kroz izbegnuti gubitak života) i ukupnih troškova implementacije.

Njena primena naročito je značajna u oblastima:

- Upravljanja bezbednošću i unapređenja sistema upravljanja bezbednošću;
- Prioritizacije ulaganja u bezbednost u operacijama vazduhoplova;
- Donošenja regulatornih i strateških odluka zasnovanih na analizi koristi i troškova.

Metodologija SABEL sastoji se od šest osnovnih koraka (Slika 18), koji čine logički sled analitičkog procesa procene bezbednosnih ulaganja. Ti koraci su detaljno prikazani i objašnjeni u nastavku. Struktura i tok SABEL metodologije predstavljeni su na sledećoj slici.



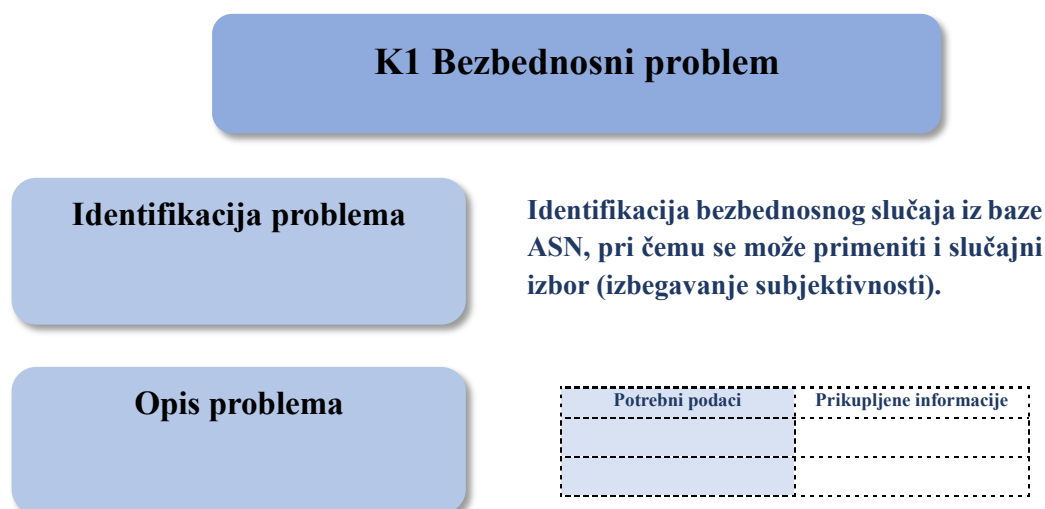
Slika 18 Izgled metodologije SABEL

7.1. KORAK 1: BEZBEDNOSNI PROBLEM

Prvi korak metodologije (Slika 19) obuhvata identifikaciju bezbednosnog slučaja za analizu. Ukoliko istraživač ne želi da unapred subjektivno odabere konkretan slučaj, metodologija omogućava i slučajni izbor događaja iz baze *Aviation Safety Network (ASN)*, čime se dodatno potvrđuje univerzalna primenljivost razvijene metodologije. Na taj način, metodologija SABEL može se koristiti za kvantitativnu i kvalitativnu analizu koristi od ulaganja u bezbednosne mere na osnovu bilo kog događaja iz baze podataka ASN, čime se osigurava njena prilagodljivost različitim kontekstima i potrebama vazduhoplovnih operacija. Baza *Aviation Safety Network* predstavlja jedan od najrelevantnijih izvora informacija o vazduhoplovnim udesima na globalnom nivou. Bazi podataka se može pristupiti na više načina, uključujući pretragu putem indeksa tipova vazduhoplova, indeksa geografskog regiona ili zemalja, indeksa kategorije događaja ili kroz listu registracija vazduhoplova. U procesu prikupljanja definišu se ključni kriterijumi pretrage, kao što su vremenski okvir (npr. poslednjih 10–20 godina), tip operacije (putnički, kargo, regionalni prevoz) i relevantnost događaja sa aspekta težine posledica.

Analiziranjem događaja koji su se već dogodili stiču se konkretne informacije o stvarnim uzrocima i faktorima rizika koji su doveli do nezgode i udesa, što omogućava razumevanje slabosti sistema i kompleksne lančane greške u operacijama vazduhoplova. Na osnovu toga mogu se razviti i unaprediti mere bezbednosti – kao što su procedure, obuke, tehničke izmene i nadzor – koje sprečavaju ponavljanje sličnih događaja u budućnosti. Ovakve analize predstavljaju dokazani temelj za donošenje odluka, argumentovanje ulaganja u bezbednost i unapređenje propisa, kao i ključni deo sistema upravljanja bezbednošću koji teži kontinuiranom poboljšanju. Bez proučavanja stvarnih događaja, upravljanje bezbednošću bilo bi zasnovano na pretpostavkama, čime bi se povećao rizik od novih nezgoda i ugrozio ljudski život, imovina i ugled vazduhoplovnih subjekata.

Nakon izbora bezbednosnog slučaja za analizu, potrebno je prikupiti podatke o bezbednosnom događaju, takođe iz baze *Aviation Safety Network*. Za svaki identifikovani događaj prikupljaju se podaci o datumu, vremenu poletanja, vremenu nastanka udesa, tipu vazduhoplova, registarskoj oznaci vazduhoplova, naletu strukture, broju ciklusa do udesa, zemlji gde se desio događaj, lokaciji udesa, prevozniku, broju putnika na letu, broju članova posade na letu, broju stradalih, vremenskim uslovima i posledicama događaja. Sve ove podatke treba predstaviti u tabeli. Cilj ovog koraka je identifikacija bezbednosnog problema odnosno izbor relevantnog bezbednosnog događaja (udes ili ozbiljna nezgoda) koji će biti korišćen kao osnova za procenu koristi od ulaganja u bezbednost.



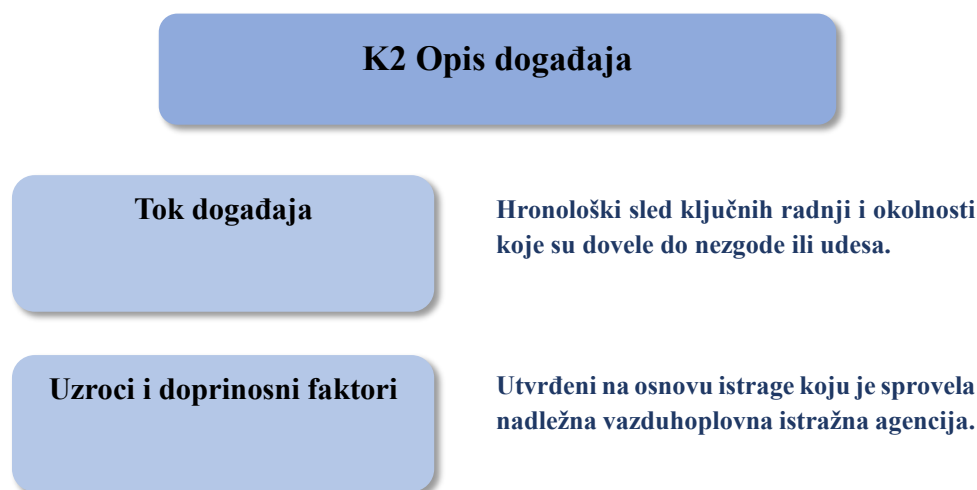
Slika 19 Korak 1 metodologije SABEL

7.2. KORAK 2: OPIS DOGAĐAJA

U drugom koraku metodologije (Slika 20) vrši se detaljan opis konkretnog događaja koji će poslužiti kao studija slučaja za primenu i validaciju predložene metodologije procene ulaganja u bezbednost u vazduhoplovnim operacijama. Studija slučaja predstavlja realan udes ili ozbiljnu nezgodu u vazdušnom saobraćaju, koji se analizira radi identifikacije bezbednosnih propusta, posledica po živote i imovinu, kao i mogućnosti za unapređenje bezbednosnih mera. Cilj ovog koraka jeste da se obezbedi kontekstualizacija događaja i kreira analitička osnova za sve naredne faze metodologije.

Opis događaja obuhvata sledeće ključne elemente:

- Opšte informacije o događaju: datum, vreme, mesto, tip vazduhoplova, operater, broj osoba na letu, vrsta operacije (putnički, teretni, obuka itd.), osnovne posledice (broj poginulih, povređenih, materijalna šteta);
- Hronološki tok događaja: pregled faza leta, ponašanje sistema i posade, komunikacija sa kontrolom letenja, vremenski uslovi i eventualne nepredviđene situacije;
- Rezultati zvanične istrage: glavni i sporedni uzroci udesa, doprinosni faktori, sistemske slabosti i preporuke nadležnih organa;
- Organizacione i proceduralne slabosti: nedostaci u obuci, tehničkom održavanju, procedurama, nadzoru i komunikaciji koji su doprineli događaju;
- Ekonomske i društvene posledice: gubitak ljudskih života, materijalna šteta, narušavanje reputacije operatera, pravne posledice i potencijalni trošak udesa.

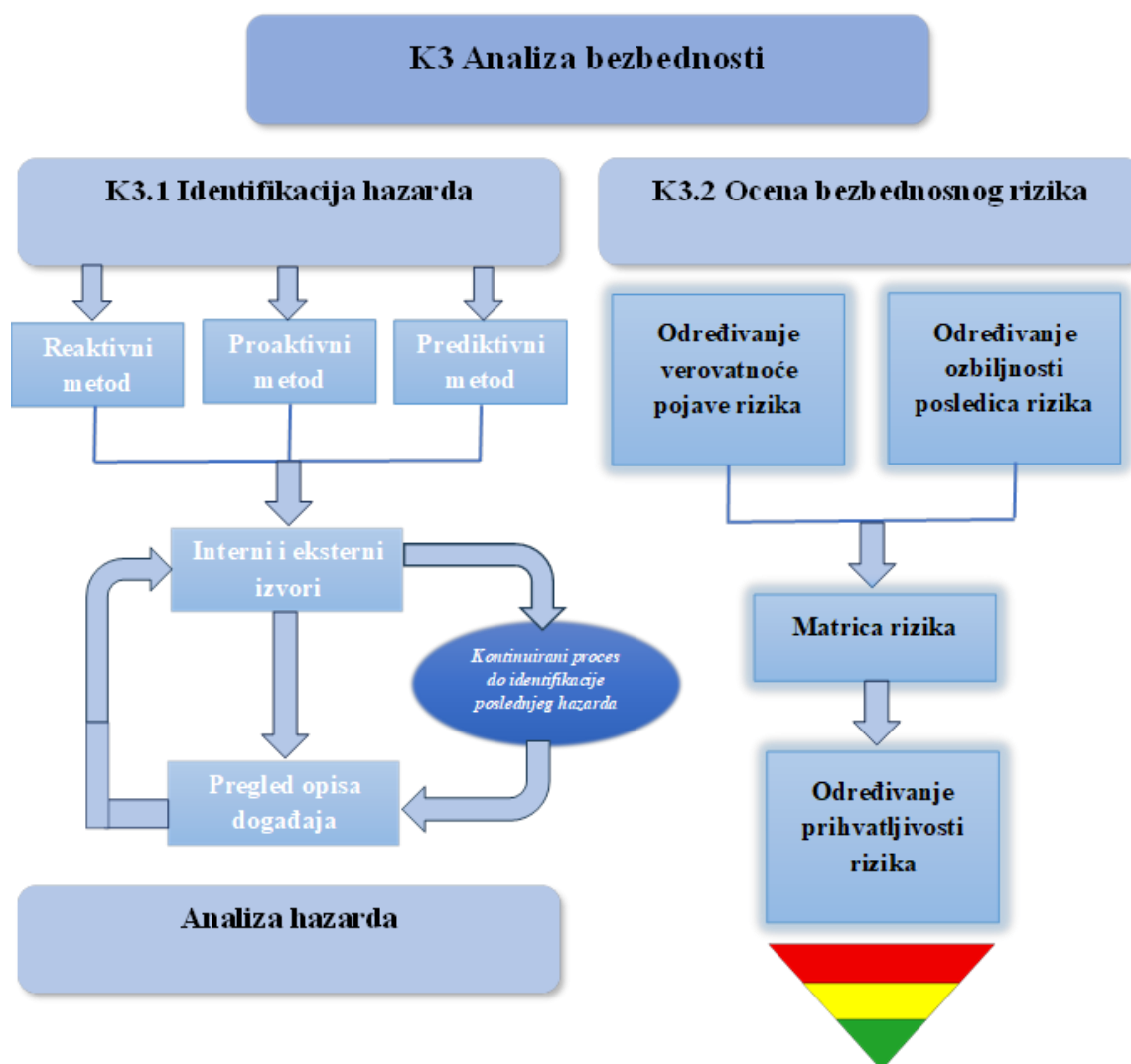


Slika 20 Korak 2 metodologije SABEL

7.3. KORAK 3: ANALIZA BEZBEDNOSTI

Treći korak (Slika 21) sastoji se iz dva dela:

- **K3.1** prvi (leva strana) koji se odnosi na identifikaciju i analizu hazarda;
- **K3.2** drugi (desna strana) koji se odnosi na ocenu bezbednosnog rizika.



Slika 21 Korak 3 metodologije SABEL

7.3.1. Identifikacija i analiza hazarda

Identifikacija hazarda

Identifikacija i analiza hazarda predstavljaju ključne faze u procesu upravljanja bezbednosnim rizikom u vazduhoplovstvu, jer omogućavaju rano prepoznavanje izvora potencijalne opasnosti i procenu njihove sposobnosti da dovedu do neželjenih događaja.

Identifikacija hazarda sprovedena pomoću razvijenih praksi u procesu upravljanja bezbednošću podrazumeva razumnu kombinaciju internih i eksternih izvora, reaktivne, proaktivne i predviđajuće procese, kao i programe koji leže u njihovoj osnovi. Identifikacija hararda je kontinuirani proces koji se odvija svakoga dana, neprestano. Način na koji će hazard biti identifikovan zavisi od resursa i ograničenja svake organizacije. Ovaj proces ima smisla samo ako se bezbednosne informacije preuzmu iz baze prikupljenih podataka (KORAK 2) [27].

Analiza hazarda

Analiza hazarda se sastoji iz tri koraka [27]:

- Prvi korak – utvrditi opšti (generički) hazard koji se naziva i hazard najvišeg nivoa (eng. *Top Level Hazard – TLH*). Ova hazard treba da se fokusira na pitanje bezbednosti, a uz to pomaže i jednostavnijem praćenju i klasifikaciji mnogih individualnih hazarda;
- Drugi korak – razložiti opšti harard na specifične (posebne) hazarde. Svaka komponenta opšteg hazarda će najverovatnije imati različit i jedinstven skup uzročnih faktora;
- Treći korak – povezati specifične hazarde u potencijalne specifične posledice.

7.3.2. Ocena bezbednosnog rizika

Bezbednost je rezultat upravljanja brojnim organizacionim procesima, koji imaju za cilj da bezbednosne rizike održe pod kontrolom. U tom smislu, ključnu ulogu ima bezbednost, kao i rezultat i upravljanje bezbednosnim rizikom, kao proces [27].

Određivanje verovatnoće pojave bezbednosnog rizika

Verovatnoća pojave bezbednosnog rizika se definiše kao mogućnost da se nebezbedan događaj ili stanje može desiti. Pomoću tabele verovatnoće bezbednosnog rizika (Tabela 1) moguće je odrediti verovatnoću da će se desiti nebezbedan događaj ili stanje, kao i njihov značaj [27].

Tabela 1 Verovatnoća pojave bezbednosnog rizika [27, 52, 72]

Verovatnoća bezbednosnog rizika - definicija	Značenje	Ocena
Učestali (eng. <i>Frequent</i>)	Verovatno će se dešavati često (već se dešavao mnogo puta).	5
Povremen (eng. <i>Occasional</i>)	Verovatno će se ponekad javiti (pojavljivao se s vremena na vreme).	4
Redak (eng. <i>Remote</i>)	Nije mnogo verovatno da će se desiti, ali postoji mogućnost (dešavalo se retko).	3
Malo verovatan (eng. <i>Improbable</i>)	Veoma malo verovatno da će se desiti (nije se događalo do sada).	2
Izuzetno neverovatan (eng. <i>Extremely improbable</i>)	Gotovo je nezamislivo da će se dogoditi.	1

Za potrebe procene verovatnoće nastanka udesa ili ozbiljnih incidenata u vazduhoplovnim operacijama, oslanjanje na relevantne i međunarodno priznate baze podataka predstavlja temeljni korak u analitičkom procesu. Među najznačajnijim izvorima izdvajaju se:

- Evropska baza podataka o bezbednosti u vazduhoplovstvu (EASA), koja obuhvata podatke o događajima iz civilnog vazduhoplovstva na teritoriji Evropske unije, uključujući nezgode, ozbiljne nezgode i udesa [34];
- The Boeing Company – Air Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents (1959–2024), koja se smatra jednom od najkompletnijih svetskih baza, obuhvatajući širok spektar tipova vazduhoplova, operativnih faza (poletanje, krstarenje, sletanje), kao i uzroka i posledica udesa i ozbiljnih incidenata [17];
- Baza Airbus, Airbus – Safety First i Annual Safety Review, stručna platforma i niz publikacija koje se oslanjaju na sistemsku analizu incidenata i nezgoda u koje su uključeni vazduhoplovi proizvođača Airbus. Baza obuhvata tehničke i operativne aspekte bezbednosti, sa fokusom na identifikaciju uzroka događaja, preporuke za posade, održavanje i organizacione faktore, i koristi se kao referenca za primenu preventivnih mera u civilnom vazduhoplovstvu [4].

Ove baze omogućavaju kvantitativnu procenu verovatnoće za različite kategorije događaja, kroz analizu stope udesa po milion letova, miliona sati leta, ili po fazama leta.

U slučaju kada se analiziraju nove vrste operacija, na primer bespilotne letelice (eng. *Unmanned Aerial Vehicle – UAV*), gde istorijski podaci još uvek nisu obimni ni pouzdani, neophodno je primeniti dopunske metode kao što su: analiza uporedivih operacija, ekspertsko modeliranje verovatnoće, ili prediktivno modeliranje bazirano na dostupnim bazama i literaturi.

Određivanje ozbiljnosti posledica bezbednosnog rizika

Nakon određivanja verovatnoće da će se neželjeni događaj desiti, potrebno je proceniti prirodu negativnih posledica koje takav događaj nosi sa sobom. Pomoću tabele ozbiljnosti posledica pojave bezbednosnog rizika (Tabela 2) može se odrediti ozbiljnost posledica događaja [27].

Tabela 2 Ozbiljnost posledica pojave bezbednosnog rizika [27, 52, 72]

Ozbiljnost bezbednosnog rizika – definicija	Značenje	Ocena
Katastrofalan (eng. <i>Catastrophic</i>)	▪ Uništena oprema; ▪ Višestruke smrti.	A
Hazardan (eng. <i>Hazardous</i>)	▪ Značajno smanjenje bezbednosnih margina; ▪ Fizičko ili radno opterećenje takvo da se ne može pouzdati u operatore da će obaviti svoje zadatke precizno ili u potpunosti; ▪ Ozbiljne povrede ili smrt više osoba; ▪ Veliko oštećenje na opremi.	B

Veći (eng. <i>Major</i>)	▪ Značajno smanjenje bezbednostih margina; ▪ Smanjenje mogućnosti operatera da se nose sa nepovoljnim operativnim uslovima kao posledica povećanog radnog opterećenja, ili kao rezultat uslova koji smanjuju efikasnost operatera; ▪ Ozbiljni incident; ▪ Povređene osobe.	C
Manji (eng. <i>Minor</i>)	▪ Smetnja; ▪ Operativna ograničenja; ▪ Upotreba emergency procedura; ▪ Manji incident.	D
Zanemarljiv (eng. <i>Negligible</i>)	▪ Sitne posledice.	E

Ozbiljnost posledica bezbednosnog rizika definiše se kao stepen uticaja koji bezbednosni rizik ima na ljude, imovinu, operativnu sposobnost, okolinu i reputaciju organizacije. U vazduhoplovstvu, procena ozbiljnosti posledica podrazumeva kvalifikaciju gubitaka koji mogu nastati u slučaju nastupanja identifikovanog hazarda. Ovi gubici mogu biti u obliku smrtnog ishoda, ozbiljnih povreda, oštećenja ili gubitka vazduhoplova, prekida operacija, kao i štetnog uticaja na životnu sredinu ili narušavanja ugleda operatera.

Tabela ozbiljnosti posledica bezbednosnog rizika strukturirana je tako da kategorizuje posledice u nekoliko nivoa, od „zanemarljivih“ do „katastrofalnih“, u zavisnosti od njihove učestalosti i intenziteta uticaja.

Određivanje prihvatljivosti bezbednosnog rizika

Sledeći korak je procena prihvatljivosti bezbednosnog rizika. Ovaj proces se sastoji iz dva koraka. U prvom koraku je neophodno u potpunosti sagledati i proceniti bezbednosni rizik, a to se postiže kada se verovatnoća pojave bezbednosnog rizika (Tabela 1) i ozbiljnost posledica bezbednosnog rizika (Tabela 2) kombinuju u matricu određivanja bezbednosnog rizika (Tabela 3) [27].

Tabela 3 Kompozitna matrica bezbednosnih rizika [27, 52, 72]

Verovatnoća rizika	Ozbiljnost rizika				
	Katastrofalan A	Hazardan B	Veći C	Manji D	Zanemarljiv E
5 - Učestali	5A	5B	5C	5D	5E
4 - Povremen	4A	4B	4C	4D	4E
3 - Redak	3A	3B	3C	3D	3E
2 - Malo verovatan	2A	2B	2C	2D	2E
1 - Izuzetno neverovatan	1A	1B	1C	1D	1E

U drugom koraku se određuje prihvatljivost bezbednosnog rizika na osnovu indeksa bezbednosnog rizika procenjenog u kompozitnoj matrici bezbednosnog rizika. U Tabeli 5 prikazano je kako se određuje prihvatljivost bezbednosnog rizika na osnovu indeksa bezbednosnog rizika. Trougao nivoa rizika (Slika 1) potvrđuje da li je rizik prihvatljiv ili nije [27].

Tabela 4 Prihvatljivost bezbednosnog rizika na osnovu indeksa bezbednosnog rizika [27, 52, 72]

Indeks bezbednosnog rizika	Predloženi kriterijumi
5A, 5B, 5C, 4A, 4B, 3A	Neprihvatljiv rizik pod postojećim okolnostima
5D, 5E, 4C, 3B, 3C, 2A, 2B	Kontrola rizika/Ublažavanje rizika ⁸
4D, 4E, 3D, 2C, 1A, 1B	Prihvatljiv rizik nakon pregleda operacija
3E, 2D, 2E, 1C, 1D, AE	Prihvatljiv rizik

Kontrola/ublažavanje bezbednosnog rizika

Četvrti i poslednji korak procesa dovođenja bezbednosnog rizika kao posledice nebezbednih događaja ili stanja pod organizacionu kontrolu, podrazumeva primenu strategije kontrole i/ili ublažavanja.

Postoji više raspoloživih strategija za ublažavanje bezbednosnog rizika: izbegavanje izlaganja riziku, redukcija gubitka i izolovano izlaganje riziku. U pronalaženju načina za kontrolu i ublažavanje rizika, podrazumeva se da sve metode nemaju isti potencijal za redukciju rizika. Pre nego što se donese konačna odluka mora da se oceni efektivnost svake opcije. Svaku predloženu opciju za ublažavanje rizika potrebno je sagledati iz više uglova [27, 28]:

- Efektivnost – da li će data opcija smanjiti ili eliminisati identifikovane rizike i do kog stepena?
- Troškovi/dobit – obuhvata analizu troškova primene mere u odnosu na očekivane koristi. Uključuje ulaganja u opremu, obuku, infrastrukturu, kao i uštede koje se mogu ostvariti smanjenjem rizika. Cilj je da se proceni da li se investicija isplati, odnosno da li je odnos troškova i koristi povoljan.
- Praktičnost – predstavlja procenu koliko je jednostavno meru implementirati u realnom okruženju. Ovo uključuje dostupnost resursa, potrebnu obuku, vreme instalacije ili primene, kao i uklapanje u postojeće procese i organizacionu strukturu. Mere koje su previše složene ili zahtevaju teško dostupne resurse mogu biti manje praktične.
- Izazov – Odnosi se na nivo težine pri primeni mere – da li zahteva značajne organizacione promene, specijalizovano znanje, dodatnu tehničku podršku ili dugotrajnu implementaciju. Izazov uključuje i otpor zaposlenih ili drugih aktera, kao i potencijalne prepreke u sprovođenju. Može li data mera za ublažavanje rizika da izdrži kritičku proveru od strane svih interesnih strana (zaposlenih, menadžera, akcionara, državnih organa, itd.)?

⁸ Prihvatljiv rizik nakon pregleda operacija je predloženi kriterijum koji se odnosi na operacije na aerodromu ili u vazдушnom prostoru koje će se posmatrati (pregledati) nakon sprovođenja aktuelnih mera i daljih akcija za smanjenje rizika [72].

- **Prihvatljivost** – Procena u kojoj meri zainteresovane strane (rukovodstvo, zaposleni, korisnici, partneri) prihvataju ponuđenu meru. Mera može biti tehnički dobra, ali neprihvatljiva ako značajno remeti rad, narušava rutine ili stvara nepoželjne posledice po korisnike.
- **Primenljivost** – Da li je mera pogodna za konkretan kontekst, sistem ili organizaciju. Neke mere su efikasne samo u specifičnim uslovima ili tipovima organizacija. Primenljivost razmatra kompatibilnost sa okruženjem, tehnologijom, regulatornim zahtevima i kulturom organizacije.
- **Izdržljivost** – Odnosi se na dugotrajnost i stabilnost mere – da li će ona ostati efikasna tokom vremena, uprkos promenama u okruženju, tehnologiji ili poslovanju. Mera koja daje kratkoročne rezultate i ne može da opstane u dužem periodu, ima manju vrednost.
- **Rezidualni rizici** – Nakon primene mere uvek ostaje određeni nivo rizika – takozvani preostali (rezidualni) rizik. Procena ove stavke uključuje razmatranje koliko rizika ostaje, da li je on prihvatljiv, te da li postoje dodatne mere koje bi ga mogle dalje smanjiti.
- **Novi problemi** – Svaka mera može stvoriti nove probleme. Oni mogu biti tehnički, organizacioni, finansijski ili bezbednosni. Ova stavka procenjuje potencijalne negativne posledice primene mere – na primer, uvođenje novog sistema može stvoriti zavisnost od određenog dobavljača.

Analiza konkretnih vazduhoplovnih udesa predstavlja jednu od najefikasnijih metoda za identifikaciju sistemskih nedostataka i procenu bezbednosnih rizika. Jedan od najpraktičnijih načina da se ova analiza sprovede jeste tabelarna analiza udesa (Tabela 5), kroz koju se jasno sagledava veza između izvora opasnosti, verovatnoće i posledica neželjenog događaja, kao i identifikuju mere kontrole i nosioci odgovornosti.

Tabela 5 Analiza udesa (Kontrola rizika)

Referenca rizika (eng. <i>Risk reference</i>)	Generički hazard (eng. <i>Generic Hazard</i>)	Opis rizika (eng. <i>Risk(s) description</i>)	Aktuelne mere za smanjenje rizika i indeks rizika (eng. <i>Current measures to reduce risk(s) and risk index</i>)	Dalje akcije za smanjenje rizika i rezultirajući indeks rizika (eng. <i>Further actions to reduce risk(s) and resulting risk index</i>)	Odgovornost (eng. <i>Responsibility</i>)
			<i>Indeks rizika: Prihvatljivost rizika:</i>	<i>Indeks rizika: Prihvatljivost rizika:</i>	

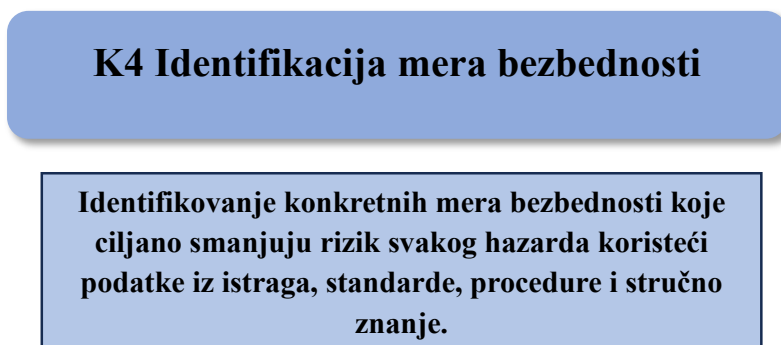
7.4. KORAK 4: IDENTIFIKACIJA MERA BEZBEDNOSTI ZA SMANJENJE RIZIKA

Nakon sprovedene identifikacije hazarda, analize hazarda i određivanja indeksa rizika, sprovodi se identifikacija konkretnih mera bezbednosti koje imaju za cilj smanjenje ukupnog nivoa rizika. Ove mere se odnose na tehničke, operativne, organizacione i regulatorne intervencije, koje treba da deluju preventivno i korektivno u odnosu na prepoznate potencijalne opasnosti i uzroke potencijalno kritičnih događaja; i ublaže bezbednosni rizik.

U ovom koraku (Slika 22) definišu se konkretne bezbednosne mere koje imaju potencijal da eliminišu hazard, prekinu lanac uzročno-posledičnih veza, ili ublaže rizik od nastanka neželjenog događaja. Identifikacija se zasniva na analizi svakog hazarda pojedinačno, pri čemu se koristi kombinacija sledećih izvora:

- Rezultati prethodnih istraga udesa;
- Regulatorni standardi i smernice koje dolaze od međunarodnih i nacionalnih regulatornih tela (npr. ICAO, EASA, FAA), kao i važeći bezbednosni standardi;
- Postojeće procedure operatora, prethodno sprovedene bezbednosne analize, kao i ekspertsko znanje dostupnih stručnjaka.

Mere mogu uključivati dodatnu obuku osoblja, promene u procedurama, ugradnju tehničkih sistema zaštite, jačanje sistema nadzora, izmenu regulatornog okvira.

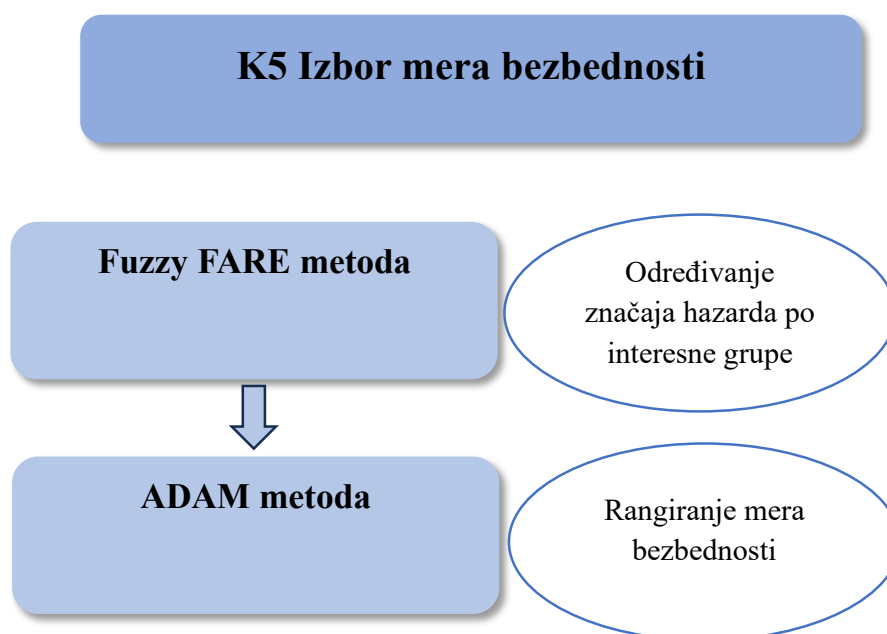


Slika 22 Korak 4 metodologije SABEL

7.5. KORAK 5: ODREĐIVANJE PRIORITETA MERA BEZBEDNOSTI HIBRIDNIM MODELOM VIŠEKRITERIJUMSKOG ODLUČIVANJA

Korak 5 (Slika 23) predstavlja određivanje prioriteta bezbednostih mera sa aspekta njihovog uticaja na smanjenje rizika od nastanka potencijalnih opasnosti. Cilj ove analize jeste izbor najefikasnijih mera bezbednosti u operacijama vazduhoplova na osnovu njihovog uticaja na identifikovane hazarde, uzimajući u obzir perspektive ključnih zainteresovanih strana – regulatornih tela, aviokompanija i korisnika usluga. Reč je o procesu prioritizacije, odnosno utvrđivanju koje mere imaju najveći doprinos smanjenju rizika od najopasnijih (neprihvatljivih) hazarda i koje bi, shodno tome, trebalo da imaju prednost u planiranju i implementaciji u okviru sistema upravljanja bezbednošću. Za rešavanje ovog problema razvijen je hibridni model višekriterijumskog odlučivanja. Da bi se rangirale identifikovane mere bezbednosti koje najviše doprinose smanjenju rizika od opštih hazarda u operacijama vazduhoplova, korišćen je kombinovani model koji uključuje primenu dve MCDM

metode: jedne za određivanje težina kriterijuma (fuzzy FARE) i druge za ocenjivanje i dobijanje konačnog rangiranja alternativa (ADAM). Primena predloženog modela na definisani skup hazarda i mera omogućila je identifikaciju najefikasnijih rešenja u pogledu smanjenja ukupnog bezbednosnog rizika.



Slika 23 Korak 5 metodologije SABEL

Model obuhvata sledeće sekvencijalne faze [75, 109]:

Korak 5.1: Definisanje strukture problema. Potrebno je utvrditi skup alternativa i kriterijuma za njihovu evaluaciju;

Korak 5.2: Definisanje skale za vrednovanje kriterijuma i alternativa. Donosioci odluke opisuju značaj kriterijuma i alternative koristeći lingvističke ocene koje se mogu transformisati u numeričke vrednosti ili trouglaste fuzzy brojeve (eng. *Triangular Fuzzy Numbers – TFNs*) kao što je prikazano u Tabeli 6. Evaluacija kriterijuma u većoj meri zavisi od subjektivnih ocena donosilaca odluka, za razliku od evaluacije alternativa, koja se više zasniva na konkretnim karakteristikama alternativa u odnosu na kriterijume. Fazi ocene su korišćene za ocenjivanje kriterijuma, odnosno za primenu fuzzy FARE metode, dok su obične numeričke vrednosti korišćene za rangiranje alternativa primenom ADAM metode;

Tabela 6 Skala za ocenjivanje [75, 109]

Lingvistički izraz	Skraćenica	Fuzzy skala	Numerička vrednost
“Nikakav” (eng. “None”)	“N”	(1, 1, 2)	1
“Veoma nizak” (eng. “Very low”)	“VL”	(1, 2, 3)	2
“Nizak” (eng. “Low”)	“L”	(2, 3, 4)	3
“Umereno nizak” (eng. “Fairly low”)	“FL”	(3, 4, 5)	4
“Srednji” (eng. “Medium”)	“M”	(4, 5, 6)	5
“Umereno visok” (eng. “Fairly high”)	“FH”	(5, 6, 7)	6
“Visok” (eng. “High”)	“H”	(6, 7, 8)	7
“Veoma visok” (eng. “Very high”)	“VH”	(7, 8, 9)	8
“Ekstremno visok” (eng. “Extremely high”)	“EH”	(8, 9, 10)	9

Korak 5.3: Dodeljivanje težine kriterijuma;

Korak 5.3.1: Formiranje matrice vrednovanja kriterijuma $\tilde{A}$. Lingvističke ocene transformisati u TFNs koristeći relacije iz Tabele 6.

$$\tilde{A} = [\tilde{a}_{ij}]_{n \times n} \quad (9)$$

gde je $\tilde{a}_{ij} = (l, m, u) = (l, m, n)$ procena važnosti kriterijuma i u odnosu na kriterijum j . Parametri l , m i u su donja, srednja i gornja vrednost TFN-a. Parametar n predstavlja broj kriterijuma koji se uzimaju u obzir. Prilikom formiranja matrice $\tilde{A}$ važi sledeće:

$$\tilde{a}_{ji} = -\tilde{a}_{ij} \quad (10)$$

gde se vrednovanje smatra doslednim ako:

$$\sum_{j=1}^n u = -\sum_{j=1}^n l \quad (11)$$

Korak 5.3.2: Dobijanje potencijalnog uticaja kriterijuma $\tilde{P}$:

$$\tilde{P} = H(n-1) \quad (12)$$

gde je H najveća vrednost skale koja se koristi za procenu.

Korak 5.3.3: Dobijanje ukupnog uticaja (važnosti) kriterijuma $\tilde{P}_j$:

$$\tilde{P}_j = \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij}, \forall j = 1, \dots, n; j \neq i \quad (13)$$

Korak 5.3.4: Dobijanje konačne težine kriterijuma:

$$W = \frac{\tilde{P}_j}{\tilde{P}_H}, \forall j = 1, \dots, n \quad (14)$$

gde je P_H ukupni potencijalni uticaj (važnost) kriterijuma dobijenih kao:

$$\tilde{P}_H = \left(\min_j l^{\tilde{P}_j r}, \text{mean}_j m^{\tilde{P}_j r}, \max_j u^{\tilde{P}_j r} \right) \quad (15)$$

gde je P_j stvarni ukupan uticaj kriterijuma j dobijen kao:

$$\tilde{P}_j^r = \tilde{P}_j + \tilde{P}, \forall j = 1, \dots, n \quad (16)$$

Korak 5.4: Vrednovanje alternativa. Za vrednovanje alternativa u odnosu na kriterijume koristi se ADAM metoda.

Korak 5.4.1: Definisanje elemenata matrice odlučivanja E , alternativa q u odnosu na kriterijum j , tj. vektorske veličine koje odgovaraju vrednovanju alternativa u odnosu na kriterijum:

$$E = [e_{qj}]_{m \times n} \quad (17)$$

gde je m ukupan broj alternativa, a n ukupan broj kriterijuma.

Korak 5.4.2: Definisanje sortiranih elemenata s_{qj} matrice odlučivanja S , ukazujući na sortirane ocene e_{qj} u opadajućem redosledu prema važnosti (težini) kriterijuma:

$$S = [s_{qj}]_{m \times n} \quad (18)$$

Korak 5.4.3: Definisanje normalizovane sortirane matrice N , elemenata n_{qj} koji su normalizovani i dobijeni kao:

$$n_{qj} = \begin{cases} \frac{s_{qj}}{\max_q s_{qj}}, & \text{for } j \in B \\ \frac{\min_q s_{qj}}{s_{qj}}, & \text{for } j \in C \end{cases} \quad (19)$$

gde je B skup koristi, a C skup kriterijuma troškova.

Korak 5.4.4: Nalaženje koordinate (x, y, z) referentne tačke (R_{qj}) i ponderisane referentne tačke (P_{qj}) koje definišu kompleksni poliedar na sledeći način:

$$x_{qj} = n_{qj} \times \sin \alpha_j, \forall j = 1, \dots, n; \forall q = 1, \dots, m \quad (20)$$

$$y_{qj} = n_{qj} \times \cos \alpha_j, \forall j = 1, \dots, n; \forall q = 1, \dots, m \quad (21)$$

$$z_{qj} = \begin{cases} 0, & \text{for } R_{qj} \\ w_j, & \text{for } P_{qj} \end{cases}, \forall j = 1, \dots, n; \forall q = 1, \dots, m \quad (22)$$

gde je α_j ugao koji određuje pravac vektora koji definiše vrednost alternativa, koji se dobija kao:

$$\alpha_j = (j - 1) \frac{90^\circ}{n - 1}, \forall j = 1, \dots, n \quad (23)$$

Korak 5.4.5: Nalaženje zapremine kompleksnih poliedara V_q^C kao zbira zapremina piramida od kojih se sastoji, pomoću sledeće jednačine:

$$V_q^C = \sum_{k=1}^{n-1} V_k, \forall q = 1, \dots, m \quad (24)$$

gde je V_k zapremina piramide dobijena primenom sledeće jednačine:

$$V_k = \frac{1}{3} B_k \times h_k, \forall k = 1, \dots, n - 1 \quad (25)$$

gde je B_k površina osnove piramide definisana referentnom i ponderisanom referentnom tačkom dva uzastopna kriterijuma i dobija se primenom sledeće jednačine:

$$B_k = c_k \times a_k + \frac{a_k \times (b_k - c_k)}{2} \quad (26)$$

gde je a_k euklidsko rastojanje između referentnih tačaka dva uzastopna kriterijuma, koje se dobija primenom sledeće jednačine:

$$a_k = \sqrt{(x_{j+1} - x_j)^2 + (y_{j+1} - y_j)^2} \quad (27)$$

gde su b_k i c_k veličine vektora koji odgovaraju težinama dva uzastopna kriterijuma, odnosno:

$$b_k = z_j \quad (28)$$

$$c_k = z_{j+1} \quad (29)$$

gde je h_k visina piramide od definisane osnove do vrha piramide koja se nalazi u koordinatnom početku (O) i dobija se primenom sledeće jednačine:

$$h_k = \frac{2\sqrt{s_k(s_k - a_k)(s_k - d_k)(s_k - e_k)}}{a_k} \quad (30)$$

gde je s_k poluobim trougla definisan x i y koordinatama dva uzastopna kriterijuma i koordinatnog početka i dobija se kao:

$$s_k = \frac{a_k + d_k + e_k}{2} \quad (31)$$

gde su d_k i e_k euklidska rastojanja referentnih tačaka dve uzastopna kriterijuma od koordinatnog početka i dobijaju se kao:

$$d_k = \sqrt{x_j^2 + y_j^2} \quad (32)$$

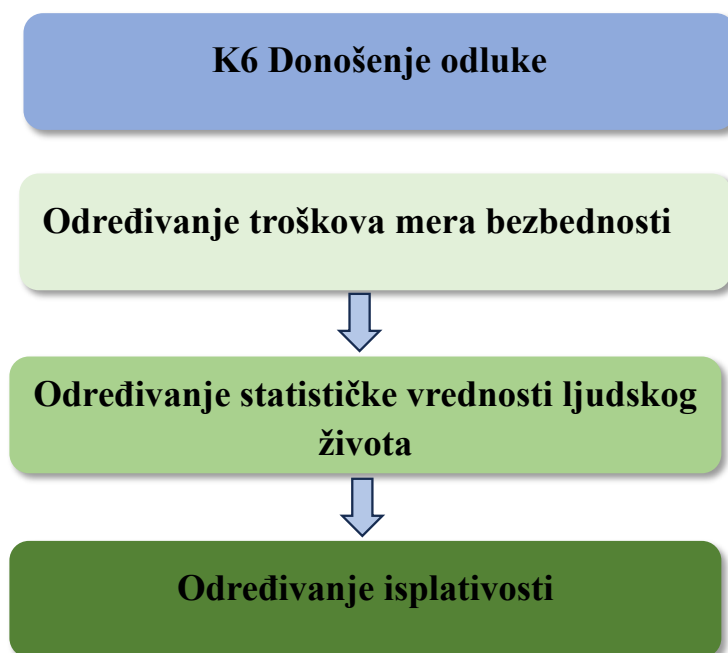
$$e_k = \sqrt{x_{j+1}^2 + y_{j+1}^2} \quad (33)$$

Korak 5.5: Rangiranje alternativa prema opadajućim vrednostima obima kompleksnih poliedara V_q^C ($q = 1, \dots, m$). Najbolja alternativa je ona sa najvećom vrednošću zapremine.

Procena i rangiranje alternativa vrši se pomoću softvera. Za rešavanje problema u Koraku 5 metodologije SABEL korišćen je softver koji se može preuzeti na <http://adam-mcdm.com/>.

7.6. KORAK 6: DONOŠENJE ODLUKE

Poslednji, šesti korak, metodologije se sastoji od 3 podkoraka (Slika 24).



Slika 24 Korak 6 metodologije SABEL

7.6.1. Određivanje troškova implementacije mera bezbednosti

U ovom koraku se procenjuju troškovi implementacije mera bezbednosti. Troškovi se dobijaju prema kalkulacionom postupku i uključuju sve relevantne stavke, kao što su oprema, simulacije, administracija i edukacija. Cilj je dobiti ukupnu cenu za implementaciju predloženih bezbednosnih mera.

7.6.2. Određivanje statističke vrednosti ljudskog života

Ovaj korak uključuje procenu statističke vrednosti ljudskog života. Postoji više modela (pristupa) za procenu statističke vrednosti ljudskog života (Poglavlje 6). Za ovu studiju slučaja odabrana je procena VOSL iz literature (6.5.2. i 6.5.3.) odnosno koristiće se referentne vrednosti iz literature i međunarodnih organizacija (EUROCONTROL, EASA, USDOT). Na osnovu faktora popunjenosti putničke kabine (u slučaju udesa) ili u slučaju popunjenosti putničke kabine 100 % [28] (u slučaju primene metodologije kada se planira investiranje u bezbednost u operacijama vazduhoplova), i broja stradalih (u slučaju udesa) ili maksimalnog broja sedišta (u slučaju primene metodologije kada se planira investiranje u bezbednost u operacijama vazduhoplova), izračunava se ukupni ekonomski gubitak u slučaju nesreće, što predstavlja potencijalnu korist od implementacije mera bezbednosti.

7.6.3. Određivanje isplativosti

Ovde se primenjuje analiza troškova i koristi: ukupni troškovi implementacije mera bezbednosti se porede sa ekonomskim gubicima koji bi nastali u slučaju nesreće.

Izračunava se odnos koristi i troškova (K/T). Ako je odnos $K/T \geq 1$, investicija implementacije mera bezbednosti je isplativa [74].

$$\frac{K}{T} = \frac{SV \text{ koristi}}{SV \text{ troškova}} \quad (34)$$

8. VALIDACIJA RAZVIJENE METODOLOGIJE KROZ STUDIJU SLUČAJA (DOKAZ H1, H2 I H3)

H1: Primena metodologije optimizacije ulaganja u bezbednost bazirane na indikatorima statističke vrednosti ljudskog života u operacijama vazduhoplova omogućava sistematsku identifikaciju i analizu hazarda u operacijama vazduhoplova, što vodi do preciznije ocene bezbednosnog rizika u realnim operativnim uslovima.

H2: Primena hibridnih modela višekriterijumskog odlučivanja (fuzzy FARE – ADAM i Grey Delphi – AHP – ADAM) poboljšava proces rangiranja i selekcije mera bezbednosti u situacijama neizvesnosti, u poređenju sa korišćenjem pojedinačnih metoda.

H3: Integracija ekonomskih kriterijuma, uključujući statističku vrednost ljudskog života i cost–benefit analizu, omogućava racionalno planiranje ulaganja u bezbednost i podržava donošenje odluka koje balansiraju bezbednosne koristi i troškove predloženih mera.

U nastavku je prikazana validacija metodologije SABEL. Za potrebe validacije izabran je stvarni događaj koji će biti korišćen za studiju slučaja.

8.1. KORAK 1: BEZBEDNOSNI PROBLEM

Izbor bezbednosnog događaja korišćenog za validaciju metodologije rezultat je slučajnog izbora iz baze podataka Aviation Safety Network, čime je izbegnuta subjektivna pristrasnost i potvrđena univerzalna primenljivost razvijenog metodološkog pristupa.

U skladu sa metodologijom, podaci o događaju su preuzeti iz baze ASN putem slučajnog uzorka, što eliminiše pristrasnost u izboru slučaja i omogućava testiranje sveobuhvatnosti i adaptabilnosti metodološkog okvira. Pretraga je obuhvatila:

- Vremenski okvir: poslednjih 10 godina,
- Tip operacije: redovan putnički prevoz,
- Težina posledica: fatalni udes sa velikim brojem žrtava i značajnim posledicama za bezbednost sistema.

Prikupljeni podaci o događaju i osnovne informacije o vazduhoplovu i letu vazduhoplova prikazani su u Tabeli 7.

Tabela 7 Prikupljene informacije o događaju [12]

Datum	11.02.2018.
Vreme poletanja (LT ⁹ /UTC ¹⁰)	14:21 LT / 11:21 UTC
Vreme nastanka udesa	14:27:05 LT
Tip vazduhoplova	Antonov An-148-100B
Registarska oznaka	RA-61704
Nalet strukture (hrs)	16249
Broj ciklusa do udesa	8397
Zemlja	Rusija
Lokacija	Blizina Stepanovskog, okrug Ramenskoe
Prevoznik	Saratov Airlines
Broj putnika na letu	65
Broj članova posade na letu	6
Broj stradalih	71
Vremenski uslovi	Sneg, temperatura -5°C, vidljivost 2100m, naoblačenje i rizik od leda
Posledice događaja	Vazduhoplov se raspao i svi putnici i članovi posade na letu su poginuli.

⁹ Lokalno vreme (eng. *Local Time – LT*) predstavlja zvanično vreme koje važi na određenoj geografskoj lokaciji, tj. u određenoj vremenskoj zoni.

¹⁰ Univerzalno vreme (eng. *Coordinated Universal Time – UTC*) predstavlja vreme koje nije podložno lokalnim vremenskim zonama ili pomeranjima (kao što je letnje računanje vremena).

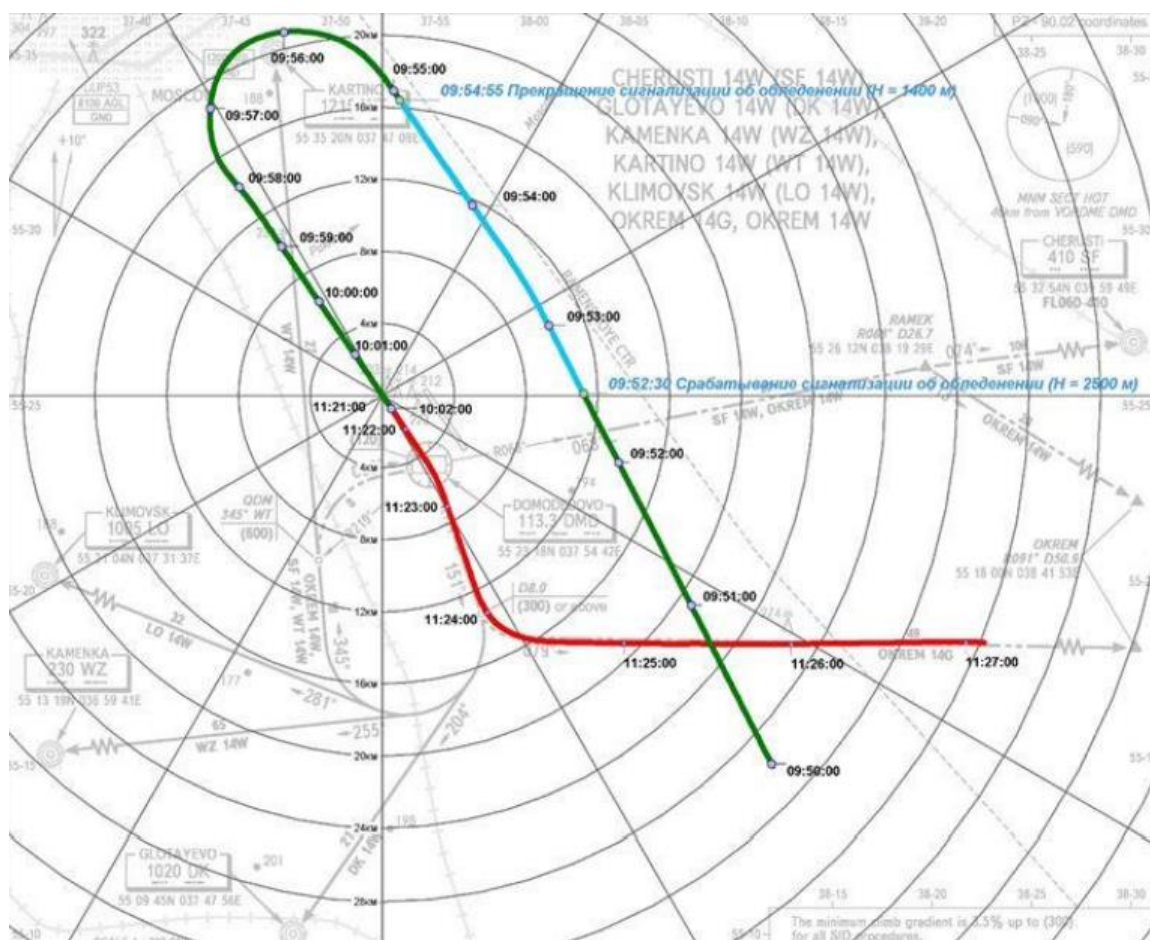
8.2. KORAK 2: OPIS DOGAĐAJA

U pitanju je događaj koji se desio 11.02.2018. godine u 14:27 h. Na Slici 25 je prikazana trajektorija leta vazduhoplova gde zelena i plava boja predstavljaju dolazak vazduhoplova na aerodrom, a crvena polazak vazduhoplova sa aerodrom. Vazduhoplov je poleteo sa poletno – sletne staze 14R na moskovskom aerodromu Domodedovo u 14:21 h po lokalnom vremenu (11:21 UTC). Vreme na aerodromu Domodedovo uključivalo je ograničenu vidljivost (2100m) tokom slabih snežnih padavina. Temperatura je bila -5° C, a na 2600 fita nadmorske visine, a oblaci su najavljivali nevreme. Međudržavni komitet za vazduhoplovstvo (eng. *The Interstate Aviation Committee*) saopštio je da pre polaska nije uključeno grejanje tri Pito cevi¹¹. Nakon poletanja, na visini od 130-150 m (425-490 fita) iznad nivoa zemlje uključen je autopilot. Zakrilci su podignuti dok se vazduhoplov penjao na visinu od 550 m (1800 fita). Otprilike 2 minuta i 30 sekundi nakon poletanja, na visini od oko 1300 m (4265 fita) i brzini od 465 – 470 km/h, došlo je do neslaganja između očitavanja brzine vazduha na strani kapetana u poređenju sa indikatorom brzine u stanju pripravnosti. Brzina na strani kopilota je nepoznata jer ovaj parametar nije registrovan na snimaču podataka o letu. Nije bilo značajne razlike u indikacijama nadmorske visine. Posle još 25 sekundi, odstupanja su dostigla oko 30 km/h pri čemu je brzina na kapetanovoj strani bila veća. Posle oko 50 sekundi, na visini od oko 2000 m (6560 fita), brzina na indikatoru brzine u stanju pripravnosti bila je veća i nastavila je da raste dok je brzina IAS¹² nastavila da opada. Letačka posada je tada isključila autopilota. Brzina na kapetanovoj strani je nastavila da opada, dok je ASI¹³ u pripravnosti pokazao 540-560 km/h. Otprilike 50 sekundi nakon što je autopilot isključen, let je prošao visinu od 1700-1900 m (5580-6230 fita) sa vertikalnim opterećenjem u rasponu od 1,5 do 0,5 g. Nakon toga, vazduhoplov je ušao u strmo spuštanje sa ASI na strani kapetana koji je pokazivao 0 km/h, a ASI u stanju pripravnosti je pokazivao 200 km/h. Ugao nagiba se smanjio na -30/-35 stepeni sa faktorom vertikalnog opterećenja od 0 g. Vazduhoplov je udario u snežno polje oko 14:27:05 h i raspao se (Slika 26). Pre sudara sa tlom, ASI u pripravnosti se povećao na 800 km/h, a kapetanov ASI je i dalje pokazivao 0 km/h. Do pada vazduhoplova došlo je usled pogrešnih postupaka posade u fazi penjanja u instrumentalnim vremenskim uslovima pri nepouzdanim očitanjima brzine instrumenta izazvanim zaleđivanjem (začepljenjem leda) sve tri pito cevi, što je dovelo do gubitka kontrole nad parametrima vazduhoplova i sudara sa zemljom. Istraga udesa koja je trajala godinu dana i pet meseci od strane istražne agencije MAK (rus. *МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ*) [12, 70], otkrila je sistemske slabosti u identifikaciji opasnosti i kontroli rizika, neoperabilnost sistema upravljanja bezbednošću letova avio – kompanije i nedostatak kontrole nivoa obučenosti članova posade od strane vazduhoplovnih vlasti na svim nivoima, što je dovelo do izdavanja sertifikata vazduhoplovnog osoblja i prijem na letove posade koja nije u potpunosti ispunjavala uslove za kvalifikaciju [12].

¹¹ Pito ili Pitot cev (koja je dobila naziv po francuskom inženjeru Henriju Pitotu) je vazduhoplovni senzor koji služi za merenje dinamičkog pritiska vazduha, a koristi se prvenstveno za određivanje brzine kretanja vazduhoplova kroz vazduh. Obično je postavljena na prednjem delu trupa ili ispod krila tako da bude izložena direktnom strujanju vazduha. Ukoliko Pito cev zaglavi (npr. zbog leda, insekata ili prljavštine), instrumenti za merenje brzine mogu dati pogrešne podatke, a to može biti izuzetno opasno, jer pilot ne zna stvarnu brzinu.

¹² Indukovana brzina vazduha (eng. *Indicated Airspeed – IAS*) je brzina koju prikazuje indikator brzine vazduha u vazduhoplovu.

¹³ Indikator brzine vazduha (eng. *Airspeed Indicator – ASI*) je pilotski instrument koji pokazuje brzinu kretanja vazduhoplova kroz vazduh, i to na osnovu razlike između dinamičkog pritiska (merenog putem Pito cevi) i statičkog (merenog putem statičkog otvora).



Slika 25 Trajektorija leta vazduhoplova [12, 70]



Slika 26 Oslobođanje krhotina u pravcu kretanja vazduhoplova tokom njegovog sudara sa zemljom – snimak sa kamere [12, 70]

U slučaju udesa koji je izabran za studiju slučaja evidentne su sistemske slabosti u identifikaciji opasnosti i kontroli rizika, neoperabilnosti sistema upravljanja bezbednošću letova aviokompanije i nedostatku kontrole nivoa obučenosti članova posade od strane vazduhoplovnih vlasti na svim

nivoima, što je dovelo do izdavanja sertifikata vazduhoplovnom osoblja i prijem na letove posade koja nije u potpunosti ispunjavala uslove za kvalifikaciju.

U istrazi udesa koja je završena od strane istražne agencije MAK, navedeni su faktori ili uzroci koji su doveli do udesa [70]:

- Žurba posade u pripremama za let zbog kasnog dolaska vazduhoplova sa prethodnog leta i pokušaja da se sustigne vreme poletanja;
- Preskakanje operacije uključivanja grejanja Pito cevi od strane posade pre poletanja i nepoštovanje odeljka kontrolne liste (PRE POLETANJA), kojim je predviđena kontrola ove radnje;
- Karakteristike dizajna vazduhoplova An-148 stvaraju ograničenja trajanja zagrevanja Pito cevi na zemlji;
- Posada aviokompanije nije dozvolila da se identifikuje činjenica da grejanje Pito cevi nije uključeno. U nesrećnom letu pre poletanja, na KISS¹⁴ – u je prikazano šest poruka upozorenja, uključujući tri poruke o odsustvu grejanja Pito cevi;
- Konstruktivne karakteristike vazduhoplova An-148, povezane sa nemogućnošću da se na KISS – u onemogućí prikaz većeg broja poruka upozorenja;
- Niska bezbednosna kultura aviokompanije, koja se manifestovala u sistematskom neupisivanju kvarova uočenih tokom leta u dnevnik letenja, kao i u izvođenju letova kod kojih kvarovi nisu otklonjeni i/ili nisu uvršteni na listu odloženih kvarovi, praćeni odgovarajućim porukama na KISS – u;
- Nepreduzimanje potrebnih mera u slučaju otkrivanja prethodnih činjenica neblagovremenog uključivanja grejanja Pito cevi od strane posade na osnovu rezultata ekspresne analize leta;
- Nespremnost posade da preduzme radnje u slučaju aktiviranja alarma "Speed of Emergenci" zbog nedostatka odgovarajuće teorijske obuke u aviokompaniji i nemogućnosti da se ova posebna situacija razradi na uređaju za simulaciju leta i/ili tokom letačke obuke i, kao posledica, nepoštovanje procedura predviđenih nakon aktiviranja ovog alarma;
- Nepostojanje saveznih vazduhoplovnih propisa za sertifikaciju simulatora letenja, čiji razvoj je predviđen Vazдушnim kodeksom Ruske Federacije;
- Odobrenje za postojeće simulatore leta AN-148 IFC Training LLC i CTC Sankt Peterburškog državnog univerziteta civilnog vazduhoplovstva bez uzimanja u obzir njihovih stvarnih mogućnosti da reprodukuju posebne letove, kao i odredbe FAR – 128;
- Odsustvo specifičnih vrednosti parametara leta (režim rada motora, uglovi nagiba i prevrtanja itd.) na letu vazduhoplova.

¹⁴ KISS tabla u kontekstu obaveštenja i upozorenja je vizuelni interfejs dizajniran po principu jednostavnosti (KISS) i služi da bi pilot mogao brzo da vidi, razume i reaguje na važne informacije bez zbunjivanja ili odlaganja.

8.3. KORAK 3: ANALIZA BEZBEDNOSTI

8.3.1. Identifikacija i analiza hazarda

Tabela 8 Identifikovani hazardi

Redni broj	Hazardi
1.	Nepovoljni meteorološki uslovi
2.	Uslovi loše vidljivosti
3.	Nedostaci na pratećoj opremi
4.	Preskakanje aktivacije grejanja Pito cevi
5.	Nedovoljna obučenost letачke posade za vanredne situacije
6.	Brza i nepotpuna priprema za let, proceduralni propusti
7.	Slabosti regulatornog nadzora i sertifikacije
8.	Neefikasan dizajn kokpit sistema i interfejsa
9.	Niska bezbednosna kultura i nedostaci u sistemu upravljanja bezbednošću

8.3.2. Ocena bezbednosnog rizika

Pri ocenjivanju verovatnoće pojave rizika korišćeni su podaci iz *Boeing Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents*, koji pružaju pregled najčešćih uzroka udesa u civilnom vazduhoplovstvu. Na osnovu učestalosti događaja iz Boeing baze, rizici su kategorizovani prema pripadajućoj verovatnoći pojave koristeći standardizovanu skalu verovatnoće (Tabela 1). Ozbiljnost posledica za identifikovane hazarde određena je na osnovu standardizovane klasifikacije ozbiljnosti rizika (Tabela 2) koja se koristi u vazduhoplovstvu, pri čemu je svaki hazard procenjen prema potencijalnim posledicama po bezbednost leta. U okviru ove analize, ozbiljnost svakog hazarda određena je prema realnim ishodima zabeleženim u udesima, sa posebnim osvrtom na nalaze istrage MAK i Boeing statističke podatke. Na osnovu matrice rizika (Tabela 3) određen je indeks rizika, a na osnovu Tabele 4 određena je prihvatljivost rizika. Ocena bezbednosnog rizika prikazana je tabelarno u nastavku.

Tabela 9 Kontrola rizika za generički hazard H₁

Referenca rizika (eng. <i>Risk reference</i>)	Generički hazard (eng. <i>Generic hazard</i>)	Opis rizika (eng. <i>Risk(s) description</i>)	Aktuelne mere za smanjenje rizika i indeks rizika (eng. <i>Current measures to reduce risk(s) and risk index</i>)	Dalje akcije za smanjenje rizika i rezultirajući indeks rizika (eng. <i>Further actions to reduce risk(s) and resulting risk index</i>)	Odgovornost (eng. <i>Responsibility</i>)
H ₁	Nepovoljni meteorološki uslovi	Nepovoljni vremenski uslovi kao što su ograničena vidljivost, snežne padavine, ledena kiša, jak vetar i grmljavinske oluje predstavljaju jedan od najznačajnijih faktora narušavanja bezbednosti leta. U fazama poletanja i sletanja, naročito tokom zimskih uslova, navedeni meteorološki faktori umanjuju situacionu svest posade, prouzrokuju netačnu procenu vertikalnog i horizontalnog profila leta, produžavaju vreme reakcije i povećavaju verovatnoću nepravilnog kontakta sa površinom ili izlaska izvan granica poletno-sletne staze.	1. Standardni briefing pre leta; 2. Aktiviranje operacija pri smanjenoj vidljivosti (eng. <i>Low Visibility Operations (LVO)</i>) u odgovarajućim situacijama; 3. Upravljanje resursima posade (eng. <i>Crew Resource Management (CRM)</i>); 4. Upotreba redovnih meteoroloških izveštaja za aerodrom (eng. <i>Meteorological Aerodrome Report/Terminal Aerodrome Forecast (METAR/TAF)</i>) podataka i ATIS (eng. <i>Automatic Terminal Information Service</i>) obaveštenja. Indeks rizika: 4A Prihvatljivost rizika: Neprihvatljiv rizik pod postojećim okolnostima	1. Unaprediti minimalne operativne parametre za poletanje i sletanje u uslovima nepovoljnih meteoroloških uslova; 2. Implementirati trenažni simulator za operacije u otežanim meteorološkim uslovima, sa posebnim osvrtom na procedure ponovnog poletanja; 3. Uvesti dodatne kontrolne tačke pre poletanja i tokom prilaza, omogućavajući posadi da ponovo proceni odluku „kreni/ne kreni“; 4. Pred odobrenje leta, šef smene mora izvršiti obaveznu procenu meteorološke situacije. Indeks rizika: 3C Prihvatljivost rizika: Kontrola rizika/Ublažavanje rizika	Kapetan vazduhoplova; Šef operacija; Menadžer obuke; Dispečerski sektor; Šef smene na aerodromu.

Tabela 10 Kontrola rizika za generički hazard H₂

Referenca rizika (eng. Risk reference)	Generički hazard (eng. Generic hazard)	Opis rizika (eng. Risk(s) description)	Aktuelne mere za smanjenje rizika i indeks rizika (eng. Current measures to reduce risk(s) and risk index)	Dalje akcije za smanjenje rizika i rezultirajući indeks rizika (eng. Further actions to reduce risk(s) and resulting risk index)	Odgovornost (eng. Responsibility)
H₂	Uslovi loše vidljivosti	Loša vidljivost direktno utiče na sposobnost posade da proceni situaciju u kritičnim fazama leta, posebno pri poletanju, prilazu i sletanju. Pri datoj vidljivosti od 2100 metara, usled slabih snežnih padavina, došlo je do udesa. Ograničena vidljivost doprinosi povećanom opterećenju posade, potencijalno vodi ka proceduralnim greškama i kompromituje pravovremeno identifikovanje abnormalnosti u letu.	1. Implementacija LVO procedura je obavezna kada su operativni uslovi ispod definisanih minimuma; 2. Briefing posade, fokusirajući se na instrumentalne prilaze; 3. CRM tehnike za detekciju neadekvatnih vizuelnih referenci tokom poletanja i prilaza. Indeks rizika: 3B Prihvatljivost rizika: Kontrola rizika/Ublažavanje rizika	1. Povećati upotrebu CAT II/III prilaza kada su dostupni i kada to operativni uslovi zahtevaju; 2. Uvesti obaveznu procenu meteoroloških uslova tokom briefinga za poletanje, uz posebno označavanje kritičnih vrednosti vidljivosti; 3. Unaprediti obuku posada za donošenje odluke o prekidu prilaza (missed approach) u uslovima smanjene vidljivosti i uspostaviti dodatne kontrolne tačke za donošenje odluke o nastavku poletanja. Indeks rizika: 3D Prihvatljivost rizika: Prihvatljiv rizik nakon pregleda operacija	Kapetan vazduhoplova; Dispečerska služba; Instruktori letačke obuke; Rukovodilac operativnog planiranja; Nadzor operativnih aktivnosti (vršenje nadzora nad dnevnim letovima).

Tabela 11 Kontrola rizika za generički hazard H₃

Referenca rizika (eng. <i>Risk reference</i>)	Generički hazard (eng. <i>Generic hazard</i>)	Opis rizika (eng. <i>Risk(s) description</i>)	Aktuelne mere za smanjenje rizika i indeks rizika (eng. <i>Current measures to reduce risk(s) and risk index</i>)	Dalje akcije za smanjenje rizika i rezultirajući indeks rizika (eng. <i>Further actions to reduce risk(s) and resulting risk index</i>)	Odgovornost (eng. <i>Responsibility</i>)
H₃	Nedostaci na pratećoj opremi	Nepotpuna ili neispravna prateća oprema, poput svetlosnih i navigacionih sistema, smanjuje sposobnost posade da bezbedno obavlja kritične faze leta. Ovaj hazard povećava mogućnost pogrešne procene situacije. Posebno je kritičan u lošim vremenskim uslovima.	1. Provera statusa aerodromske opreme putem NOTAM-a (eng. <i>Notice to Air Mission</i>) pre svakog leta; 2. Vizuelna provera statusa svetlosnih i signalnih sistema (gde je primenljivo); 3. Primena LVO procedura kada aerodromska oprema nije u funkciji. Indeks rizika: 2C Prihvatljivost rizika: Prihvatljiv rizik nakon pregleda operacija	1. Uvođenje striktnih kriterijuma za zabranu poletanja i sletanja u slučaju degradiranih svetlosnih i navigacionih sistema; 2. Obavezna potvrda statusa ključne opreme od strane dispečera pre svakog polaska; 3. Prilagođavanje minimalnih operativnih uslova za aerodrome sa učestalim kvarovima opreme; 4. Uvođenje dodatne kontrolne tačke u brifingu – procena uslova sa aspekta dostupnosti i ispravnosti aerodromske opreme. Indeks rizika: 2D Prihvatljivost rizika: Prihvatljiv rizik	Kapetan vazduhoplova; Dispečerska služba; Odeljenje za operativno planiranje; Tehničko osoblje za navigaciona i svetlosna sredstva aerodroma.

Tabela 12 Kontrola rizika za generički hazard H₄

Referenca rizika (eng. Risk reference)	Generički hazard (eng. Generic hazard)	Opis rizika (eng. Risk(s) description)	Aktuelne mere za smanjenje rizika i indeks rizika (eng. Current measures to reduce risk(s) and risk index)	Dalje akcije za smanjenje rizika i rezultirajući indeks rizika (eng. Further actions to reduce risk(s) and resulting risk index)	Odgovornost (eng. Responsibility)
H₄	Preskakanje aktivacije grejanja Pito cevi	Neaktiviranje grejanja Pito cevi dovodi do zamrzavanja sonde i pogrešnih očitavanja brzine, što direktno ugrožava svest posade. Posledično dolazi do pogrešnih kontrolnih komandi, posebno u poletanju i penjanju, što može uzrokovati gubitak kontrole nad vazduhoplovom.	1. Standardna check lista „Pre poletanja“ uključuje proveru aktiviranja grejanja Pito cevi; 2. Vizuelni prikaz statusa grejanja na KISS sistemu; 3. Osnovna CRM pravila za proveru check liste; 4. Minimalna obuka u simulatoru. Indeks rizika: 4A Prihvatljivost rizika: Neprihvatljiv rizik pod postojećim okolnostima	1. Uvesti fizičku blokadu (lockout/tagout) sistema Pito grejanja – vazduhoplov ne može započeti voženje bez potvrđenog aktiviranja sistema; 2. Revidirati kontrolnu listu (checklist) uvođenjem dodatnih verbalnih potvrda statusa sistema Pitot grejanja; 3. Uvesti obaveznu obuku na simulatoru kroz specifične scenarije „unreliable airspeed“; 4. Unaprediti KISS sistem uvođenjem prioritnog upozorenja „No Pitot Heat“; 5. Uvesti FDM analizu aktiviranja sistema Pito grejanja pre poletanja. Indeks rizika: 3C Prihvatljivost rizika: Kontrola rizika/Ublažavanje rizika	Kapetan vazduhoplova; Instruktori letačke obuke; Odeljenje za obuku (teorijska i simulator trening); Tehničko odeljenje za vazduhoplovne sisteme i opremu; Flight Safety Office (odgovoran za sprovođenje FDM analize).

Tabela 13 Kontrola rizika za generički hazard H₅

Referenca rizika (eng. Risk reference)	Generički hazard (eng. Generic hazard)	Opis rizika (eng. Risk(s) description)	Aktuelne mere za smanjenje rizika i indeks rizika (eng. Current measures to reduce risk(s) and risk index)	Dalje akcije za smanjenje rizika i rezultirajući indeks rizika (eng. Further actions to reduce risk(s) and resulting risk index)	Odgovornost (eng. Responsibility)
H₅	Nedovoljna obučenost letačke posade za vanredne situacije	Ovaj hazard dovodi do pogrešnog prepoznavanja abnormalnih situacija i neadekvatnog reagovanja u kriznim uslovima. Nedovoljna obučenost posade za specifične vanredne situacije može dovesti do grešaka u donošenju odluka u uslovima složenih sistemskih otkaza ili kombinovanog uticaja operativnih i tehničkih faktora, pri čemu pravovremena reakcija predstavlja ključni faktor za bezbedan ishod događaja..	1. Standardna inicijalna obuka posade uključuje osnovne vanredne situacije; 2. Periodična revalidacija i kontrolni letovi; 3. Ograničen obim simulatorske obuke bez scenarija koji obuhvataju složene kvarove i vanredne situacije. Indeks rizika: 4A Prihvatljivost rizika: Neprihvatljiv rizik pod postojećim okolnostima	1. Uvođenje scenarijske obuke na simulatoru sa fokusom na kombinovane tehničke i proceduralne otkaze; 2. Razvoj specijalizovanih programa obuke za prepoznavanje latentnih grešaka i primenu standardnih operativnih procedura (eng. <i>Standard Operating Procedures (SOP)</i>) procedura u složenim operativnim situacijama; 3. Uvođenje obavezne analize FDM podataka i post-flight brifinga sa analizom procesa donošenja odluka tokom realnih letova; 4. Značajno povećanje učestalosti simulatorske obuke za kapetane i prve oficire, uz obavezno sprovođenje scenarija vanrednih i kriznih situacija. Indeks rizika: 3C Prihvatljivost rizika: Kontrola rizika/Ublažavanje rizika	Kapetan vazduhoplova; Instruktori letačke obuke; Menadžer obuke; Rukovodilac sektora za standardizaciju; Flight Safety Office.

Tabela 14 Kontrola rizika za generički hazard H₆

Referenca rizika (eng. Risk reference)	Generički hazard (eng. Generic hazard)	Opis rizika (eng. Risk(s) description)	Aktuelne mere za smanjenje rizika i indeks rizika (eng. Current measures to reduce risk(s) and risk index)	Dalje akcije za smanjenje rizika i rezultirajući indeks rizika (eng. Further actions to reduce risk(s) and resulting risk index)	Odgovornost (eng. Responsibility)
H₆	Brza i nepotpuna priprema za let, proceduralni propusti	Nepotpuna ili ubrzana priprema za let dovodi do preskakanja ključnih koraka iz kontrolnih lista, čime se povećava verovatnoća da vazduhoplov poleti sa neprimećenim tehničkim ili proceduralnim propustima. Ovakve greške direktno utiču na bezbednost leta, naročito u složenim vremenskim i operativnim uslovima.	1. Standardna checklista sa osnovnim kontrolnim stavkama za pripremu leta; 2. Tehnički pregledi vazduhoplova pre poletanja; <i>Indeks rizika: 4B Prihvatljivost rizika: Neprihvatljiv rizik pod postojećim okolnostima</i>	1. Uvođenje minimalnog vremena pripreme leta u SOP, uz jasno definisanu zabranu skraćivanja kontrolnih; 2. Dodatna obuka posade o prioritetima kontrole i primeni kontrolnih lista u uslovima operativnog pritiska; 3. Obavezna upotreba nezavisne (audit) kontrolne liste od strane trećeg lica na aerodromima sa visokim nivoom opterećenja; 4. Automatizovana provera ključnih statusnih indikacija u vazduhoplovu pre poletanja. <i>Indeks rizika: 4C Prihvatljivost rizika: Kontrola rizika/Ublažavanje rizika</i>	Kapetan vazduhoplova; Šef operacija; Instruktori obuke; Nadzorno osoblje za pripremu leta; Dispečerski centar.

Tabela 15 Kontrola rizika za generički hazard H₇

Referenca rizika (eng. <i>Risk reference</i>)	Generički hazard (eng. <i>Generic hazard</i>)	Opis rizika (eng. <i>Risk(s) description</i>)	Aktuelne mere za smanjenje rizika i indeks rizika (eng. <i>Current measures to reduce risk(s) and risk index</i>)	Dalje akcije za smanjenje rizika i rezultirajući indeks rizika (eng. <i>Further actions to reduce risk(s) and resulting risk index</i>)	Odgovornost (eng. <i>Responsibility</i>)
H₇	Slabosti regulatornog nadzora i sertifikacije	Nedovoljno efikasan regulatorni nadzor omogućava da ozbiljni proceduralni i organizacioni propusti ostanu neotkriveni tokom operacija. Nedovoljno stroge kontrole sertifikacije simulatora i slab nadzor nad implementacijom bezbednosnih procedura povećavaju rizik od sistemskih grešaka. Latentni nedostaci ovog tipa mogu ostati neprepoznati do pojave incidenta ili nesreće sa značajnim posledicama.	1. Povremene inspekcije regulatornog tela bez fokusiranih tematskih provera; 2. Osnovni program interne kontrole kvaliteta u kompaniji; 3. Ograničen obim provere simulatora, fokusiran više na administrativne aspekte nego na realnu operativnu spremnost. Indeks rizika: 3B Prihvatljivost rizika: Kontrola rizika/Ublažavanje rizika	1. Uvođenje obaveznih tematskih inspekcija regulatornog tela sa fokusom na SMS, simulatore i praktične kompetencije posade; 2. Redovno praćenje kvaliteta simulatorske obuke uz proveru stvarne reprodukcije vanrednih situacija; 3. Nezavisna kontrola evidentiranja i otklanjanja tehničkih kvarova; 4. Uvođenje nezavisnih ekspertskih nadzornih tela (npr. Safety Review Board) u okviru aviokompanije, uz direktno izveštavanje nadležnom regulatoru. Indeks rizika: 3D Prihvatljivost rizika: Prihvatljiv rizik nakon pregleda operacija	Regulatorno telo nadležno za civilno vazduhoplovstvo; Menadžment aviokompanije; Menadžer za bezbednost; Odeljenje za kontrolu kvaliteta; Tim za proveru simulatora i obuke.

Tabela 16 Kontrola rizika za generički hazard H₈

Referenca rizika (eng. Risk reference)	Generički hazard (eng. Generic hazard)	Opis rizika (eng. Risk(s) description)	Aktuelne mere za smanjenje rizika i indeks rizika (eng. Current measures to reduce risk(s) and risk index)	Dalje akcije za smanjenje rizika i rezultirajući indeks rizika (eng. Further actions to reduce risk(s) and resulting risk index)	Odgovornost (eng. Responsibility)
H₈	Neefikasan dizajn kokpit sistema i interfejsa	Neefikasan dizajn pilotske kabine otežava pravilno tumačenje informacija u vanrednim situacijama i produžava vreme reakcije posade. Loše organizovan interfejs, prevelik broj nebitnih upozorenja i nedovoljna uočljivost kritičnih alarma povećavaju rizik od pogrešne procene situacije. Takvi dizajnerski nedostaci doprinose dezorijentaciji posade i povećanom riziku od gubitka kontrole nad letelicom.	1. Osnovna CRM obuka za prepoznavanje pogrešnih indikacija; 2. Vizuelna kontrola osnovnih sistema tokom leta; 3. Standardna obuka koja ne obuhvata specifične scenarije sa dvosmislenim ili zbunjujućim signalima. Indeks rizika: 2C Prihvatljivost rizika: Prihvatljiv rizik nakon pregleda operacija	1. Uvođenje dodatnih simulatorskih scenarija sa fokusom na dvosmislene indikacije („confusing indications“) i degradirane uslove u pilotskoj kabini; 2. Analiza dizajna kokpita kroz Safety Review Board uz proaktivno prikupljanje povratnih informacija od pilota; 3. Uvođenje obaveznih tačaka odlučivanja („decision points“) u kokpitu pri pojavi višestrukih alarma; 4. Redovno usklađivanje SOP-a na osnovu analize ponašanja posade tokom složenih indikacija i situacija sa dvosmislenim prikazima sistema. Indeks rizika: 2D Prihvatljivost rizika: Prihvatljiv rizik	Menadžer za obuku; Instruktori simulatora; Tehničko osoblje; Flight safety office; Šef operacija.

Tabela 17 Kontrola rizika za generički hazard H₉

Referenca rizika (eng. <i>Risk reference</i>)	Generički hazard (eng. <i>Generic hazard</i>)	Opis rizika (eng. <i>Risk(s) description</i>)	Aktuelne mere za smanjenje rizika i indeks rizika (eng. <i>Current measures to reduce risk(s) and risk index</i>)	Dalje akcije za smanjenje rizika i rezultirajući indeks rizika (eng. <i>Further actions to reduce risk(s) and resulting risk index</i>)	Odgovornost (eng. <i>Responsibility</i>)
H₉	Niska bezbednosna kultura i nedostaci u sistemu upravljanja bezbednošću	Niska bezbednosna kultura dovodi do ignorisanja kvarova, preskakanja procedura i neadekvatnog prijavljivanja opasnih situacija. Nedostaci u sistemu upravljanja bezbednošću omogućavaju da se propusti akumuliraju bez kontrole, što povećava verovatnoću ozbiljnih nezgoda i udesa. Ovakvi sistemski problemi često ostaju skriveni sve do trenutka udesa.	1. Postojeće SMS procedure koje nisu u potpunosti primenjene u operativnoj praksi; 2. Povremeni interni nadzor bez obavezne analize uzroka sistemskih slabosti; 3. Ograničen program prijavljivanja opasnih događaja bez efektivne povratne informacije. Indeks rizika: 5C Prihvatljivost rizika: Neprihvatljiv rizik pod postojećim okolnostima	1. Uvođenje aktivnog programa bezbednosne kulture kroz kontinuirane edukacije i radionice; 2. Unapređenje sistema prijavljivanja i analize događaja sa jasno definisanim praćenjem korektivnih mera; 3. Uspostavljanje nezavisnog Safety Review Board-a za praćenje implementacije mera; 4. Periodične interne SMS revizije sa eksternim proverama. Indeks rizika: 3C Prihvatljivost rizika: Kontrola rizika/Ublažavanje rizika	Menadžment aviokompanije; Menadžer za bezbednost (eng. <i>Safety Manager</i>); Instruktori i supervizori SMS-a.

U okviru analize bezbednosnog slučaja posebno su identifikovani neprihvatljivi rizici koji direktno doprinose povećanju verovatnoće nastanka ozbiljnih nezgoda ili udesa. Na osnovu sprovedene analize i nalaza iz istrage izdvojeni su neprihvatljivi rizici (generički hazardi koji predstavljaju potencijalnu opasnost od nastanka rizika) i prikazani u Tabeli 18. Ovi faktori su prepoznati kao ključni uzroci koji su imali presudan uticaj na nastanak udesa, a posledice njihovog zanemarivanja u praksi direktno vode ka fatalnim ishodima.

Tabela 18 Hazardi koji su uzrok neprihvatljivih rizika

Redni broj	Hazardi
1.	Nepovoljni meteorološki uslovi
2.	Preskakanje aktivacije grejanja Pito cevi
3.	Nedovoljna obučenost letачke posade za vanredne situacije
4.	Brza i nepotpuna priprema za let, proceduralni propusti
5.	Niska bezbednosna kultura i nedostaci u sistemu upravljanja bezbednošću

8.4. KORAK 4. IDENTIFIKACIJA MERA BEZBEDNOSTI ZA SMANJENJE RIZIKA

U Tabeli 19 prikazane su mere bezbednosti (alternative) za svaki hazard. Međutim, neke bezbednosne mere mogu uticati na smanjenje više od jednog hazarda. Shodno tome, napravljena je Tabela 20 koja prikazuje vezu između hazarda i mera bezbednosti.

Tabela 19 Identifikacija mera bezbednosti za smanjenje rizika [75]

Redni broj	Hazardi	Mere bezbednosti za smanjenje rizika
1.	Nepovoljni meteorološki uslovi	1. Povećati minimalne operativne kriterijume za poletanje/sletanje usled loših vremenskih uslova. 2. Intenzivirati simulator trening posada za operacije u teškim vremenskim uslovima, sa naglaskom na go-around procedure. 3. Uvesti dodatne decision points pre poletanja i tokom prilaza koji omogućavaju posadi dodatnu procenu "go/no-go" odluke. 4. Uvesti obaveznu evaluaciju meteorološke situacije kod šefa smene pre odobrenja za let.
2.	Preskakanje aktivacije grejanja Pito cevi	1. Uvesti fizičku blokadu (lockout tag) sistema Pito grejanja – avion ne može krenuti bez potvrđenog aktiviranja sistema. 2. Revidirati check listu sa dodatnim glasovnim verifikacijama statusa Pito sistema. 3. Uvesti obaveznu obuku kroz specifične scenarije "unreliable airspeed" na simulatoru. 4. Nadograditi KISS sistem sa prioriternim alarmiranjem "No Pito Heat". 5. Uvesti flight data monitoring (FDM) analizu aktiviranja Pito grejanja pre poletanja.
3.	Nedovoljna obučenosn letake posade za vanredne situacije	1. Uvođenje scenario-treninga u simulatoru sa fokusom na kombinovane tehničke i proceduralne kvarove. 2. Razvoj specijalizovanih programa obuke za prepoznavanje latentnih grešaka i primenu SOP u složenim situacijama. 3. Obavezna analiza FDM i post-flight briefing sa analizom donošenja odluka u realnim letovima. 4. Značajno povećanje učestalosti simulator treninga za kapetane i prvog oficira sa obaveznom prolaskom kriznih scenarija.
4.	Brza i nepotpuna priprema za let, proceduralni propusti	1. Uvođenje ograničenja minimalnog trajanja pripreme leta u SOP sa jasnim zabranama skraćivanja check liste. 2. Dodatna obuka posade o prioritetima kontrole i primeni check liste u uslovima operativnog pritiska. 3. Obavezna upotreba audit check liste od strane treće osobe na aerodromima sa većim stepenom opterećenja. 4. Automatizovana provera ključnih statusnih indikacija u avionu pre poletanja.
5.	Niska bezbednosna kultura i nedostaci u sistemu upravljanja bezbednošću	1. Uvođenje aktivnog programa bezbednosne kulture kroz kontinuirane edukacije i radionice. 2. Unapređenje sistema prijavljivanja i analize događaja sa jasno definisanim praćenjem korektivnih mera. 3. Uspostavljanje nezavisnog safety review board-a za praćenje implementacije mera. 4. Periodične interne SMS revizije sa eksternim proverama.

Tabela 20 Veza između hazarda i mera bezbednosti za odabranu studiju slučaja [75]

Oznaka	Mera	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅
M ₁	Povećati minimalne operativne kriterijume za loše vreme	✓				✓
M ₂	Simulator trening za loše vreme (go-around)	✓		✓	✓	✓
M ₃	Dodatni decision points za „go/no-go“	✓			✓	✓
M ₄	Evaluacija meteo situacije od strane šefa smene	✓				✓
M ₅	Fizička blokada sistema Pito grejanja		✓		✓	✓
M ₆	Revidirana check lista sa glasovnim verifikacijama		✓	✓	✓	✓
M ₇	Simulator „unreliable airspeed“		✓	✓	✓	✓
M ₈	Alarm „No Pito Heat“		✓		✓	✓
M ₉	FDM analiza aktivacije Pito grejanja		✓	✓	✓	✓
M ₁₀	Scenario-trening za tehničke/proceduralne kvarove			✓	✓	✓
M ₁₁	Obuka za latentne greške i SOP			✓	✓	✓
M ₁₂	FDM analiza i post-flight briefing		✓	✓	✓	✓
M ₁₃	Učestaliji simulator treninzi za kapetane i FO	✓		✓	✓	✓
M ₁₄	SOP – minimalno vreme pripreme leta				✓	✓
M ₁₅	Obuka o checklistama i kontrolama pod pritiskom			✓	✓	✓
M ₁₆	Audit check lista od treće osobe				✓	✓
M ₁₇	Automatizovana provera statusa pre poletanja		✓	✓	✓	✓
M ₁₈	Program bezbednosne kulture i edukacije			✓	✓	✓
M ₁₉	Unapređenje sistema za prijavu i korektivne mere		✓	✓	✓	✓
M ₂₀	Nezavisni safety review board	✓	✓		✓	✓
M ₂₁	Periodične SMS revizije sa eksternom proverom		✓	✓	✓	✓

8.5. KORAK 5: ODREĐIVANJE PRIORITETA MERA BEZBEDNOSTI HIBRIDNIM MODELOM VIŠEKRITERIJUMSKOG ODLUČIVANJA

Uzimajući u obzir prioritete različitih zainteresovanih strana (aviokompanija, regulatornih tela i putnika), rangiraju se identifikovane mere bezbednosti koje imaju najveći doprinos smanjenju rizika od najopasnijih (neprihvatljivih) hazarda u operacijama vazduhoplova.

Definisanje konteksta procene hazarda podrazumeva razumevanje različitih perspektiva zainteresovanih strana:

1. **Regulatorna tela** se fokusiraju na usklađenost sa važećim propisima, praćenje statističkih pokazatelja rizika i primenu međunarodnih standarda, kao što su smernice ICAO-a i EASA-e, kako bi se obezbedio minimalni prihvatljiv nivo bezbednosti;
2. **Aviokompanija** hazarde sagledava kroz uticaj na operativnu efikasnost, troškove poslovanja i potencijalnu pravnu odgovornost u slučaju nezgode ili udesa;
3. **Korisnici usluga** – putnici s druge strane, procenjuju hazarde prvenstveno kroz prizmu lične sigurnosti i poverenja u prevoznika, pri čemu njihova percepcija bezbednosti ima značajan uticaj na reputaciju aviokompanije i spremnost na korišćenje njenih usluga.

Za potrebe hibridnog modela višekriterijumskog odlučivanja hazardi predstavljaju kriterijume ($C_1, C_2, \dots, C_5$) dok mere bezbednosti predstavljaju alternative ($A_1, A_2, \dots, A_{21}$). Ulazni i izlazni podaci za fuzzy FARE metodu prikazani su u Tabeli 21, dok su ulazni i izlazni podaci za ADAM metodu prikazani u Tabeli 21.

Tabela 21 Ulazni i izlazni podaci za fuzzy FARE metodu [75]

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Crisp weight
C_1		“VL”	“FL”	“L”	“VL”	1,0701
C_2			“FH”	“M”	“FL”	1,1433
C_3				“FL”	“L”	1,0094
C_4					“FL”	0,9658
C_5						0,9098

Tabela 22 Ulazni i izlazni podaci za ADAM metodu [75]

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	V_q^C	Rank
A ₁	“EH”	“N”	“N”	“N”	“VL”	0.0030	20
A ₂	“EH”	“N”	“FH”	“FL”	“FH”	0.0219	6
A ₃	“EH”	“N”	“N”	“H”	“H”	0.0215	7
A ₄	“EH”	“N”	“N”	“N”	“VL”	0.0030	20
A ₅	“N”	“EH”	“N”	“FH”	“L”	0.0109	16
A ₆	“N”	“EH”	“M”	“VL”	“FL”	0.0203	8
A ₇	“N”	“EH”	“N”	“L”	“M”	0.0104	17
A ₈	“N”	“EH”	“FL”	“VL”	“FL”	0.0171	11
A ₉	“N”	“EH”	“EH”	“M”	“FH”	0.0462	1
A ₁₀	“N”	“N”	“EH”	“FH”	“VH”	0.0404	2
A ₁₁	“N”	“N”	“EH”	“M”	“L”	0.0154	12
A ₁₂	“N”	“VL”	“EH”	“FH”	“L”	0.0187	9
A ₁₃	“L”	“N”	“N”	“VL”	“FL”	0.0048	19
A ₁₄	“N”	“N”	“M”	“EH”	“L”	0.0154	13
A ₁₅	“N”	“N”	“N”	“EH”	“FL”	0.0146	14
A ₁₆	“N”	“N”	“VL”	“EH”	“L”	0.0121	15
A ₁₇	“N”	“FH”	“L”	“EH”	“L”	0.0174	10
A ₁₈	“N”	“N”	“H”	“FL”	“EH”	0.0330	4
A ₁₉	“N”	“L”	“L”	“M”	“EH”	0.0266	5
A ₂₀	“L”	“VL”	“N”	“N”	“EH”	0.0073	18
A ₂₁	“N”	“L”	“M”	“H”	“EH”	0.0397	3

Na osnovu rangiranja bezbednosnih mera određuje se konačno rešenje problema. Najviše rangirana mera je A₉ – FDM analiza aktivacije grejanja Pitot sonde, koja omogućava blagovremeno otkrivanje i ispravljanje nepravilnosti u Pitot sistemu, čime se značajno smanjuje rizik od ozbiljnih tehničkih

problema tokom poletanja i leta. Slede po važnosti A₁₀ – Obuka zasnovana na scenarijima za tehničke/proceduralne kvarove i A₂₁ – Periodični SMS auditi sa eksternom verifikacijom, koje unapređuju sposobnost posade i sistema da prepoznaju i reaguju na kritične situacije. Najniže rangirane mere su A₁ – Povećanje minimalnih operativnih kriterijuma za loše vremenske uslove i A₄ – Procena vremenske situacije od strane šefa smene, što ukazuje na to da mere koje direktno nadziru i analiziraju rad kritičnih sistema imaju znatno veći uticaj na smanjenje rizika od onih koje se oslanjaju isključivo na proceduralne ili organizacione aktivnosti.

8.6. KORAK 6: DONOŠENJE ODLUKE

8.6.1. Određivanje troškova implementacije mera bezbednosti

Tabela 23 predstavlja okvirne troškove implementacije mera bezbednosti. Iz koraka 6 može se videti da su 5 najvažnijih mera bezbednosti: A₉, A₁₀, A₂₁, A₁₈ i A₁₉. Ovih 5 mera će se implementirati i odrediti isplativost uvođenja. U Prilogu 7 dato je objašnjenje kako su izvedeni troškovi i na osnovu kojih referenci.

Tabela 23 Okvirni troškovi implementacije mera bezbednosti¹⁵

Oznaka	Mera bezbednosti	Okvirna cena (€)	Napomena
A ₉	FDM analiza aktivacije Pito grejanja	3.000 – 10.000	Cena zavisi od broja lokacija i složenosti sistema grejanja.
A ₁₀	Scenario-trening za tehničke/proceduralne kvarove	2.000 – 5.000	Obuhvata simulacije kvarova, pripremu scenarija i angažovanje instruktora.
A ₂₁	Periodične SMS revizije sa eksternom proverom	1.500 – 4.000	Uključuje SMS sistem, administraciju i eksternu proveru.
A ₁₈	Program bezbednosne kulture i edukacije	2.000 – 6.000	Obuhvata radionice, materijale, e-learning i prezentacije.
A ₁₉	Unapređenje sistema za prijavu i korektivne mere	3.000 – 10.000	Zavisi od softverskog rešenja, integracije i obuke zaposlenih.

8.6.2. Određivanje statističke vrednosti ljudskog života

Za potrebe ove studije slučaja biće razmatrane vrednosti do kojih su došle vazduhoplovne organizacije koje su se bavile statističkom vrednošću ljudskog života odnosno koristeće se procena VOSL iz literature i uzeće se srednja vrednost kao najrelevantnija. Naime, EUROCONTROL procenjuje da vrednost ljudskih života iznosi 3,3 miliona € [40], EASA procenjuje tu vrednost kao 2

¹⁵ Procene troškova predstavljaju okvirne vrednosti zasnovane na tipičnim cenama implementacije SMS-a, FDM analiza, bezbednosnih obuka i eksternih revizija kod malih i srednjih kompanija. Stvarni troškovi mogu značajno varirati u zavisnosti od veličine organizacije, složenosti operacija, broja zaposlenih, nivoa regulatornih zahteva (ICAO/EASA), kao i od izbora softverskih i konsultantskih rešenja.

miliona € [35], dok USDOT procenjuje da statistička vrednost ljudskog života iznosi 12,5 miliona €. Takođe, koriste se i vrednosti od 1-12,5 miliona € [73]. Za potrebe ove studije slučaja i za dalju analizu usvaja se vrednost od 12,5 miliona €.

Maksimalan broj sedišta vazduhoplova tipa Antonov An-148-100B je 68 – 85 sedišta [6]. U ovoj studiji slučaja, na letu je bilo 65 putnika i 6 članova posade i svi su izgubili živote.

Trošak ljudskih života nastradalih u udesu vazduhoplova može se proceniti na približno 888 miliona € (sa ciljem poređenja vrednosti u istoj valuti, konvertovano u \$ vrednost je približno 1030 miliona \$).

8.6.3. Određivanje isplativosti

Isplativost se određuje primenom analize troškova i koristi. Prvo se izračunava ukupan trošak implementacije predloženih mera bezbednosti, a zatim se ti troškovi porede sa ekonomskim gubicima koji bi nastali u slučaju udesa (koristiće se troškovi dobijeni uz analize udesa).

Na osnovu Tabele 23 izračunaće se najveća moguća cena implementacije svake mere.

$$C_{\text{mera}} = CA_9 + CA_{10} + CA_{21} + CA_{18} + CA_{19} = 10.000 + 5.000 + 4.000 + 6.000 + 10.000 = 35.000 \text{ €}$$

Trošak udesa, izražen kroz statističku vrednost izgubljenih ljudskih života, iznosi 888 miliona €.

Za izračunavanje isplativosti ulaganja koristiće se formula (34):

$$\frac{K}{T} = \frac{888 \text{ miliona €}}{35.000 \text{ €}} \approx 25.371 \text{ €}$$

Ukoliko je ratio koristi i troškova jednak ili veći od jedan, projekat bi trebalo prihvatiti zato što je isplativ, a ukoliko je ratio koristi i troškova manji od jedan projekat treba odbaciti (Prilog 8). Može se zaključiti da je implementacija mera bezbednosti apsolutno isplativa.

Nakon dobijenih rezultata, potrebno je uspostaviti prag isplativosti investicije. Svaka aviokompanija ili operater aerodroma koji primenjuje ovu metodologiju, biće u mogućnosti da kroz svoj sistem upravljanja bezbednošću odredi koji je za njega prihvatljiv nivo isplativosti investiranja u bezbednost. Mere bezbednosti su zapravo investicioni projekti (Prilog 8).

9. SELEKCIJA MERA BEZBEDNOSTI U OPERACIJAMA VAZDUHOPLOVA: HIBRIDNI GREY DELPHI–AHP–ADAM MODEL

U savremenim operacijama vazduhoplova, identifikacija hazarda i izbor odgovarajućih mera za smanjenje rizika predstavljaju ključne korake u unapređenju bezbednosti. Uzimajući u obzir složenu međuzavisnost između hazarda, interesa različitih zainteresovanih strana i potencijalnih bezbednosnih mera, neophodno je primeniti višekriterijumski pristup u odlučivanju. Za potrebe doktorske disertacije razvijen je novi model višekriterijumskog odlučivanja koji određuje prioritete mera bezbednosti za opšte hazarde. Time se omogućava donošenje efikasnijih odluka i olakšava planiranje, raspodela resursa i sprovođenje mera zaštite u različitim uslovima. Cilj ove studije jeste izbor najefikasnijih mera bezbednosti u operacijama vazduhoplova na osnovu njihovog uticaja na identifikovane hazarde, uzimajući u obzir perspektive ključnih zainteresovanih strana – regulatornih tela, aviokompanija i korisnika usluga. Reč je o procesu prioritizacije, odnosno utvrđivanju koje mere imaju najveći doprinos smanjenju rizika od najopasnijih hazarda i koje bi, shodno tome, trebalo da imaju prednost u planiranju i implementaciji u okviru sistema upravljanja bezbednošću. Za rešavanje ovog problema razvijen je hibridni model višekriterijumskog koji integriše grey Delphi i grey AHP metodu radi određivanja značaja hazarda po interesne grupe, kao i grey ADAM metodu za rangiranje mera bezbednosti. Primena predloženog modela na definisani skup hazarda i mera omogućila je identifikaciju najefikasnijih rešenja u pogledu smanjenja ukupnog bezbednosnog rizika. Dobijeni rezultati pružaju podršku donošenju odluka u planiranju i implementaciji mera bezbednosti, uzimajući u obzir višedimenzionalnost problema i ograničene resurse. Glavni doprinosi rada ogledaju se u definisanju konkretnih mera bezbednosti povezanih sa identifikovanih 12 opštih hazarda, razvrstanih prema ICAO klasifikaciji na prirodne, tehničke i ekonomske, razvoju okvira za ocenu hazarda i bezbednosnih mera, i razvoju nove hibridne MCDM metode koja omogućava izbor najefikasnijih bezbednosnih mera u operacijama vazduhoplova.

Prema ICAO Safety Management Manual [52], hazardi se najčešće dele na tri osnovne grupe: prirodni, tehnički i ekonomski. Svaka od ovih grupa uključuje nekoliko specifičnih (generičkih) hazarda. Na osnovu podele hazarda prema ICAO Safety Management Manual na tri osnovne grupe može se definisati 12 opštih hazarda (Tabela 24) [27]. Hazardi u vazduhoplovstvu obuhvataju širok spektar prirodnih, tehničkih i društvenih faktora koji mogu ugroziti bezbednost operacija vazduhoplova. Ozbiljnije vremenske i klimatske pojave uključuju uragane, snežne oluje, suše, tornada, oluje praćene grmljavinom i sevanjem, kao i smicanje vetra, dok nepovoljni vremenski uslovi obuhvataju mraz, ledenu kišu, jaku kišu, sneg, vetar i smanjenu vidljivost. Geofizičke pojave uključuju zemljotrese, vulkanske erupcije, cunami, poplave i klizišta, dok geografski uslovi mogu predstavljati opasnost zbog nepristupačnog terena ili velikih vodenih površina. Pojave u prirodnoj sredini uključuju požare, aktivnosti divljih životinja, udare ptica, kao i štetu izazvanu insektima i drugim štetočinama. Događaji vezani za javno zdravlje obuhvataju epidemije gripa i drugih zaraznih bolesti. Tehnički i infrastrukturni hazardi uključuju nedostatke na vazduhoplovima i njihovim sistemima, podsistemima i pratećoj opremi, kao i nedostatke na objektima infrastrukture, sredstvima za rad i pratećoj opremi, dok eksterni tehnički faktori obuhvataju nedostatke na spoljnim objektima, sistemima i opremi. Na kraju, prisutni su ekonomski hazardi. Kada ekonomija raste i postoji veća potražnja za putovanjima, broj letova i broj putnika se povećava. Veći broj operacija može stvoriti veći pritisak na resurse vazduhoplovnih kompanija, uključujući posadu, vazduhoplove, sisteme za održavanje i kontrolu letenja. To može povećati složenost upravljanja operacijama i potencijalno podići rizik od udesa, pa je samim tim ekonomski rast jedan od hazarda. Recesija smanjuje budžete za održavanje i obuku posade, dok promene u troškovima materijala i opreme otežavaju

pravovremenu zamenu delova, deluju indirektno na bezbednost, jer ograničavaju resurse potrebne za održavanje prihvatljivog nivoa bezbednosti u operacijama vazduhoplova [110].

Tabela 24 Opšti hazardi [27, 110]

Grupa hazarda	Oznaka	Hazardi
Prirodni hazardi	H ₁	Ozbiljnije vremenske i klimatske pojave
	H ₂	Nepovoljni vremenski uslovi
	H ₃	Geofizičke pojave
	H ₄	Geografski uslovi
	H ₅	Pojave u prirodnoj sredini
	H ₆	Događaji vezani za javno zdravlje
Tehnički hazardi	H ₇	Nedostaci na vazduhoplovu i delovima vazduhoplova, sistemima, podsistemima i pratećoj opremi
	H ₈	Nedostaci na objektima infrastrukture, sredstvima za rad i pratećoj opremi
	H ₉	Nedostaci na eksternim objektima, sistemima, podsistemima i pratećoj opremi
Ekonomski hazardi	H ₁₀	Ekonomski rast
	H ₁₁	Recesija
	H ₁₂	Troškovi materijala i opreme

ICAO pruža okvirne principe za upravljanje rizicima u vazduhoplovstvu. Organizacije se podstiču na praćenje vremenskih uslova, primenu procedura za letenje u ekstremnim i nepovoljnim uslovima, sprovođenje programa održavanja vazduhoplova i infrastrukture, izradu planova za vanredne situacije, primenu bezbednosnih mera u skladu sa WHO protokolima, kao i regulatorni nadzor i sertifikaciju kritične opreme. Ipak, ICAO ne pruža direktno konkretan spisak mera bezbednosti. Date mere u Tabeli 25, M₁–M₃₅ predstavljaju sistematizaciju i interpretaciju ICAO principa, prilagođenu za praktičnu primenu i odabira mera bezbednosti. U Tabeli 25 prikazane su mere bezbednosti (alternative) za svaki opšti hazard. Međutim, neke bezbednosne mere mogu uticati na smanjenje više od jednog hazarda. Shodno tome, napravljena je Tabela 26 koja prikazuje vezu između hazarda i mera bezbednosti.

Tabela 25 Identifikovane mere bezbednosti za smanjenje rizika [110]

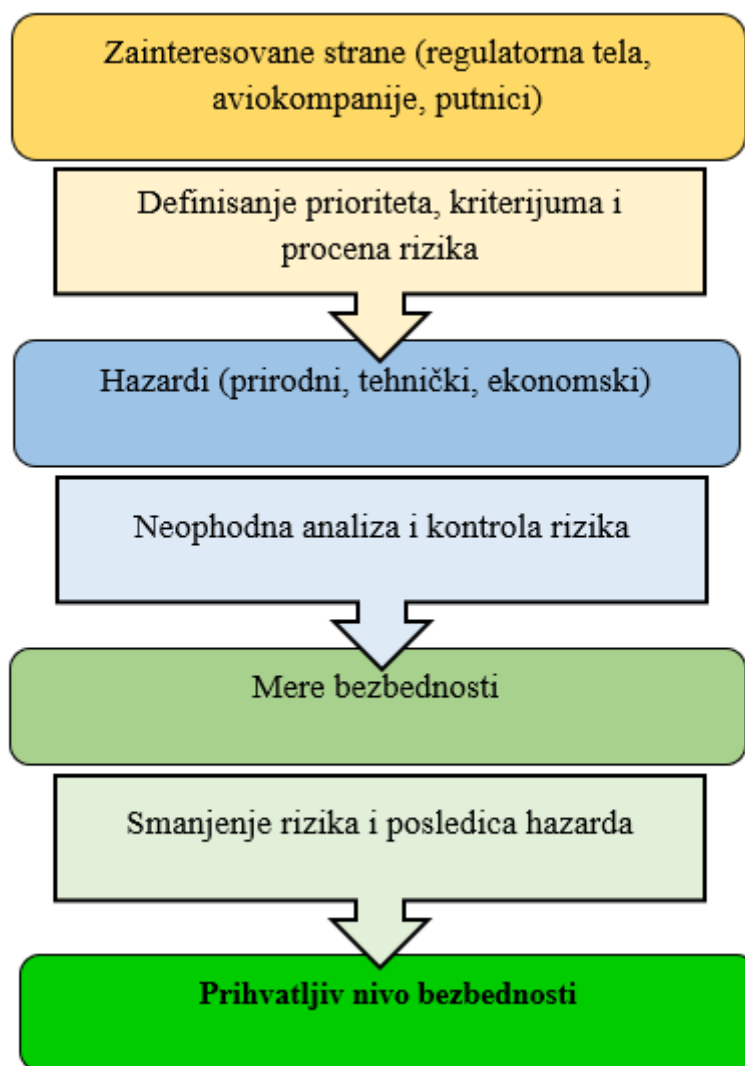
Oznaka hazarda	Oznaka mere	Opis mere
H ₁	M ₁	Praćenje vremenskih uslova u realnom vremenu (meteorološki servisi i sateliti)
H ₁	M ₂	Uvođenje ograničenja i zabrana letenja u ekstremnim uslovima
H ₁	M ₃	Obuka posade za letenje u uslovima leda i turbulencije
H ₂	M ₄	Primena ILS kategorija II/III za sigurne prilaze i sletanja
H ₂	M ₅	Redovno održavanje i čišćenje poletno-sletne staze (odleđivanje, uklanjanje snega i vode)
H ₂	M ₆	Korišćenje sistema protiv zaleđivanja na avionu
H ₃	M ₇	Aktivni monitoring vulkanskog pepela (VAAC)
H ₃	M ₈	Preusmeravanje avio ruta iz ugroženih područja
H ₃	M ₉	Izrada planova za vanredne situacije na aerodromima
H ₄	M ₁₀	Primena posebnih procedura za letenje iznad planinskih i udaljenih regiona (ETOPS)
H ₄	M ₁₁	Upotreba navigacionih i GNSS sistema
H ₄	M ₁₂	Obezbeđivanje dodatne opreme za hitne situacije
H ₅	M ₁₃	Implementacija programa kontrole ptica na aerodromima
H ₅	M ₁₄	Kontrola vegetacije u zoni poletno-sletne staze
H ₅	M ₁₅	Upotreba radarskih sistema za nadzor prisustva ptica
H ₆	M ₁₆	Primena procedura dezinfekcije aviona i aerodroma
H ₆	M ₁₇	Kontrola zdravstvenog stanja putnika termalnim kamerama
H ₆	M ₁₈	Uvođenje ograničenja putovanja i međunarodna koordinacija (ICAO – WHO protokoli)
H ₇	M ₁₉	Sprovođenje programa preventivnog održavanja (MSG-3, reliability programs)
H ₇	M ₂₀	Redovne inspekcije i provere pre leta
H ₇	M ₂₁	Primena Safety Bulletins i Service Bulletins
H ₈	M ₂₂	Redovne inspekcije i sertifikacija aerodroma
H ₈	M ₂₃	Obezbeđenje rezervnih sistema napajanja
H ₈	M ₂₄	Periodična kalibracija ILS, VOR i radarskih sistema
H ₉	M ₂₅	Primena mera zaštite informacionih sistema (cyber security)
H ₉	M ₂₆	Obezbeđenje rezervnih IT centara i alternativnih komunikacionih kanala
H ₉	M ₂₇	Izrada i primena planova zaštite kritične infrastrukture
H ₁₀	M ₂₈	Regulacija slotova i kapaciteta aerodroma
H ₁₀	M ₂₉	Automatizacija sistema kontrole letenja (SESAR, NextGen)
H ₁₁	M ₃₀	Investicije u infrastrukturu i ljudske resurse
H ₁₂	M ₃₁	Regulativni nadzor radi očuvanja standarda bezbednosti
H ₁₂	M ₃₂	Održavanje minimalnih standarda obuke i održavanja
H ₁₂	M ₃₃	Zaključenje dugoročnih ugovora za nabavku rezervnih delova
H ₁₂	M ₃₄	Osnivanje regionalnih centara za održavanje i logistiku
H ₁₂	M ₃₅	Kontrola kvaliteta i sertifikacija dobavljača

Tabela 26 Veze između hazarda i mera bezbednosti [110]

	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅	H ₆	H ₇	H ₈	H ₉	H ₁₀	H ₁₁	H ₁₂
M ₁	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			
M ₂	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			
M ₃	✓	✓	✓	✓	✓		✓					
M ₄	✓	✓	✓	✓			✓	✓				
M ₅	✓	✓			✓		✓	✓				
M ₆	✓	✓			✓		✓					
M ₇			✓	✓	✓		✓	✓	✓			
M ₈	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					✓
M ₉	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
M ₁₀	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
M ₁₁	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
M ₁₂	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
M ₁₃	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓			✓
M ₁₄	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓			✓
M ₁₅	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓			✓
M ₁₆					✓	✓	✓	✓	✓			✓
M ₁₇					✓	✓	✓	✓	✓			✓
M ₁₈					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
M ₁₉						✓	✓	✓	✓	✓		✓
M ₂₀						✓	✓	✓	✓	✓		✓
M ₂₁						✓	✓	✓	✓	✓		✓
M ₂₂	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓
M ₂₃	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓
M ₂₄	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓
M ₂₅						✓	✓	✓	✓	✓		✓
M ₂₆	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓
M ₂₇	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
M ₂₈	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓
M ₂₉	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
M ₃₀	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
M ₃₁	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
M ₃₂	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
M ₃₃	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓		✓
M ₃₄	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
M ₃₅	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓

Odnos između hazarda, mera i zainteresovanih strana (Slika 27) može se posmatrati kao dinamički sistem u kojem hazardi predstavljaju izvore rizika, mere predstavljaju odgovore sistema na te rizike, dok zainteresovane strane (regulatorna tela, aviokompanije i putnici) određuju prioritete i kriterijume na osnovu kojih se mere biraju i rangiraju. Drugim rečima, hazardi definišu šta može poći po zlu, mere definišu šta se može preduzeti da bi se to sprečilo, a zainteresovane strane definišu koji su aspekti bezbednosti najvažniji u procesu odlučivanja. Ovaj trostrani odnos, u kojem se tehničke i

operativne mere usklađuju sa regulatornim zahtevima i očekivanjima korisnika, omogućava sistematski pristup upravljanju bezbednošću.



Slika 27 Veza između interesnih grupa, hazarda i mera bezbednosti [110]

Tabela 26 je kreirana procenom uticaja svake bezbednosne mere na svaki identifikovani hazard. Kako bi se pružilo jasnije razumevanje načina na koji su veze u Tabeli 26 uspostavljene, a kasnije i kako su dodeljene sive ocene, detaljno je objašnjen efekat jedne specifične mere na identifikovane rizike. Za ovo objašnjenje izabrana je mera M_2 .

M_2 – mera uvođenja ograničenja i zabrana letenja u ekstremnim uslovima značajno doprinosi smanjenju rizika povezanih sa različitim hazardima, što je i razlog dodeljivanja različitih grey ocena njihovom uticaju.

Naime, kada je reč o ozbiljnijim vremenskim i klimatskim pojavama, kao što su uragani, snežne oluje, tornada ili smicanje vetra, ova mera ima ekstremno visok uticaj jer direktno eliminiše izloženost letova takvim pojavama, čime se rizik gotovo u potpunosti uklanja. Kod nepovoljnih vremenskih uslova, poput jake kiše, snega, mraza ili smanjene vidljivosti, ograničenja i zabrane letenja sprečavaju ulazak vazduhoplova u opasne situacije. Geofizičke pojave, kao što su zemljotresi, poplave ili klizišta nisu uvek direktno povezane sa operacijama u vazduhu, ali ograničenja mogu posredno doprineti izbegavanju zona pogođenih vremenskim ekstremima. Geografski uslovi imaju umereno nizak uticaj, jer se određene zabrane mogu prilagođavati područjima sklonim ekstremnim vremenskim pojavama,

što smanjuje rizik u specifičnim geografskim zonama. Kada su u pitanju pojave u prirodnoj sredini, uticaj je srednji jer ograničenja letenja smanjuju verovatnoću ugrožavanja vazduhoplova usled takvih pojava. Na događaje vezane za javno zdravlje mera M₂ nema direktnog uticaja.

U slučaju tehničkih nedostataka na vazduhoplovima i njihovim sistemima, kao i na infrastrukturi i eksternim objektima, uticaj mere je nizak do umereno nizak, jer iako ograničenja letenja ne otklanjaju uzrok tehničkih problema, mogu sprečiti da ekstremni vremenski uslovi dodatno opterete sisteme i povećaju verovatnoću kvara.

Kada je reč o ekonomskim faktorima, poput rasta, recesije ili troškova materijala i opreme, mera nema direktan uticaj jer ekonomski uslovi nisu povezani sa vremenskim ili operativnim ograničenjima. Istim principom, dobijena je veza svake bezbednosne mere sa svakim hazardom (Tabela 26) [110].

Cilj rada je da se, uzimajući u obzir prioritete različitih zainteresovanih strana (aviokompanija, regulatornih tela i putnika), rangiraju identifikovane mere bezbednosti koje imaju najveći doprinos smanjenju rizika od identifikovanih opštih hazarda u operacijama vazduhoplova.

Definisanje konteksta procene hazarda podrazumeva razumevanje različitih perspektiva zainteresovanih strana. Regulatorna tela se fokusiraju na usklađenost sa važećim propisima, praćenje statističkih pokazatelja rizika i primenu međunarodnih standarda, kao što su smernice ICAO-a i EASA-e, kako bi se obezbedio minimalni prihvatljiv nivo bezbednosti. Aviokompanija hazarde sagledava kroz uticaj na operativnu efikasnost, troškove poslovanja i potencijalnu pravnu odgovornost u slučaju nezgode ili udesa. Korisnici usluga – putnici s druge strane, procenjuju hazarde prvenstveno kroz prizmu lične sigurnosti i poverenja u prevoznika, pri čemu njihova percepcija bezbednosti ima značajan uticaj na reputaciju aviokompanije i spremnost na korišćenje njenih usluga [110].

9.1. HIBRIDNI GREY D-AHP-ADAM MODEL

Za vrednovanje hazarda i mera i dobijanje konačnih vrednosti (za ocenu i rangiranje) mera koristiće se hibridni model višekriterijumskog odlučivanja koji kombinuje grey Delphi i grey AHP (grey Delphi-based grey AHP ili skraćeno grey D-AHP) metode za određivanje težina (značaja) hazarda u odnosu na interesne grupe, i grey ADAM metodu za rangiranje mera.

Koraci modela su sledeći [110]:

Korak 1: Definisanje strukture problema višekriterijumskog odlučivanja. To uključuje formiranje skupa alternativa, zatim utvrđivanje relevantnih kriterijuma i potkriterijuma za njihovo vrednovanje, kao i prepoznavanje ključnih zainteresovanih strana koje učestvuju u procesu donošenja odluka.

Korak 2: Definisanje grey skale za ocenjivanje kriterijuma, podkriterijuma i alternativa od strane donosioca odluka. Skala (Tabela 27) povezuje lingvističke ocene sa numeričkim intervalima.

Tabela 27 Grey skala za vrednovanje [110]

Lingvistički izraz	Skraćenica	Grey opseg
“Nikakav” (eng. “None”)	“N”	[0,2]
“Veoma nizak” (eng. “Very low”)	“VL”	[1,3]
“Nizak” (eng. “Low”)	“L”	[2,4]
“Umereno nizak” (eng. “Fairly low”)	“FL”	[3,5]
“Srednji” (eng. “Medium”)	“M”	[4,6]
“Umereno visok” (eng. “Fairly high”)	“FH”	[5,7]
“Visok” (eng. “High”)	“H”	[6,8]
“Veoma visok” (eng. “Very high”)	“VH”	[7,9]
“Ekstremno visok” (eng. “Extremely high”)	“EH”	[8,10]

Korak 3: Dodeljivanje težine kriterijuma i podkriterijuma primenom grey D-AHP metode. Donosioci odluka odnosno ključne zainteresovane strane porede parove kriterijuma (sve parove, svaki sa svakim) koristeći lingvističke izraze koji se transformišu u grey vrednosti prema relacijama prikazanim u Tabeli 27.

Korak 3.1: Sprovođenje objedinjavanja individualnih ocena kako bi se dobile agregirane vrednosti koje predstavljaju kolektivnu procenu svih donosilaca odluka (ključnih zainteresovanih strana). Objedinjene ocene donosilaca odluka dobijaju se primenom sledećih jednačina:

$$\otimes \alpha_{ij} = [\alpha_{ij}, \bar{\alpha}_{ij}], i = j = 1, \dots, n \quad (35)$$

$$\alpha_{ij} = \left(\prod_{h=1}^t \alpha_{ijh} \right)^{1/t} \quad (36)$$

$$\bar{\alpha}_{ij} = \left(\prod_{h=1}^t \bar{\alpha}_{ijh} \right)^{1/t} \quad (37)$$

gde su α_{ij} i $\bar{\alpha}_{ij}$ donja i gornja vrednost objedinjene grey ocene $\otimes \alpha_{ij}$, pri čemu važi $\alpha_{ij} \leq \bar{\alpha}_{ij}$; α_{ijh} i $\bar{\alpha}_{ijh}$ predstavljaju donju i gornju vrednost grey ocene $\otimes \alpha_{ij}$, koja označava poređenje elementa (kriterijuma ili potkriterijuma) i u odnosu na element j , od strane donosioca odluke koji pripada zainteresovanoj strani h ; n označava broj kriterijuma/potkriterijuma, dok t predstavlja broj zainteresovanih strana uključenih u proces.

Korak 3.2: Formiranje grey matrice odlučivanja $\otimes A$ u kojoj svaki element predstavlja objedinjenu vrednost poređenja kriterijuma ili podkriterijuma $\otimes \alpha_{ij}$:

$$\otimes A = \begin{bmatrix} \otimes \alpha_{11} & \otimes \alpha_{21} & \cdots & \otimes \alpha_{n1} \\ \otimes \alpha_{12} & \otimes \alpha_{22} & \cdots & \otimes \alpha_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \otimes \alpha_{n1} & \otimes \alpha_{n2} & \cdots & \otimes \alpha_{nn} \end{bmatrix} \quad (38)$$

Korak 3.3: Izračunavanje relativne težine kriterijuma i potkriterijuma. Za svaku matricu parnih poređenja potrebno je odrediti vektor prioriteta. Za ovu svrhu koristi se LGPP metoda (eng. *Logarithmic Grey Preference Programming – LGPP*), koja je razvijena na osnovu LFPP metode (eng. *Logarithmic Fuzzy Preference Programming – LFPP*), autora Wang i Chin. Elementi grey matrice odlučivanja $\otimes A$ se aproksimiraju pomoću logaritama grey ocena $\otimes \alpha_{ij}$ primenom sledeće formule:

$$\ln \otimes \alpha_{ij} \approx [\ln \alpha_{ij}, \ln \bar{\alpha}_{ij}], i = j = 1, \dots, n \quad (39)$$

Za dobijanje vrednosti prioriteta elemenata ω_j potrebno je rešiti sledeći nelinearni model prioriteta:

$$\text{Min } J = (1 - \lambda)^2 + M \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (\varepsilon_{ij}^2 + \eta_{ij}^2) \quad (40)$$

pod uslovom:

$$y_i - y_j - \lambda \ln \left(\frac{\bar{\alpha}_{ij}}{\alpha_{ij}} \right) + \varepsilon_{ij} \geq \ln \alpha_{ij}; i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n \quad (41)$$

$$-y_i + y_j - \lambda \ln \left(\frac{\bar{\alpha}_{ij}}{\alpha_{ij}} \right) + \eta_{ij} \geq -\ln \alpha_{ij}; i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n \quad (42)$$

$$\lambda, y_{ij} \geq 0; i = j = 1, \dots, n \quad (43)$$

$$\varepsilon_{ij}^2, \eta_{ij}^2 \geq 0; i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n \quad (44)$$

$$\lambda = \min(\ln(\omega_i / \omega_j)); i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n \quad (45)$$

J predstavlja ciljnu funkciju koju treba minimizirati, dok su $\omega_{i,j}$ su bele vrednosti vektora prioriteta $y_{i,j} = \ln \omega_{i,j}$ za $i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n$, a M je dovoljno velika konstanta ($M = 10^3$). Negativne varijable odstupanja ε_{ij}^2 i η_{ij}^2 za $i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n$ uvedene su kako bi se sprečilo da λ poprimi negativnu vrednost. Poželjno je da vrednosti ovih varijabli odstupanja budu što manje moguće i da zadovoljavaju sledeće nejednakosti:

$$\ln \omega_i - \ln \omega_j - \lambda \ln \left(\frac{\bar{\alpha}_{ij}}{\alpha_{ij}} \right) + \varepsilon_{ij} \geq \ln \alpha_{ij}; i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n \quad (46)$$

$$-\ln \omega_i + \ln \omega_j - \lambda \ln \left(\frac{\bar{\alpha}_{ij}}{\alpha_{ij}} \right) + \eta_{ij} \geq -\ln \alpha_{ij}; i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n \quad (47)$$

Neka je y_j^* ($j = 1, \dots, n$) optimalno rešenje modela (posmatrajući izraze (40) do (45)). Normalizovane vrednosti kriterijuma za grey matricu odlučivanja $\otimes A = [\alpha_{ij}]_{n \times n}$ se dobijaju na sledeći način:

$$\omega_j^* = \frac{\exp(y_j^*)}{\sum_{j=1}^n \exp(y_j^*)}; i = 1, \dots, n \quad (48)$$

gde je $\exp()$ eksponencijalna funkcija. Ova metoda daje bele normalizovane težine. Kako bi se kontrolisao rezultat metode, za svaku matricu se izračunava koeficijent konzistentnosti (eng. *Consistency Ratio* – CR) na sledeći način:

$$CR = CI/RI \quad (49)$$

gde je CI indeks konzistentnosti (eng. *Consistency Index – CI*) i izračunava se pomoću formule:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (50)$$

gde je λ_{max} sopstvena vrednost matrice $\otimes A$.

RI označava indeks slučajnosti (eng. *Random Index – RI*), a njegove vrednosti za matrice različitih veličina mogu se pronaći u radu Saati-ja. Da bi poređenja bila prihvatljiva, vrednost koeficijenta konzistentnosti treba da bude manja od 0,10.

Korak 4: Određivanje ranga alternativa primenom proširene ADAM metode višekriterijumskog odlučivanja u uslovima grey okruženja.

Korak 4.1: Definisanje elemenata matrice odlučivanja $\otimes E$, alternativa q u odnosu na kriterijum j , tj. vektorske veličine koje odgovaraju evaluacijama alternativa u odnosu na kriterijum:

$$\otimes E = [e_{qj}]_{m \times n} \quad (51)$$

gde je $\otimes e_{qj} = [e_{qj}, \bar{e}_{qj}]$, $q = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$ grey ocena alternative i u odnosu na kriterijum j .

Korak 4.2: Definisanje elemenata grey normalizovane matrice $\otimes F$:

$$\otimes F = [f_{qj}]_{m \times n} \quad (52)$$

gde je $\otimes f_{qj} = [f_{qj}, \bar{f}_{qj}]$, $q = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$ normalizovana grey ocena dobijena kao:

$$\otimes f_{qj} = \frac{\otimes s_{qj}}{\max_q \otimes s_{qj}}, \forall q = 1, \dots, m; \forall j = 1, \dots, n \quad (53)$$

Korak 4.3: Definisanje sortiranih elemenata s_{qj} grey matrice $\otimes S$:

$$\otimes S = [\otimes s_{qj}]_{m \times n} \quad (54)$$

gde je $\otimes s_{qj}$ sortirana ocena $\otimes f_{qj}$ u opadajućem redosledu prema važnosti (težini) kriterijuma.

Korak 4.4: Nalaženje koordinata (x, y, z) grey referentne tačke $\otimes R_{qj}$ i grey ponderisane referentne tačke $\otimes P_{qj}$:

$$\otimes x_{qj} = [x_{qj}, \bar{x}_{qj}] = \otimes s_{qj} \times \sin \alpha, \forall j = 1, \dots, n; \forall q = 1, \dots, m \quad (55)$$

$$\otimes y_{qj} = [y_{qj}, \bar{y}_{qj}] = \otimes s_{qj} \times \cos \alpha, \forall j = 1, \dots, n; \forall q = 1, \dots, m \quad (56)$$

$$\otimes z_{qj} = [z_{qj}, \bar{z}_{qj}] = \begin{cases} [0, 0] & \text{za } \otimes R_{qj} \\ [\omega_{qj}, \bar{\omega}_{qj}] & \text{za } \otimes R_{qj} \end{cases}, \forall j = 1, \dots, n; \forall q = 1, \dots, m \quad (57)$$

gde je α ugao koji određuje pravac vektora koji definiše vrednost alternativa, koji se dobija kao:

$$\alpha = (j - 1) \frac{90^\circ}{n-1}, \forall j = 1, \dots, n \quad (58)$$

Korak 4.5: Nalaženje grey zapremine kompleksnih poliedara $\otimes v_q^c$ kao zbira zapremina piramida od kojih se sastoji, pomoću sledeće jednačine:

$$\otimes v_q^c = \sum_{k=1}^{n-1} \otimes V_k, \forall q = 1, \dots, m \quad (59)$$

gde je $\otimes V_k$ zapremina piramide dobijena primenom sledeće jednačine:

$$\otimes V_k = \frac{\otimes B_k \times \otimes h_k}{3}, \forall k = 1, \dots, (n - 1) \quad (60)$$

gde je $\otimes B_k$ površina osnove piramide definisana grey referentnom i grey ponderisanom referentnom tačkom dva uzastopna kriterijuma i dobija se primenom sledeće jednačine:

$$\otimes B_k = \otimes c_k \times \otimes a_k + \frac{\otimes a_k \times (\otimes b_k - \otimes c_k)}{2} \quad (61)$$

gde je h_k visina piramide od definisane osnove do vrha piramide koja se nalazi u koordinatnom početku (O) i dobija se primenom sledeće jednačine:

$$\otimes h_k = \frac{2\sqrt{\otimes s_k(\otimes s_k - \otimes a_k)(\otimes s_k - \otimes d_k)(\otimes s_k - \otimes e_k)}}{\otimes a_k} \quad (62)$$

Vrednosti korišćene u jednačinama (17) i (18) dobijaju se na sledeći način:

$$\otimes a_k = \sqrt{(\otimes x_{j+1} - \otimes x_j)^2 + (\otimes y_{j+1} - \otimes y_j)^2} \quad (63)$$

gde je $\otimes a_k$ euklidsko rastojanje između referentnih tačaka dva uzastopna kriterijuma.

$$\otimes b_k = \otimes z_j \quad (64)$$

$$\otimes c_k = \otimes z_{j+1} \quad (65)$$

gde su $\otimes b_k$ i $\otimes c_k$ veličine vektora koji odgovaraju težinama dva uzastopna kriterijuma.

$$\otimes s_k = \frac{\otimes a_k + \otimes d_k + \otimes e_k}{2} \quad (66)$$

gde je $\otimes s_k$ poluobim trougla definisan x i y koordinatama dva uzastopna kriterijuma i koordinatnog početka.

$$\otimes d_k = \sqrt{\otimes x_j^2 + \otimes y_j^2} \quad (67)$$

gde je $\otimes d_k$ euklidsko rastojanje referentnih tačaka dva uzastopna kriterijuma od koordinatnog početka.

Korak 4.6: Dobijanje konačnog ranga alternativa vrši se poređenjem odgovarajućih Crisp ($\otimes v_q^c$) zapremina dobijenih iz jednačine (48), i njihovim raspoređivanjem u opadajućem redosledu. Najbolja alternativa je ona sa najmanjom vrednošću zapremine.

9.2. REZULTATI

Primenom opisanih metoda dobijeni su rezultati, koji će biti prikazani u nastavku. Kako bi se ispitala stabilnost rešenja, izvršena je i analiza njegove osetljivosti na promene težina kriterijuma kroz više iteracija.

Za primenu grey D-AHP metode za određivanje težina (značaja) hazarda u odnosu na interesne grupe korišćeni su ulazni podaci, a to su ocene poređenja značaja hazarda (prirodnih, tehničkih i ekonomskih) u odnosu na ključne zainteresovane strane (Tabela 28, Tabela 29, Tabela 30) i ocene poređenja grupe hazarda u odnosu na ključne zainteresovane strane (Tabela 31). Konačne težine (značaj) hazarda prikazane su u Tabeli 32.

Tabela 28 Ocene poređenja značaja prirodnih hazarda u odnosu na interesne grupe [110]

	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅	H ₆
H ₁		“N” “N” “VL”	“N” “FH” “VL”	“L” “FH” “L”	“FL” “L” “L”	“FH” “L” “FH”
H ₂			“N” “FH” “VL”	“L” “FH” “L”	“FL” “L” “L”	“FH” “L” “FH”
H ₃				“L” “N” “L”	“FL” “N” “L”	“FH” “N” “FH”
H ₄					“VL” “N” “N”	“FL” “N” “FL”
H ₅						“L” “N” “FL”
H ₆						

* ocene su prikazane u odnosu na regulatorna tela, aviokompanije i korisnike, respektivno

Tabela 29 Ocene poređenja značaja tehničkih hazarda u odnosu na interesne grupe [110]

	H ₇	H ₈	H ₉
H ₇		“VL” “L” “N”	“H” “FH” “FH”
H ₈			“FH” “FL” “M”
H ₉			

* ocene su prikazane u odnosu na regulatorna tela, aviokompanije i korisnike, respektivno

Tabela 30 Ocene poređenja značaja ekonomskih hazarda u odnosu na interesne grupe [110]

	H ₁₀	H ₁₁	H ₁₂
H ₁₀		“N” “N” “N”	“FH” “N” “N”
H ₁₁			“FH” “N” “N”
H ₁₂			

* ocene su prikazane u odnosu na regulatorna tela, aviokompanije i korisnike, respektivno

Tabela 31 Ocene poređenja značaja grupe hazarda u odnosu na interesne grupe [110]

	Prirodni hazardi	Tehnički hazardi	Ekonomski hazardi
Prirodni hazardi		“N” “N” “VL”	“VL” “N” “L”
Tehnički hazardi			“L” “N” “VL”
Ekonomski hazardi			

* ocene su prikazane u odnosu na regulatorna tela, aviokompanije i korisnike, respektivno

Primenom jednačina (5) do (14) dobijene su težine (značaj) kriterijuma. Konačne težine kriterijuma (Tabela 32), dobijene primenom grey D – AHP metode, odražavaju relativni značaj svakog hazarda u strukturi posmatranog problema. Normalizacijom ovih vrednosti obezbeđena je njihova uporedivost, što omogućava rangiranje hazarda prema stepenu uticaja na ukupni bezbednosni rizik.

Tabela 32 Konačne težine kriterijuma [110]

H ₁		0.468007	0.128913	3
H ₂		0.468007	0.128913	3
H ₃		0.055432	0.015269	9
H ₄	0.275451	0.003888	0.001071	10
H ₅		0.003888	0.001071	10
H ₆		0.000778	0.000214	12
H ₇		0.661005	0.378731	1
H ₈	0.572962	0.290042	0.166183	2
H ₉		0.048952	0.028048	8
H ₁₀		0.333333	0.050529	5
H ₁₁	0.151587	0.333333	0.050529	5
H ₁₂		0.333333	0.050529	5

Za rangiranje mera bezbednosti koristi se grey ADAM metoda. Ocena bezbednosnih mera u odnosu na hazarde prikazana je u Tabeli 33. Primenom jednačina (15) do (31) dobijene su vrednosti volumena alternativa (Vc), koje su zatim normalizovane radi izračunavanja Crisp(Vc). Na osnovu tako dobijenih rezultata određeni su konačni prioriteti i izvršeno rangiranje mera bezbednosti. Rezultati su prikazani u Tabeli 33.

Tabela 33 Ocena mera bezbednosti u odnosu na hazarde, konačne vrednosti i rangiranje [110]

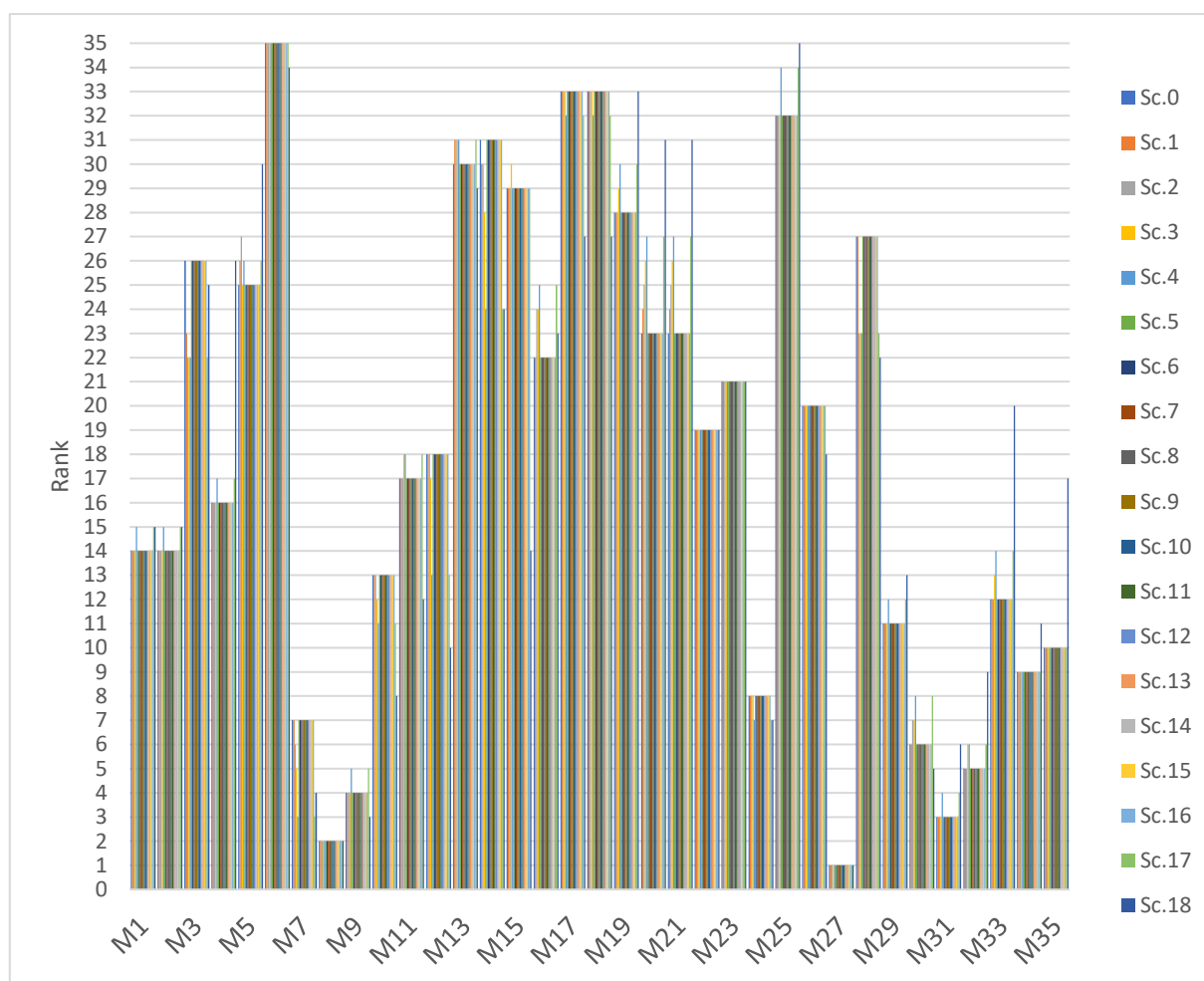
	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅	H ₆	H ₇	H ₈	H ₉	H ₁₀	H ₁₁	H ₁₂	Vc	Crisp(Vc)	Sc.0	
M ₁	“EH”	“VH”	“L”	“FL”	“M”	“N”	“FL”	“L”	“M”	“N”	“N”	“N”	0.002	0.019	0.010	14
M ₂	“EH”	“VH”	“L”	“FL”	“M”	“N”	“FL”	“L”	“M”	“N”	“N”	“N”	0.002	0.019	0.010	14
M ₃	“VH”	“VH”	“L”	“FL”	“L”	“N”	“FL”	“N”	“N”	“N”	“N”	“N”	0.001	0.012	0.006	26
M ₄	“M”	“H”	“L”	“FL”	“N”	“N”	“FL”	“L”	“N”	“N”	“N”	“N”	0.002	0.019	0.010	16
M ₅	“M”	“VH”	“N”	“N”	“L”	“N”	“FL”	“L”	“N”	“N”	“N”	“N”	0.001	0.012	0.006	25
M ₆	“M”	“H”	“N”	“N”	“L”	“N”	“H”	“N”	“N”	“N”	“N”	“N”	0.001	0.006	0.004	35
M ₇	“N”	“N”	“EH”	“FL”	“FH”	“N”	“H”	“L”	“N”	“N”	“N”	“N”	0.005	0.026	0.016	7
M ₈	“VH”	“VH”	“EH”	“H”	“FH”	“L”	“FL”	“N”	“N”	“N”	“N”	“L”	0.013	0.027	0.020	2
M ₉	“FH”	“FH”	“H”	“L”	“H”	“EH”	“FL”	“VH”	“H”	“N”	“N”	“FL”	0.008	0.028	0.018	4
M ₁₀	“FL”	“FL”	“L”	“H”	“FL”	“L”	“H”	“L”	“N”	“N”	“N”	“FL”	0.004	0.017	0.010	13
M ₁₁	“FL”	“FL”	“L”	“FH”	“FL”	“L”	“FH”	“L”	“N”	“N”	“N”	“FL”	0.003	0.017	0.010	17
M ₁₂	“FL”	“FL”	“FH”	“L”	“H”	“L”	“L”	“L”	“N”	“N”	“L”	“FH”	0.003	0.015	0.009	18
M ₁₃	“L”	“L”	“N”	“FL”	“FL”	“N”	“H”	“L”	“N”	“N”	“N”	“FL”	0.002	0.009	0.006	30
M ₁₄	“L”	“L”	“N”	“FL”	“FH”	“N”	“FH”	“L”	“N”	“N”	“N”	“FL”	0.002	0.009	0.006	31
M ₁₅	“L”	“L”	“N”	“FL”	“EH”	“N”	“H”	“L”	“N”	“N”	“N”	“FH”	0.002	0.009	0.006	29
M ₁₆	“N”	“N”	“N”	“N”	“L”	“H”	“FL”	“L”	“N”	“N”	“N”	“FH”	0.001	0.012	0.006	22
M ₁₇	“N”	“N”	“N”	“N”	“L”	“H”	“FL”	“L”	“N”	“N”	“N”	“FH”	0.001	0.008	0.005	33
M ₁₈	“N”	“N”	“N”	“N”	“L”	“H”	“FL”	“L”	“L”	“L”	“FL”	“L”	0.001	0.008	0.005	33
M ₁₉	“N”	“N”	“N”	“N”	“N”	“L”	“VH”	“FL”	“FH”	“L”	“N”	“FH”	0.003	0.009	0.006	28
M ₂₀	“N”	“N”	“N”	“N”	“N”	“L”	“VH”	“FL”	“FH”	“L”	“N”	“FL”	0.003	0.010	0.006	23
M ₂₁	“N”	“N”	“N”	“N”	“N”	“L”	“VH”	“FL”	“FH”	“L”	“N”	“FL”	0.003	0.010	0.006	23
M ₂₂	“FL”	“FL”	“L”	“FL”	“L”	“N”	“N”	“VH”	“FH”	“FL”	“N”	“FH”	0.002	0.012	0.007	19
M ₂₃	“FL”	“FL”	“L”	“FL”	“L”	“N”	“N”	“VH”	“FH”	“FL”	“N”	“FH”	0.002	0.012	0.007	21
M ₂₄	“L”	“H”	“L”	“EH”	“FL”	“N”	“FH”	“L”	“L”	“N”	“N”	“FL”	0.003	0.022	0.013	8
M ₂₅	“N”	“N”	“N”	“N”	“N”	“L”	“FL”	“FH”	“L”	“FL”	“N”	“FH”	0.002	0.008	0.005	32
M ₂₆	“FL”	“FL”	“L”	“FL”	“L”	“FH”	“N”	“VH”	“FH”	“FL”	“N”	“FH”	0.002	0.012	0.007	20
M ₂₇	“FH”	“FH”	“EH”	“H”	“EH”	“FH”	“L”	“EH”	“H”	“FL”	“N”	“FH”	0.008	0.033	0.020	1
M ₂₈	“L”	“FL”	“L”	“L”	“L”	“L”	“N”	“FL”	“L”	“L”	“N”	“L”	0.001	0.012	0.006	27
M ₂₉	“FL”	“H”	“L”	“FH”	“L”	“L”	“FL”	“FL”	“FH”	“N”	“N”	“EH”	0.002	0.023	0.012	11
M ₃₀	“FL”	“H”	“L”	“FH”	“L”	“L”	“FL”	“EH”	“H”	“H”	“FL”	“EH”	0.005	0.027	0.016	6
M ₃₁	“FL”	“H”	“FL”	“L”	“FL”	“FL”	“FL”	“FL”	“L”	“L”	“N”	“FL”	0.005	0.034	0.020	3
M ₃₂	“L”	“FL”	“L”	“FL”	“L”	“L”	“H”	“FL”	“L”	“L”	“N”	“FL”	0.006	0.027	0.017	5
M ₃₃	“L”	“L”	“L”	“L”	“L”	“N”	“H”	“L”	“L”	“FL”	“N”	“FH”	0.004	0.017	0.011	12
M ₃₄	“L”	“L”	“L”	“FL”	“L”	“L”	“H”	“L”	“L”	“FH”	“N”	“H”	0.005	0.020	0.013	9
M ₃₅	“L”	“L”	“L”	“L”	“L”	“N”	“H”	“L”	“L”	“L”	“N”	“FH”	0.005	0.020	0.013	10

Na osnovu ranga mera bezbednosti, dobija se konačno rešenje problema. Najbolje rangirana bezbednosna mera je M₂₇ – Izrada i primena planova zaštite kritične infrastrukture. Ovakav rezultat je u velikoj meri očekivan, imajući u vidu da kritična infrastruktura (aerodromi, kontrola letenja, komunikacioni i navigacioni sistemi, hangari, skladišta goriva, informacioni sistemi...) predstavlja temelj funkcionisanja vazduhoplovnog sistema, a njeno ugrožavanje može dovesti do katastrofalnih posledica, uključujući prekid operacija vazduhoplova, ozbiljne poremećaje u kontinuitetu poslovanja i ugrožavanje bezbednosti putnika, posade i trećih lica. Planovi zaštite kritične infrastrukture obuhvataju identifikaciju i procenu rizika, definisanje preventivnih i korektivnih mera, kao i obezbeđivanje otpornosti sistema kroz odgovarajuće procedure, tehnička rešenja i koordinaciju sa državnim organima i regulatornim telima. Najlošije rangirana mera, odnosno ona koja je poslednja po prioritetu mera bezbednosti, jeste mera M₆ – Korišćenje sistema protiv zaleđivanja na avionu [110].

U cilju provere stabilnosti dobijenog rešenja, urađena je analiza osetljivosti (Tabela 34). Analiza osetljivosti je urađena tako što je kreirano još 18 scenarija u kojima su menjani parametri (lazni podaci) modela. U prva 4 scenarija smanjivana je težina najznačajnijeg hazarda (H₇) za 25, 50, 75 i 100%. U narednih 12 scenarija isto je rađeno za naredna tri najznačajnija hazarda (H₈, H₁ i H₂). Smanjivana je težina (značaj) baš ovih hazarda jer se po značaju ističu u odnosu na ostale. U pretposlednjem scenariju su isključena sva 4 najznačajnija hazarda u potpunosti, a u poslednjem su izjednačeni značaji svih hazarda. Određen je i Spirmanov koeficijent korelacije (eng. *Spearman's Correlation Coefficient* – SCC) koji ukazuje kolika je korelacija između početnog i ostalih scenarija. Rezultati su prikazani na grafiku (Slika 28) [110].

Tabela 34 Analiza osetljivosti [110]

	Sc.0	Sc.1	Sc.2	Sc.3	Sc.4	Sc.5	Sc.6	Sc.7	Sc.8	Sc.9	Sc.10	Sc.11	Sc.12	Sc.13	Sc.14	Sc.15	Sc.16	Sc.17	Sc.18
M ₁	14	14	14	14	15	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	15	15
M ₂	14	14	14	14	15	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	15	15
M ₃	26	23	22	22	22	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	22	25
M ₄	16	16	16	16	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	26
M ₅	25	26	27	25	26	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	30
M ₆	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	34
M ₇	7	7	6	5	3	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	3	4
M ₈	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
M ₉	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	3
M ₁₀	13	13	13	12	11	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	11	8
M ₁₁	17	17	17	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	18	12
M ₁₂	18	18	18	17	13	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	13	10
M ₁₃	30	31	31	31	31	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	31	29
M ₁₄	31	30	30	28	24	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	24	24
M ₁₅	29	29	29	30	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	14
M ₁₆	22	22	24	24	25	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	25	23
M ₁₇	33	33	33	33	32	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	32	27
M ₁₈	33	33	33	33	32	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	32	27
M ₁₉	28	28	28	29	30	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	30	33
M ₂₀	23	24	25	26	27	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	27	31
M ₂₁	23	24	25	26	27	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	27	31
M ₂₂	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
M ₂₃	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
M ₂₄	8	8	8	8	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7
M ₂₅	32	32	32	32	34	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	34	35
M ₂₆	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	18
M ₂₇	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M ₂₈	27	27	23	23	23	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	23	22
M ₂₉	11	11	11	11	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	13
M ₃₀	6	6	7	7	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	8	5
M ₃₁	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	6
M ₃₂	5	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	9
M ₃₃	12	12	12	13	14	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	14	20
M ₃₄	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	11
M ₃₅	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	17
SCC	/	0.997	0.995	0.996	0.992	0.995	0.985	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.996	0.993	0.997	0.995	0.992	0.985	0.980



Slika 28 Analiza osetljivosti [110]

Na osnovu rezultata analize osetljivosti rangiranja mera kroz 18 scenarija može se zaključiti da su mere dosledno rangirane i da je osnovni poredak u velikoj meri stabilan. Mera M_{27} se u svim scenarijima dosledno nalazi na prvom mestu (rang 1), što je pokazatelj njene najviše efikasnosti i stabilnosti. Sličnu stabilnost pokazuju mere M_8 i M_{31} , koje zauzimaju vrlo niske rangove sa minimalnim odstupanjima, dok je mera M_{35} relativno nisko rangirana u svim scenarijima, što je pokazatelj njene niže efikasnosti u odnosu na druge mere. Veće promene u rangiranju primećene su kod nekoliko mera, naročito u scenarijima Sc.4, Sc.17 i Sc.18. Na primer, mera M_4 u Sc.4 i Sc.18 napreduje sa pozicije 16 na 24 i 26, dok se mera M_5 u Sc.18 pomera na rang 30, što je značajnije odstupanje u odnosu na Sc.0. Mera M_3 pokazuje manju varijaciju, sa rangovima između 22 i 26 u većini scenarija, dok se u Sc.17–Sc.18 pomera na 22 i 25. SCC visoke vrednosti, u rasponu od 0.980 do 0.999, sa prosečnom vrednošću oko 0.994. Ove vrednosti ukazuju na vrlo visoku sličnost rangiranja između scenarija, što potvrđuje da je osnovni poredak mera stabilan i da se ne menja značajno čak ni uz različite promene parametara u analiziranim scenarijima. Zaključno, analiza potvrđuje da je mera M_{27} najefikasnija i najstabilnija kroz sve scenarije, dok su mere poput M_4 , M_5 i M_3 podložne manjim promenama u rangiranju. Stabilnost rangiranja kroz sve scenarije ukazuje na pouzdanost dobijenih rezultata i pruža osnovu za usvajanje ovih mera kao relevantnih za dalju primenu [110].

Rezultati analize osetljivosti jasno pokazuju da je rangiranje mera stabilno u različitim scenarijima sa varijacijama parametara. Mera M_{27} je dosledno rangirana kao najefikasnija u svim scenarijima analize osetljivosti. Neposredno iza nje sledi mera M_8 – preusmeravanje avio ruta iz ugroženih područja, mera M_{31} – regulativni nadzor radi očuvanja standarda bezbednosti, mera M_9 – izrada planova za vanredne situacije na aerodromima i mera M_{32} – održavanje minimalnih standarda obuke i

održavanja, što ukazuje na njihovu ključnu ulogu u unapređenju bezbednosti. Nasuprot tome, mere poput M_6 – korišćenje sistema protiv zaleđivanja na avionu, M_{17} – kontrola zdravstvenog stanja putnika termalnim kamerama, M_{18} – ograničenja putovanja i međunarodna koordinacija, M_{25} – mere zaštite informacionih sistema i M_{14} – kontrola vegetacije u zoni poletno-sletne staze, pokazale su znatno manji doprinos, pa se mogu smatrati sekundarnim opcijama u procesu donošenja odluka. Ovakvi rezultati ukazuju na to da mere koje uključuju strateško planiranje, regulativni nadzor i obuku imaju dominantan uticaj na smanjenje bezbednosnog rizika u operacijama vazduhoplova. Suprotno tome, mere usmerene na pojedinačne tehničke ili operativne aspekte imaju manji doprinos i predstavljaju sekundarne opcije. Ovakva podela na ključne i sekundarne mere potvrđuje zaključke nekih ranijih studija koje su isticale važnost integrisanog pristupa bezbednosti, gde kombinacija planiranja, nadzora i obuke ima veći efekt od izolovanih tehničkih intervencija [110].

10. DISKUSIJA

Razvijena metodologija SABEL predstavlja integrisan pristup optimizacije ulaganja u bezbednost u vazduhoplovstvu, koji kombinuje identifikaciju hazarda, kvantitativnu ocenu bezbednosnog rizika, identifikaciju i izbor mera bezbednosti, statističku vrednost ljudskog života i troškove implementacije bezbednosnih mera. Primena hibridnih modela odlučivanja (fuzzy FARE–ADAM, Grey Delphi–AHP–ADAM) pokazala je da se subjektivni ekspertski uvidi mogu efektivno kombinovati sa objektivnim kvantitativnim podacima, čime se smanjuje neizvesnost u donošenju odluka i poboljšava preciznost rangiranja mera.

Wiegmann i Shappell fokusiraju se na ljudske faktore u analizi udesa vazduhoplova i predlažu konkretne mere za smanjenje ljudskih grešaka [121], dok Lee dodatno obrađuje kvantitativne metode procene rizika i izbor mera za njihovo efikasno smanjenje u vazduhoplovnim operacijama [65]. Zajedno, ovi radovi pružaju temelj za sistemsko i sveobuhvatno upravljanje merama bezbednosti u vazдушnom saobraćaju. Međutim, oni ne omogućavaju rangiranje i prioritizaciju mera na osnovu njihovog doprinosa smanjenju ukupnog rizika. Poglavlje 9 rešava taj nedostatak tako što primenjuje novi hibridni MCDM model koji povezuje hazarde sa odgovarajućim merama i omogućava njihovo rangiranje po doprinosu smanjenju ukupnog rizika. Implementacija grey Delphi, grey AHP i grey ADAM metode omogućava integrisano vrednovanje i prioritizaciju mera, što direktno adresira prethodno neadekvatno tretirani problem u literaturi. Predloženi hibridni model višekriterijumskog odlučivanja predstavlja značajan doprinos upravljanja bezbednošću u operacijama vazduhoplova. Integracijom grey Delphi i grey AHP metoda za određivanje težina i značaja identifikovanih hazarda, kao i grey ADAM metode za rangiranje mera bezbednosti, omogućeno je sistematsko i transparentno vrednovanje mera koje imaju najveći efekat na smanjenje rizika. Time model pruža jasnu podršku donosiocima odluka u složenom procesu prioritizacije bezbednosnih intervencija, u uslovima višestrukih i ponekad kontradiktornih interesa različitih zainteresovanih strana. Kao i svaki složen model višekriterijumskog odlučivanja, i ovaj pristup ima svoja ograničenja. Prvo, iako grey Delphi i grey AHP metode ublažavaju određene nedostatke klasičnih metoda u pogledu nesigurnosti i subjektivnosti, one i dalje zavise od ekspertnih procena koje mogu varirati u zavisnosti od stručnog iskustva, znanja i preferencija učesnika u procesu. Ovo može uticati na konačne rezultate i zahteva pažljivo odabranu i dovoljno reprezentativnu grupu eksperata. Drugo, model pretpostavlja da su kriterijumi i interesne grupe definisani unapred i da su njihove međusobne interakcije relativno stabilne, što u dinamičnim uslovima operacija može biti izazov. Treće, grey ADAM metoda zahteva relativno precizno određivanje težina kriterijuma, što može biti otežano ukoliko postoji velika neizvesnost ili konflikt u procenama [110].

Ograničenja ovog istraživanja pre svega proizilaze iz definisanih mera bezbednosti. Identifikovane mere bezbednosti predstavljaju interpretaciju i praktičnu adaptaciju principa iz ICAO dokumentacije, a ne zvanični spisak mera propisan od strane ICAO. One su razvijene tako da omoguće konkretno povezivanje sa hazardima i vrednovanje kroz metodološki okvir istraživanja, što osigurava relevantnost i primenljivost rezultata. Međutim, činjenica da mere nisu zvanično propisane, već su rezultat sistematizacije i stručne procene, uvodi određeni nivo subjektivnosti [110].

Teorijske implikacije u vezi sa hazardima i merama ogledaju se u tome što hibridni MCDM pristup omogućava sistematsko vrednovanje značaja hazarda (grupa hazarda) kao i njihovo povezivanje sa odgovarajućim merama bezbednosti. Ovaj pristup doprinosi razumevanju veze hazard – mera – rizik, pokazuje kako se složeni bezbednosni problemi mogu modelovati u uslovima neizvesnosti i višedimenzionalnosti, i postavlja temelje za primenu i proširenje metodologije na druge sektore sa sličnom složenošću. Teorijske implikacije rada ogledaju se u daljem razvoju i primeni hibridnih MCDM metoda u oblasti bezbednosti operacija vazduhoplova, kao i u doprinosu razumevanju kako

kombinacija grey metoda može efikasno adresirati neizvesnost i višedimenzionalnost bezbednosnih problema. Predloženi pristup može se adaptirati i proširiti u druge sektore sa sličnim karakteristikama složenosti i višestrukih interesa, kao i u buduće studije koje bi uključile dodatne dimenzije kao što su ekološki i ekonomski aspekti. Model ne uključuje eksplicitnu dimenziju troškova niti detaljnu ekonomsku analizu, iako su ovi aspekti u praksi od ključnog značaja kada je potrebno postići ravnotežu između postizanja visokog nivoa bezbednosti i raspoloživih resursa. Upravo zbog toga, integrisanje ekonomskih kriterijuma i analiza isplativosti mera bezbednosti predstavlja pravac daljeg istraživanja, koji bi omogućio donošenje optimalnih odluka u kontekstu ograničenih budžeta i konkurentnih prioriteta [110].

Praktične implikacije za upravljanje bezbednošću u operacijama vazduhoplova su višestruke. Predloženi model omogućava menadžerima da sistematski identifikuju i rangiraju mere koje imaju najveći uticaj na smanjenje bezbednosnog rizika, uzimajući u obzir interese različitih zainteresovanih strana. Time se doprinosi optimizaciji ulaganja u bezbednosne mere i efikasnijem korišćenju raspoloživih resursa. Stabilnost rangiranja mera kroz analizu osetljivosti dodatno potvrđuje pouzdanost modela i daje osnovu za usvajanje najefikasnijih mera u praksi [110].

U poređenju sa postojećim pristupima, SABEL metodologija nudi kompleksniji i proaktivniji okvir, jer ne samo da identifikuje i rangira mere bezbednosti, već i kvantifikuje očekivane koristi i troškove, čime se omogućava ekonomski utemeljena odluka o prioritetima u investiranju u bezbednost. Istovremeno, diskusija naglašava da metodologija nije oslobođena ograničenja: njena primena zavisi od kvaliteta i dostupnosti podataka, stručnosti eksperata i složenosti hibridnih modela, što može otežati implementaciju u organizacijama sa ograničenim resursima ili manje razvijenim analitičkim kapacitetima.

SABEL omogućava organizacijama da racionalno planiraju ulaganja u bezbednost i podrže regulatorne odluke kroz transparentnu, reproduktivnu i dokumentovanu proceduru. Rezultati validacije metodologije u studiji slučaja pokazuju da ona može služiti i kao sistem podrške odlučivanju, ali i kao osnova za razvoj softverskih alata i automatizaciju procesa u budućnosti.

Diskusija potvrđuje da SABEL metodologija pruža značajan doprinos teoriji i praksi upravljanja bezbednosnim rizicima u vazduhoplovstvu, kombinujući proaktivni pristup, ekonomske kriterijume i višekriterijumske metode odlučivanja, dok istovremeno otvara prostor za kontinuirano unapređenje kroz buduća istraživanja i primenu u različitim kontekstima.

11. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

MOGUĆNOST PRIMENE PREDLOŽENE METODOLOGIJE

Predložena metodologija SABEL predstavlja integrisani okvir za racionalno, ekonomski zasnovano i bezbednosno utemeljeno donošenje odluka o ulaganjima u bezbednost u vazдушnom saobraćaju, te se može primeniti u širokom spektru operativnih, regulatornih i strateških procesa. Zahvaljujući kombinaciji kvantitativne procene rizika, identifikacije hazarda, statističke vrednosti ljudskog života i hibridnih višekriterijumskih modela odlučivanja, metodologija omogućava organizacijama da transparentno procene opravdanost implementacije pojedinačnih ili kombinovanih mera bezbednosti.

Njena najznačajnija upotrebna vrednost ogleda se u podršci sistemima upravljanja bezbednošću, gde može služiti kao alat za identifikaciju prioriternih rizika, određivanje ciljanog nivoa bezbednosti i kreiranje optimalnog portfolija bezbednosnih ulaganja.

Metodologija može biti korišćena od strane regulatornih tela za procenu opravdanosti novih propisa i standarda, aerodroma i operatora vazduhoplova za planiranje i optimizaciju resursa, proizvođača vazduhoplova za ekonomsko vrednovanje dizajnerskih i tehničkih rešenja namenjenih unapređenju bezbednosti, kao i akademske i istraživačke zajednice za evaluaciju inovativnih koncepata i tehnologija.

S obzirom na to da metodologija uključuje cost–benefit analizu i klasifikaciju troškova, ona je primenljiva i u kontekstu procene ekonomskog uticaja retkih, ali visokokonsekventnih događaja, kao i u donošenju dugoročnih strateških odluka u uslovima ograničenih resursa. Dodatno, zahvaljujući modularnoj strukturi, SABEL se može prilagoditi specifičnim operativnim okruženjima, tipovima operacija ili pojavama kao što su uvođenje novih tehnologija, promene operativnih procedura, povećanje gustine saobraćaja ili integracija autonomnih i poluautonomnih sistema. Sveukupno, predložena metodologija ima potencijal da postane univerzalni alat za organizacije koje žele da unaprede svoje bezbednosne performanse kroz racionalna, ekonomski opravdana i sistemski zasnovana ulaganja u bezbednost.

PREDNOSTI RAZVIJENE METODOLOGIJE

Glavne prednosti razvijene SABEL metodologije obuhvataju:

- Integrisani pristup bezbednosti i ekonomiji – metodologija jedinstveno spaja bezbednosne principe (hazardi, analiza rizika, mere bezbednosti) sa ekonomskim kriterijumima (VOSL, troškovi uvođenja mera bezbednosti, cost-benefit analiza), omogućavajući donošenje racionalnih i finansijski opravdanih bezbednosnih odluka;
- Objektivnija i transparentnija selekcija mera bezbednosti – korišćenjem hibridnih višekriterijumskih modela (Fuzzy FARE–ADAM, Grey Delphi–AHP–ADAM), metodologija smanjuje subjektivnost u procesu odlučivanja i omogućava dosledno rangiranje alternativnih mera na osnovu kombinacije objektivnih podataka i ekspertskih procena;
- Proaktivan pristup upravljanju rizicima – SABEL metodologija podstiče identifikaciju hazarda i procenu rizika pre nego što dođe do nezgode ili udesa, čime se unapređuje sposobnost upravljanja pretnjama i sprečavanja neželjenih događaja;

- Mogućnost kvantifikovanja koristi od bezbednosnih ulaganja – primena statističke vrednosti ljudskog života omogućava izrazito jasnu i merljivu procenu koristi od implementacije pojedinačnih mera bezbednosti, što olakšava poređenje različitih opcija ulaganja;
- Podržava donošenje odluka u uslovima neizvesnosti – korišćenje fuzzy i grey ocena omogućava modelu da funkcioniše i u situacijama kada su podaci nepotpuni, neprecizni ili potpuno zavisni od subjektivnih procena stručnjaka;
- Prilagodljivost različitim operativnim okruženjima – modularna struktura metodologije omogućava da se jednostavno prilagodi različitim tipovima operacija, tehnologijama, organizacijama i nivoima složenosti sistema vazdušnog saobraćaja;
- Usmeravanje na prioritete i efikasno korišćenje resursa – metodologija omogućava identifikovanje kritičnih hazarda i prioritizaciju mera koje imaju najveći odnos koristi i troškova, što vodi boljim rezultatima uz efikasnije korišćenje ograničenih resursa;
- Podrška regulatornim i strateškim procesima odlučivanja – model se može koristiti za opravdavanje novih propisa, standarda, tehnologija i investicija, pružajući regulatornim telima i organizacijama jasan, utemeljen i merljiv osnov za donošenje odluka;
- Mogućnost unapređenja ukupnog nivoa bezbednosti vazdušnog saobraćaja – kroz preciznije definisanje ciljanog nivoa bezbednosti i optimalan izbor mera za njegovo postizanje, metodologija doprinosi sistemskom unapređenju bezbednosnih performansi.

OGRANIČENJA PREDLOŽENE METODOLOGIJE

Ograničenje metodologije SABEL ogleda se pre svega u njenoj snažnoj zavisnosti od ekspertskih procena i potrebnom nivou stručnosti svih učesnika u procesu, jer kvalitet rezultata direktno zavisi od kompetentnosti, iskustva i homogenosti ekspertskog panela koji definiše hazarde, procenjuje nivoe rizika i određuje ponderisanje kriterijuma. Dodatno, metodologija uključuje primenu kompleksnih hibridnih modela odlučivanja, što povećava analitičku preciznost, ali istovremeno zahteva naprednu metodološku i tehničku podršku za pravilnu implementaciju i interpretaciju rezultata. Zbog te složenosti, organizacije koje nemaju adekvatne resurse ili obučeno osoblje mogu imati poteškoće u primeni metodologije u njenom punom kapacitetu.

OČEKIVANI NAUČNI DOPRINOS

U skladu sa definisanim predmetom istraživanja i postavljenim ciljevima, očekivani naučni i praktični doprinos razvijene metodologije SABEL ogleda se u više pravaca koji zajedno unapređuju teorijsku osnovu i praktične mogućnosti upravljanja bezbednosnim rizicima i investicionim odlukama u vazdušnom saobraćaju:

- Razvoj metodologije optimizacije ulaganja u bezbednost bazirane na indikatorima statističke vrednosti ljudskog života u operacijama vazduhoplova;
- Sistematizacija i nadgradnja postojećih znanja o hazardima, merama bezbednosti i procesima upravljanja bezbednosnim rizikom kroz objedinjavanje različitih pristupa u jedinstven, dosledan i jasno strukturisan okvir;
- Razvijanje integrisanog koncepta procene ulaganja u bezbednost koji po prvi put povezuje identifikaciju hazarda, kvantitativnu procenu rizika, indikator statističke vrednosti

- ljudskog života, troškove implementacije mera bezbednosti i višekriterijumsko odlučivanje, čime se uvodi novi model ekonomskog vrednovanja bezbednosnih mera u vazdušnom saobraćaju;
- Primena i dalji razvoj hibridnih MCDM modela, uključujući Fuzzy FARE–ADAM model za evaluaciju i prioritizaciju mera bezbednosti, kao i hibridni Grey Delphi–AHP–ADAM pristup za selekciju optimalnih rešenja (mera bezbednosti) za smanjenje rizika od nastanka definisanih opštih hazarda. Ovi modeli doprinose smanjenju subjektivnosti u procesu odlučivanja i omogućavaju pouzdaniju integraciju kvalitativnih i kvantitativnih podataka;
 - Doprinos razvoju proaktivnog pristupa upravljanju bezbednošću – uvođenje jasno definisanih koraka od identifikacije bezbednosnog problema do ekonomskog vrednovanja opcija i donošenja optimalne odluke, čime se unapređuju dosadašnji okviri SMS u pogledu transparentnosti i racionalnosti investicionih odluka;
 - Značajan doprinos ogleda se u razvoju sistema pokazatelja bezbednosnih performansi, čime se omogućava preciznije definisanje ciljanog nivoa bezbednosti i njegovog postizanja kroz optimalne investicije;
 - Pružanje novog metodološkog okvira za *cost-benefit* analizu u vazdušnom saobraćaju, posebno u segmentima u kojima nedostaju standardizovani pristupi kvantifikovanju koristi ulaganja u bezbednost;
 - Validacijom metodologije u konkretnom operativnom okruženju potrebno je dokazati njen potencijal kao sistema podrške odlučivanju koji omogućava transparentnu, reproduktivnu i ekonomsku opravdanu selekciju bezbednosnih mera, čime se doprinosi unapređenju praktičnih procesa upravljanja resursima u vazduhoplovnim organizacijama;
 - Doprinos i teorijskom i aplikativnom razvoju bezbednosnog menadžmenta, omogućavajući stvaranje fundamentalne osnove za buduća istraživanja koja se bave ekonomskim aspektima bezbednosnih odluka, integracijom novih tehnologija i razvojem naprednih metoda kvantifikacije bezbednosnog rizika u kompleksnim okruženjima u sistemu vazdušnog saobraćaja.

Pored naučnog doprinosa, očekuje se da će rad imati i praktičnu vrednost kroz razvoj i implementaciju predložene metodologije.

PRAVCI DALJEG ISTRAŽIVANJA

Pravci daljeg istraživanja metodologije SABEL obuhvataju nekoliko međusobno povezanih aspekata. Buduća istraživanja mogu se fokusirati na produbljivanje analize hazarda kroz razlaganje identifikovanih primarnih faktora na sekundarne i tercijarne, što bi omogućilo detaljniju procenu uticaja pojedinačnih elemenata na bezbednosni rizik i preciznije definisanje prioriteta u izboru mera. Razvoj softverske podrške omogućio bi automatizaciju procesa identifikacije hazarda, ocene rizika, *cost-benefit* analize i višekriterijumskog odlučivanja, čime bi se povećala praktična primenljivost metodologije u operativnim okruženjima. Konačno, metodologija bi se mogla dodatno validirati i prilagoditi različitim tipovima vazduhoplovnih operacija, organizacionim strukturama i regulatornim okvirima, čime bi se obezbedila veća fleksibilnost i univerzalnost primene SABEL-a.

LITERATURA

- [1] Abelson, P. (2007). Establishing a Monetary Value for Lives Saved: Issues and Controversies, Working papers in cost-benefit analysis, Office of Best Practice Regulation, Department of Finance and Deregulation, 1-31.
- [2] Accelerate Platform. (2025). Job safety analysis (JSA): The essential occupational health and safety management tool.
- [3] Agnusdei, L., Krstić, M., Palmi, P., & Miglietta, P. P. (2023). Digitalization as driver to achieve circularity in the agroindustry: A SWOT-ANP-ADAM approach. *Science of The Total Environment*, 882, 163441.
- [4] AIRBUS (2018). Safety First, The Airbus safety magazine – 26.
- [5] AIRBUS (2025). A Statistical Analysis of Commercial Aircraft Accidents 1958-2024, France, pp. 1-36
- [6] Airport Technology (2011). Antonov An-148 passenger transport aircraft.
- [7] Aldy, J.E., & Smyth, S.J. (2006). A Numerical Analysis of the Value of Life.
- [8] Aldy, J.E. & Viscusi, W.K. (2008). Adjusting the Value of a Statistical Life for Age and Cohort Effects. *Review of Economics and Statistics*.
- [9] Andersson, H., & Treich, N. (2005). The Value of a Statistical Life, Toulouse School of Economics, France.
- [10] ASCC (2008). The Health of Nations: The Value of a Statistical Life, Australian Safety and Compensation Council, Australian Government. 194p.
- [11] Ashenfelter, O. (2006). Measuring the Value of a Statistical Life: Problems and Prospects, *Economic Journal*, 116(510), C10-23.
- [12] ASN (2025). Aviation Safety Network <https://asn.flightsafety.org/database/databases.php>
- [13] Australian Safety and Compensation Council. (2008). The Health of Nations: The Value of a Statistical Life, 1-194.
- [14] Ayyub, B.M. (2003). Risk Analysis in Engineering and Economics, Chapman and Hall/CRC, 1-600.
- [15] Badri, S. A. (2024). Identification and Prioritization of Key Factors Affecting Workforce Productivity Using Grey Delphi and Grey DEMATEL: A Case Study, 4(1), pp. 13-30.
- [16] Banzhaf, H.S. (2014). Retrospectives, The Cold-War Origins of the Value of Statistical Life, *Journal of Economic Perspectives*, 28(4), 213-226.
- [17] BOEING (2025). Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accident, Worldwide Operations | 1959 – 2024.
- [18] Carlsson, F., Johansson-Stenman, O., & Martinsson, P. (2004). Is transport safety more valuable in the air?, *Journal of Risk and Uncertainty*, 28(2).
- [19] Chatterjee, P., Mondal, S., Boral, S., Banerjee, A., Chakraborty, S. (2017). A novel hybrid method for non-traditional machining process selection using factor relationship and multi-attributive border approximation method. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 15, 439–456.
- [20] Cheng, Q., & Li, Q. (2025). The application of grey statistical method and analytic hierarchy process in the evaluation of community park rehabilitation landscapes. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12(1), a158.
- [21] Conley, B.C. (1976). The Value of Human Life in the Demand for Safety, *American Economic Association*, 66(1), 45-55.

- [22] Council Decision 2001/539/EC. (2001). The conclusion by the European Community of the Convention for the Unification of Certain Rules for International Carriage by Air (the Montreal Convention) [Official Journal L 194 of 18.07.2001]
- [23] Cropper, M., Hammitt, J., & Robinson, L. (2011). Valuing Mortality Risk Reductions: Progress and Challenges. *Annual Review of Resource Economics*.
- [24] Cropper, M. L., & Sabin, S. (2009). Valuing Mortality and Morbidity in the Context of Disaster Risks. In: *Evaluating the Benefits of Air Pollution Control*.
- [25] Čavka, I., & Čokorilo, O. (2012). Cost - Benefit Assessment of Aircraft Safety, *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 2(4), 359-371.
- [26] Čokorilo, O. 2012. Upravljanje bezbednošću vazduhoplova, Zadužbina Andrejević, Beograd, Srbija, 88 str.
- [27] Čokorilo, O. (2020). Bezbednost vazduhoplova (drugo izdanje), Beograd, Republika Srbija, Saobraćajni fakultet - Univerzitet u Beogradu.
- [28] Čokorilo, O. (2025). Pisana predavanja iz predmeta Vazduhoplovna prevozna sredstva 1 i 2, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- [29] Čokorilo, O., Gvozdrenović, S., Vasov, Lj., & Miroslavljević, P. (2010). Costs of unsafety in aviation, Technological and economic development of economy, *Baltic Journal on Sustainability*, 16(2), 188-201.
- [30] Čokorilo O., Dell'Acqua G. (2013). Aviation hazards identification using safety management system (SMS) techniques, *Proceedings of the 16th International conference on transport science ICTS*, May 27, 2013. Portoroz, Slovenia, str. 66-73.
- [31] Dalkey, N.; Helmer, O. (1963). An Experimental Application of the DELPHI Method to the Use of Experts. *Manag. Sci.* 9, 458–467
- [32] Dreze, J.H. (1962). L'Utilité Sociale d'une Vie Humaine, *Revue Française de Reserche Opérationnelle*, 6, 93-118.
- [33] Duleba, S., Čelikbilek, Y., Moslem, S., Esztergár-Kiss, D. (2022). Application of grey analytic hierarchy process to estimate mode choice alternatives: A case study from Budapest. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 13, a100560.
- [34] EASA (2023). Annual Safety Review, Foreword by the Executive Director, 1-140
- [35] EASA (2024). Annual Safety Review, Foreword and Executive Summary, 1-142
- [36] EC (2014). Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects, Economic appraisal tool for Cohesion Policy, 2014-2020. European Commission, Brussels. 364p.
- [37] Esterhuyzen, E., & Louw, L. B. (2019). Fundamentals of safety hazards: A scientific perspective. *Jambá: Journal of Disaster Risk Studies*, 11(1), a675.
- [38] EUROCONTROL (2013). Standard Inputs for EUROCONTROL Cost Benefit Analyses, 1-102.
- [39] EUROCONTROL (2024). Standard Inputs for Economic Analyses, Edition 10.
- [40] EUROCONTROL (2025). ATM Cost-Effectiveness (ACE) 2025 Benchmarking Report
- [41] FAA (1989). Economic Values for Evaluation of Federal Aviation Administration Investment and Regulatory Programs, US DoT, Office of Aviation Policy and Plans, 1-184.
- [42] Farrow, S., Hayakawa, H. (2002). Investing in safety: An analytical precautionary principle. *Journal of Safety Research*, Vol. 33 No. 2, pp. 165-174.
- [43] Forman, E. H., & Gass, S. I. (2001). The Analytic Hierarchy Process — An Exposition. *Operations Research*, 49(4), 469–486.
- [44] Fromm, G. (1968). Aviation Safety, Law and Contemporary Problems, *Safety*, 33(3), 590-618.

- [45] Ghasemi, F., Doosti-Irani, A., & Aghaei, H. (2023). Applications, shortcomings, and new advances of job safety analysis (JSA): Findings from a systematic review. *Safety and Health at Work*, 14(2), 153–162.
- [46] Gupta, S., & Jain, R. (2025). Enhancing freight logistics: Overcoming barriers and driving innovation. *Benchmarking: An International Journal*, 32(1), 2024–2045.
- [47] Gwarda, K. (2022). Using the Analytic Hierarchy Process Method to Select the Best Supplies: A Case Study of a Production Company. *European Research Studies Journal*, 25(3), 430–440.
- [48] Hoffer, S., Spitz, W., Loboda, E., & Gee, D. (1998). *Economic Analysis of Investment and Regulatory Decisions - Revised Guide*, US Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Office of Aviation Policy and Plans, Washington, DC. 1-146.
- [49] IATA (2024). *Annual Safety Report, Executive Summary and Safety Overview*, Montreal, 45p.
- [50] ICAO (2016a). *ICAO Annex 13 - Aircraft Accident and Incident Investigation*, International Civil Aviation Organization, Eleventh Edition, Montreal. 65p.
- [51] ICAO (2016b) *ICAO Annex 19 - Safety Management*. International Civil Aviation Organization, Second Edition, Montreal.
- [52] ICAO (2018). *ICAO Doc 9859 Safety Management Manual*. International Civil Aviation Organization, Fourth Edition, Montreal. 170p.
- [53] ICAO (2024a). *Annex 13 — Aircraft Accident and Incident Investigation (13th ed.)*.
- [54] ICAO (2024b). *Safety Report*. Montreal. 29p.
- [55] International Monetary Fund. (2025). <https://www.imf.org/en/Home>
- [56] Jan, C. J., & Wang, S.-T. (2013). Integrating grey multiple-attribute decision and delphi methods to improve the organization of international activities of university departments (graduate institutes) – with a department (graduate institute) in a national institute of technology as an example (R.O.C.). *Expert Systems with Applications*, 40(3), 877–888.
- [57] Jones-Lee, M.W. (1974). The Value of Changes in the Probability of Death or Injury, *Journal of Political Economy*, 82(4), 835-849.
- [58] Joseph, K., Jouxte, J., & Talandier, B. (2014). Value of Life - Transversal review of a controversial subject, 1-29.
- [59] Joseph, S., Williams, R. M., & Yule, W. (1997). *Understanding post-traumatic stress: A psychosocial perspective*. John Wiley & Sons.
- [60] Kniesner, T.J., Viscusi, W.K., & Ziliak, J.P. (2009). Policy Relevant Heterogeneity in the Value of Statistical Life: New Evidence from Panel Data Quantile Regressions, *Discussion Paper No. 4508*, 1-32.
- [61] Krstić, M., Tadić, S., Kovač, M., Roso, V., Zečević, S. (2021). A novel hybrid MCDM model for the evaluation of sustainable last-mile solutions, *Mathematical Problems in Engineering*, Article ID 5969788, 17 pages.
- [62] Krstić, M., Agnusdei, G. P., Tadić, S., & Miglietta, P. P. (2023a). Prioritization of e-traceability drivers in the agri-food supply chains. *Agricultural and Food Economics*, 11(1), 42.
- [63] Krstić, M., Agnusdei, G. P., Tadić, S., Kovač, M., & Miglietta, P. P. (2023b). A Novel Axial-Distance-Based Aggregated Measurement (ADAM) Method for the Evaluation of Agri-Food Circular-Economy-Based Business Models. *Mathematics*, 11(6), 1334.
- [64] Krstić, M., Tadić, S., Miglietta, P. P., & Porrini, D. (2025). Biodiversity Protection Practices in Supply Chain Management: A Novel Hybrid Grey Best–Worst Method/Axial Distance-Based Aggregated Measurement Multi-Criteria Decision-Making Model. *Applied Sciences*, 15(3), 1354.

- [65] Lee, W.K. (2006). Risk Assessment Modelling in Aviation Safety Management. *Journal of Air Transport Management*, 12(5), 267-273.
- [66] Li, L., Liu, Z., Du, X. (2021). Improvement of Analytic Hierarchy Process Based on Grey Correlation Model and Its Engineering Application. *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering*, 7(2), a1001126.
- [67] Linnerooth, J. (1982). *Murdering Statistical Life...?. Working papers*. International institute for applied systems analysis 2361, Laxenburg, Austria.
- [68] Ma, Z., Shao, C., Ma, S., & Ye, Z. (2011). Constructing road safety performance indicators using Fuzzy Delphi Method and Grey Delphi Method. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 1509–1514.
- [69] McDaniels, T.L., Kamlet, M.S., & Fischer, G.W. (1992). Risk Perception and the Value of Safety, *Risk Analysis*, 12(4), 495-503.
- [70] МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ (МАК). (2019). КОМИССИЯ ПО РАССЛЕДОВАНИЮ АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ ОКОНЧАТЕЛЬНЫЙ ОТЧЕТ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАССЛЕДОВАНИЮ АВИАЦИОННОГО ПРОИСШЕСТВИЯ.
- [71] Milovanović, M. (2021). Analiza udesa vazduhoplova u poletanju primenom Reason modela. *Završni rad*. University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, Serbia.
- [72] Milovanović, M., Čokorilo, O., Čokorilo, S. (2022). Analysis of the Impact of Lightning Strikes on Flight Safety, *International Journal for Traffic and Transport Engineering* 12(3): 352-360. doi: 10.7708/ijtte.2022.12(3).05
- [73] Milovanović, M., Čokorilo, O., Ivković, I., Vasov, Lj., Stojiljković, B. (2024). The value of statistical life in air and road transport, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology* 96(10): 1287-1294.
- [74] Milovanović, M., Petrović Vujačić, J., Čokorilo, O., Vasov, Lj., Miroslavljević, P., Stojiljković, B., Marina, M. (2025a). Analiza statističke vrednosti ljudskog života u saobraćajnim udesima sa aspekta vrednovanja investicija, *TEHNIKA – Menadžment*, 75(2): 223-230.
- [75] Milovanović, M., Tadić, S., Krstić, M., Čokorilo, O. (2025b). „Selection of Safety Measures in Aircraft Operations by applying a hibrid MCDM model”, u zborniku radova konferencije 7th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency – SUMMA2025, Lipetsk, Russia.
- [76] Mishan, E. J. (1971). Evaluation of Life and Limb: A Theoretical Approach. *Journal of Political Economy*, 79(4), 687–705.
- [77] MGSI. (2019). Pravilnik o istraživanju udesa i ozbiljnih nezgoda u vazdušnom saobraćaju (“Sl. glasnik RS”, br. 113/2015 i 50/2019).
- [78] MGSI (2024). Pravilnik o prijavljivanju događaja u civilnom vazduhoplovstvu, (“Sl. glasnik RS”, br. 142/2020, 130/2022 i 52/2024).
- [79] Moore, M. J., & Viscusi, W. K. (1988). The Quantity-Adjusted Value of Life. *Economic Inquiry*, 26(3), 369–388.
- [80] NASA (2020). Guidance for Designing Safety into Urban Air Mobility: Hazard Analysis Techniques. NASA Technical Reports Server (NTRS).
- [81] National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (2015). Hierarchy of Controls.
- [82] Nguyen, P. H. (2024). Exploring complexities of innovation capability in Vietnam's manufacturing sector. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 35(4), 1234–1256.
- [83] Nuclear Energy Agency (NEA). (2006). Fissile Materials: Nuclear Fuel Cycle Information System. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development.

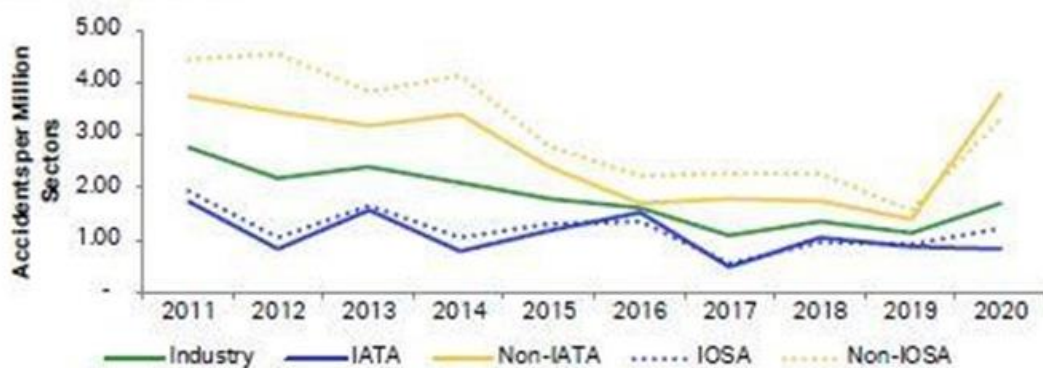
- [84] OECD (2011). Valuing Mortality Risk Reductions in Regulatory Analysis of Environmental, Health and Transport Policies: Policy Implications, OECD, Paris.
- [85] Ortega, J. F., Moslem, S., Tóth, J., Ortega, M. (2023). A two-phase decision making based on the grey analytic hierarchy process for evaluating the issue of park-and-ride facility location. *Journal of Urban Mobility*, 3, a100050.
- [86] Oztekin, A.E. & Luxhoj, J.T. (2010). An inductive reasoning approach for building system safety risk models of aviation accidents. *Journal of Risk Research*, 13(4), 479–499.
- [87] Petrović-Vujačić, J. (2010). *Osnovi ekonomije*. Beograd: Saobraćajni fakultet
- [88] Pitchipoo, P., Vincent, D. S., Rajini, N., Rajakarunakaran, S. (2014). COPRAS decision model to optimize blind spot in heavy vehicles: A comparative perspective. *Procedia Engineering*, 97, 1049–1059.
- [89] Plattner, Th., Plapp, T., and Hebel, B. (2006). Integrating Risk Perception Into Risk Assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 6, 471-483
- [90] Pratt, J.W., & Zeckhauser, R.J. (1996). Willingness to Pay and the Distribution of Risk and Wealth, *Journal of Political Economy*, 104(4), 747-763.
- [91] Reason, J. (1997). *Managing the Risks of Organizational Accidents*. London, 272p
- [92] Roelen, A.L.C., Piers, R., Molemaker, R.J., & Hayes, P. (2001). *Handbook for Conducting Cost Benefit Analysis of Safety Measures in Air Transport*, National Aerospace Laboratory NLR.
- [93] Roy, J., et al. (2020). Application of fuzzy FARE in multi-criteria decision making.
- [94] Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98.
- [95] Savage, L. (1993). An empirical investigation into the effect of psychological perceptions on the willingness-to-pay to reduce risk, *Journal of Risk and Uncertainty*, 6(1), 75-90.
- [96] Schelling, T.C. (1968). *Problems in Public Expenditure Analysis* (Chase, S.B., ed.), Chapt, *The life you save may be your own*, Washington, D.C., US: The Brookings Institution, 127-162.
- [97] Schmidt, K., Aumann, I., Hollander, I., Damm, K., Graf von der Schulenburg, J. M. (2015). Applying the Analytic Hierarchy Process in healthcare research: A systematic literature review and evaluation of reporting. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 15, Article 112.
- [98] Shyur, H.J. (2008). A Quantitative Model for Aviation Safety Risk Assessment. *Computers & Industrial Engineering*. 54(1), 34-44
- [99] Singh, R., Khan, S., Dsilva, J., & Centobelli, P. (2023). Blockchain Integrated IoT for Food Supply Chain: A Grey Based Delphi-DEMATEL Approach. *Applied Sciences*, 13(2), 1079.
- [100] Spanish Association for Standardization and Certification. (2017). UNE-EN 61882:2017: Hazard and operability studies (HAZOP studies) — Application guide. AENOR.
- [101] Stewart, M.G., & Mueller, J. (2008). A risk and cost-benefit assessment of United States aviation security measures, *Journal of Transportation Security*, 1(3), 143-159.
- [102] Sun, F., Shen, D., Yang, D., & Dai, M. (2025). Research on safety assessment of air traffic control in small and medium airports based on machine learning. *Journal of Air Transport Management*, 126, 102790.
- [103] Sweis N. (2022). Revisiting the value of a statistical life: an international approach during COVID-19. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9017085/>

- [104] Tadić, S.; Zečević, S.; Krstić, M. (2014). Ranking of Logistics System Scenarios for Central Business District. *Promet Traffic Transp.* 26, 159–167.
- [105] Tadić, S., Krstić, M., Roso, V., Brnjac, N. (2020). Dry port terminal location selection by applying the hybrid grey MCDM model. *Sustainability*, 12(17), 6983.
- [106] Tadić, S., Krstić, M., Kovač, M. (2023a). Assessment of city logistics initiative categories sustainability: Case of Belgrade. *Environment, Development and Sustainability*, 25, 1383–1419.
- [107] Tadić, S., Krstić, M., Veljović, M., Kovač, M. (2023b). Selection of the starting point of e-order delivery using ADAM method, *Proceedings of the 50th International Symposium on Operational Research, SYM-OP-IS 2023*, Ministry of Defence and the Serbian Armed Forces, Tara, Serbia, 18-21.09.2023., pp. 429-434. ISBN: 978-86-335-0836-0
- [108] Tadić, S., Krstić, M., Radovanović, L. (2024a). Assessing strategies to overcome barriers for drone usage in last-mile logistics: A novel hybrid fuzzy MCDM model. *Mathematics*, 12, 367.
- [109] Tadić, S., Krstić, M., Veljović, M., Čokorilo, O., Milovanović, M. (2024b). Risk Analysis of the Use of Drones in City Logistics, *Mathematics* 12(8): 1250.
- [110] Tadić, S., Milovanović, M., Krstić, M., Čokorilo, O. (2025). Selection of Safety Measures in Aircraft Operations: A Hybrid Grey Delphi–AHP–ADAM MCDM Model, *Eng* 6 (11): 295.
- [111] Tang, J., et al. (2022). Risk assessment of ATC systems based on game theory and cloud model. *MDPI Sustainability*, 14(10), 6258.
- [112] Thepaksorn, P., Thongjerm, S., Incharoen, S., Siri Wong, W., Harada, K., & Koizumi, A. (2017). Job safety analysis and hazard identification for work accident prevention in para rubber wood sawmills in southern Thailand. *Journal of Occupational Health*, 59(6), 542–551.
- [113] Vaidya, O. S., & Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 169(1), 1–29.
- [114] van Essen, H., Fiorello, D., El Beyrouthy, K., Bieler, C., Van Wijngaarden, L., Schroten, A., Parolin, R., Brambilla, M., Sutter, D., Maffii, S., & Fermi, F. (2020). Handbook on the external costs of transport – Version 2019 – 1.1. CE Delft; Directorate-General for Mobility and Transport (European Commission). Publications Office of the European Union.
- [115] van Wee, B., & Rietveld, P. (2013). Using value of statistical life for the ex ante evaluation of transport policy options: a discussion based on ethical theory, *Transportation*, 40, 295-314.
- [116] Viscusi, W.K. (1993). The Value of Risks to Life and Health, *Journal of Economic Literature*, 31(4), 1912-1946.
- [117] Viscusi, W.K. (2005). The Value of Life, Discussion Paper No. 517, 1-17.
- [118] Viscusi, W.K. (2011). Policy Challenges of the Heterogeneity of the Value of Statistical Life, *Published Articles & Papers*, Paper 95, 101-172.
- [119] Viscusi, W.K., & Aldy, J.E. (2003). The value of a statistical life: a critical review of market estimates throughout the world, Working Paper 9487, 1-126.
- [120] Wells, A.T., & Rodrigues, C.C. (2003). Commercial aviation safety, 4th Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc. USA.
- [121] Wiegmann, D.A., Shappell, S.A. (2003). A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis: The Human Factors Analysis and Classification System.
- [122] Xiong, M., Wang, H., Wong, Y. D., & Hou, Z. (2024). Enhancing aviation safety and mitigating accidents: A study on aviation safety hazard identification. *Advanced Engineering Informatics*, 62, 102732.

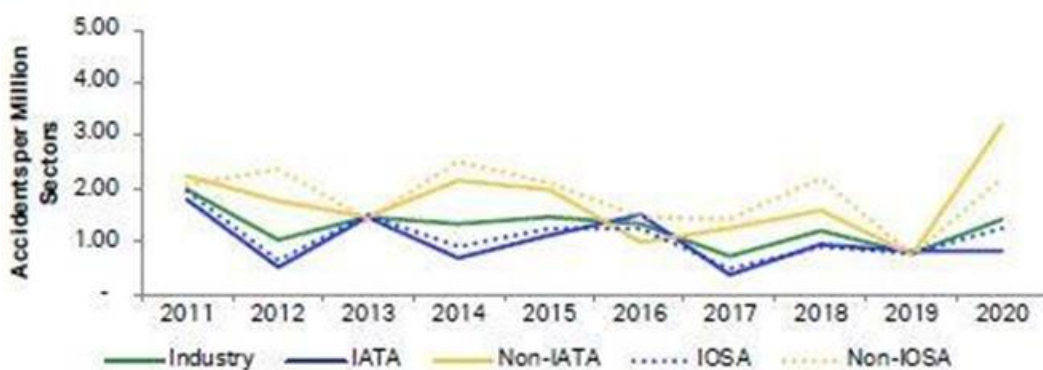
- [123] Xu, Y. (2024). Deep learning approach for classification of narrative safety reports in civil aviation. *MDPI Aerospace*, 11(10), 837.
- [124] Yazdani, M. (2018). New approach to select materials using MADM tools. *International Journal of Business Systems Research*, 12, 25.
- [125] Zhang, A., Boardman, A.E., Gillen, D., & Waters II, W.G. (2004). Towards estimating the social and environmental costs of transportation in Canada, a Report for Transport Canada, 1-460.
- [126] Zhang, X., Li, S., Liu, X., Jian, S., Li, S., Yue, J. (2024). Research on the establishment and application of a transportation safety supervision evaluation system based on grey analytic hierarchy process. *Sustainability*, 16(23), a10600.
- [127] ZVS (2025). *Zakon o vazdušnom saobraćaju* ("Sl. glasnik RS", br. 73/2010, 57/2011, 93/2012, 45/2015, 66/2015 - dr. zakon, 83/2018, 9/2020, 62/2023 i 19/2025).

PRILOG 1: Udesi vazduhoplova prema tipu pogonske grupe

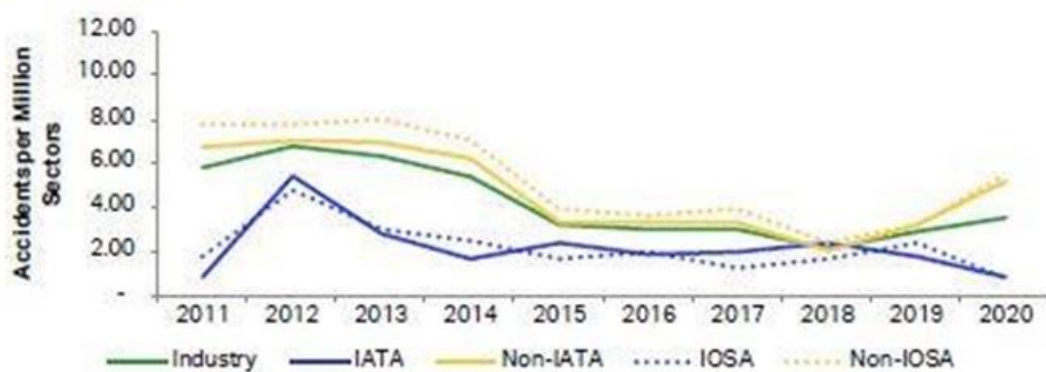
Jet & Turboprop Aircraft



Jet Aircraft

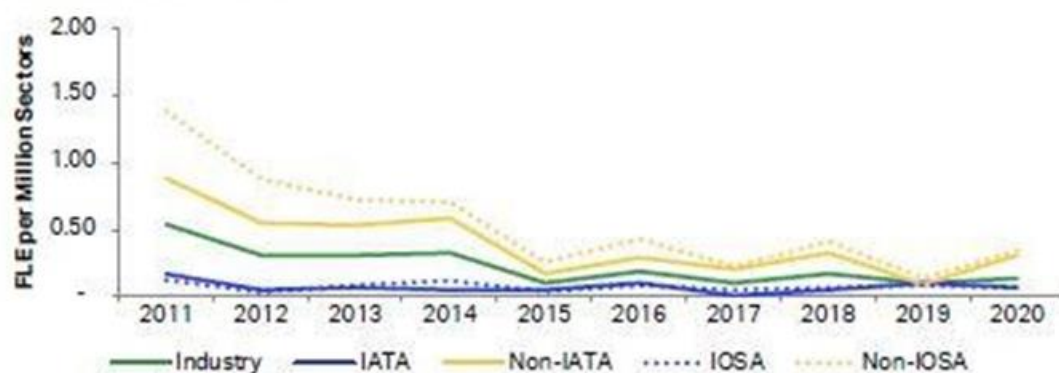


Turboprop Aircraft



PRILOG 2: Rizici od smrtnog ishoda prema tipu pogonske grupe

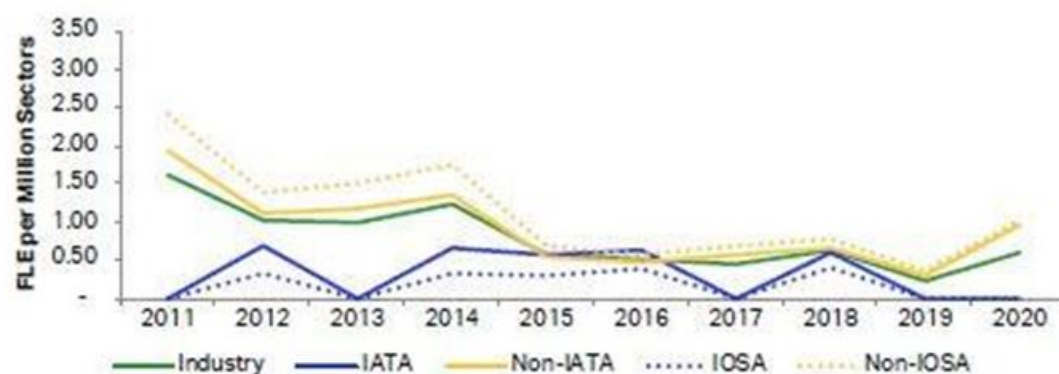
Jet & Turboprop Aircraft



Jet Aircraft

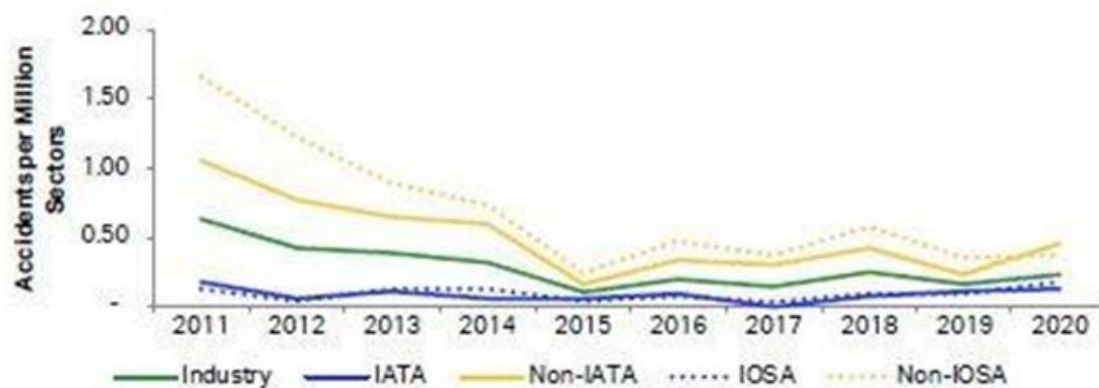


Turboprop Aircraft



PRILOG 3: Fatalni udesi prema tipu pogonske grupe

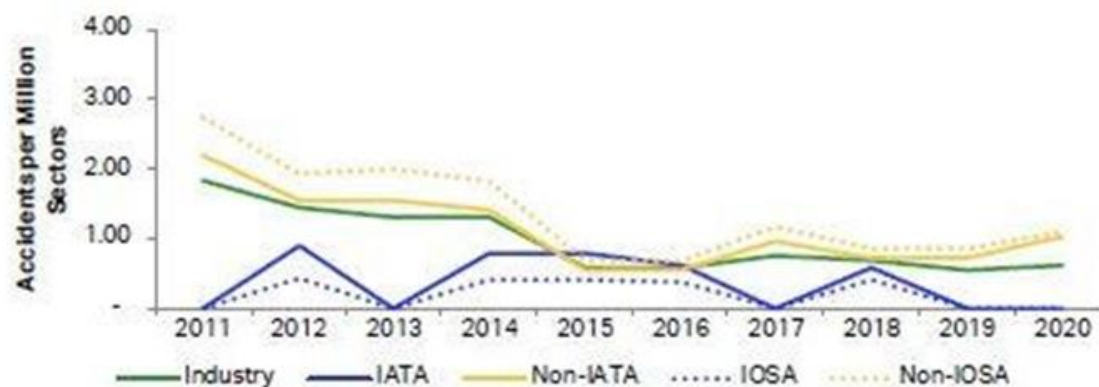
Jet & Turboprop Aircraft



Jet Aircraft

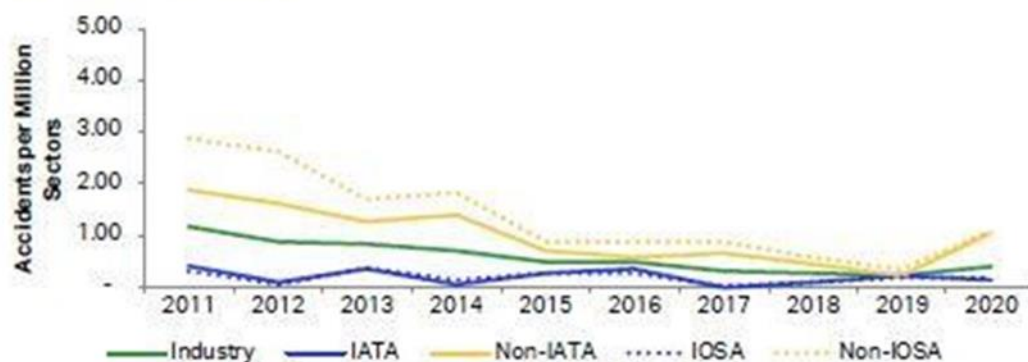


Turboprop Aircraft

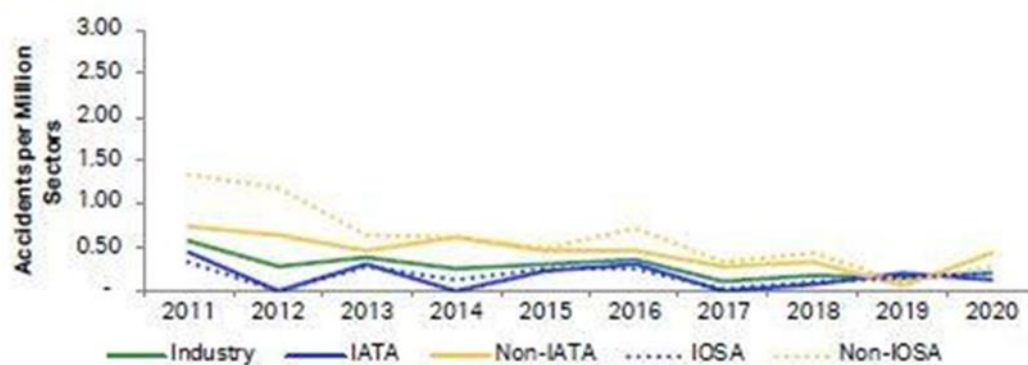


PRILOG 4: Totalno oštećenje vazduhoplova prema tipu pogonske grupe

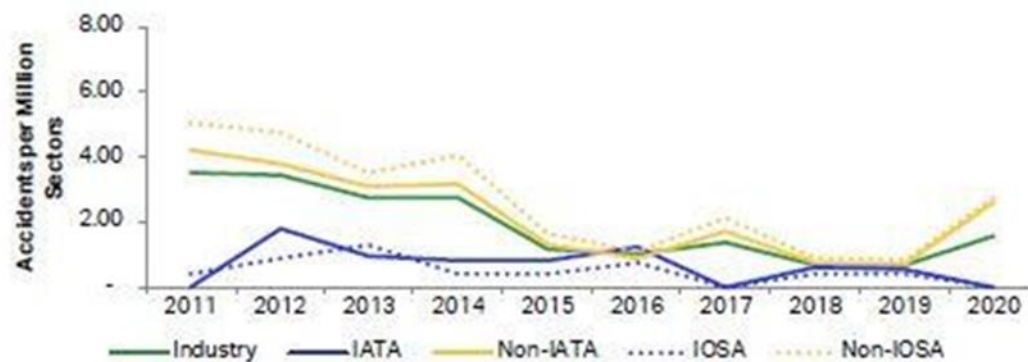
Jet & Turboprop Aircraft



Jet Aircraft



Turboprop Aircraft



PRILOG 5: AIS skala

Tabela P 1 AIS skala [6]

Nivoi povreda	Kategorija povrede	Značenje	Udeo u VOSL izražen u procentima (%)	Statistička vrednost povrede izražena u evrima (€)
MAIS 1	Manja (eng. <i>Minor</i>)	Površinske ogrebotine ili posekotine kože; uganuće prsta; opekotine prvog stepena; povreda glave sa glavoboljom ili vrtoglavicom (bez drugih neuroloških simptoma).	0	12 900
MAIS 2	Umerena (eng. <i>Moderate</i>)	Veće ogrebotine ili posekotine kože; potres mozga (bez svesti kraće od 15 minuta); smrskan ili amputiran prst na ruci ili nozi; zatvoren prelom karlice, sa ili bez iščašenja.	4	189 000
MAIS 3	Ozbiljna (eng. <i>Serious</i>)	Teško oštećenje živca (posekotina); višestruki prelom rebra (ali bez nestabilnog grudnog koša); kontuzija (nagnječenje) trbušnih organa; smrskavanje ili amputacija šake, stopala ili ruke.	10	447 200
MAIS 4	Teška (eng. <i>Severe</i>)	Pucanje slezine; smrskavanje noge; probijanje grudnog koša; potres mozga sa dodatnim neurološkim znacima (bez svesti kraće od 24 časa).	26	1 130 900
MAIS 5	Krtična (eng. <i>Critical</i>)	Povreda kičmene moždine (sa prekinutim moždanim stubom); opsežne opekotine drugog ili trećeg stepena; potres mozga sa ozbiljnim neurološkim znacima (bez svesti duže od 24 časa).	59	2 541 300
MAIS 6	Smrtna (eng. <i>Fatal</i>)	Povrede koje, iako ne dovode do smrti u prvih 30 dana nakon nesreće, na kraju ipak rezultiraju smrtnim ishodom.	100	4 300 000

PRILOG 6: Različite vrednosti VOSL u različitim zemljama

Tabela P 2 Vrednosti VOSL u različitim zemljama [5, 9]

Zemlja	Zvanične vrednosti VOSL koje su usvojene i primenjuju se u javnim politikama određene zemlje (izražene su u milionima €)	Vrednosti VOSL iz projekta UNITE ¹⁶ (izražene su u milionima €)
Austrija	2,09	2,31
Danska	0,71	2,46
Belgija	0,55	2,30
Estonija	n/a	0,87
Finska	1,23	2,11
Francuska	0,84	2,04
Nemačka	1,20	2,23
Grčka	0,20	1,36
Mađarska	n/a	1,02
Irska	1,43	2,24
Italija	n/a	2,08
Luksemburg	n/a	3,634
Holandija	0,18	2,33
Norveška	2,06	2,65
Portugal	0,04	1,54
Španija	0,07	1,65
Švedska	2,04	2,10
Švajcarska	n/a	2,50
Velika Britanija	2,10	2,09

¹⁶ UNITE (eng. *Unified Transport Evaluation*) je istraživački projekat Evropske komisije (5. okvirni program istraživanja i tehnološkog razvoja – FP5), sproveden od 2000. do 2003. godine. Cilj projekta bio je da se razvije dosledna metodologija za analizu ukupnih i graničnih troškova u transportu, kako bi se unapredilo donošenje politika u oblasti saobraćaja u EU.

PRILOG 7: Procena troškova implementacije mera bezbednosti

Tabela P 3 Troškovi mera bezbednosti [1, 2, 4, 7, 8]

Oznaka	Mera bezbednosti	Okvirna cena (€)	Objašnjenje procene troškova
A ₉	FDM analiza aktivacije Pito grejanja	3.000 – 10.000	FAA navodi da analiza i obrada FDM podataka (bez celokupne instalacije FDM programa) košta oko 6.450 USD. U praksi, trošak zavisi od obima podataka, opsega analize i vrste opreme, pa je tipičan raspon 3.000–10.000 €.
A ₁₀	Scenario-trening za tehničke/proceduralne kvarove	2.000 – 5.000	EASA navodi da sat korišćenja FSTD simulacionih uređaja košta 800–1.500 €, dok priprema instruktora i razvoj scenarija dodaju 500–1.000 €. Ukupan trošak jednog tematskog scenarija dostiže 2.000–5.000 €.
A ₂₁	Periodične SMS revizije sa eksternom proverom	1.500 – 4.000	Safety Foundation BARS program navodi da eksterni auditi SMS-a za male i srednje operatore koštaju 1.500–4.000 USD. Cena zavisi od obima audita, broja dana i veličine organizacije.
A ₁₈	Program bezbednosne kulture i edukacije	2.000 – 6.000	Troškovi radionica sa facilitatorima iznose 1.500–3.000 €, e-learning paketi 500–2.000 €, a materijali 300–800 €. Kombinovani program tipično košta 2.000–6.000 €.
A ₁₉	Unapređenje sistema za prijavu i korektivne mere	3.000 – 10.000	Cene vodećih SMS softvera (ASQS IQSMS, SafetyLine Airsight) za module prijave događaja kreću se 3.000–12.000 € u zavisnosti od veličine operatera, broja modula i obuke. Najčešći raspon 3.000–10.000 €.

PRILOG 8: Vrednovanje projekata u saobraćaju i transportu

Glavni cilj izrade i implementacije projekata u javnom sektoru je da se obezbedi ponuda javnih dobara (bezbednost, sigurnost, zdravstvo, različite javne usluge, itd) [10]. U oblasti saobraćaja i transporta, ovaj cilj se konkretizuje kroz razvoj projekata koji ne samo da unapređuju efikasnost i dostupnost transportnih sistema, već i povećavaju bezbednost učesnika, smanjuju negativne uticaje na životnu sredinu i podstiču održivi razvoj. Stoga je vrednovanje projekata u saobraćaju i transportu od suštinskog značaja, jer omogućava donošenje odluka zasnovanih na objektivnim kriterijumima, optimizaciju ulaganja javnih sredstava i maksimizaciju društvenih koristi.

1. Vrednovanje i selekcija investicionih projekata

Da bi se razumelo vrednovanje i selekcija investicionih projekata, potrebno je poznavati proces kapitalnog ulaganja i razumeti analizu diskontovanih novčanih tokova projekata, period povraćaja, ratio koristi i troškova i indeks profitabilnosti. Ovi pojmovi biće objašnjeni u nastavku.

1.1. Proces kapitalnog ulaganja

Proces kapitalnog ulaganja se odnosi na ulaganja u osnovna (trajna) sredstva. Ovaj proces se sastoji od identifikovanja, analize i selekcije investicionih projekata za koje se očekuje da njihovi novčani tokovi prelaze godinu dana. Vrednovanje i selekcija investicionih projekata obuhvata [12]:

- utvrđivanje očekivanog ekonomskog veka projekta;
- determinisanje diskontne, odnosno minimalne prihvatljive stope prinosa;
- procenu novčanih tokova (novčanih priliva i odliva tokom definisanog vremenskog perioda projekta).

Investicioni projekti mogu biti [12]:

- međusobno isključivi projekti (razmatraju se samo oni investicioni projekti koji jedan drugom konkurišu, to jest prihvatanje jednog investicionog projekta znači odbacivanje drugog; po izvršenom vrednovanju, prihvata se onaj projekat koji je bolje ocenjen);
- međusobno nezavisni projekti (prihvatanje jednog investicionog projekta ne isključuje mogućnost prihvataja drugog ili drugih projekata, pod uslovom da su projekti ekonomski opravdani i da postoji dovoljno novca za njihovo finansiranje).

Pored navedenih tipova projekata, postoje situacije kada se investicioni projekti moraju prihvatiti iz razloga sigurnosti, zakonskih obaveza i drugih neekonmskih razloga.

Suštinu odlučivanja o kapitalnim ulaganjima, i u privatnom i u javnom sektoru, čini analiza koristi i troškova takvih ulaganja. Osnovni metod vrednovanja odnosa koristi i troškva je poznat kao kost-benefit analiza. Ovaj metod se u proširenom obliku kod ocene investicionih projekata od opšte društvenog, odnosno javnog interesa [11].

1.2. Analiza diskontovanih novčanih tokova projekata

U postupku vrednovanja i selekcije projekata, analiziraju se tri aspekta novčanog toka [12]:

- identifikovanje troškova i koristi;
- vrednovanje troškova i koristi;
- poređenje troškova i koristi.

Realizacija bilo kod investicionog projekta se sprovodi u dužem vremenskom periodu pa je zato neophodno primeniti koncept vremenske vrednosti novca kod vrednovanja investicionih alternativa i odlučivanja o njihovom prihvatanju ili odbacivanju. Sve vrednosti je neophodno svesti na istu vremensku jedinicu. Nakon što se izvrši svođenje novčanih tokova projekata na njihove ekvivalentne novčane vrednosti, vrši se vrednovanje svake alternative primenom savremenih metoda, a potom njihovo međusobno poređenje i rangiranje [12].

1.3. Period povraćaja

Period povraćaja (eng. *Payback Period – PP*) investicionih projekata se definiše kao vremenski period koji je potreban da se različite vrste koristi od neke investicije izjednače sa troškom te investicije. Ovaj metod ne uzima u obzir vremensku vrednost novca, već meri vreme za koje će se vratiti novac koji je uložen u projekat. Ukoliko su jednaki svi drugi uslovi, preferirala bi se investicija koja ima kraći period povraćaja u odnosu na investiciju ili investicije sa dužim periodom povraćaja uložених sredstava. Kriterijum je minimiziranje perioda povraćaja. Takođe, ovaj metod je i najjednostavniji metod koji se najviše kritikuje zbog svojih ograničenja, ali je i veoma često korišćen zbog lakoće kojom se dolazi do rezultata. Za računanje perioda povraćaja koristi se sledeća formula [12]:

$$\text{Period povraćaja} = \frac{\text{Trošak}}{\text{Godišnje ujednačene koristi}} \quad (1)$$

Ukoliko je izračunati period povraćaja kraći od nekog maksimalnog prihvatljivog roka povraćaja, predlog projekta se prihvata.

Neka preduzeća koriste diskontovani period povraćaja. Ovaj povraćaj je sličan regularnom periodu povraćaja, ali se očekivani novčani tokovi diskontuju troškom kapitala projekta. Diskontovani period povraćaja se definiše kao broj godina koji je potreban da se nadoknadi uloženi novac od diskontovanih novčanih tokova [3].

1.4. Racio koristi i troškova

Racio koristi i troškova predstavlja odnos diskontovanih koristi i diskontovanih troškova nekog projekta, a to je zapravo poređenje sadašnje vrednosti (SV) koristi i sadašnje vrednosti troškova projekta [12].

Da bi se izračunao racio koristi i troškova, koristi se sledeća formula [11, 12]:

$$\frac{K}{T} = \frac{SV \text{ koristi}}{SV \text{ troškova}} \quad (2)$$

Ukoliko je ratio koristi i troškova jednak ili veći od jedan, projekat bi trebalo prihvatiti zato što je isplativ, a ukoliko je ratio koristi i troškova manji od jedan projekat treba odbaciti.

1.5. Indeks profitabilnosti

Indeks profitabilnosti (eng. *Profitability Index – PI*) predstavlja ratio sadašnje vrednosti budućih očekivanih novčanih tokova posle inicijalnog kapitalnog izdatka podeljeno sa iznosom inicijalne investicije. Ovaj indeks meri povraćaj investiranog novca, tj. kapitalnu efikasnost. Da bi se izračunao indeks profitabilnosti, koristi se sledeća formula [12]:

$$PI = \frac{K - T'}{I} \quad (3)$$

Najniža prihvatljiva vrednost ovog indeksa je 1, što znači da se prihvataju projekti čija je vrednost indeksa profitabilnosti jednaka ili veća od jedan.

Literatura u okviru Priloga 5, 6, 7 i 8

- [1] Airsight. (2025). Safety Management Systems (SMS) Best Practices – 4-day course. Berlin / Roma
- [2] ASQS, G. (Advanced Safety & Quality Solutions). (2025). SafetyManager365 (iQSMS) – Integrated Safety, Quality and Risk Management System. Vienna
- [3] Brigham, F. E., Houston, F.J. (2003). Fundamentals of Financial Management, 10th edition, South – Western College Pub, Nashville.
- [4] EASA. (2020). Cost Assessment of Flight Simulation Training Devices (FSTD) for Flight Crew Training. Cologne: EASA.
- [5] EUROCONTROL (2013). Standard Inputs for EUROCONTROL Cost Benefit Analyses, 1-102.
- [6] EUROCONTROL (2024). Standard Inputs for Economic Analyses, Edition 10.
- [7] FAA. (2014). Flight Data Monitoring Requirements. Federal Register, Vol. 79, No. 35, pp. 10062–10088.
- [8] Flight Safety Foundation (FSF). (2021). Basic Aviation Risk Standard (BARS) – Frequently Asked Questions. Washington, DC: Flight Safety Foundation.
- [9] Milovanović, M., Čokorilo, O., Ivković, I., Vasov, Lj., Stojiljković, B. (2024). The value of statistical life in air and road transport, Aircraft Engineering and Aerospace Technology 96(10): 1287-1294.
- [10] Milovanović, M., Petrović Vujačić, J., Čokorilo, O., Vasov, Lj., Mirosavljević, P., Stojiljković, B., Marina, M. (2025). Analiza statističke vrednosti ljudskog života u saobraćajnim udesima sa aspekta vrednovanja investicija, TEHNIKA – Menadžment, 75(2): 223-230.
- [11] Newnan, G. D., Eschenbach, G.T., Lavelle, P.J. (2004). Engineering Economic Analysis, 9th edition, Oxford University Press, New York.
- [12] Petrović – Vujačić, J., Kaplanović, S., Miljković, M. (2019). Inženjerska ekonomija u transportu i komunikacijama, Beograd, Republika Srbija, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet.

BIOGRAFIJA AUTORA

Milica Milovanović je rođena 19.12.1998. godine u Arandjelovcu, Srbija. Osnovnu školu „Sestre Radović” završila je sa odličnim uspehom 2013. godine u Belosavcima, Topola. Srednju školu „Kralj Petar I”, gimnaziju – opšti smer završila je 2017. godine u Topoli kao nosilac diplome „Vuk Karadžić”. Tokom celokupnog srednjoškolskog obrazovanja bila je dobitnica stipendije koju dodeljuje Ministarstvo prosvete Republike Srbije kao priznanje za izuzetan uspeh. Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, osnovne akademske studije, prvog stepena, obima 240 ESPB upisala je školske 2017/2018. godine, a diplomirala 8.7.2021. godine na modulu za vazdušni saobraćaj i transport sa temom završnog rada „Analiza udesa vazduhoplova u poletanju primenom Reason modela” i ocenom 10, pod mentorstvom prof. dr Olje Čokorilo i time stekla zvanje: diplomirani inženjer saobraćaja. Prosečna ocena u toku osnovnih studija je bila 8,58 (osam i 58/100). Master akademske studije, drugog stepena, na Saobraćajnom fakultetu Univerziteta u Beogradu, obima 60 ESPB, modul za vazdušni saobraćaj i transport, upisala je školske 2021/2022. godine i završila 31.5.2022. godine odbranivši master rad na temu „Analiza uticaja atmosferskih električnih pražnjenja na bezbednost letenja” sa ocenom 10, pod mentorstvom prof. dr Olje Čokorilo i time stekla zvanje: master inženjer saobraćaja. Prosečna ocena u toku studija je bila 9,25 (devet i 25/100). Tokom osnovnih akademskih i master akademskih studija bila je dobitnica stipendije Opštine Topola dodeljene na osnovu ostvarenog izuzetnog uspeha. Doktorske akademske studije, trećeg stepena, na Saobraćajnom fakultetu u Beogradu, obima 180 ESPB, na studijskom programu Saobraćaj upisala je školske 2022/2023. godine i položila sve ispite predviđene nastavnim planom i programom sa prosečnom ocenom 10,00 (deset). Od juna 2022. godine do decembra 2025. godine bila je zaposlena u Vazduhoplovnoj akademiji u Beogradu na poziciji nastavnika saobraćajne grupe predmeta – vazdušni saobraćaj. Pohađala je više stručnih i naučnih kurseva i radionica na temu bezbednosti u vazduhoplovstvu: Where Human Factors and Autonomy Collide: Challenges and Opportunities in Advanced Aviation; Global Action Plan for the Prevention of Runway Incursions (GAPPRI); Safety Leadership: Turning Principles Into Action; The 2025 aviation year in numbers and what to expect for 2026; Business Aviation Safety Insights Confirmation; Data and AI for Operational Safety: Opportunities and Responsibilities, itd. Autor ili koautor je više naučnih radova, od kojih su 3 objavljena u visoko rangiranim međunarodnim časopisima. Govori engleski jezik.

IZJAVA O AUTORSTVU

Ime i prezime autora Milica Milovanović

Broj indeksa DS22D004

Izjavljujem

da je doktorska disertacija pod naslovom

METODOLOGIJA OPTIMIZACIJE ULAGANJA U BEZBEDNOST BAZIRANA NA INDIKATORIMA STATISTIČKE VREDNOSTI LJUDSKOG ŽIVOTA U OPERACIJAMA VAZDUHOPLOVA

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada;
- da disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za sticanje druge diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova;
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršila autorska prava i koristila intelektualnu svojinu drugih lica.

Potpis autora

U Beogradu, _____

IZJAVA O ISTOVETNOSTI ŠTAMPANE I ELEKTRONSKE VERZIJE DOKTORSKOG RADA

Ime i prezime autora	Milica Milovanović
Broj indeksa	DS22D004
Studijski program	Saobraćaj
Naslov rada	METODOLOGIJA OPTIMIZACIJE ULAGANJA U BEZBEDNOST BAZIRANA NA INDIKATORIMA STATISTIČKE VREDNOSTI LJUDSKOG ŽIVOTA U OPERACIJAMA VAZDUHOPLOVA
Mentor	dr Olja Čokorilo, redovni profesor Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predala radi pohranjivanja u **Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu**.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog naziva doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

Potpis autora

U Beogradu, _____

IZJAVA O KORIŠĆENJU

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

METODOLOGIJA OPTIMIZACIJE ULAGANJA U BEZBEDNOST BAZIRANA NA INDIKATORIMA STATISTIČKE VREDNOSTI LJUDSKOG ŽIVOTA U OPERACIJAMA VAZDUHOPLOVA

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim prilogima predala sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu i dostupnu u otvorenom pristupu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučila.

1. Autorstvo (CC BY)
2. Autorstvo – nekomercijalno (CC BY-NC)
- ☒ 3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada (CC BY-NC-ND)
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima (CC BY-NC-SA)
5. Autorstvo – bez prerada (CC BY-ND)
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima (CC BY-SA)

(Molimo da zaokružite samo jednu od šest ponuđenih licenci.
Kratak opis licenci je sastavni deo ove izjave).

Potpis autora

U Beogradu, _____

1. **Autorstvo.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.
2. **Autorstvo – nekomercijalno.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
3. **Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja dela.
4. **Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada.
5. **Autorstvo – bez prerada.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
6. **Autorstvo – deliti pod istim uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.