Modeliranje uzroka izletanja sa poletno-sletnih staza primenom analize stabla otkaza

JOVANA M. SEKULIĆ, Univerzitet u Beogradu,
Saobraćajni fakultet, Beograd
FEDA T. NETJASOV, Univerzitet u Beogradu,
Saobraćajni fakultet, Beograd

Stručni rad
UDC: 656.71.082
DOI: 10.5937/tehnika2104475S

Izletanje vazduhoplova sa PSS se smatra jednim od glavnih problema bezbednosti operacija na poletno-sletnoj stazi (PSS). Definiše se kao događaj u kome avion ne uspeva da se zaustavi pre kraja PSS (overruns) ili izleti bočno sa nje (veer-offs) tokom operacija poletanja ili sletanja. U ovom radu je predstavljena primena analize stabla otkaza (Fault Tree Analysis - FTA) metode za analizu uzroka koji dovode do izletanja vazduhoplova sa PSS. FTA pridapa grupi kvantitativnih uzročnih modela zasnovanoj na teoriji verovatnoće sa ciljem razumevanja uticaja različitih uzroka na nezgode i nesreće u vazdušnom saobraćaju. Metoda koristi statističke podatke, ili kombinaciju statističkih podataka i uverenja eksperata pri proračunu verovatnoća realizacije uzroka. Cilj rada je identifikacija potencijalnih uzročnih faktora. Primena FTA metode je prikazana kroz dva modela: jedan za operaciju poletanja i jedan za operaciju sletanja. Analiza stabla otkaza je pokazala koji su to najkritičniji faktori čije poznavanje omogućava da se razviju određene mere za smanjenje rizika od izletanja sa PSS.

Ključne reči: aerodrom, bezbednost, izletanje vazduhoplova sa PSS, uzročno modeliranje, Fault Tree Analysis

1. UVOD

Vazdušni saobraćaj predstavlja složen sociotehnički i bezbednosno-kritični sistem koji uključuje složenu interakciju između ljudi, procedura i tehničko-tehnološkog dela sistema. Upravo te interakcije čine održavanje društveno prihvatljivog nivoa bezbednosti komplikovanim [1].

Izletanje vazduhoplova sa poletno-sletnih staza (PSS), tzv. „Runway Excursions“ (RE), može se definisati kao događaj kod koga vazduhoplov ne uspeva da se zaustavi pre kraja PSS prilikom operacija poletanja ili sletanja (overruns) ili kada izleti sa jedne od bočnih strana staze (veer-offs). Izletanje sa poletno-sletne staze je veliki i kompleksan problem sa kojim se suočava sistem vazdušnog saobraćaja i predstavlja jedan od tri najveća bezbednosna problema pored gubitka kontrole nad vazduhoplovom u letu (LOC-I) i „kontrolisanog leta u teren“ (CFIT) (slika 1). Preko 25% vazduhoplovnih nezgoda i nesreća je iz ove kategorije, što uka-

zuje na učestalost ponavljanja ovog događaja na svetskom nivou, pri čemu se mora staviti akcenat na ozbiljnost posledica. U svetu se tokom jedne sedmice dogode najmanje dve nezgode ovog tipa [2]. Mnoge vazduhoplovne organizacije rade na određivanju pogodnih mera i preporuka koje za cilj imaju smanjenje broja izletanja vazduhoplova sa PSS-a.

Izletanja vazduhoplova sa PSS-a su karakteristična za fazu poletanja i fazu sletanja. Statistički, međutim, izletanja sa staze su zastupljenija prilikom sletanja [3].

Slika 1 - Broj nesreća određene kategorije [4] (reovan saobraćaj vazduhoplova mase veće od 5,7 toa)

Kako bi se smanjio broj ovog tipa nesreća/nezgoda ili sprečilo njihovo dešavanje neophodno je poznavati

Adresa autora: Jovana Sekulić, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305
e-mail: f.netjasov@sf.bg.ac.rs
Rad primljen: 11.04.2021.
Rad prihvaćen: 04.06.2021.

okolnosti u kojima nastaju ovakve situacije, koliko često se dešavaju i koliko su njihove posledice opasne.

Izdvajaju se tri tipične situacija kada dolazi do RE aviona sa PSS [5]:

1. tokom poletanja vazduhoplov ne uspeva da na vreme odvoji točkove stajnog trapa sa PSS ili letačka posada prekida započeto poletanje;

2. prilikom sletanja posada ne uspeva da zaustavi avion pre kraja PSS-a;

3. tokom prekida već započetog poletanja ili tokom sletanja avion izleti sa bočne strane PSS-e.

Moraju se uzeti u obzir i posledice koje nastaju usled izletanja vazduhoplova sa PSS-e. Ozbiljnost posledica ovakvih događaja ogleda se u [2]: broju žrtava i povređenih, bilo putnika, letačkog osoblja ili trećih lica (third party) koja su se našla u blizini, preko oštećenja vazduhoplova, totalnog uništenja istog, oštećenja opreme na aerodromu i opslužnih vozila, pa do kašnjenja i pomeranja reda letenja usled prinudnog zatvaranja celog aerodroma ili konkretne poletno-sletne staze. Ekonomski gubici na godišnjem nivou koji pogađaju celu industriju i nastaju kao konsekvencija izletanja vazduhoplova sa PSS-a procenjuju se na oko 500 miliona dolara [6].

Izletanje vazduhoplova sa PSS može se posmatrati kao rezultat niza događaja koji mu prethode. Postoji veliki broj faktora koji imaju direktan uticaj na povećanje mogućnosti izletanja vazduhoplova sa PSS. Mogu se izdvojiti određeni uslovi i okolnosti pri kojima se verovatnoća izletanja aviona povećava [7]:

- vlažna i kontaminirana PSS, naročito u kombinaciji sa jakim bočnim vetrom ili udarima vetra;
- različite tehnike letenja, kao što je predugo sletanje („long landing“), i neefikasan rad sistema za kočenje;
- odluka letačkog osoblja da nakon postignute brzine V1 ne nastavi sa poletanjem ili, u slučaju sletanja, ne odluči se za „go-around“ proceduru.

S obzirom na frekvenciju ponavljanja izletanja vazduhoplova sa PSS i ozbiljnost posledica, neophodno je na ispravan način razumeti pomenute okolnosti i uzročne faktore, kako bi se uticalo na smanjenje broja RE.

Iz svega iznetog zaključuje se da je veoma važno identifikovati i analizirati uzroke koji mogu dovesti do RE događaja kako bi se utvrdile moguće posledice i mere za smanjivanje njihovog uticaja na sistem.

Predmet ovog rada jesu faktori koji uzrokuju RE ne-sreće kao i analiza verovatnoće realizacije svakog od njih i uticaj na verovatnoću realizacije RE događaja. Cilj rada je identifikacija najuticajnijih potencijalnih uzročnih faktora primenom metode analize stabla otkaza.

2. ANALIZA STABLA OTKAZA

Analiza stabla otkaza (Fault Tree Analysis – FTA) je kauzalni metod koji se koristi pri analizi događaja ili kombinacije događaja koji mogu uzrokovati pojavu nekog hazarda ili nezgode ili nesreće [8]. Primenom ovog metoda jasnije se razume uloga i povezanost određenih delova sistema i podistema čiji bi otkaz mogao prouzrokovati ozbiljnu posledicu. Upotrebom FTA se može odrediti tačan redosled događaja koji prethode analiziranoj nezgodi/nesreći. FTA ima široku primenu, naročito u granama industrije sa velikim brojem hazarda. U okviru sistema vazdušnog saobraćaja preporučuje se korišćenje FTA pri proceni rizika i nivoa bezbednosti sistema, kao i pouzdanosti sistema i uređaja vazduhoplova i kontrole letenja.

FTA omogućava procenu rizika da dođe do nepoželjne situacije, pri čemu procene mogu biti kvalitativnog i kvantitativnog karaktera. Kao izlazni podatak dobija se verovatnoća realizacije nepoželjnog događaja, što predstavlja kvantitativnu procenu rizika, dok je drugi izlazni podatak „minimum cut sets“, odnosno najmanji skup događaja koji sigurno uzrokuje analiziranu situaciju. FTA je vizuelnog tipa čime se lakše može razumeti način funkcionisanja sistema u kome se prati dešavanje nepoželjnog događaja. Na slici 2 predstavljen je primer izgleda FTA stabla. FTA stablo se sastoji od različitih vrsta simbola koji predstavljaju događaje i uzročne veze između njih, koje će biti detaljnije objašnjeni u potpoglavlju 2.1.

Primenom Fault Tree Analysis omogućava se analiza potencijalnog događaja i faktora koji do njega dovode. Na taj način može da se, pored retroaktivne analize već realizovane situacije, deluje proaktivno. Sa aspekta bezbednosti odvijanja vazduhoplovnih operacija, FTA analiza izletanja vazduhoplova sa poletno-sletnih staza doprinosi uviđanju kritičnih situacija i faktora. Time se može odrediti koji su pravi načini delovanja, odnosno koje preventivne mere bi trebalo primeniti kako bi se sprečilo ili smanjio broj ponavljanja izletanja aviona sa PSS [6].

FTA analiza započinje od nepoželjnog događaja (top event) koji je neophodno pažljivo definisati. Zatim se kreće unazad, odnosno, analiza se vrši tako što se uzimaju u razmatranje svi mogući otkazi, greške ljudi ili događaji koji mogu biti uzrok pojave posmatranog događaja. Konstruiše se dijagram kao ilustracija redosleda događaja i veza između njih. Svi uzroci se prikazuju u obliku stabla gde se jasno definišu njihove međusobne veze i način na koji može doći do nepoželjnog događaja. Na slici 2 prikazan je primer jednostavnog FTA dijagrama. Može se videti izgled stabla i veze u njemu. Na vrhu se nalazi nepoželjni događaj („Top Event“) koji se analizira. Grane ispod njega čine „Intermediate“ događaji koji imaju direktan uticaj na

realizaciju posmatranog događaja. „Basic” događaji se nalaze na dnu FTA stabla i posmatraju se kao uzroci događaja pozicioniranih iznad. Simboli različitih oblika koji povezuju uzročne događaje predstavljaju njihove međusobne veze koje će biti kasnije detaljno objašnjene [6].

Slika 2 - Primer stabla otkaza sa osnovni elementima [6]

Primena analize stable otkaza detaljnije se može objasniti kroz pet koraka [9]:

1. Definisanje analiziranog nepoželjnog događaja – od velikog je značaja na ispravan način definisati posmatrani događaj. Ekspert koji razume sistem u okviru koga se analizira određeni događaj može na najbolji način da definiše taj događaj. FTA metod se istovremeno može koristiti isključivo za jedan nepoželjni događaj;

2. Razumevanje načina funkcionisanja celog sistema – nakon što se konkretno definiše nepoželjni događaj neophodno je uočiti sve uzroke nastanka tog događaja, njih rasporediti u odnosu na sekvencu pojavljivanja i analizirati. Ključan, mada vremenski zahtevan deo analize, jeste određivanje sa kojom verovatnoćom se javljaju uočeni uzročni faktori na osnovu kojih se vrši analitički deo analize;

3. Konstrukcija stabla otkaza – kako su u okviru prva dva koraka definisani glavni događaj i uzroci koji dovode do njega, može se generisati stablo koje uzroke povezuje i sa nepoželjnim događajem i međusobno. Ključni elementi stabla jesu AND i OR operatori (tzv. gejtovi);

4. Analiza stabla otkaza – kada se FTA stablo konstruiše neophodno ga je analizirati i proceniti koji hazardi se javljaju;

5. Kontrola identifikovanih hazarda – podrazumeva primenu odgovarajućih mera za smanjenje verovatnoće pojave hazarda ili bilo kog uzročnog faktora koji može izazvati ozbiljnu posledicu ili nezgodu/nesreću.

Za primenu i razumevanje FTA metoda bitno je definisati i „minimum cut set” koji predstavlja mi-

nimalni skup događaja (kritični skup), tj. grupu grešaka ili otkaza koji direktno uzrokuju nastanak nepoželjnog događaja. Jedan FTA dijagram može imati nekoliko „minimum cut set”-ova. Ukoliko se bilo koji od njih desi, sigurno dolazi do realizacije glavnog analiziranog događaja [8].

2.1. Grafika

Grafički simboli koji se koriste u FTA metodi mogu se podeliti u tri grupe: simboli događaja, „logic gates” (operatori/veze) i transferni simboli. Osnovna podela simbola događaja je na [8]:

- Basic Events – događaji koji iniciraju glavni nepoželjni događaj, pri čemu se ne traži njihov uzrok, već se posmatraju kao takvi. Određuju se verovatnoće svakog „basic” događaja na osnovu kojih se računa verovatnoća nastanka nepoželjnog događaja;
- Conditioning Events – posebni uslovi ili ograničenja koja se odnose na određene gejtove (veze);
- Undeveloped Events – događaji o kojima nema dovoljno informacija ili koji ne izazivaju ozbiljne posledice;
- House Events – događaji koji očekujemo da će se dogoditi.

Dva osnovna operatora (gate) jesu AND i OR gejtovi. Sve ostale veze su zapravo posebna forma AND ili OR operatora. OR (ILI) operator se koristi u situacijama kada se krajni događaj dešava ukoliko se bilo koji događaj povezan OR vezom ostvari. Broj uzročnih događaja je neograničen i dovoljno je da se bar jedan ispuni da bi se desio izlazni događaj. AND (I) veza označava da se svi uzročni događaji moraju dogoditi da bi došlo do krajnjeg događaja ili ozbiljne posledice. Takođe, može postojati neograničen broj uzroka, ali je neophodno da se svi oni ispune kako bi se desio događaj iznad AND veze. Postoji i COMBINATION operator koji omogućava korisniku FTA da sam definiše broj uzročnih događaja koji se moraju desiti da bi se ostvario konačni događaj. Primenom ove veze smanjuje se broj različitih kombinacija uzroka jednog istog događaja, pa se samim tim redukuje mogućnost pojave greške i dupliranja uzroka [8].

2.2. Pravila

Kako bi FTA metod funkcionisao i bio primenljiv na ispravan način neophodno je, pored poznavanja grafičke strukture metoda, poznavati određena pravila. Osnovna pravila koja važe pri generisanju FTA stabla su [8]:

1. Ground Rule 1 – u okviru predviđenih mesta na FTA stablu, odnosno u okviru simbola koji predstavljaju događaje treba upisati određenu grešku (fault/failure), pri čemu je neophodno jasno i precizno definisati događaj i uslove koji do njega dovode;

2. Ground Rule 2 – pravilo podrazumeva postavljanje pitanja: „Da li je do greške ili kvara došlo usled otkaza određene komponente ili ne?“. Ako je odgovor „Da“, posmatrani događaj se klasifikuje kao „stanje kvara komponente“, ukoliko je odgovor „Ne“, klasifikuje se kao „stanje greške sistema“;

3. No Miracles Rule – ukoliko normalno funkcionisanje određenog dela sistema ili podsistema dovodi do greške ili otkaza, smatra se da je taj deo ispravan;

4. Complete-the-Gate Rule – svi ulazni događaji za jedan gejt moraju biti jasno određeni i definisani pre dalje analize;

5. No Gate-to-Gate Rule – gejtovi ne smeju biti međusobno direktno povezani, već isključivo preko događaja.

2.3. Analitika

Glavna korist primene FTA metoda predstavlja određivanje verovatnoće pojave analiziranog nepoželjnog događaja. Konstruisanjem stabla otkaza omogućava se uvid u sve moguće načine pojave nepoželjnog događaja ili njegove ozbiljne posledice, odnosno, izdvojeni su pojedinačno ili u grupi („minimum cut set“ - MCS) događaji i hazardi koji predstavljaju uzrok nastanka posmatranog događaja. Poznavanjem verovatnoće nastanka svakog od tih uzročnih događaja individualno, jednog ili više „minimum cut set“-a može se izračunati verovatnoća nastanka analiziranog događaja [6].

Kao što je već navedeno, „minimum cut set“ se može posmatrati kao skup događaja od kojih se svi moraju dogoditi da bi se odigrao glavni posmatrani događaj. Samim tim, verovatnoća svakog „minimum cut set“-a jednaka je proizvodu verovatnoća svakog pojedinačnog događaja. Formulom se može predstaviti na sledeći način [8]:

$$P(M_i) = P(BE_1) \cdot P(BE_2) \cdot \dots \cdot P(BE_k)$$

pri čemu je sa M_i označen „minimum cut set“, a sa BE_k „basic“ događaj koji pripada posmatranom „minimum cut set“-u.

Sa druge strane, nepoželjni događaj se predstavlja kao unija svih „minimum cut set“-ova, samim tim je verovatnoća nastanka analiziranog događaja jednaka zbiru verovatnoća jednog ili više „minimum cut set“-ova. Suma može biti predstavljena na sledeći način [8]:

$$P(TE) = \sum P(M_i)$$

gde je sa TE označen nepoželjni događaj (Top Event), dok je sa M_i označen „minimum cut set“ koji uzrokuje nepoželjni događaj.

Kada su događaji ili hazardi vezani OR gejtom, verovatnoća se računa datom formulom:

$$P(A \text{ or } B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

Ukoliko su, ipak, povezani AND vezom, verovatnoća da dođe do kvara ili otkaza se određuje na sledeći način:

$$P(A \text{ and } B) = P(A) \cdot P(B)$$

Matematičko uporište predstavljene metode može biti [24]: teorija verovatnoće; Bajesova teorija, teorija skupova i Bulova algebra. Najčešće se koristi Bulova algebra za računanje verovatnoće događaja [8].

3. MODELIRANJE IZLETANJA SA POLETNO-SLETNE STAZE

Izletanje vazduhoplova sa poletno-sletnih staza je modelirano kroz dva scenarija: operacija poletanja i operacija sletanja. Bez obzira na koju fazu leta se odnosi, radi analize dešavanja RE događaja neophodno je definisati uzročne faktore koje treba uzeti u obzir. Određivanje relevantnih uticajnih faktora je vrlo zahtevno, jer izletanje aviona sa PSS može biti posledica jednog ili kombinacije više uticaja.

Uzročni faktori u ovom radu su preuzeti iz rada [1] u kome je identifikacija istih izvršena pomoću *Ishikawa* dija-grama [10]. Uzročni faktori su grupisani u pet različitih kategorija za obe faze leta: 1. „Pilot Error“; 2. „ATCO Error“; 3. „Aircraft Issues“; 4. „Airport Issues“; 5. „Weather Issues“ [1].

Prve dve kategorije uključuju faktore koji doprinose pojavi ljudskih grešaka, odnosno greške pilota („Pilot Error“) i greške kontrolora letenja („ATCO Error“). Treća grupa („Aircraft Issues“) obuhvata faktore koji se tiču stanja vazduhoplova, dok ostale dve obuhvataju faktore koji utiču na uslove na aerodromima („Airport Issues“) i meteorološke uslove okruženja u kom se let odvija („Weather Issues“). Uticajni faktori za operacije poletanja i za operacije sletanja raspoređeni su u navedene kategorije.

Nakon toga, bilo je potrebno odrediti adekvatne veze između faktora i događaja čiji su uzrok. Svaki od faktora ima određenu verovatnoću sa kojom se dešava, pri čemu su sve vrednosti korišćene u proračunu preuzete iz [8] i [10]. Kada je redosled događaja, kao i njihove verovatnoće, određen, omogućeno je konstruisanje stabla otkaza.

Nakon definisanja nepoželjnog događaja, izletanje vazduhoplova sa PSS, i grupa faktora koji do njega dovode treba konstruisati stablo otkaza. Stablo otkaza se formira za operacije poletanja i za operacije sletanja, posebno. Pomoću stabla otkaza grafički je prikazan raspored i međusobne veze faktora posmatranog nepoželjnog događaja. Analiza RE događaja se vrši uz pretpostavku da su svi uzročni faktori nezavisni jedan od drugog. FTA se pri tome može koristiti i za kvalitativnu i za kvantitativnu analizu, pri čemu je u ovom radu akcenat stavljen na kvalitativni karakter modela.

Za dobijanje kvantitativnih izlaznih podataka neophodne su verovatnoće realizacije „basic“ događaja kao ulazni podaci. Ove vrednosti su preuzete iz [10] a zasnovane su na raspoloživim statistikama RE događaja ili na ekspertskoj proceni u slučaju da iste nisu bile poznate.

U cilju dobijanja kvalitativnih podataka, FTA je korišćen za određivanje ključnih uticajnih faktora, odnosno skupa događaja MCS koji sigurno vodi ka nepoželjnom događaju, kao i njihovih verovatnoća. Značaj određivanja jednog ili više kritičnih faktora koji čine MCS i verovatnoće realizacije tog skupa ogleda se u dobijenim izlaznim podacima. Analizom tih podataka za svaku kategoriju faktora i za nepoželjni događaj, omogućava se adekvatno delovanje i primenjivanje preventivnih mera. Dodatno, kvalitativni podaci modela olakšavaju proces donošenja odluka bitnih sa aspekta bezbednosti i omogućavaju proaktivni pristup kojim se utiče na smanjenje dešavanja RE događaja [6].

Izletanje vazduhoplova sa kraja ili bočne strane poletno-sletne staze analizirano je primenom softvera RAM Commander. Na osnovu ulaznih podataka, odnosno verovatnoće pojave uticajnih faktora, proračunate su vrednosti verovatnoće realizacije „intermediate events“ i „top event“-a. Kategorije faktora predstavljaju „intermediate events“, dok je „top event“ RE događaj. Svaka od pet navedenih kategorija, po kojima su uticajni faktori raspoređeni, pojedinačno je razmatrana u formi nezavisnog stabla. Za svaku od njih dobijen je skup MCS kao glavni izlazni podatak. MCS su dati kao kombinacija svih „basic“ događaja, s tim što verovatnoća njihove realizacije ukazuje na značaj pojedinačnih uzročnih faktora [6].

Nakon posebno razmatranih svih pet kategorija uticajnih faktora i izračunatih verovatnoća pomoću softvera, određena je i verovatnoća realizacije RE događaja, kao glavnog nepoželjnog događaja. Na kraju, analiza pojave izletanja vazduhoplova sa PSS izvršena je kroz pet scenarija. Kako RE događaj može biti posledica jednog ili kombinacije više događaja, kroz različite scenarije obuhvaćene su sve mogućnosti. Prvi scenario podrazumeva da se RE događaj realizuje ako se bar jedan od „intermediate“ događaja dogodi.

Od drugog do četvrtog scenarija se koristi operator „combination“ za povezivanje TE i definisanih kategorija uzroka, tako da se u okviru tih scenarija ukazuje na mogućnost dešavanja RE događaja uko-liko se istovremeno dogode dva, tri ili četiri događaja, od ukupno pet. Poslednji, peti, scenario podrazumeva da se izletanje aviona sa staze može desiti samo ako se svih pet kategorija uzročnih faktora isto-vremeno realizuje.

Konačno, kako bi se sumiralo svih pet scenarija konstruisano je posebno stablo otkaza kome je „top event“ označen kao „Total Runway Excursion“, a RE određeni u pet opisanih scenarija su „basic“ događaji. S obzirom da je primenjen operator OR, „Total Runway Excursion“ se realizuje ukoliko se bar jedan od pet analiziranih scenarija ostvari [6].

Na slikama 3 i 4 su predstavljeni FTA dijagrami za operacije poletanja i sletanja. Na vrhu dijagrama nalazi se analizirani RE događaj koji potencijalno nastaje u fazi poletanja i sletanja. Pet definisanih uzročnih kategorija predstavljaju „intermediate“ događaje koji povezuju „basic“ događaje i glavni događaj, pri čemu su „basic“ događaji prethodno opisani faktori [6].

Slika 3 - Stablo otkaza za operacije poletanja [6]

Slika 4 - Stablo otkaza za operacije sletanja [6]

Nakon posebno razmatranih svih pet kategorija uticajnih faktora i izračunatih verovatnoća, određena je i verovatnoća realizacije RE događaja, kao glavnog nepoželjnog događaja. Kao što je već navedeno, pojava RE događaja analizirana je kroz pet scenarija i pri tom su dobijene približne verovatnoće i broj MCS koji se značajno razlikuje (tabela 1) [6].

Tabela 1. Verovatnoće događaja „Runway Excursion“ i broj MCS, operacija poletanja [6]

RUNWAY EXCURSION	VEROVATNOĆA	BROJ MCS
RE – OR	0,96	33
RE – COM (2/5)	0,907	395
RE – COM (3/5)	0,62	2115
RE – COM (4/5)	0,182	5004
RE – AND	0,0163	78

Uočeno je ponavljanje sledećih uticajnih faktora u MCS sa najvećom verovatnoćom za sve scenarije: „Standard Operating Procedures“, „Runway Length“, „Departure Constraints“, „Runway Assignment“, „Lack of Current Weather“, „Communication Problems“, „Contaminated Runway“ i „Weather Conditions“.

Navedeni faktori se kao najprioritetniji uzimaju u razmatranje kada se poboljšava nivo bezbednosti u sistemu i prilikom proaktivnog delovanja [6].

Slična analize RE događaja je urađena i u fazi sletanja dobijeni rezultati su prikazani u tabeli 2 [6].

Tabela 2. Verovatnoće događaja „Runway Excursion“ i broj MCS, operacija sletanja [6]

RUNWAY EXCURSION	VEROVATNOĆA	BROJ MCS
RE – OR	0,978	44
RE – COM (2/5)	0,944	598
RE – COM (3/5)	0,686	3408
RE – COM (4/5)	0,197	8649
RE – AND	0,0134	3

Analizom je utvrđeno ponavljanje sledećih uticajnih faktora: „Weather Conditions“, „Runway Assignment“, „Lack of Current Weather“, „Communication Problems“, „Contaminated Runway“, „Approach Constraints“, „Crosswind“, „Unstable Approach“, „Altitude Control“, „Go Around“ i „Wind Shear“ [6].

4. REZIME REZULTATA

Rezultati oba stabla otkaza (operacije poletanja i operacije sletanja), ukazuju na ukupnu frekvenciju svih skupova događaja koji vode do RE događaja, a ne na šansu da kod pojedinog sletanja ili poletanja dođe do pojave RE događaja. Još važnije, kvalitativni pristup analizi nepoželjnog događaja omogućava sagledavanje uskih grla sistema. Izdvajanjem uticajnih faktora kroz analizu „minimum cut sets“ određuje se prioritet delovanja u cilju poboljšanja nivoa bezbednosti u sistemu. Imajući u vidu ozbiljnost posledica izletanja vazduhoplova sa PSS, proaktivno delovanje ima ključan efekat [6].

Primenom FTA za analizu RE događaja, na osnovu frekvencije ponavljanja i vrednosti verovatnoća, izdvojeni su sledeći dominantni faktori i za fazu poletanja i za fazu sletanja: „Standard Operating Procedures“, „Weather Conditions“, „Runway Length“, „Communication Problems“, „Runway Assignment“, „Lack of Current Weather“. To su faktori na koje bi trebalo staviti akcenat i prioritetno delovati na smanjenje njihovog uticaja.

Pored toga, kako su meteorološki uslovi značajan faktor za obe faze leta, ali na njih nije moguće uticati, zaključeno je da bi trebalo delovati tako da se redukuje pojava ljudskih grešaka, bilo da se radi o pilotima ili kontrolorima letenja [6].

5. ZAKLJUČAK

Očuvanje nivoa bezbednosti odvijanja saobraćajnih operacija na i u blizini poletno-sletnih staza je

najveći izazov sa kojim se suočava sistem vazdušnog saobraćaja sa aspekta bezbednosti. Prema statističkim podacima, izletanje vazduhoplova sa PSS je na vrhu liste avionskih nesreća. Iz tog razloga je primenjena „Fault Tree Analysis“ metoda za analizu uzroka RE događaja. FTA je uzročni model koji se koristi pri analizi događaja ili kombinacije događaja koji mogu uzrokovati pojavu nekog hazarda, nezgode ili nesreće, u ovom slučaju izletanja vazduhoplova sa poletno-sletnih staza. Primenom modela mogu se utvrditi verovatnoća realizacije RE događaja kao i dominantni faktori koji doprinose narušavanju bezbednosti.

Problem je obrađen kroz dva modela: operacije poletanja i operacije sletanja. Kako bi se obuhvatili svi relevantni faktori, koji doprinose pojavi RE događaja, utvrđeno je pet najznačajnijih grupa u koje su uticajni faktori raspoređeni: „Pilot Error“, „ATCO Error“, „Air-port Issues“, „Aircraft Issues“ i „Weather Issues“. Za obe faze leta konstruisano je stablo otkaza, pri čemu su grupe faktora predstavljene kao „intermediate“ događaji, a sami faktori kao „basic“ događaji. Konstruisano stablo otkaza obrađeno je primenom softvera RAM Commander i dobijena su dva tipa izlaznih podataka: kvantitativni i kvalitativni. U ovom radu je akcenat stavljen na kvalitativne podatke.

Kvalitativni podaci su „minimum cut sets“ koji predstavljaju minimalni skup događaja koji direktno uzrokuju nastanak nepoželjnog događaja. MCS je pojedinačni događaj ili skup događaja koji najčešće prethode „top event“-u. Izdvajanjem tih događaja ili faktora utvrđuje se gde treba alocirati resurse pri preventivnom delovanju u cilju poboljšanja nivoa bezbednosti u sistemu vazdušnog saobraćaja. Analizom kvalitativnih podataka za posmatrani problem uočeni su sledeći uticajni faktori zajednički za operacije poletanja i sletanja: „Standard Operating Procedures“, „Weather Conditions“, „Runway Length“, „Communication Problems“, „Runway Assignment“, „Lack of Current Weather“.

Cilj rada, odnosno analize izletanja vazduhoplova sa PSS primenom FTA modela, je bio da se utvrde glavni uzroci dešavanja RE događaja. Imajući u vidu da je RE vrlo kompleksan događaj, konstruisanje stabla otkaza je zahtevno i zavisi od stručnosti korisnika modela. Koji će se događaji ili faktori uzeti u razmatranje i kojim operatorima ih treba međusobno povezati je odluka samog korisnika. Sa druge strane, FTA kao vizuelni model daje dobar uvid u strukturu događaja i omogućava prepoznavanje „slabih karika“ koje narušavaju bezbednost. Kako je bezbednost

prioritet broj jedan u sistemu vazdušnog saobraćaja, jasno je da je od suštinskog značaja prepoznati potencijalne uzroke i posledice RE događaja. Upotrebom standarda i preporučenih praksi, kao i adekvatnom obukom pilotskih posada moguće je uticati na redukovanje pojavljivanja RE događaja i poboljšanja nivoa bezbednosti na aerodromima.

6. ZAHVALNICA

Istraživanje je finansirano sredstvima projekta TR 36033 Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] D. Timotic, F. Netjasov, Modelling of Runway Excursions with Bayesian Belief Networks, *Tehnika*, Vol. 74 (1), pp. 105-112, 2019.
- [2] Van Es G.W.H, *A Study of Runway Excursions from a European Perspective*, NLR Air Transport Safety Institute, 2010.
- [3] Australian Transport Safety Board, Final Runway excursions Part 1: A worldwide review of commercial jet aircraft runway excursions, Canberra, Australia, 2008.
- [4] ICAO, Accidents Statistics, -<https://www.icao.int/-sa-fety/iStars/Pages/Accident-Statistics.aspx> (pristupljeno 11.4.2021).
- [5] Skybrary, Runway Excursion, https://www.skybrary.aero/index.php/Runway_Excursion (pristupljeno 11.4.2021)
- [6] Sekulic J, *Modeliranje uzroka izletanja sa poletno-sletnih staza primenom modela analize stabla otkaza*. Saobraćajni fakultet, Beograd, 2020.
- [7] EUROCONTROL, European Action Plan for the Prevention of Runway Excursions, 2013.
- [8] Netjasov F, *Risk Analysis and Safety Assessment of Air Traffic Control System*, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, 2010.
- [9] Fault Tree Analysis, https://en.wikipe-dia.org/-wiki/-Fault_tree_analysis (pristupljeno 11.4.2021).
- [10] Timotic D. *Modeliranje uzroka izletanja sa poletno-sletnih staza primenom Bajesovih mreža*. Saobraćajni fakultet, Beograd, 2018.

SUMMARY

MODELLING OF RUNWAY EXCURSIONS USING FAULT TREE ANALYSIS

Runway excursion (RE) is recognized as one of the main Airport Safety Issues. It can be defined as an event in which an aircraft veers-off or overruns the runway surface during either takeoff or landing. In this paper an application of Fault Tree Analysis (FTA) method on RE events is presented. FTA belongs to quantitative class of causal methods. It estimates the risk of incident or accident according to estimation of probability of occurrence of each cause of an event. It might be restricted to pure statistical analysis based on the available data or combine these data with expert judgment on the accident causes. The aim of this paper is to identify potential causal factors. In order to illustrate FTA application on RE, two models were developed: one for landing and other for take-off. Application of FTA has shown what are the most critical causal factors whose knowledge allows developing certain measures to reduce the risk of RE.

Key words: Airport, Safety, Runway Excursion, Causal Modelling, Fault Tree Analysis