Model poboljšanja pouzdanosti otpreme zrakoplova upravljanjem greškama u održavanju

Virovac, Darko

Doctoral thesis / Disertacija

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:322445

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







Sveučilište u Zagrebu

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Darko Virovac

MODEL POBOLJŠANJA POUZDANOSTI OTPREME ZRAKOPLOVA UPRAVLJANJEM GREŠKAMA U ODRŽAVANJU

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2018.



University of Zagreb

FACULTY OF TRANSPORT AND TRAFFIC SCIENCES

Darko Virovac

MODEL FOR IMPROVEMENT OF AIRCRAFT DESPATCH RELIABILITY BY MANAGING MALFUNCTIONS IN MAINTENANCE

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2018.



Sveučilište u Zagrebu

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Darko Virovac

MODEL POBOLJŠANJA POUZDANOSTI OTPREME ZRAKOPLOVA UPRAVLJANJEM GREŠKAMA U ODRŽAVANJU

DOKTORSKI RAD

Mentor: Prof.dr.sc. Ernest Bazijanac

Zagreb, 2018.



University of Zagreb

FACULTY OF TRANSPORT AND TRAFFIC SCIENCES

Darko Virovac

MODEL FOR IMPROVEMENT OF AIRCRAFT DESPATCH RELIABILITY BY MANAGING MALFUNCTIONS IN MAINTENANCE

DOCTORAL THESIS

Supervisor: Ernest Bazijanac, PhD, Full Professor

Zagreb, 2018.

PODACI I INFORMACIJE O DOKTORANDU

1. Ime i prezime: mr.sc. Darko virovac dipl.ing. prometa
2. Datum i mjesto rođenja: 27.01.1957., Noskovci
3. Naziv završenog fakulteta i godina diplomiranja: Fakultet prometnih znanosti, 2002. godine.

INFORMACIJE O DOKTORSKOM RADU

1. Naziv doktorskog studija: Tehnološki sustavi u prometu i transportu
2. Naziv doktorskog rada: Model poboljašanja pouzdanosti otpreme zrakoplova upravljanjem greškama u održavanju
3. Fakultet na kojem je doktorski rad obranjen: Fakultet prometnih znanosti Sveučilište u Zagrebu
4. Mentor: prof. dr.sc. Ernest Bazijanac
5. Povjerenstvo za obranu i ocjenu doktorskog rada:
    1. doc. dr. sc. Anita Domitrović, predsjednik (Fakultet prometnih znanosti)
    2. prof. dr. sc. Ernest Bazijanac, mentor, član (Fakultet prometnih znanosti)
    3. izv. prof. dr. sc. Milan Vrdoljak, (Fakultet strojarstva i brodogradnje, SuZ), vanjski član
6. Datum obrane doktorskog rada: 24. siječanj 2018. godine

INFORMACIJE O MENTORU

Prof. dr. sc. Ernest Bazijanac rođen je 11. listopada 1953. u Suhopoljskoj Borovi, Virovitica, Republika Hrvatska. Osnovnu školu je završio u Suhopolju, a gimnaziju u Virovitici 1972. godine.

Diplomirao je 1977. godine na strojarskom smjeru Tehničke vojne akademije u Zagrebu. Magistrirao je 13. rujna 1985. godine na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Doktorirao je 6. lipnja 1991. godine u znanstvenom polju Strojarstvo. Izabran je u znanstvenog suradnika u polju Strojarstvo, te u znanstvenog savjetnika u polju Tehnologija prometa i transport.

Od 1991. godine je zaposlen na Fakultetu prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu gdje radi i danas kao redoviti profesor u trajnom zvanju. Obnašao je dužnost predstojnika Zavoda za aeronautiku, pročelnika Odsjeka za aeronautiku, a od 2010. do 2014. obnašao je dužnost dekana. Njegov znanstveni interes su zrakoplovni pogonski sustavi i tehnička logistika.

SADRŽAJ

PODACI I INFORMACIJE O DOKTORANDU			I
INFORMACIJE O DOKTORSKOM RADU			I
INFORMACIJE O MENTORU			II
SADRŽAJ			III
SAŽETAK			VII
EXTENDED ABSTRACT			VIII
Ključne riječi			XI
Key words			XI
1.	UVOD		1
	1.1.	Problem, svrha i ciljevi istraživanja	1
	1.2.	Pregled prethodnih istraživanja	4
	1.3.	Metode istraživanja	13
	1.4.	Struktura doktorskog rada	13
2.	POUZDANOST OTPREME ZRAKOPLOVA		16
	2.1.	Regulativa za proizvodnju i održavanje zrakoplova	16
	2.2.	Proces certifikacije zrakoplova i programa održavanja	18
	2.3.	Zahtjevi pouzdanosti	21
		2.3.1. Pouzdanost sustava	26
	2.4.	Program održavanja zrakoplova	31
	2.5.	Program pouzdanosti	33
	2.6.	Pouzdanost otpreme kao mjera djelotvornosti sustava za održavanje zrakoplova	35
	2.7.	Neplanirano održavanje zbog kvarova	38

3. UTJECAJ LJUDSKOG FAKTORA NA ODRŽAVANJE ZRAKOPLOVA 41

3.1. Povijest istraživanja ljudskog faktora u održavanju zrakoplova 41

3.2. Razvoj istraživanja ljudskog faktora 42

3.3. Modeli za prikaz uzroka grešaka zbog utjecaja ljudskog faktora 45

3.3.1. Model SHELL 45

3.3.2. Model PEAR 47

3.3.3. Posljedice grešaka zbog utjecaja ljudskog faktora 48

3.4. Alati za analizu poticajnih čimbenika za nastanak greške zbog utjecaja ljudskog faktora u održavanju zrakoplova 51

3.4.1. Dijagram riblje kosti 51

3.4.2. MEDA sistematizacija i analiza 52

3.5. Klasifikacija grešaka nastalih zbog utjecaja ljudskog faktora 53

3.5.1. Klasifikacija grešaka prema manifestaciji djelovanja 53

3.5.2. Klasifikacija grešaka prema dvanaest pridonosećih čimbenika (The Dirty Dozen) 54

4. ISTRAŽIVANJE GREŠAKA ZBOG UTJECAJA LJUDSKOG FAKTORA U PROMATRANOJ ORGANIZACIJI ZA ODRŽAVANJE ZRAKOPLOVA 63

4.1. Polazna analiza grešaka u održavanju zrakoplova 63

4.2. Izračun vjerojatnosti ponavljanja greške za zadaću koja se ponavlja 67

4.2.1. Primjer: Nenamjerno aktiviranje tobogana 68

4.2.2. Primjer: Erozija napadne ivice vrata za ulaz zraka u izmjenjivač topline 74

4.3. Upravljanje greškama nastalim zbog utjecaja ljudskog faktora 76

4.3.1. Klasifikacija grešaka prema učinku na sigurnost letenja 77

4.3.2. Isplativost ulaganja za otklanjanje greške 83

5. POBOLJŠANJE POUZDANOSTI OTPREME ZRAKOPLOVA PROAKTIVNIM UPRAVLJANJEM GREŠKAMA U ODRŽAVANJU 87

5.1. Model standardnog upravljanja greškama u održavanju (MSUG) 87

5.1.1. Standardni zahtjevi za prikupljanje podataka 90

5.1.2. Kategorizacija prikupljenih podataka prema događajima i poticajnim čimbenicima 95

5.1.3. Pouzdanost otpreme sustava održavanja zračnog prijevoznika tijekom 2012. godine 97

5.2. Analiza standardnog načina prikupljanja podatka 99

5.3. Model proaktivnog upravljanja greškama u održavanju 103

5.3.1. Edukativne inspekcije 105

5.3.2. Kategorizacija grešaka u edukativnim inspekcijama 109

5.3.3. Motiviranje djelatnika za rad 112

6. POTVRDA UČINKOVITOSTI MODELA POBOLJŠANJA POUZDANOSTI OTPREME ZRAKOPLOVA PROAKTIVNIM UPRAVLJANJEM GREŠKAMA U ODRŽAVANJU 115

6.1. Učinkovitost modela praćenjem trendova inspekcijskih provjera 115

6.2. Učinkovitost modela analizom Studentovim t-testom 118

6.2.1. Pouzdanosti otpreme zrakoplova A320 zračnog prijevoznika za 2012. godinu i za 2014. godinu 120

6.2.2. Pouzdanost otpreme zrakoplova A320 između zračnog prijevoznika i svjetske flote za 2014. godinu 121

6.2.3. Pouzdanost otpreme zrakoplova A320 između zračnog prijevoznika i svjetske flote za 2012. godinu 123

6.2.4. Pouzdanosti otpreme zrakoplova DHC-Q-400 zračnog prijevoznika za 2012. godinu i za 2014. godinu 124

6.2.5. Pouzdanost otpreme zrakoplova DHC-Q-400 između zračnog prijevoznika i svjetske flote za 2014. godinu 125

6.2.6. Pouzdanost otpreme zrakoplova DHC-Q-400 između zračnog prijevoznika i svjetske flote za 2012. godinu 127

7. ZAKLJUČAK 129

POPIS LITERATURE 133

POPIS SLIKA 139

POPIS TABLICA 141

PRILOZI 142

Prilog A Primjer edukativne inspekcije 142

Prilog B Primjer- SAFA-SACA inspekcije 144

Prilog C. Primjer analize greške 147

Prilog D. Ocjenjivanje djelatnika 152

KAZALO OZNAKA KRATICA 154

ŽIVOTOPIS 156

POPIS ZNANSTVENIH RADOVA 157

SAŽETAK

Prema odobrenom programu održavanja zrakoplova, zračni prijevoznik planira vrijeme izvođenja zadaća održavanja zrakoplova. Zadaće održavanja zrakoplova planiraju se za vrijeme boravka zrakoplova na zemlji kad zrakoplov nije planiran za letenje. Time se osigurava da potrebno vrijeme za izvršenje zadaća održavanja zrakoplova nema utjecaja na raspoloživost zrakoplova za letenje. Neplanirano održavanje nastaje zbog tehničkog kvara ili grešaka u procesu održavanja. Zbog neplaniranog zadržavanja zrakoplova na zemlji, dolazi do poremećaja u planiranom redu letenja, kašnjenja zrakoplova na let ili otkaza leta, a ujedno se zbog dodatnih radova povećavaju troškovi održavanja zrakoplova. Greške zbog utjecaja ljudskog faktora čine do 80% grešaka koje uzrokuju neplanirano održavanje zrakoplova, a nastaju zbog pridonosećih čimbenika koji dovode do njihovog nastanka. Stoga je primarno za svaku organizaciju otkriti pridonoseće čimbenike koji dovode do nastanka grešaka zbog utjecaja ljudskog faktora. Zračni prijevoznik može, izmjenama u sustavu održavanja i unutar svoje organizacije, otkloniti pridonoseće čimbenike za nastanak grešaka zbog ljudskog faktora. U radu je prikazan model proaktivnog upravljanja greškama u održavanju koji poboljšava pouzdanosti otpreme zrakoplova i omogućava učinkovito pronalaženje pridonosećih čimbenika za nastanak grešaka zbog utjecaja ljudskog faktora. Model koristi *edukativne inspekcije* za otkrivanje pridonosećih čimbenika koji dovode do nastanka grešaka zbog utjecaja ljudskog faktora i implementaciju motivirajućeg čimbenika za rad u izradi i implementaciji korektivnih mjera. Model je primjenljiv za sve vrste zračnih prijevoznika bez obzira na vrstu ili veličinu flote. Učinkovitost modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju kojim je poboljšana pouzdanost otpreme zrakoplova promatranog zračnog prijevoznika vrednovana je na početku istraživanja i tri godine nakon primjene modela. Studentovim t-testom s vjerojatnošću greške od 5% potvrđena je hipoteza prema kojoj je nakon tri godine primjene modela prosječna godišnja pouzdanost u otpremi zrakoplova kod prometranog zračnog prijevoznika za 2014. godinu bolja od prosječne pouzdanosti u otpremi zrakoplova za 2012. godinu. Istim testom potvrđena je hipoteza prema kojoj je prosječna pouzdanost otpreme zrakoplova promatranog zračnog prijevoznika za 2014. godinu bolja za oba tipa zrakoplova od prosječne svjetske pouzdanosti u otpremi zrakoplova za 2014. godinu.

EXTENDED ABSTRACT

According to the approved aircraft maintenance program, an airline plans aircraft ground time for scheduled maintenance tasks. Aircraft maintenance tasks are planned during ground time of aircraft when the plane is not scheduled to fly. This ensures that the time required to carry out aircraft maintenance tasks has no effect on the availability of the aircraft. Unplanned maintenance occurs due to technical failures or defects in the maintenance process. Unplanned aircraft maintenance on the ground has impact on the planned flight schedule, causing flight delays or flight cancellations, and additional work consequently increases aircraft maintenance costs. The human factor failures make up to 80% of the malfunctions that cause unplanned aircraft maintenance caused by the incentive factors that lead to their occurrence. Therefore, it is primary for each organization to find the incentive factors that lead to human factor error. An airliner may, through interventions in the maintenance system and within the organization, remove the incentive factors which lead to occurrence of human factors errors. The airline can eliminate the incentive factors for the occurrence of defects due to human factor. This paper presents a model of proactive management of malfunctions in maintenance that improve the aircraft dispatch reliability rate and can effectively find incentive factors for the occurrence of failures due to human factor. The model uses educational inspections to detect incentive factors that lead to human error and the implementation of motivating factor as part of corrective actions. The model is applicable to all types of airlines, regardless of the type or size of the fleet. The efficiency of the proactive model for the improvement of the aircraft dispatch reliability rate by managing maintenance errors was evaluated by comprising the aircraft dispatch reliability rate of the observed airline at the beginning of research and three years after the application of the proactive model. A Student T-test with 5% probability of error confirmed the hypothesis according to which after a three-year period of application of the model the average annual aircraft dispatch reliability of the observed air carrier for 2014 is better than the average aircraft dispatch reliability for 2012. The same test confirmed the hypothesis according to which the average aircraft dispatch reliability of the observed air carrier for 2014 is better for both types of aircraft than the average world aircraft dispatch reliability for 2014.The research was carried out in several phases which are summarized in the following chapters.

In the first Chapter, “Introduction”, the problem of introducing errors into the aircraft maintenance system is described, explaining their impact on the aircraft dispatch reliability. It also presents an overview of the previous research in the area of the doctoral dissertation. Here, a hypothesis is set and the purpose and objective of the research are given.

The second Chapter, “Aircraft Dispatch Reliability”, describes the standards for the design, construction and maintenance of parts, aircraft systems and aircraft that are required by the aviation authorities. The engineered reliability of the operation of parts and the system is described, as well as the influence of certain failures on aircraft safety and the probability of unscheduled failures that may occur during aircraft utilization based on the engineered reliability in operation. It also describes the conditions that need to be met by the air carrier in order to have the aircraft maintenance program approved. It describes the monitoring of the aircraft dispatch reliability that provides insight into the quality of the aircraft maintenance system of the air carrier and enables the air carrier to control the quality of their maintenance system.

The third Chapter, “Impact of Human Factor on Aircraft Maintenance”, describes the most frequent causes of unscheduled aircraft maintenance, which consist of malfunctions that occur due to unintentional error in aircraft maintenance due to human factors. It presents the history of studying errors that occur due to human factor. It shows the tools for the analysis of failures that occur due to human factor, the current models that allow understanding, detection and elimination of the incentive factors that lead to their occurrence.

The fourth Chapter, “Research of Errors due to Human Factor in the observed Aircraft Maintenance Organisation”, presents the errors due to human factor in the observed organisation. For the collected errors, the analysis and systematisation have been presented regarding certain incentive factors for the occurrence of error due to human factor according to the share of incentive factors for the occurrence of error and according to the impact on aircraft safety. The procedure of calculating the probability of repeating the error and the procedure of determining the impact of the error on aircraft safety have been described. An example of an error has been stated, which occurred in the observed organisation due to human factor in order to observe the procedure of analysis applied so as to detect the incentive factors for the error occurrence due to human factor. The division of errors has been presented according to the table of risks, and the calculation of the cost-effectiveness of investment into the elimination of maintenance errors.

The fifth Chapter, “Improvement of Aircraft Dispatch Reliability through Proactive Management of Maintenance Errors”, presents the aircraft dispatch reliability in the observed organisation at the beginning of research. A comparison has been made of the aircraft dispatch reliability of the air carrier that has six aircraft of Airbus A320 type and six aircraft of Bombardier DHC-Q-400 type with the world fleet dispatch reliability of the same types of aircraft. Since the aircraft dispatch reliability was worse than the world fleet dispatch reliability, the model of standard management of errors in maintenance has been analysed. Based on the error analysis two novelties have been introduced into

the model of standard management of errors in maintenance. Educational inspection has been introduced as additional part of the standard collection of data and a motivating factor has been set in the branch of developing corrective measures for preventing of error occurrence due to human factor. This has been the basis for developing a model of proactive management of errors in maintenance.

The sixth Chapter, “Confirmation of Efficiency of Aircraft Dispatch Reliability Model through Proactive Management of Errors in Maintenance”, analyses the results of applying the model of proactive error management in maintenance in the traffic organisation for aircraft maintenance. The Student t-test with 5% probability of error was used to check the hypothesis, and the hypothesis has been confirmed, according to which:

- the average annual in aircraft dispatch reliability in case of the observed air carrier was better for the year 2014 than the average reliability in aircraft dispatch for 2012 (for both types of aircraft);
- the average aircraft dispatch reliability of the observed air carrier for the year 2014 is better than the average world dispatch reliability for 2014 (for both types of aircraft).

The seventh, final Chapter, “Conclusion” synthesizes the results of the research of individual parts of the paper and shows the efficiency of applying the model of proactive error management in maintenance on the improvement of aircraft dispatch reliability with reference to possible further studies

Ključne riječi:

Pouzdanost otpreme zrakoplova,
Ljudski faktor,
Održavanje zrakoplova,
Inspekcije zrakoplova,
Greške u održavanju

Key Words:

Dispatch reliability,
Human factors,
Aircraft maintenance,
Aircraft inspections,
Errors in maintenance

1. UVOD

U ovom poglavlju opisuje se problem unošenja grešaka u sustav održavanju zrakoplova te se objašnjava njihov utjecaj na pouzdanost otpreme zrakoplova. Postavlja se hipoteza te se daje svrha i cilj istraživanja. Donosi se pregled prethodnih istraživanja iz područja problematike doktorskog rada te se opisuje struktura doktorskog rada.

1.1. Problem, svrha i ciljevi istraživanja

Zračni prijevoznik u godišnjem planu rada planira red letenja u kojem za svaki let postavlja planirani zrakoplov iz svoje flote. Red letenja optimizira se prema najboljoj profitabilnosti pojedinih tipova zrakoplova u floti za pojedinačni let. Kako bi se ispunio planirani red letenja, osnovna je pretpostavka da zrakoplovi ne kasne na planirani let. Na točnost polijetanja mogu utjecati razni čimbenici koji mogu biti operativne ili tehničke prirode. Pouzdanost otpreme zrakoplova (engl. *reliability dispatch*) definira se kao vjerojatnost polijetanja zrakoplova u planirano vrijeme, gdje se uzimaju u obzir samo kašnjenja nastala zbog tehničkih razloga, odnosno uslijed radova održavanja zrakoplova.
Svako kašnjenje zrakoplova zračnom prijevozniku predstavlja značajan trošak. Primjerice, tehničko kašnjenje [1] zrakoplova na let dulji od tri sata, može zračnom prijevozniku stvoriti trošak do 400,00 EUR po jednom putniku zbog obveze financijske naknade putnicima uslijed tehničkog kašnjenja leta za odredišta unutar Europske Unije, uz dodatne troškove popravka zrakoplova [2]. Paljenje i gašenje jednog motora na zrakoplovu A320 iznosi do 400,00 US$ [3], a broj pokretanja motora ograničen je na 20 000. To dodatno povećava troškove zračnog prijevoznika jer se pokretanjem motora i gašenjem zbog tehničkog kvara utječe na životni vijek motora. Zbog izvanrednog tehničkog kvara troškovi rada pomoćnog motora (engl. *Auxilary Power Unit* - APU), koji osigurava napajanje električnom energijom i zrakom zrakoplova A320 na zemlji, iznose približno 100,00 US$ za jedan sat rada.
Kvarovi na zrakoplovu ili greške uvjetovane održavanjem zrakoplova mogu nastati zbog nesavršenosti konstrukcije zrakoplova i opreme ili njihove izrade na koje tehničko osoblje ne može utjecati tijekom izvođenja radova održavanja zrakoplova. Čovjek tijekom radova održavanja zrakoplova može napraviti nenamjernu grešku koja je uzrokovana pridonosećim čimbenicima (engl. *contributing factors to a maintenance error*). Pridonoseći čimbenici su prisutni tijekom čovjekove aktivnosti ili rada, a pod određenim okolnostima iniciraju nastanak nenamjerne ljudske greške u radu odnosno greške koja nastaje pod utjecajem ljudskog faktora (engl. *human factor*). Prema zrakoplovnoj preporuci američkih zrakoplovnih vlasti *Advisory Circular AC-120-72A* [4], udio

tehničkih grešaka, koje nastaju zbog utjecaja ljudskog faktora u izvanrednim kvarovima i događajima na zrakoplovu, iznosi 80% svih događaja.

Mjera kvalitete sustava održavanja zrakoplova može se odrediti prema izračunu pouzdanosti otpreme zrakoplova. Cilj svakog zračnog prijevoznika je otkriti greške u sustavu održavanja zrakoplova i potpuno eliminirati greške koje nastaju zbog utjecaja ljudskog faktora, odnosno greške na koje je moguće izravno utjecati. Trend uspješnosti preventivnog djelovanja na greške zbog utjecaja ljudskog faktora može se očitati iz trenda praćenja pouzdanost otpreme zrakoplova. Zračni prijevoznik može usporedbom svoje pouzdanosti u otpremi zrakoplova sa svjetskim prosjekom za tip zrakoplova pratiti uspješnost sustava održavanja zrakoplova.

Metode, koje predstavljaju minimalne zahtjeve za pronalaženje nenamjernih grešaka u održavanju zbog utjecaja ljudskog faktora, određene su zrakoplovnim propisima. Pronalaženje grešaka vrši se provjerama i kontrolama koje izvode državne agencije za sigurnost zračnog prometa, međunarodne organizacije zračnih prijevoznika, međusobne provjere zračnih prijevoznika koji surađuju te internih provjera i kontrole sustava rada kojima zračni prijevoznik sam kontrolira svoj rad. Cilj provjera je utvrditi zadovoljava li organizacija za održavanje zrakoplova standarde rada koji su određeni zrakoplovnim propisima. Drugi cilj je otkriti postoje li pridonoseći čimbenici u organizaciji za tehničko održavanje zrakoplova koji mogu dovesti do nenamjerne greške zbog utjecaja ljudskog faktora. Uz sve navedene provjere udio ljudske greške u nezgodama četiri je puta veći nego što su tehnički nedostatci zrakoplova i opreme. Istrage koje se provode nakon nesreća i nezgoda otkrivaju postojanje pridonošenih čimbenika za nastanak nenamjernih ljudskih grešaka zbog utjecaja ljudskog faktora koje nisu otkrivene dosadašnjim metodama provjera [5].

Poboljšanjem metode pronalaženja pridonosećih čimbenika za nenamjernu ljudsku grešku te preventivnim djelovanjem na sustav održavanja zrakoplova, smanjio bi se broj tehničkih grešaka zbog utjecaja ljudskog faktora. Također, smanjio bi se broj izvanrednih kvarova zrakoplova i broj nesreća i nezgoda nastalih zbog nenamjernog unosa ljudske greške u sustav održavanja zrakoplova. Time se pored sigurnosti povećava iskoristivost zrakoplova za letenje, smanjuju se izvanredni troškovi tehničkog održavanja zrakoplova i smanjuju se dodatni operativni troškovi zračnog prijevoznika koji nastaju zbog kašnjenja ili otkazanog leta zrakoplova.

Postavlja se pitanje: „Može li se uspostaviti model poboljšanja pouzdanosti otpreme zrakoplova upravljanjem greškama u održavanju zrakoplova koji bi pored standardnog prikupljanja podataka u održavanju zrakoplova imao i druge značajke koje bi omogućile efikasnije pronalaženje grešaka nastalih zbog utjecaja ljudskog faktora?“

Učinkovitiji sustav pronalaženja pridonosećih čimbenika za greške koje nastaju zbog utjecaja ljudskog faktora omogućio bi uspostavljanje učinkovitog modela proaktivnog upravljanja greškama

u održavanju i poboljšanja pouzdanosti otpreme zrakoplova upravljanjem greškama u održavanju zrakoplova.
Učinkovitost modela poboljšanja pouzdanosti otpreme zrakoplova upravljanjem greškama u održavanju zrakoplova potvrdila bi se usporedbom pouzdanosti otpreme zrakoplova u promatranoj organizaciji prije primjene modela i nakon primjene modela kao i usporedbom pouzdanosti otpreme zrakoplova s pouzdanosti otpreme na svjetskoj razini prije i nakon primjene modela.
Analizom postojeće literature analiziraju se najznačajniji znanstveni radovi koji se bave istraživanjem utjecaja ljudskog faktora u području eksploatacije i održavanja zrakoplova te najznačajniji znanstveni radovi koji se bave problematikom pouzdanosti otpreme zrakoplova. U navedenim istraživanjima nisu pronađeni znanstveni radovi koji analiziraju mogućnost povećanja pouzdanosti otpreme zrakoplova pronalaženjem nenamjernih ljudskih pogrešaka u održavanju zrakoplova.

Definiran je cilj istraživanja:
Cilj ovog znanstvenog istraživanja je razvoj modela za otkrivanje grešaka nastalih zbog utjecaja ljudskog faktora i određivanje njihovog utjecaja na pouzdanost otpreme zrakoplova. Proaktivnim upravljanjem greškama nastalih zbog utjecaja ljudskog faktora postavit će se sustav koji bi sprečavao njihovo nastajanje.

Definirana je hipoteza istraživanja:
Sustavnim prikupljanjem i analizom podataka održavanja i eksploatacije zrakoplova, moguće je pronaći greške nastale zbog utjecaja ljudskog faktora. Temeljem njihove analize moguće je postaviti model proaktivnog upravljanja greškama s ciljem sprječavanja njihova nastajanja i time povećati pouzdanost otpreme zrakoplova.

Istraživanje i primjena modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju provedeno je kod zračnog prijevoznika koji u sklopu svoje organizacije ima organizaciju za održavanje zrakoplova. Promatrana organizacija za održavanje zrakoplova pri održavanju svoje flote koristi 25% svojih kapaciteta (pod „svojom flotom“ podrazumijeva se flota zrakoplova koje ima zračni prijevoznik u čijem je sastavu promatrana organizacija za održavanje zrakoplova), a ostatak kapaciteta prodaje na tržište Europske Unije (EU). Da bi imala ovlaštenje za održavanje zrakoplova, u promatranoj organizaciji za održavanje vrše se stalne provjere i kontrola kvalitete radova održavanja u skladu sa zrakoplovnim propisima za održavanje koje propisuje Europska agencija za sigurnost zračnog prometa (engl. *European Aviation Safety Agency* - EASA*)*. Vanjske provjere provodi Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo (HACZ) i zračni prijevoznici koji svoje zrakoplove održavaju u

promatranoj organizaciji. Pored navedenih provjera vrše se i interne provjere sustava održavanja zrakoplova. S obzirom na broj i raznolikost provjera promatrana organizacija za održavanje zrakoplova predstavlja reprezentativni uzorak za primjenu novog modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju zrakoplova.

Promatrani zračni prijevoznik ima flotu od dva različita tipa zrakoplova, i to šest zrakoplova tipa A320f proizvođača Airbus i šest zrakoplova tipa DHC-Q400 proizvođača Bombardier. Zrakoplovi su različitih konstrukcijskih karakteristika trupa i koriste različite vrste pogonskih sustava. Airbus A320 je niskokrilac sa turbo-ventilatorskim motorima (engl. *turbofan*) tipa CFM 56-5B, a zrakoplov DHC-Q400 je visokokrilac s turbo-propelerskim motorima (engl. *turboprop*) tipa P&W150.

Program održavanja zrakoplova za zrakoplove A320 i DHC-Q400 konceptualno je različit po pojedinim zadaćama za pregled i intervalima prema kojima se pojedine zadaće pregleda obavljaju. Alati i oprema za održavanje različiti su s obzirom na konstrukciju zrakoplova i pogonske sustave zrakoplova.

Primijenjeni model proaktivnog upravljanja greškama u održavanju u promatranoj organizaciji za održavanje zrakoplova provjeren je na dva različita sustava održavanja zrakoplova.

1.2. Pregled prethodnih istraživanja

Problematika poboljšanja pouzdanosti otpreme zrakoplova s jedne strane, i analiza grešaka nastalih zbog utjecaja ljudskog faktora s druge strane, mogu se naći u zrakoplovnim propisima, stručnoj i znanstvenoj literaturi. Europska agencija za sigurnost zračnog prometa (EASA) propisuje zahtjeve za konstrukciju, gradnju, održavanje zrakoplova i uvjete plovidbenosti zrakoplova registriranih u zemljama članicama EU. Regulativa je javno dostupna na internet-stranicama EASA-e. [6].

Zračni prijevoznik obvezan je izraditi program održavanja svojih zrakoplova koji uključuje navedene osnovne zahtjeve koje propisuje proizvođač zrakoplova i posebne zahtjeve koje propisuje zračni prijevoznik. Posebni zahtjevi zračnog prijevoznika uključuju pozitivna iskustva u održavanju i specifičnosti eksploatacije zrakoplova koje primjenjuje zračni prijevoznik s ciljem udovoljavanja tehničkih zahtjeva za sigurnu zračnu plovidbu, što je uređeno propisom EASA PART-M [6]. Odredbe koje propisuje EASA mijenjaju se kontinuirano radi osiguravanja svih najnovijih standarda sigurnosti i tehnološkog razvoja. Zadaće održavanja zrakoplova smije izvoditi samo organizacija za održavanje zrakoplova koja je ovlaštena od zrakoplovnih vlasti prema propisima EASA PART-145 [6]. Zračni prijevoznik može imati svoju organizaciju za održavanje zrakoplova ili ugovoriti održavanje zrakoplova s ovlaštenom organizacijom za održavanje zrakoplova.

Organizacija za održavanje zrakoplova obvezna je primjenjivati tehnologiju tehničkog održavanja zrakoplova u skladu sa zahtjevom proizvođača zrakoplova.

Ustroj organizacije za tehničko održavanje zrakoplova i tehnologiju rada, svaka organizacija propisuje u svom priručniku za rad koji odobravaju zrakoplovne vlasti zemlje gdje je registrirana organizacija za tehničko održavanje zrakoplova, sukladno regulativi PART-145.

U priručniku za rad organizacije za održavanje zrakoplova (engl. *Maintenance Organisation Exposition* ili kratica MOE) detaljno se propisuje interna okolina, odnosno ustroj organizacije, odgovornosti i ovlaštenje djelatnika, broj djelatnika, tehnologija rada s opsegom i složenošću radova koji se vrše, oprema za rad i sustav kvalitete. Djelatnici, koji svojim potpisom potvrđuju da radovi održavanja zrakoplova udovoljavaju zahtijevanim zrakoplovnim propisima, odnosno daju zrakoplovu dozvolu za let (engl. *Certificate of Release to Service* -CRS), imaju interna ovlaštenja za rad koja se dobivaju na osnovi dozvola za rad izdanih od zrakoplovnih vlasti te temeljem stručnosti u radu i kontinuiranog školovanja u organizaciji za održavanje zrakoplova. Uvjeti za stjecanje dozvole i uvjeti za kontinuirano školovanje propisani su regulativom PART-66 i PART-147, a procjena stručnosti u organizaciji za održavanje zrakoplova regulativom PART-145 [6].

Međunarodno udruženje „zračnih prijevoznika“ (engl. *International Air Transport Association - IATA*) objavilo je statističke podatke o uzrocima nesreća i nezgoda za razdoblje od 2010. godine do 2014. godine, uz omjer pridonosećih čimbenika za pojedine događaje. Zračni prijevoznik kao pridonoseći čimbenik u zrakoplovnim nezgodama ima udio od 43% od čega se 12 % događaja odnosi na održavanje zrakoplova. Udio u nesrećama iznosi 40% od čega je 6% događaja uzrokovano tehničkom greškom [7].

Pored navedenih zrakoplovnih propisa te stručne literature koja potvrđuje aktualnost i primjenjivost ovog istraživanja, analizirana znanstvena istraživanja, koja se bave ovom problematikom, mogu se svrstati u dvije grupe:

- istraživanja u području pouzdanosti otpreme zrakoplova
- istraživanja u području utjecaja ljudskog faktora pri eksploataciji i održavanju zrakoplova.

Prema istraživanju koje provodi Larsen [8] od ukupnog broja planiranih letova zrakoplova srednje kategorije, 2,6 % letova zrakoplova otkazano je ili su postojala kašnjenja. Udio grešaka zbog održavanja zrakoplova ili problema s posadom zrakoplova, kao pridonosećih čimbenika, iznosi 33 %. Tehničke greške kao pridonoseći čimbenik kašnjenja zrakoplova, otkaza letova, nezgode i nesreća imaju izravan utjecaj na pouzdanost otpreme zrakoplova, a time i na povećavanje troškova održavanja zrakoplova. S ciljem smanjenja tehničkih grešaka i povećanja pouzdanosti opreme zrakoplova, vrše se stalna poboljšanja konstrukcije zrakoplova, reorganizacija sustava održavanja zrakoplova i

usavršavanja postojećih modela uporabe zrakoplova od procesa proizvodnje do kraja životnog vijeka zrakoplova.

Tiassou u svom radu *Aircraft operational reliability – A model-based approach and case studies* [9], predstavlja model zrakoplova *Up-To-Date* koji izvorni model, koji se koristi u konstrukcijskoj fazi, poboljšava trenutnim statusom zrakoplova tijekom životnog vijeka zrakoplova. Time se dobiva realna slika očekivanih kvarova uslijed korištenja zrakoplova i opreme, što omogućuje preventivno planiranje zadaća održavanja zrakoplova. Planiranjem radova radi sprječavanja greške tijekom komercijalnog letenja zrakoplova, smanjuje se kašnjenje zrakoplova na let i povećava se pouzdanost otpreme.

Tiassou s grupom autora u radu *Modeling aircrafts operational reliability* [10] prikazuje problem održavanja zrakoplova tijekom komercijalnog letenja koji se odnosi na usklađivanje tehničkog održavanja zrakoplova i zahtjeva planiranog letenja. Prema planu letenja zrakoplova i vremenu zadržavanja na zemlji, optimiziraju se aktivnosti održavanja zrakoplova, redovitog, izvanrednog i preventivnog. Plan se postavlja na osnovi raspoloživih resursa održavanja zrakoplova na pojedinim zračnim lukama.

Kaelen u svom doktorskom radu pod nazivom *How to achieve aircraft availability in the MRO&U traid* [11] razmatra problematiku pouzdanosti zrakoplova u otpremi gdje su uključene tri komercijalno različito zainteresirane strane: proizvođač zrakoplova, zračni prijevoznik i organizacija za održavanje zrakoplova. Proizvođač zrakoplova ima kompleksnu zadaću proizvesti zrakoplov čiji sustav održavanja odgovara simuliranom projektnom modelu održavanja. Orijentiran je na izradu zrakoplova koji će u budućnosti imati zanemarive preinake koje bi se radile radi poboljšanja pouzdanosti zrakoplova tijekom njegova korištenja. Zračni prijevoznik ima osnovne interese održati sigurnost uz maksimalnu teorijsku iskoristivost zrakoplova za letenje s minimalnim troškovima održavanja zrakoplova. Interes zračnog prijevoznika je doseći teorijsku pouzdanost otpreme zrakoplova, odnosno raspoloživost zrakoplova za letenje bez tehničkih kvarova. Organizacija za održavanje zrakoplova ima za cilj smanjiti troškove svog rada uz zadržavanje kvalitete rada koja je prihvatljiva zračnom prijevozniku i smanjiti, što je tehnološki više moguće, zadržavanje zrakoplova u tehničkom statusu održavanja. To za organizaciju za održavanje zrakoplova znači prilagoditi proces održavanja, pristup i razmišljanje djelatnika novim zahtjevima tržišta. Kealen daje postavke izračuna za povećanje raspoloživosti zrakoplova za uporabu i povećanje pouzdanosti otpreme zrakoplova uslijed tehničke neispravnosti primjenom tehničkih poboljšanja zrakoplova što bi objedinilo ekonomske interese svih triju sudionika u procesu zračnog prijevoza.

Navedeni modeli temelje se na tehnološkom usavršavanju zrakoplova i sustava tehničkog održavanja zrakoplova s ciljem povećanja pouzdanosti u radu dijelova i opreme zrakoplova prema teorijskom

modelu rada. Usprkos usavršavanju tehnologije izrade zrakoplova i povećanju pouzdanosti u radu zrakoplovnih sustava, udio neplaniranih tehničkih kvarova koji utječu na pouzdanost u otpremi zrakoplova, koje nenamjerno napravi čovjek je značajan. Prema analizi koju provodi Maggie [12], udio grešaka u održavanju koje nenamjerno naprave djelatnici tijekom održavanja zrakoplova utječe s 30% u gašenju motora u letu, a 50 % kašnjenja polijetanja događa se zbog greške na radu motora koja nastaje tehničkom greškom u održavanju zrakoplova.

Organizacije za tehničko održavanje zrakoplova obnavljaju resurse zrakoplova koji su prema sustavu održavanja propisani pojedinačnim zadaćama za rad. Cilj svake organizacije za održavanje zrakoplova je obnova resursa za letenje bez unošenja greške u sustav tijekom izvođenja radova. Prema istraživanjima koje provodi i objavljuje Xavier [13], čovjek kao osnovni čimbenik u sustavu održavanja zrakoplova, unosi greške koje nastaju zbog utjecaja ljudskog faktora.

Čovjek je u stalnoj interakciji s drugim ljudima, sa strojevima kao komunikacijskim medijima ili s predmetom rada odnosno zrakoplovom. Model interakcije čovjeka s okruženjem u zrakoplovnoj industriji otkrio je profesor Edward [14], a grafički prikazao profesor Hawkins [14]. Model povezuje međusobne odnose u proizvodnji između *Software-Hardware-Environment-Liveware* po čemu je model dobio naziv SHELL.

Greške nastale zbog utjecaja ljudskog faktora u održavanju zrakoplova otkrio je Dupon te je klasificirao dvanaest uzroka nastajanja grešaka, stoga sustav nosi naziv *The Dirty Dozen* [15].

Daljnjim istraživanjem interne okoline organizacije za održavanje zrakoplova postavljen je model radnog okruženja koji otkriva uzroke grešaka zbog utjecaja ljudskog faktora. Johnson i Maddox [16] izradili su PEAR model (*People, Environent, Action, Resourses*) kojim opisuju utjecaj okoline na ljude i ljudi na okolinu te međusobni odnos između ljudi kao čimbenika koji pospješuje nastanak grešaka u proizvodnji.

U modelu je prikazan čovjek kao fiziološki, psihološki, psihosocijalni i fizički čimbenik te okruženje koje predstavlja fizičke i organizacijske čimbenike, potrebne resurse za rad i čimbenike samog rada. Pri održavanju zrakoplova, čovjek je u središtu rada i odlučivanja kao najvažniji čimbenik kvalitete procesa i vremena trajanja pojedinih zadaća. Takav pristup prepoznat je kao najvažniji te je ugrađen u međunarodnu i nacionalnu zrakoplovnu regulativu. Prema preporukama međunarodne organizacije za civilno zrakoplovstvo (*International Civil Aviation Organization* - ICAO) pod nazivom *Human Factors guidelines for aircraft maintenance manual* [17], uvršten je kao obvezan princip uvažavanja utjecaja ljudskog faktora u sustavu održavanja zrakoplova. Druga preporuka, koju daje ICAO, je uvrštenje sustava sigurnosti u program rada organizacije za održavanje zrakoplova objavom *Priručnika za upravljanje sustavom sigurnosti* (*Safety Management Manual* – SMM) [18]. S obzirom da u vrijeme objave ovih preporuka Hrvatska nije bila članica EU, Hrvatska agencija za civilno

zrakoplovstvo prihvatila je obje preporuke i objavila *Naredbe o zrakoplovnoj sigurnosti* [19, 20] kako bi preporuke postale obvezujuće za organizacije održavanja zrakoplova.

Broj zrakoplova u stalnom je porastu što dovodi do naglog povećanja prijevoznih kapaciteta koje će prema istraživanju Boeinga biti više od 5% godišnje u sljedećih dvadeset godina [24]. Porast broja zrakoplova izravno utječe na sustav eksploatacije i održavanja u zračnom prijevozu. Održavanje zrakoplova dio je sustava koji osigurava tehničku ispravnost i obnavlja upotrebljivost zrakoplova. Trošak održavanja zrakoplova izravno utječe na cijenu sata letenja zrakoplovom što se u konačnici odražava na cijenu usluge koju zračni prijevoznik nudi na tržištu. Porast broja zrakoplova u svjetskom tržištu izravno utječe na globalno otvaranje tržišta. Uslijed nedostatka kvalificiranog osoblja za održavanje zrakoplova, predviđa se veliko kretanje tehničkog osoblja na globalnoj razini. Istraživanja koja je proveo Boeing predviđaju da će na svjetskom tržištu rada od 2014. godine do 2033. godine trebati oko 500 000 zrakoplovnog tehničkog osoblja [21]. Pretpostavlja se da će zbog toga doći do migracija zrakoplovnog tehničkog osoblja na svjetskom tržištu rada u sustavu održavanja zrakoplova, uslijed čega će tehničko osoblje u organizacijama za održavanje raditi u timovima koji će biti sastavljeni od djelatnika različitih kulturno-socioloških nazora. Glavna teorijska obilježja takvog sustava su kontrola i vođenje timova te prepoznavanje zahtjeva pojedinca s ciljem njegove motivacije za rad. Problematika ustroja i rukovođenja takvim organizacijama poznata je iz drugih proizvodnih sustava koje opisuje profesor Mullins [22].

Zračni prijevoznici postaju suparnici u borbi za putnike, što može dovesti do smanjenja financijskih ulaganja u održavanje zrakoplova, čime se utječe na pojavu izvanrednih kvarova i kašnjenja zrakoplova. Kako bi se otklonila ova opasnost, uvedena je regulativa koja omogućava odštetu putniku u slučaju kašnjenja zrakoplova na let koje je uzrokovano tehničkom neispravnošću zrakoplova [2]. Odšteta putnika u slučaju tehničkog kašnjenja vezana je za duljinu planiranog leta i vrijeme kašnjenja zrakoplova. Najniže rangirana odšteta, koja se isplaćuje uslijed tehničkog kašnjenja, ima jednaku vrijednost kao cijena niskotarifne karte. Primarni interes zračnog prijevoznika je izvršiti planirano letenje bez neplaniranih izvanrednih tehničkih kašnjenja koje uzrokuju tehnički kvarovi na zrakoplovu, a koji ulaze u kategoriju nadoknade putnicima zbog kašnjenja zrakoplova na let. Primarni uzrok izvanrednih kvarova na zrakoplovu su greške nastale lošim održavanjem zrakoplova zbog utjecaja ljudskog faktora. Kako bi se smanjio broj i učestalost grešaka uvjetovanih djelovanjem ljudskog čimbenika, zrakoplov se mora održavati u organizaciji za održavanje zrakoplova koja je pojave grešaka na zrakoplovu zbog utjecaja ljudskog faktora svela na najmanju moguću mjeru.

Ovaj uvjet organizaciji za održavanje zrakoplova postavlja oprečne zahtjeve. S jedne strane zahtijeva povećanje kvalitete rada, a s druge strane ekonomski zahtjevi utječu na smanjenje cijene rada čime

se izravno smanjuje i kvaliteta održavanja. Izravnim povećanjem opterećenja tehničkog osoblja u održavanju zrakoplova povećava se rizik od greške zbog utjecaja ljudskog faktora.

Na Sveučilištu Embry-Riddle profesor Hall [23] istraživao je preopterećenost djelatnika koji rade u smjenama i produženom radnom vremenu. Izmjena smjena rada izravno dovodi do izmjene bioritma spavanja, ima izravan učinak na kvalitetu, brzinu izvođenja zadaća kao i na sigurnost djelatnika i zrakoplova.

Rashid na Sveučilištu u Cranfield [24] proučava uzroke nastanka grešaka održavanja kao slijeda događaja koji počinje od konstruktivnih rješenja, proizvodnje i održavanja. Proučavanjem glavnih čimbenika koji doprinose nastanku grešaka u održavanju, moguće je procesom konstrukcije i slijedom održavanja aktivno utjecati na smanjenje grešaka u održavanju. Za aktivno otkrivanje greške uvodi sustav analize *Aviation Maintenance Monitoring Prosess (AMMP)* koji za analizu koristi kategoriziranje grešaka prema *Root Case Existance Scale (RCES).* U analizama se primjenjuje *Fuzzy Analytic Network Process* koji izračunava teorijske ishode mogućih greška i mjesta nastanka. Aktivnim korigiranjem mogućih uzroka u proizvodnji i održavanju te provođenju rezultata u praksi utječe na smanjenje grešaka u održavanju [24].

Jayakody-Arachige [25] izradio je model analize rizika za greške koje se pojavljuju tijekom eksploatacije zrakoplova. Posebna pozornost pridaje se nematerijalnim uvjetima u internoj organizaciji održavanja zrakoplova.

Latorell [26] postavlja tezu da je velik broj uzroka grešaka uvjetovan tehnologijom rada koja ne daje dovoljno vremena djelatnicima za kontrolu alata i pripremu ljudi za rad.

Yu-Lin Hsiao i grupa autora [27] istražuje uzroke grešaka zbog utjecaja ljudskog faktora dobivene na osnovi *audit-izvješća*. Pronađene nesukladnosti tijekom *audita* klasificiraju se po uzroku nastanka i prema međusobnoj povezanosti. Nakon analize uzroka nastanka grešaka, predlažu se korektivne mjere kako bi se spriječilo njihovo ponovno pojavljivanje. Mjerenje učinkovitosti modela vrši se mjerenjem pouzdanosti otpreme flote.

Prema navodima i iskustvima članova posade zrakoplova, dolazi do situacija u kojima se nakon upisa grešaka na rad zrakoplova, dobiva odgovor tehničkog osoblja „*greška nije potvrđena*“ ili *„No Fault Found“* (NFF), a na prvom sljedećem letu greška se ponavlja. Ovakve greške predstavljaju veći trošak održavanja jer zahtijevaju duže zadržavanje zrakoplova na zemlji uz složenije testiranje za njihovo otkrivanje. Time se ujedno ugrožava sigurnost zrakoplova u letu. Piskthall [28] proučava ključne čimbenike na koje se može djelovati s ciljem bržeg otkrivanja takvih grešaka i sprječavanja odgovora NFF. Uzroci tih grešaka su ljudski čimbenici vezani za inženjersku praksu u radu. Dijagnostički sustav zrakoplova nije u stanju pronaći takve greške, a informacijski priručnici i sustavi ne mogu dati sve varijante mogućih grešaka. Uz zahtjev za što kraćim zadržavanjem zrakoplova na

zemlji između dvaju letova, što smanjuje vrijeme za kvalitetan pregled zrakoplova, ključnu ulogu ima iskustvo i znanje tehničara [28].

Einckemeyer [29] postavlja model planiranja izvanrednih radova na radioničkom održavanju kompleksnih sustava na modelu zrakoplovnog motora. Model se zasniva na statistici praćenja prethodnih radova i planiranja izvanrednih radova na rastavljanju i inspekciji motora. Model optimizira kapacitete organizacija za održavanje motora i zrčnih prijevoznika koje koriste uslugu održavanja motora.

U suvremenoj praksi, osim osiguranja profitabilnosti organizacije koja obavlja neku djelatnost, potrebno je osigurati zadržavanje i podizanje kvalitete proizvoda. Bratton i Gold [30] opisuju sustave profitabilnosti organizacija koje se temelje na vođenju organizacija postavljanjem djelatnika (radnog osoblja) u centar pozornosti kao osnovne karike u procesu proizvodnje. Osnovna pozornost usmjerena je vođenju djelatnika usklađujući njihove ciljeve s ciljevima koje želi ostvariti rukovodstvo organizacije. Ostvarenje tih ciljeva motivacija je djelatnika za rad koja se postiže materijalnom ili nematerijalnom nagradom. Istovremeno, vođenje organizacije, osim profitabilnosti, mora zadovoljiti i sustav kvalitete. Autori Lindsay i Evans [31] u knjizi *The Management and Control of Quality* daju pregled sustavnog pristupa vođenja tvrtke uz kontrolu kvalitete proizvoda.

Uz sva nastojanja optimiranja proizvodnje i smanjenja grešaka u proizvodnji nužno je imati djelatnike motivirane za rad. Izučavanje odnosa djelatnika i vodstva organizacije također navode Dur i Tichem [32, 33] u radu *Altruism, Conformism, and Incentives in the Workplace* u kojim su predstavili model očekivanja djelatnika vezan za odnos kvalifikacije djelatnika i njihova očekivanja. U radu se donose osnovne pretpostavke stvaranja povjerenja između djelatnika i rukovodstva.

Za optimiranje sustava održavanja zrakoplova i smanjenje grešaka u održavanju, mogu se koristiti iskustva iz drugih sustava održavanja. Singh sa Sveučilišta Hariyana u Indiji [34] prikazuje matricu za usklađivanje radova prema planu i prioriteta radova koji se izvode. Osnovo je polazište uskladiti zahtjeve vremena izvođenja, cijene rada, kvalitete rada, rizika, nabave, ljudskih potencijala, komunikacije te integracije svih zahtjeva. Krajnji rezultat je ostvariti izvođenje radova u zadanom vremenu s profitabilnom cijenom i propisanom kvalitetom.

Saltoglu [35] u studiji optimiranja radova u operativnom održavanju prikazuju strukturu troškova izvanrednog održavanja zrakoplova. Leva M.C. i grupa autora [36] uključuju ljudski faktor u proces dizajniranja uređaja. Iskustva u održavanju moraju se prenositi u novi dizajn proizvoda te je potrebno napraviti procjenu rizika unosa greške zbog utjecaja ljudskog faktora s obzirom na greške koje mogu nastati na novom proizvodu.

Appalius de Vos i Leo van Dongen [37] prikazuju oprečne zahtjeve održavanja u željezničkom prijevozu, a koji zahtijevaju niske troškove održavanja i povećanje sigurnosti rada. Slični zahtijevi

održavanja su u svim sustavima prijevoza pa tako i u zračnom prijevozu gdje se zahtijevaju mali troškovi održavanja uz zadržavanje ili povećanje kvalitete održavanja. Autori u radu problem rješavaju optimalnim planiranjem ljudskog resursa, nabave, korištenja alata i opreme i sustavnim obrazovanjem djelatnika. Glavni uvjet je održati kvalitetu proizvoda i smanjiti troškove održavanja.
Organizacije za održavanje zrakoplova, koje održavaju iste tipove zrakoplova, koriste iste ili slične tehnologije za održavanje zrakoplova. Međutim, preslikavanje tehnološkog rada i ustroja organizacije iz jedne organizacije za održavanje zrakoplova u drugu nije moguće zbog različitog pravnog, ekonomskog, socijalnog i kulturnog okruženja u kojem se nalazi organizacija, kao i zemljopisnog položaja organizacije za održavanje zrakoplova. Primjerice, ako se organizacija za održavanje zrakoplova nalazi u Francuskoj, u Toulousu, gdje se proizvode zrakoplovi tipa Airbus A320, ona je u neposrednom kontaktu s proizvodnim inženjeringom za zrakoplove, materijalnom podrškom i radnom snagom što osigurava brzo rješavanje problem tehničkog kvara ili dostave dijelova za popravak. Organizacija koja se, primjerice, nalazi u Australiji ima problem dobivanja odgovora o podršci za rješavanje tehničkog problema zbog vremenske razlike, a mora osigurati određenu količinu materijala i zamjenskih dijelova unaprijed. Svaka dostava dijelova iziskuje posebnu logistiku i unutarnji ustroj organizacije koji to može podržati.
Zbog toga je nužna prilagodba procesa održavanja na postojeće okruženje. Opći princip procjene učinkovitosti organizacije u odnosu na geopolitičko okruženje i sastav djelatnika u organizaciji prikazao je Amstrong u knjizi *A handbook of Human Resource Management Practice* [38]. U knjizi je iznesena problematika ustroja i organizacije rada, učenja i ponašanja djelatnika u različitim organizacijama za rad. Djelatnici imaju osobni odnos prema radu i prema timu pa je osnovna zadaća uspostaviti harmonizaciju rada tima radi ostvarenja zajedničkog cilja. Takvim pristupom povećava se produktivnost, smanjuju troškovi rada i smanjuje utjecaj ljudske greške u radu. Motivacija ljudi za rad jedan je od ključnih faktora za smanjenje ljudskih grešaka u radu za povećanje efikasnosti rada uz zadržavanje kvalitete rada.
Prilikom provođenja istraživanja prikazanog u ovom doktorskom radu promatrana je organizacija za održavanje zrakoplova koja je u većinskom vlasništvu države. Istraživanja motiviranosti djelatnika za rad u organizacijama za održavanje zrakoplova, koje su u vlasništvu države, nisu poznata u literaturi. Također, nisu pronađena istraživanja u organizacijama za održavanje zrakoplova o tome kakav učinak na smanjenje grešaka zbog utjecaja ljudskog faktora u održavanju zrakoplova ima motivacija djelatnika za rad.
S ciljem razumijevanja motiviranosti djelatnika, koji rade u organizacijama u vlasništvu države, primjenjivat će se iskustva iz drugih grana djelatnosti.

Gokham [39] sa Sveučilišta u Barceloni predstavlja istraživanje po kome se cilj organizacije zasniva na produktivnosti koja se postiže usuglašavanjem zahtjeva djelatnika za prilagođavanjem radnog vremena u odnosu na privatne potrebe. Studija analizira bolovanja, odnosno, izostanke s posla na osnovi izvanrednih potreba djelatnika. Namjera je uskladiti zahtjeve proizvodnje i zahtjeve potreba djelatnika.

Healy [40] sa Sveučilišta u Birminghamu postavlja tezu o potrebni poticanja interesa svakog pojedinca na rad koji u konačnici ostvaruje cilj kojem pojedinac teži.

Zoutenbier [41] sa Sveučilišta u Rotterdamu proučava odnos državnih službenika i zahtjeva države kao vlasnika te postavlja model po kojem se ostvaruju bolji rezultati izvršenja zadaća u radu s manje grešaka ako se ciljevi djelatnika usmjere na ciljeve koji su njemu prioritet. Rottensteiner [42] sa Sveučilišta Jyväskylä nproučava utjecaj motivacije na ostvarivanje cilja pojedinca u sportu. Poticaji koji su usmjereni na motivaciju pojedinca moraju biti usmjereni na postavljeni cilj. Time se postiže motivacija koja omogućuje ostvarenje cilja.

U istraženoj literaturi nisu pronađeni modeli ekonomske isplativosti uloženih sredstava kako bi se smanjio broj grešaka zbog ljudskog faktora koji pri donošenju odluke o primjeni korektivnih mjera u održavanju zrakoplova uvrštavaju motiviranost djelatnika kao primarni čimbenik. Dosadašnja istraživanja bazirana su na teorijskim poboljšanjima sustava rada s ciljem povećanja sigurnosti, ekonomskog modela isplativosti po pojedinim područjima bez istraživanja motivacijskog čimbenika. S obzirom da se poboljšanja u procesu rada mogu napraviti na više razina, nužno je postaviti model kojim se omogućava sistematizacija rješenja temeljem preinaka u procesu rada, isplativosti primjene i zadržavanja motivacije djelatnika za rad. Istraživanje prikazano u ovom doktorskom radu omogućava organizaciji za održavanje zrakoplova upravljanje greškama na razini poboljšanja sigurnosti zračne plovidbe, razini poboljšanja tehnološkog procesa, obrazovanju djelatnika i usuglašavanju ciljeva djelatnika s korporativnim ciljevima.

Sustavnim istraživanjem dolazi se do zaključka da je moguće izdvajanje pojedinih grešaka nastalih zbog utjecaja ljudskog faktora i definiranje barem jednog rješenja za njihovo otklanjanje. Dodatno je potrebno odrediti zahtijevane ljudske, organizacijske i materijalne resurse za njihovo otklanjanje. Pored sigurnosnih zahtjeva koji su postavljeni zrakoplovnim propisima, što je minimum zahtjeva za toleriranje pojedine greške, utvrđeno je kako greška utječe na troškove održavanja zrakoplova, na troškove koje ima zračni prijevoznik i na prihvaćanje promjena od strane djelatnika koji neposredno provode promjene.

1.3. Metode istraživanja

Za istraživanje i kreiranje modela u doktorskom radu primjenjuju se sljedeće metode:

1. kompilacija - istražuju se saznanja pojedinih autora iz njihovih prethodnih istraživanja
2. konzultacije - konzultiraju se stručnjaci iz područja tehnologije zračnog prometa, održavanja zrakoplova vezano za područje istraživanja grešaka nastalih zbog utjecaja ljudskog faktora iz djelokruga njihova rada i navedene problematike, analiziraju se sugestije te se u skladu s dobivenim rezultatima koriste u radu
3. prikupljanje podataka - podaci se prikupljaju izvidima (audit), inspekcijama, dojavama i svim dostupnim zapisima tehničkog stanja zrakoplova vezano u području istraživanja grešaka nastalih zbog utjecaja ljudskog faktora u promatranoj organizaciji.
4. intervju - izvodi se u promatranoj organizaciji za održavanje zrakoplova prema točkama inspekcijske provjere radi dobivanja odgovora djelatnika uključenih u proces održavanja prema točkama po kojima se vrši inspekcijska provjera pri čemu intervju nije klasičnog tipa već s izvođenjem zadaća vrše upiti i traže mišljenja djelatnika koji izvršavaju zadaću
5. sistematizacija podataka - vrši se prema vrsti grešaka koje nastaju zbog utjecaja ljudskog faktora, utjecaju na tehničku sigurnost zrakoplova i prema trošku ulaganja za njihovo otklanjanje
6. analiza i statistika - prikupljeni podatci kategoriziraju se prema vjerojatnosti ponovnog događanja, utjecaju na motiviranost djelatnika u radu i statističkoj vjerojatnosti ponavljanja pojedinog istog događaja
7. analiza i sinteza - prikupljeni podatci i informacije analiziraju se u promatranoj organizaciji koja ima šest zrakoplova tipa *Bombardier* DHC-Q400 i šest zrakoplova tipa *Airbus* A320f. Na osnovi analize donose se zaključci o razmatranim temama pri čemu se primjenjuje *Studentov t-test* za analizu učinkovitosti postavljenog modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju.

1.4. Struktura doktorskog rada

U uvodnom dijelu rada objašnjava se motivacija za izbor teme, problem i predmet istraživanja. Obrazloženi su svrha i cilj istraživanja te je prikazan pregled prethodnih istraživanja iz područja rada. Navedene su znanstvene metode koje se primjenjuju u istraživanju te je prikazana struktura doktorskog rada.

U drugom poglavlju opisuju se zahtjevi za projektiranje, izgradnju i održavanje dijelova, sustava zrakoplova i zrakoplova koji su preporučeni od *The International Civil Aviation Organization* (ICAO), *The European Aviation Safety Agency* (EASA), *The Federal Aviation Administration* (FAA), *The International Air Transport Association* (IATA) i *Hrvatske agencije za civilno zrakoplovstvo* (HACZ). Opisuje se projektirana pouzdanost rada dijelova i sustava, utjecaj pojedinih otkaza na sigurnost zrakoplova i vjerojatnost izvanrednih otkaza koji se mogu dogoditi tijekom uporabe zrakoplova na osnovi projektirane pouzdanosti u radu. Praćenje pouzdanosti u radu dijelova i sustava utvrđeni su od strane proizvođača zrakoplova i zračnog prijevoznika. Opisani su uvjeti koje treba ispuniti zračni prijevoznik da bi dobio odobrenje programa održavanja zrakoplova. Obaveze zračnog prijevoznika su kontinuirano praćenje kvalitete sustava održavanja zrakoplova bilježenjem broja izvanrednih kvarova, količina grešaka u održavanju i zadaća redovitog održavanja. Opisano je praćenje pouzdanosti otpreme zrakoplova koje daje uvid u kvalitetu sustava održavanja zrakoplova zračnog prijevoznika i omogućava zračnom prijevozniku praćenje kvalitete njegova sustava održavanja.

U trećem poglavlju opisuju se najčešći uzroci izvanrednog održavanja zrakoplova, a čine ih kvarovi koji nastaju zbog nenamjerne greške u održavanju zrakoplova zbog utjecaja ljudskog faktora. Prikazana je povijest istraživanja grešaka koje nastaju zbog utjecaja ljudskog faktora, razvoj spoznaja o utjecaju pojedinih pridonosećih čimbenika nastanaka nenamjerne ljudske greške tijekom održavanja zrakoplova. Prikazani su alati za analizu grešaka koje nastaju zbog utjecaja ljudskog faktora i modeli koji omogućuju razumijevanje i otkrivanje pridonosećih čimbenika koji dovode do njihovog nastanka. Opisana je klasifikacija tipova pridonosećih čimbenika za nastanak grešaka zbog utjecaja ljudskog faktora prema klasifikaciji na dvanaest uzroka grešaka (*The Dirty Dozen)*.

U četvrtom poglavlju prikazane su greške nastale zbog utjecaja ljudskog faktora u promatranoj organizaciji. Za prikupljene greške prikazana je analiza i sistematizacija pojedinih pridonosećih čimbenika za nastanka greške zbog utjecaja ljudskog faktora prema udjelu pridonosećih čimbenika za nastanak greške i prema utjecaju na sigurnost zrakoplova. Opisan je postupak izračuna vjerojatnosti ponavljanja greške i postupak određivanja utjecaja nastale greške na sigurnost zrakoplova. U tablici rizika prikazana je kategorizacija grešaka prema utjecaju na sigurnost zrakoplova i na vjerojatnost ponavljanja greške. Također, prikazana je podjela grešaka prema tablici rizika te je opisana isplativost ulaganja za pojedine greške. Naveden je primjer greške koja se dogodila u promatranoj organizaciju zbog utjecaja ljudskog faktora kako bi se uočio postupak analize koji je primijenjen za otkrivanje pridonosećih čimbenika za nastanak greške zbog utjecaja ljudskog faktora.

U petom poglavlju prikazuje se model standardnog upravljanja greškama u održavanju (MSUG) i način prikupljanja podataka i poboljšanja pouzdanosti otpreme zrakoplova. Navedeni su standardni podatci koji se prikupljaju i kategoriziraju prema utjecaju na sigurnost zrakoplova i standardni gantogram aktivnosti za izradu i primjenu korektivnih akcija s ciljem otklona i sprečavanja ponavljanja grešaka. Navedena je pouzdanost otpreme zrakoplova te udio SAFA i SACA inspekcija s pronađenim greškama u ukupnom broju inspekcija na početku istraživanja promatranog zračnog prijevoznika. Prikazani podatci bili su poticajni za uspostavljanje modela poboljšanja pouzdanosti otpreme zrakoplova upravljanjem greškama u održavanju. Prikazan je model proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) za poboljšanje pouzdanosti otpreme zrakoplova. Za razliku od modela standardnog upravljanja greškama u održavanju, model proaktivnog upravljanja greškama u održavanju uvodi edukativne inspekcije za otkrivanje pridonosećih čimbenika za nastanak greške zbog utjecaja ljudskog faktora. U izradi korektivnih mjera uvodi se motivacijski čimbenik za rad djelatnika. Opisan je sadržaj, način izvođenja i kategorizacija nalaza za edukativne inspekcije. Opisan je sustav kojim se djelatnici motiviraju za prihvaćanje korektivnih mjera te se potiče napredovanje u obrazovanju ili hijerarhiji posla po složenosti ili vođenju timova razmjerno njihovim mogućnostima.

U šestom poglavlju analizirani su rezultati primjene modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju u promatranoj organizaciji za održavanje zrakoplova. Prikazana je učinkovitost modela promatranog zračnog prijevoznika za 6 zrakoplova tipa Airbus A320f i za 6 zrakoplova tipa Bombardier DHC-Q400. Učinkovitost modela prikazana je smanjenjem trenda grešaka pronađenih tijekom inspekcija Safety Assessment of Community Aircraft & Safety Assessment of Foreign Aircraft (SACA & SAFA) i edukativnih inspekcija. Prikazana učinkovitost modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju na poboljšanje pouzdanosti otpreme zrakoplova odnosi se na razdoblje od 2012. godine do 2014. godine. *Studentovim t-testom* s vjerojatnošću greške od 5% provjerava se hipoteza prema kojoj je:

- prosječna godišnja pouzdanost u otpremi zrakoplova kod prometranog zračnog prijevoznika bolja je za 2014. godinu od prosječne pouzdanosti u otpremi zrakoplova za 2012. godinu
- prosječna pouzdanost otpreme zrakoplova promatranog zračnog prijevoznika za 2014. godinu je bolja za oba tipa zrakoplova od prosječne svjetske pouzdanosti u otpremi za 2014. godinu.

U zaključnom, sedmom poglavlju sintetizirani su rezultati istraživanja pojedinih dijelova rada te je prikazana učinkovitosti primjene modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju na poboljšanje pouzdanosti otpreme zrakoplova.

2. POUZDANOST OTPREME ZRAKOPLOVA

U ovom poglavlju opisuju se zrakoplovni propisi koji definiraju zahtjeve za konstrukciju i održavanje kontinuirane plovidbenosti zrakoplova. Opisuju se načini mjerenja djelotvornosti sustava za održavanje zrakoplova, među kojima se definira i pouzdanost otpreme zrakoplova. U poglavlju se koriste podatci o utjecaju nenamjerne ljudske greške na pouzdanost otpreme zrakoplova i na sigurnost zrakoplova. Koriste se podatci znanstvenih radova, stručnih publikacija te objavljenih zahtjeva i preporuka *Međunarodne organizacije za civilno zrakoplovstvo* (eng. *The International Civil Aviation Organization,* ICAO*)*, *Europske agencija za civilno zrakoplovstvo* (eng. *The European Aviation Safety Agency,* EASA), *Hrvatske agencije za civilno zrakoplovstvo* (HACZ), *Agencije za civilno zrakoplovstvo Sjedinjenih Američkih Država* (eng. *The Federal Aviation Administration,* FAA*),* *Međunarodne udruge za zračni prijevoz* (eng. *The International Air Transport Association,* IATA) i drugih zrakoplovnih vlasti i organizacija za civilno zrakoplovstvo.

2.1. Regulativa za proizvodnju i održavanje zrakoplova

Istraživanje je provedeno u organizaciji za održavanje zrakoplova koja vrši održavanje na uskotrupnim zrakoplovima. U nastavku se navode najznačajniji zrakoplovni propisi u području projektiranja zrakoplova i održavanja zrakoplova, odnosno inicijalne i kontinuirane plovidbenosti zrakoplova. *Europska agencija za sigurnost zračnog prometa* EASA prema regulativi broj 748/2012 propisuje pravila o izgradnji zrakoplova, dijelova zrakoplova, opreme zrakoplova, plovidbenosti zrakoplova, uvjetima korištenja zrakoplova u zračnoj plovidbi kao i uvjete koje treba ispunjavati organizacija za projektiranje i proizvodnju zrakoplova [43].

Detaljnije upute kojima se propisuju standardi za projektiranje i proizvodnju zrakoplovnih sustava određeni su pravilnicima EASA-e: *Acceptable Means of Compliance and Guidance Material* i *Certification Specification* [43]. Ukoliko pojedini zahtjev u proizvodnji nije propisan u navedenim dokumentima, može se koristiti drugi industrijski standard koji je prihvatljiv EASA.

Prema *Commission Regulation (EU) No 1321/2014* od 2. studenog 2014. godine regulira se kontinuirana plovidbenost zrakoplova, zrakoplovnih dijelova i opreme kao i dozvole za rad organizacija za održavanje zrakoplova i tehničkog osoblja uključenih u procese navedenih organizacija.

Pravilnik *Acceptable Means of Compliance and Guidance Material-PART-21* propisuje uvjete za udovoljavanje zahtjevima sigurne zračne plovidbe za zrakoplove, njima pripadajuće materijale i

dijelove kao i uvjete za udovoljavanje zahtjevima sigurne zračne plovidbe koje moraju ispunjavati organizacije za projektiranje i organizacije za proizvodnju.
Zrakoplovne specifikacije za certifikaciju *Certification Specifications* [43] propisuju standarde za konstrukciju i proizvodnju:

- *AMC-20 EASA General Acceptable Means of Compliance for Airworthiness of Products, Parts and Appliances* daje osnovne preporuke kako udovoljiti zahtjevima proizvodnje zrakoplova, dijelova i opreme kako bi se zadovoljili uvjeti kontinuirane plovidbenosti zrakoplova
- *CS-25 EASA Certification Specifications for Large Aeroplanes* daje osnovne preporuke standarda i sigurnosne zahtjeve projektiranja i proizvodnje putničkih zrakoplova
- *CS-APU-Certification Specifications for Auxiliary Power Units* daje osnovne preporuke za konstrukciju i izradu pomoćnog pogonskog sustava na zrakoplovu koji primarno služi kao izvor električne energije na zrakoplovu u slučaju nužde, a može se koristiti kao stalni izvor električne energije i zraka za potrebe rada zrakoplova na zemlji
- *CS-E Certification Specifications for Engines* daje osnovne zahtjeve za udovoljavanje sigurnosti, konstrukciju, izgradnju, testiranje i dozvoljenu emisiju ispušnih plinova za klipne i turbinske motore
- *CS-P Certification Specifications for Propellers* daje osnovne zahtjeve za udovoljavanje sigurnosti, konstrukciju, izgradnju, testiranje, sustave zaštite propelera od preopterećenja i vanjskih oštećenja
- *CS-ETSO Certification Specifications for European Technical Standard Orders* daje strukturu tehničke dokumentacije koja se mora priložiti u procesu udovoljavanja uvjeta za plovidbenost za određeni dio, sklop ili sustav zrakoplova prema standardu koji je propisan u CS-ETSO za jednoznačno prikazivavanje podataka o statusu dijela, sklopa ili sustava
- *CS-34 Certification Specifications for Aircraft Engine Emissions and Fuel Venting* daje osnovne zahtjeve za emisiju ispušnih štetnih plinova koje propisuje ICAO prema *Annex 16, Volume 2*
- *CS-36 Certification Specifications for Aircraft Noise* daje osnovne zahtjeve za dozvoljenu razinu buke koju propisuje ICAO prema *Annex 16, Volume 1*

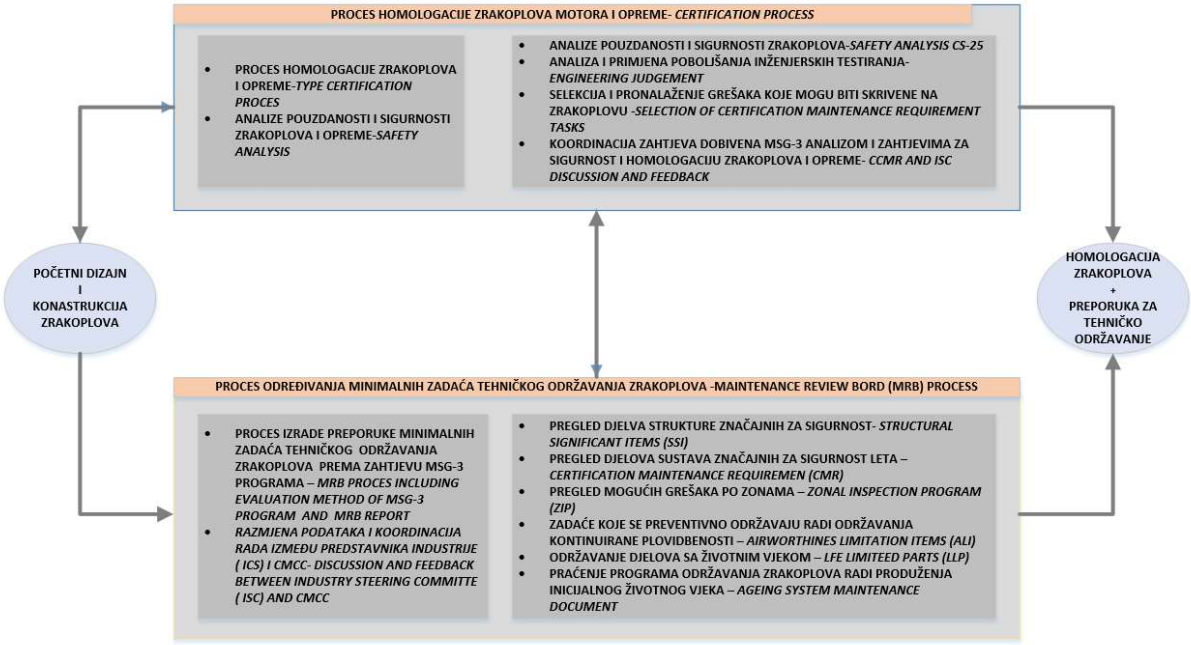
Zrakoplovni propisi koje propisuje EASA prema *Commission Regulation (EU) No 1321/2014* od 2. studenog 2014 [6] su sljedeći:

- *PART-M Continuing Airworthiness* propisuje uvjete pod kojima je zrakoplov ili dio zrakoplova u sustavu kontinuirane plovidbenosti i uvjete za dobivanje dozvole koju za održavanje kontinuirane plovidbenosti mora ispuniti organizacija i tehničko osoblje koje to provodi
- *PART-145 Approved Maintenance Organisations* propisuje ustroj i uvjete koje mora ispuniti organizacija koja se bavi održavanjem zrakoplova, motora ili dijelova i kvalifikaciju tehničkog osoblja koje izvodi radove da bi organizacija dobila dozvolu za održavanje zrakoplova ili dijelova zrakoplova
- *Part-66 Certifying Staff* propisuje vrste dozvola za tehničare koji svojim potpisom potvrđuju da je zrakoplov ili dio zrakoplova udovoljio zahtjevima zračne plovidbe i programe školovanja za svaki tip dozvole
- *Part-147 Maintenance Training Organisation* propisuje ustroj i uvjete rada za dobivanje dozvole za školovanje zrakoplovnog tehničkog osoblja.

2.2. Proces certifikacije zrakoplova i programa održavanja

Od inicijalne projektne zadaće do ishođenja potvrde o udovoljavanju zahtjeva za sigurnu zračnu plovidbu, zrakoplov prolazi kroz faze prikazane na slici 2.1. Slika prikazuje gantogram aktivnosti procesa homologacije zrakoplova motora i opreme te procesa određivanja minimalnih zadaća održavanja zrakoplova.

Certification Process je proces dobivanja dozvole za udovoljavanje zahtjeva sigurne zračne plovidbe koji počinje fazom projektiranja, laboratorijskih ispitivanja i pokusnih letova [43].



Slika 2.1. Proces određivanja minimalnih zadaća održavanja zrakoplova [43]

Slijedi objašnjenje procesa prikazanih na slici 2.1. [43].

*Industry Steering Committee (*ISC*)* je radno tijelo kojem predsjedava predstavnik proizvođača zrakoplova, a koje je sastavljeno od predstavnika zračnih prijevoznika, predstavnika proizvođača zrakoplova i motora, a koje ima zadaću analizirati sustave zrakoplova i njihovu pouzdanost u radu. Analiza rada sustava zasniva se na radu sustava tijekom testiranja i na osnovi prijašnjih iskustava. Preporuka minimalnih zahtjeva održavanja za novi zrakoplov koje preporučuje ISC, propisuju se u dokumentu *Maintenance Review Board Report (*MRBR*)*. ISC propisuje sve zadaće koje su posebno označene kao *Maintenance Significant Items (*MSI*)* i *Structural Significant Items (*SSI*),* a koje se ne smiju odgađati bez posebnog ovlaštenja od strane proizvođača zrakoplova i agencije za zračni promet u kojoj je registriran zrakoplov. Nakon uvođenja novog tipa zrakoplova u operativno letenje, prati se pouzdanost sustava flote. Na temelju tih podataka predlažu se poboljšani intervali postojećih pregleda, prijedlog ukidanja nepotrebnih zadaća pregleda koje nisu zadovoljile zahtjeve ili prijedlog novih zadaća pregleda koje su na osnovi iskustva u operativnom letenju nužne za povećanje sigurnosti zrakoplova.

*Structural Significant Items (*SSI*)* su zadaće za pregled dijelova strukture zrakoplova koji svojim kvarom mogu uzrokovati značajne posljedice na nosivost strukture i sigurnost zrakoplova.

*Maintenance Significant Items (*MSI*)* su zadaće za pregled sustava čija greška može utjecati na sigurnost zrakoplova u letu i na zemlji. Skrivene greške u sustavima, koje se ne primjećuju tijekom korištenja zrakoplova, mogu uzrokovati značajne troškove leta ili popravka zrakoplova na zemlji.

*Certification Maintenance Requirement (*CMR*)* su zadaće održavanja zrakoplova kojima se detektiraju skrivene greške na zrakoplovu čiji učinak može imati posljedice na rad jednog ili više sustava zrakoplova. Istovremeno, u kombinaciji s drugim greškama, mogu ugroziti sigurnost zrakoplova. Zadaće se određuju na osnovi izračuna pouzdanosti tijekom projektiranja i ispitivanja pojedinih dijelova zrakoplova i sustava.

*Maintenance Steering Group (*MSG*)* je tijelo osnovano 1968. godine s ciljem propisivanja načina izrade početnog ili inicijalnog programa održavanja novih zrakoplova. MSG je tijelo koje čine predstavnici udruženja zračnih prijevoznika (*Air Transport Association,* ATA*)*, predstavnici proizvođača zrakoplova i opreme, predstavnici dobavljača dijelova i materijala kao i predstavnici zrakoplovnih vlasti koji predlažu obvezne zadaće osnovnog programa održavanja novih zrakoplova. Propis kojim se određuje način izrade početnog ili inicijalnog programa održavanja novih zrakoplova naziva se MSG-1, MSG-2 i MSG-3 [44].

MSG-1 je propis prema kojem je napravljen početni program održavanja za novi zrakoplov Boeing-747. Osnova planiranja zadaća za održavanje ovog zrakoplova zasniva se na intervalima *(hard-time* HT*)* na kojima se zrakoplov periodično rastavlja, pregledava i popravlja. Pregledava se stanje pojedinih dijelova zrakoplova *(on-condition, OC).* Na osnovi pregleda donosi se odluka o zamjeni dijelovaukoliko nisu u zahtijevanom standardu ili se zadržavaju ukoliko zadovoljavaju zahtijevani standard propisan priručnikom za održavanje zrakoplova.

MSG-2 propis je poboljšana verzija propisa MSG-1, koji je stupio na snagu 1970. godine za sve novoproizvedene zrakoplove. MSG-2 uvodi novinu *(condition-monitoring,* CM*)* prema kojoj se za pojedine dijelove prati trend stanja i na osnovi trenda određuje ispravnost dijela koji može ostati na zrakoplovu ili ga treba mijenjati što ovisi o dozvoljenim odstupanjima propisanim priručnikom za održavanje zrakoplova.

MSG-3 propis stupio je na snagu 1980. godine za novoproizvedene zrakoplove. Polazne pretpostavke za izradu ovog propisa su sigurnost i ekonomičnost. Sustav održavanja zrakoplova prema propisu MSG-3 konceptualno se razlikuje od MSG-2 propisa po tome što je MSG-2 orijentiran na proces (*process oriented*) od dolje prema gore *(bottom-up approach)* prema slijedu „dio-komponenta-sustav-zrakoplov“ (*unit-component-system-airline*), a MSG-3 propis je orijentiran na zadaće održavanja *(task oriented*) od vrha prema dolje (*top-down oriented*) prema slijedu „zrakoplov-sustav-komponenta-dio“ (*airline-system-component-unit*). MSG-3 propis održavanja zrakoplova postavljen je prema hijerarhijskoj strukturi zadaća održavanja s konceptom održavanja ustrojenim od jednostavne zadaće održavanja do složenih zadaća. Primjer je inspekcija strukture u kojoj su hijerarhijski rangirane zadaće od najniže složene zadaće zonalne inspekcije prema zadaći generalne inspekcije, detaljne inspekcije i na kraju inspekcije metodom bez razaranja. Izvršenje više rangirane

zadaće, kao što je pregled strukture metodom bez razaranja, znači da su izvršene zadaće nižeg ranga, kao što su detaljna inspekcija i ostale. Ovakvim rangiranjem zadaća zadovoljava se uvjet ekonomičnosti održavanja i zahtjev sigurnosti.

*Maintenance Review Board (*MRB*)* je radno tijelo kojem predsjedava predstavnik zrakoplovnih vlasti, a koje na osnovu prijedloga minimalnih zahtjeva održavanja zrakoplova koje predlaže ISC može propisati minimalne zadaće održavanja kroz *MRB Report*. MRB propisuje praćenje tehničke pouzdanosti tipa zrakoplova od proizvodnje i operativnog letenja do kraja životnog vijeka zrakoplova. Predlaže izmjene za postojeću verziju minimalnih zadaća programa održavanja zrakoplova koje se moraju provoditi da bi zrakoplov bio plovidben na osnovi procesa definiranih po MSG-3 programu koji temelji postupke održavanja zrakoplova na bazi pouzdanosti. MRB tijelom upravljaju predstavnici zrakoplovnih vlasti, a članovi su predstavnici zračnih prijevoznika, proizvođača zrakoplova, opreme i motora. Prema zahtjevu MSG-3 određuju se programi održavanja sustava i motora, strukture zrakoplova i pojedinih dijelova ili zona zrakoplova . Početak rada je u fazi konstrukcije tipa zrakoplova pa do kraja životnog vijeka tipa zrakoplova. MRB svoje izvješće daje pod nazivom *MRB Report* koji je osnova zračnom prijevozniku za izradu programa održavanja zrakoplova[43,44].

*Flight Hour (*FH*)* ili sat leta uzima se kao mjerilo u održavanju zrakoplova, a predstavlja vrijeme izraženo u satima između polijetanja zrakoplova (kad su se kotači odvojili od zemlje) do slijetanja (kad su kotači ponovo dodirnuli zemlju).

*Flight Cycle (*FC*)* ili jedan ciklus zrakoplova obuhvaća polijetanje i slijetanje zrakoplova bez obzira na vremensko trajanje leta.

2.3. Zahtjevi pouzdanosti

Prema definiciji pouzdanost je vjerojatnost da će sustav raditi na predviđeni način u određenom vremenu i u predviđenim radnim uvjetima, uz minimalne prekide uzrokovane greškama u dizajnu ili radu.

Pouzdanost mora biti primarni zahtjev projektiranja novog zrakoplova. Pouzdanost se može izraziti u matematičkom obliku [61]. To je vjerojatnost *R(t)* da će vrijeme rada bez otkaza T biti veće od određenog vremena t:

$$R(t) = P(T \rangle\ t). \tag{1}$$

Pouzdanost se može i statistički procijeniti. Ako je na početku eksploatacije (*t=0*) *n* elemenata, i ako je do vremena *t* otkazalo *N(t)* elemenata ili ako je *n(t)* ukupan broj ispravnih elemenata do trenutka *t*, onda je funkcija pouzdanosti jednaka:

$$R(t) = \frac{n - N(t)}{n} = 1 - \frac{N(t)}{n} = \frac{n(t)}{n} \tag{2}$$

U praktičnoj uporabi pouzdanost se najviše iskazuje preko intenziteta otkaza $\lambda(t)$. To je uvjetna gustoća vjerojatnosti da će element koji nije otkazao do vremena *t*, otkazati u narednom periodu. Matematički se definira kao:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}, \tag{3}$$

gdje je:

- *f(t)* – funkcija vjerojatnosti gustoće otkaza.

Intenzitet otkaza može se i statistički odrediti u eksploataciji prema izrazu:

$$\lambda(t) = \frac{N(\Delta t)}{n(t) \cdot \Delta t}, \tag{4}$$

gdje je:

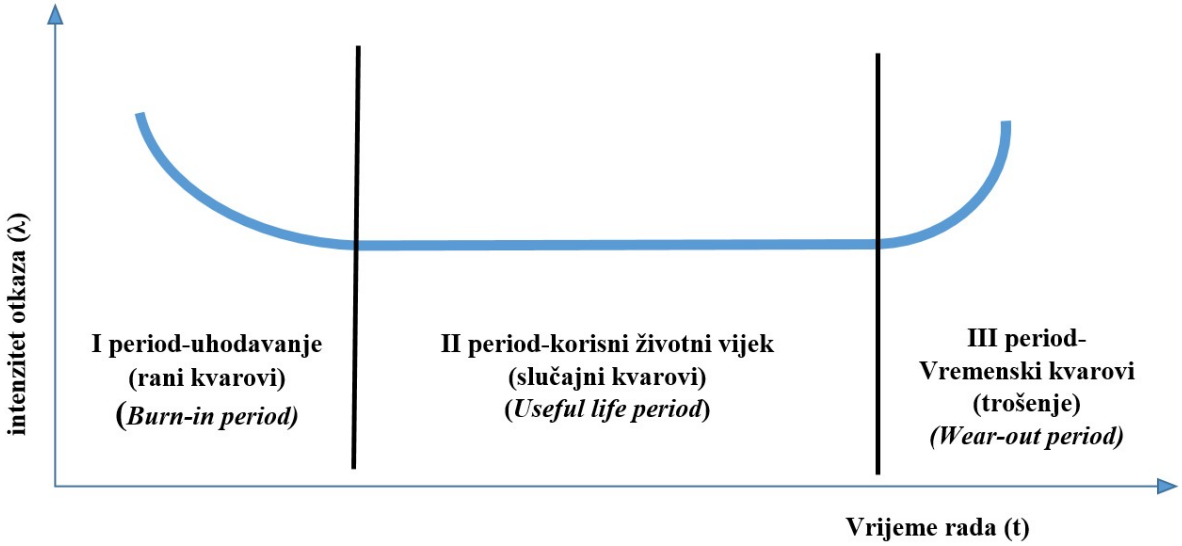
$N(\Delta t)$ – broj otkaza u Δt vremenskom razdoblju.

Prema prethodnom izrazu, jedinica za mjerenje intenziteta otkaza je [s^{-1}]. To je broj otkaza u odnosu na broj ispravnih elemenata u jedinici vremena. U zrakoplovstvu se prema *CS-25-book 2-2-F56* pouzdanost rada sustava računa kao broj otkaza po satu letenja [43,45,63].

Projektirana ili ugrađena pouzdanost dijela ili sustava je zahtjev koji mora biti zadovoljen s pouzdanošću u radu u dijelu krivulje koja definira vrijeme korisnog rada.

Na slici 2.2. prikazana je idealna krivulja, krivulja kade *(*engl. *bathtub curve)* koja prikazuje intenzitet otkaza dijela ili sustava tijekom uporabnog vijeka. U početnom vremenu korištenja ili uhodavanja (engl. *Burn-in period*) javljaju se nepredviđeni kvarovi zbog grešaka u proizvodnji, grešaka u kontroli kvalitete proizvoda, korištenju lošeg matreijala, ljudskih grešaka u održavanju i grešaka u rukovanju

s materijalima. Nakon perioda uhodavanja je period slučajnih kvarova (engl. *Useful life period*) ili period korisnog životnog vijeka. U ovom periodu se pojavljuju slučajni kvarovi koji su konstnatni i nastaju zbog naprezanja većih od projektiranih, neprimjetnih nedostaka, zloraba ili zbog ljudske greške u održavanju. Treći period je period vremenskih kvarova (engl. *Wear-out period*). U trećem periodu kvarovi nastaju zbog grešaka koje su opisane u periodu slučajnih kvarova i zbog grešaka koje nastaju zbog kratko projektiranog životnog vijeka, korozije, puzanja, trošenja uzrokovanog trenjem, grešaka koje nastaju zbog loše izvedene obnove i grešaka nastalih zbog lošeg održavanja.



Slika 2.2. Promjena intenziteta otkaza tijekom životnog vijeka [61]

Ako je intenzitet otkaza konstantan (uporabljivo vrijeme), tada je pouzdanost *R(t)* jednaka:

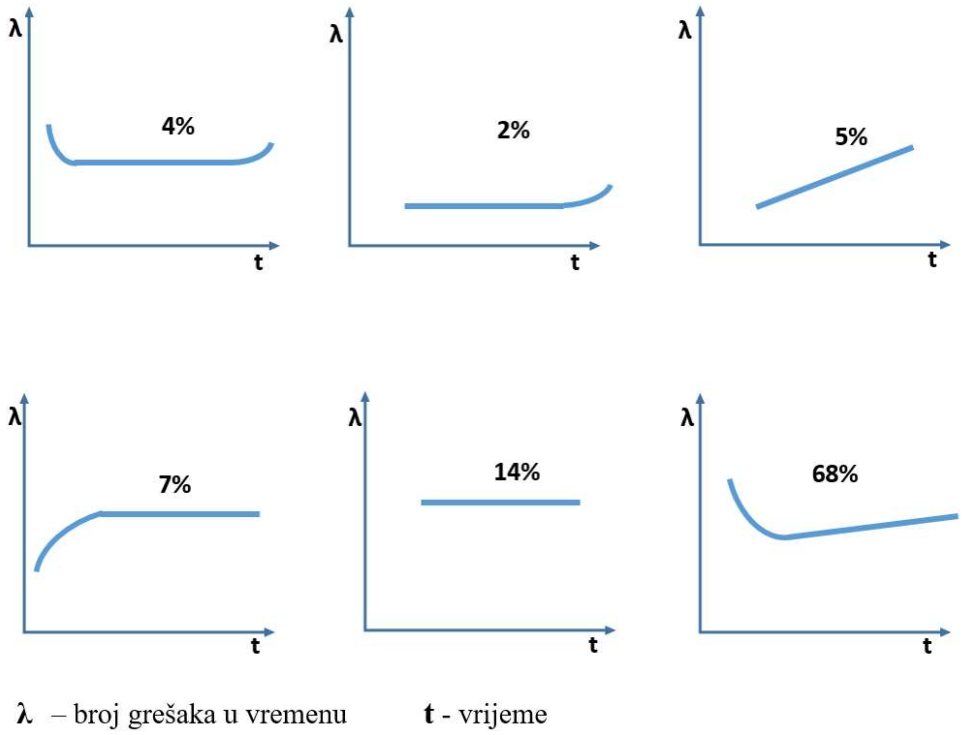
$$R(t) = e^{-\lambda t}, \tag{5}$$

Proizlazi da je vjerojatnost da se dogodi otkaz u trenutku *t* u tijeku jednog sata leta (Δt=1 h) pod uvjetom da se do tada nije dogodio otkaz jednaka:

$$P(t < T \leq t + \Delta t / T \geq t) = \frac{N(\Delta t)}{n(t)} = \lambda \cdot \Delta t \tag{6}$$

Prema studiji *Amborski. J., Calculation of alert levels for reliability* [46] otkaz dijelova zrakoplova za vrijeme eksploatacije nije jednak idealnoj krivulji prikazanoj na slici 2.1. Prema ovoj studiji, intenzitet kvarova prema pojedinim dijelovima i sustavima može se prikazati pomoću šest

funkcionalnih ovisnosti koje imaju proporcionalni udio u pouzdanosti otpreme zrakoplova prema krivuljama koje su prikazane na slici 2.3.

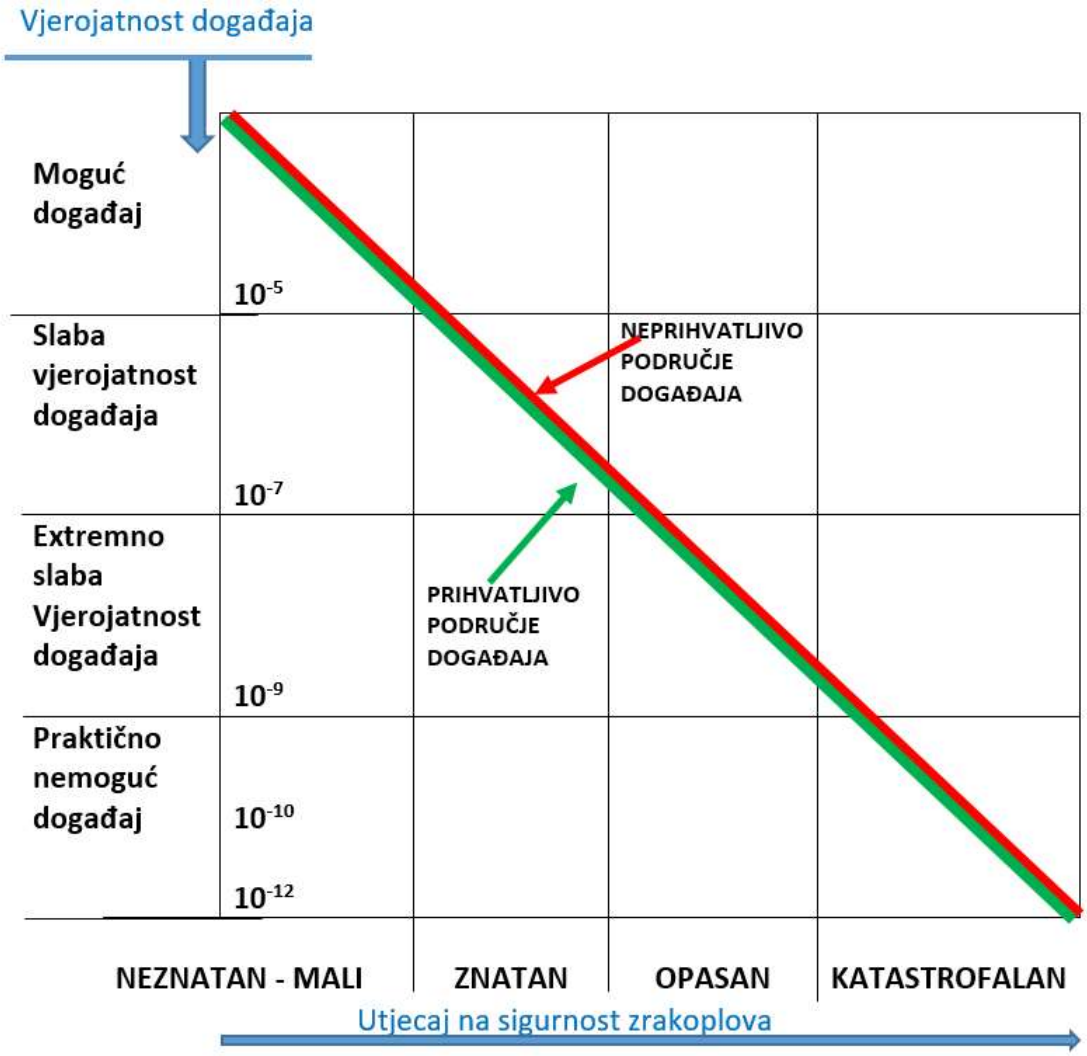


Slika 2.3. Promjena intenziteta otkaza za zrakoplovne elemente [46]

Pravilnik *Certification Specification and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplane* CS-25-2-F [43] definira zahtjeve projektirane pouzdanosti u radu zrakoplovnih dijelova i sustava. Polazne pretpostavke u dokumentu CS-25-2-F izračunate su prema statistici da se na svaki milijun sati leta dogodi jedna nesreća, a 10% svih zrakoplovnih nesreća nastaju zbog greške u zrakoplovnim sustavima. Stoga se projektirana pouzdanost sustava kod novih zrakoplova proračunava na jedan događaj na deset milijuna sati leta [43]. Prema analizama utvrđeno je da greška u radu ili otkaz jednog sustava može uzrokovati greške u radu drugih sustava. Prema simulacijama to znači dodatnih sto mogućnosti za greške s katastrofalnim posljedicama. Primjer predstavlja potpuni otkaz električnog sustava zrakoplova. Njegov otkaz ima izravan utjecaj na prestanak rada hidrauličkih pumpi u hidrauličkom sustavu, otkaz automatskog upravljanja zrakoplovom, gubitak sustava za komunikaciju i navigaciju te poremećaja u radu ostalih sustava na zrakoplovu. Sustavi koji imaju izravan utjecaj na rad drugih sustava, moraju prema CS-25 imati projektiranu pouzdanost u radu s vjerojatnošću otkaza sustava ne manju od jednog otkaza sustava na milijardu sati leta.

U pravilniku CS-25 u dijelu B*ook-2-F* propisana je dozvoljena vjerojatnost otkaza kompletnog sustava ili pojedinog dijela u sustavu koji smanjuje radnu sposobnost sustava u kome se nalazi u

odnosu prema utjecaju na sigurnost. Na slici 2.4. prikazana je detaljnija slika koja se nalazi u CS-25 u dijelu *Book-2-F*. Na slici je na vertikalnoj osi prikazana vjerojatnost otkaza dijela ili sustava, a na vodoravnoj osi utjecaj otkaza na sigurnost.



Slika 2.4. Prikaz preporučene vjerojatnosti otkaza sustava u odnosu na utjecaj na sigurnost zrakoplova [43]

Prema propisu CS-25 napravljena je podjela grešaka sustava i dijelova prema utjecaju na sigurnost zrakoplova i na osnovi utjecaja na sigurnost pripadajućeg zahtjeva za projektiranu pouzdanost u radu. Izvršena je sljedeća podjela grešaka:

- **Neznatan utjecaj na sigurnost** čine greške koje nemaju utjecaja na sigurnost leta ili na povećanje rada posade zrakoplova. Vjerojatnost pojave ovih grešaka za vrijeme korisnog rada veća je od 1:1000 sati leta.

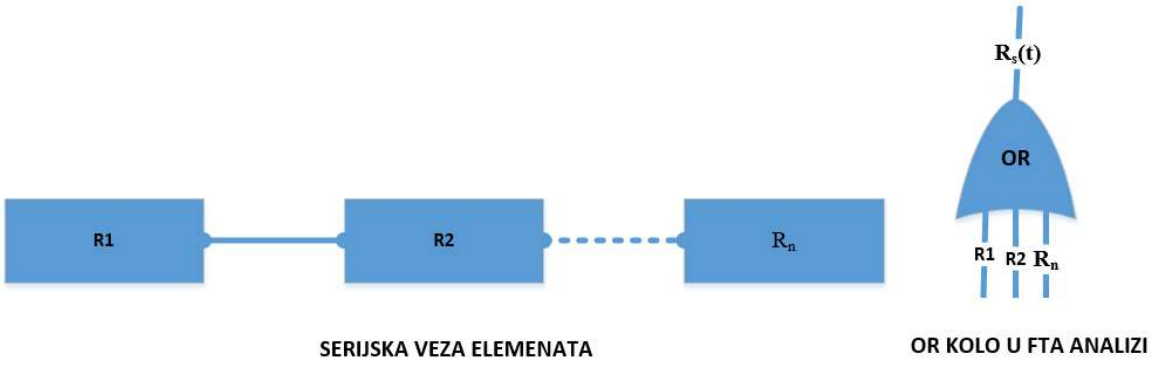
- **Mala** greške ne utječu na sigurnost, ali povećavaju radnu opterećenost članova posade u njihovim dozvoljenim okvirima ili umanjuju komfor putnicima. Vjerojatnost pojave ovih grešaka za vrijeme korisnog rada veća je od 1:100 000 sati leta.
- **Znatne** greške opterećuju posade zrakoplova iznad dozvoljenih mogućnosti ili dolazi do uvjeta letenja koji mogu ugroziti sigurnost putnika ili posade zrakoplova. Vjerojatnost pojave ovih grešaka za vrijeme korisnog rada veća je od 1:10 000 000 sati leta.
- **Opasne** greške smanjuju letnu sposobnost zrakoplova ili sustava zrakoplova ispod minimuma dozvoljenog za letenje. Za posljedice imaju preopterećenje posade zrakoplova u toj mjeri da ne mogu u potpunosti izvršavati svoje zadaće ili dovode do oštećenje zrakoplova ili povreda manjeg broja ljudi. Vjerojatnost pojave ovih grešaka za vrijeme korisnog rada veća je od 1:1000 000 000 sati leta.
- **Katastrofalan utjecaj na sigurnost** čine greške koje za posljedicu imaju gubitak zrakoplova sa smrtnim posljedicama. Vjerojatnost pojave ovih grešaka za vrijeme korisnog rada manja je od 1:1000 000 000 sati leta.

2.3.1. Pouzdanost sustava

Zrakoplovni sustavi predstavljaju skupove dijelova s njihovim karakteristikama međusobno povezanih u cjelinu s ciljem izvođenja namjenski korisnog rada. Tijekom projektiranog vijeka rada sustava, može doći do grešaka u sustavu koje imaju utjecaj na sposobnosti rada sustava.

Za određivanje pouzdanosti sustava koristi se analiza međusobne povezanosti elemenata u sustavu koja se prikazuje metodom *stabla odlučivanja* (engl. *fault tree analysis,* FTA). Metodu s*tabla odlučivanja* ili FTA analizu prvi je primijenio Watson iz laboratorija Bell 1962. godine za procjenu lansiranja interkontinentalnih projektila [47]. Danas se ova metoda koristi za analizu i određivanje pouzdanosti složenih sustava koji imaju međusobno povezane elemente i koji utječu na pouzdanost rada sustava. U zrakoplovnim sustavima elementi mogu biti mehanički, električni, elektronski i programi za zrakoplovne sustave (engl. *hardware and software)*.

Na slici 2.5. prikazan je međusobni odnos elemenata koji ostvaruju serijsku veza. U FTA analizi za prikazivanje serijske veze elemenata koristi se OR kolo. U serijskoj vezi elemenata pouzdanost u radu opada s brojem elemenata. Greška bilo kojeg elementa dovodi do prestanka rada sustava jer se prekida veza između ulaza i izlaza. U električnom sustavu zrakoplova električni generator (generator) i njegova kontrolna kutija su u serijskoj vezi. Greška električnog generatora ili njegove kontrolne kutije dovodi do prestanka rada električnog generatora.



Slika 2.5. Serijska veza elemenata u sustavu

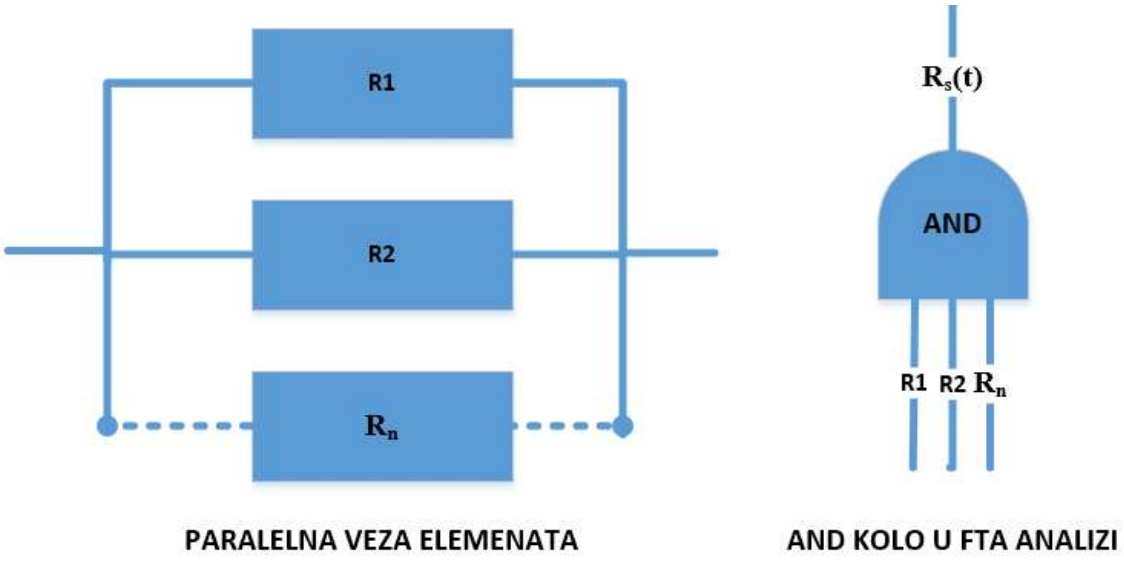
Pouzdanost sustava sa serijskim vezama $R_s(t)$ je:

$$R_s(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdots R_n(t) = \prod_{i=1}^{n} R_i(t), \tag{7}$$

gdje je:

- $R_i(t)$ – pouzdanost pojedinog elementa u serijskoj vezi.

Na slici 2.6. prikazan je međusobni odnos elemenata koji ostvaruju paralelnu vezu elemenata. U FTA analizi za prikazivanje paralelne veze elemenata koristi se AND kolo. Paralelni sustav omogućava veću pouzdanost u radu sustava kojem pripadaju. U slučaju otkaza jednog paralelnog elementa, postoji veza između ulaza i izlaza s umanjenom sposobnošću rada sustava za element na kojem je greška. Električni sustav zrakoplova s dva generatora projektiran je s dvije zasebne linije za električnu energiju. Kad je električni sustav ispravan, svaka linija se napaja iz svog generatora. U slučaju otkaza jednog generatora, drugi generator, koji je isparavan, može napajati kompletni električni sustav električnom energijom bez ograničenja rada sustava. Ovakav princip rada dvaju generatora u FTA analizi prikazuje se AND kolom, odnosno predstavlja paralelnu vezu elemenata u sustavu.



Slika 2.6. Paralelna veza elemenata u sustavu

Pouzdanost sustava s paralelnom vezom $R_s(t)$ jednaka je:

$$R_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^{n} \left(1 - R_i(t)\right), \tag{8}$$

gdje je:

$R_i(t)$ – pouzdanost i-te komponente u paralelnoj vezi.

Greška pojedinog elementa u sustavu može potpuno prekinuti rad zrakoplovnog sustava ili umanjiti sposobnost rada zrakoplovnog sustava. S umanjenom sposobnošću rada zrakoplovnog sustava moguće je letjeti ako je greška u području zanemariva u odnosu na utjecaj sigurnosti leta. Uvjeti kad zrakoplov može letjeti s greškom propisani su prema C*ertification Specificarions and Guidance Material for Master Minimum Equipement List,* CS-MMEL [48]. Prema CS-MMEL greške na zrakoplovnom sustavu utječu na mogućnost letenja zrakoplova na sljedeće načine:

- Greške umanjuju sposobnost rada sustava, ali je zrakoplov siguran za letenje (greška prema CS-25 je zanemariva za sigurnost). Uvjeti pod kojim zrakoplov može letjeti s greškom u sustavu određuje se priručnikom koji propisuje minimalnu ispravnost zrakoplova za let.
- Greške mogu biti takve da umanjuju sposobnost rada sustava i zrakoplov nije siguran za letenje. Zrakoplov ne može polijetati s takvom greškom, a u slučaju da se dogodi u letu, prema

proceduri, zrakoplov treba slijetati na najbližu zračnu luku (greška prema CS-25 pripada značajnim ili ima veći utjecaj na sigurnost)

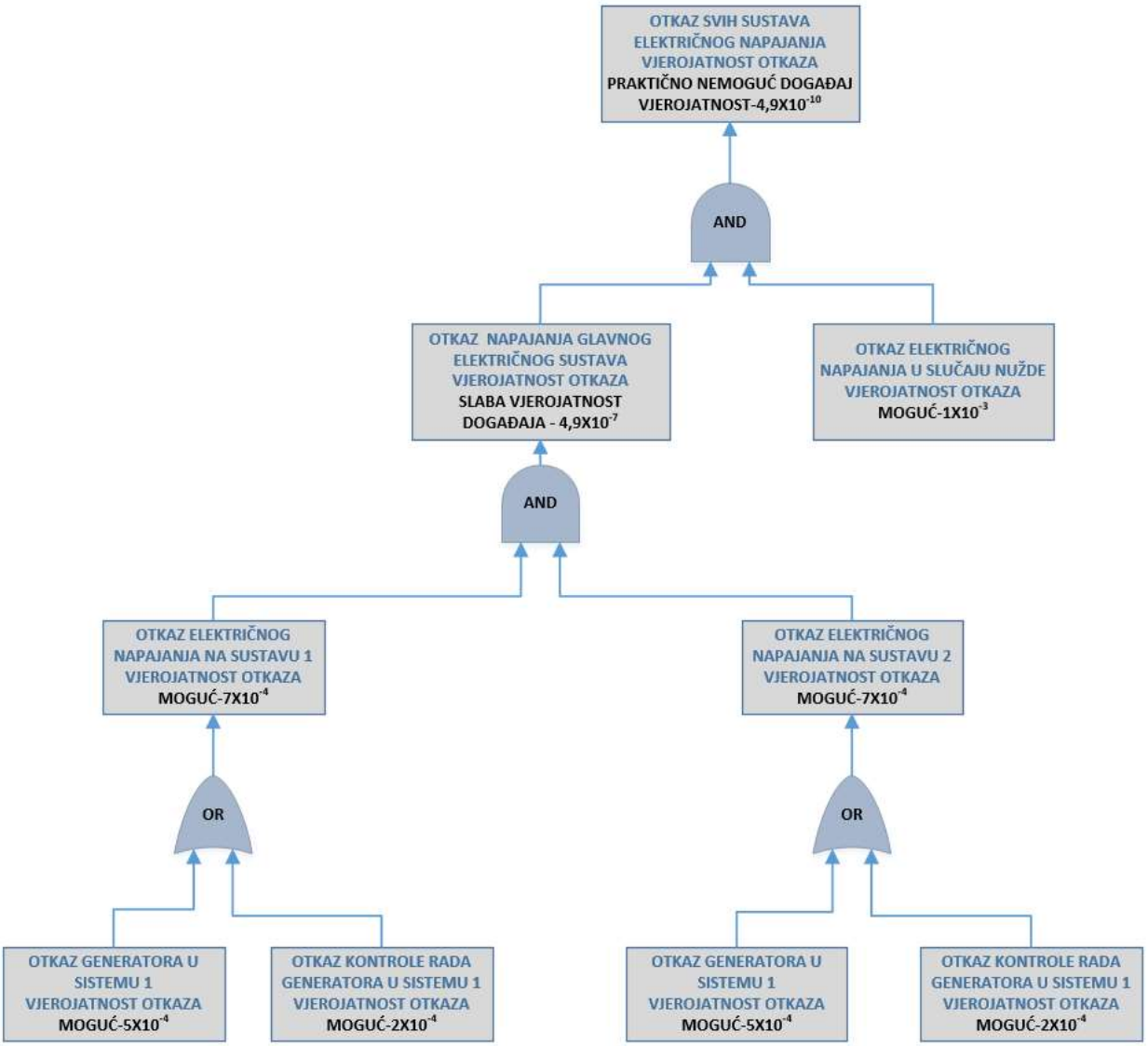
- Greške mogu biti takve da u potpunosti prekinu rad sustava i zrakoplov ne može polijetati s takvom greškom, a u slučaju da se dogodi u letu, prema proceduri, zrakoplov mora slijetati na najbližu zračnu luku (greške prema CS-25 pripadaju greškama koje mogu biti incidentne ili katastrofalne za sigurnost).

Za prikaz utjecaja projektirane pouzdanosti pojedinih elemenata i sustava kojima ti elementi pripadaju na slici 2.7. prikazana je FTA analiza pojednostavljenog električnog sustava zrakoplova [49]. Mjerna jedinica vjerojatnosti otkaza je sat leta zrakoplova. Pojednostavljeni električni sustav zrakoplova sastoji se od dva generatora koji se nalaze na motorima zrakoplova i jednog generatora u slučaju nužde koji se samostalno pogoni strujanjem zraka pri kretanju zrakoplova. Prikazan električni sustav s prikazanom vjerojatnošću kvara pojedinih elemenata u njemu generalno se može uzeti kao primjer rada električnog sustava na zrakoplovima s dva motora. U FTA analizi vidljivo je da dijelovi sustava imaju pojedinačno projektiranu pouzdanost s mogućnošću pojave greške do 10^{-5} (slika 2.7.). Za izračun će se koristiti prosječan nalet zrakoplova u promatranoj organizaciji što iznosi 2500 sati leta (2500 FH) i promatra se šest zrakoplova istog tipa. Ukupan godišnji nalet zrakoplova jednog tipa u promatranoj organizaciji je 15 000 FH.

Greška u radu električnog sustavu pri kome je potpuni prekid rada električnog sustava može se dogoditi s vjerojatnošću $4{,}9 \times 10^{-10}$. Vjerojatnost da bi se pojavila greška je izuzetno mala i greška bi se mogla dogoditi ukoliko bi se navedenim zrakoplovima letjelo više od 3 200 000 godina.

Greška u radu obaju generatora istovremeno u električnom sustavu zrakoplova može se dogoditi s vjerojatnošću $4{,}9 \times 10^{-7}$. Vjerojatnost da bi se ova greška pojavila, izuzetno je mala i greška bi se mogla dogoditi ukoliko bi se navedenim zrakoplovima letjelo više od 3200 godina.

Greška rada jednog generatora u električnom sustavu zrakoplova može se dogoditi s vjerojatnošću 7×10^{-4}. Na osnovi projektirane pouzdanosti rada u promatranoj kompaniji može se dogoditi jedan kvar generatora u dvije godine.

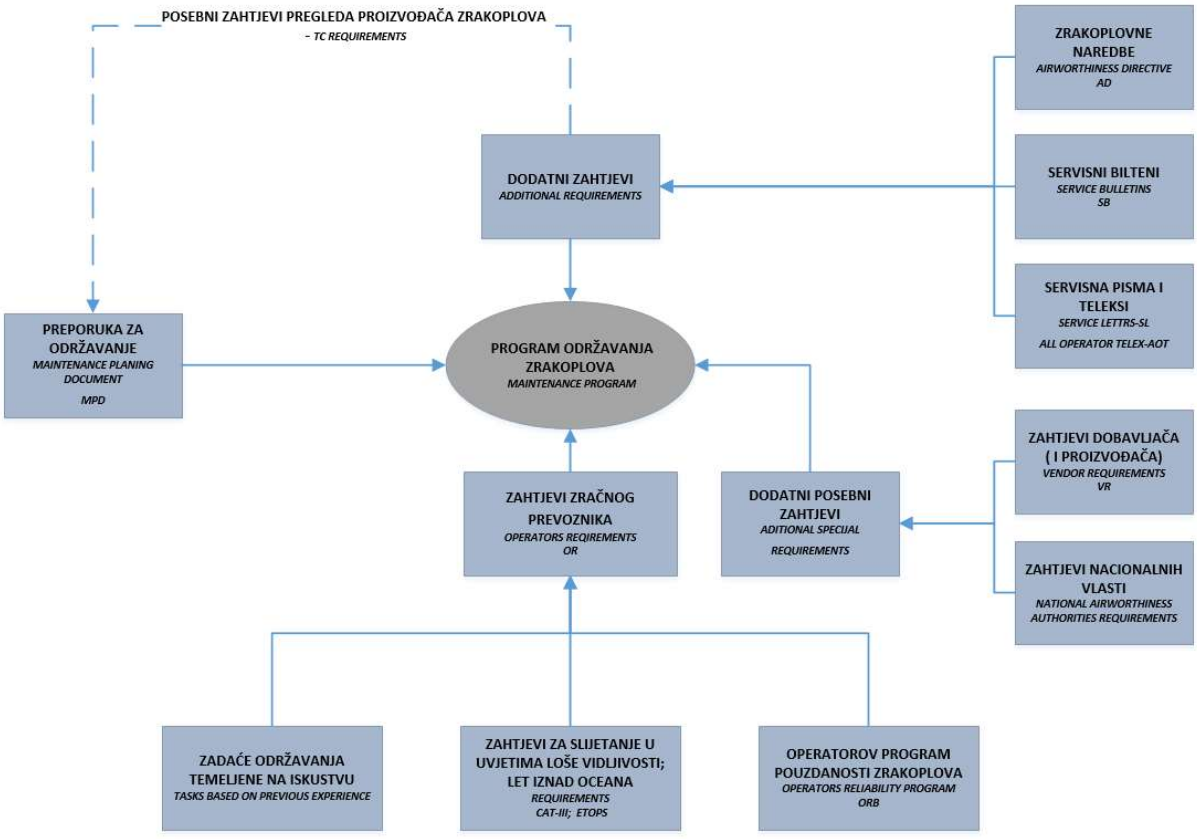


Slika 2.7. Primjer analize vjerojatnosti otkaza električnog sustava zrakoplova tipa A320 s FTA analizom [46]

Na vjerojatnost nastanka greške sustava, koja je određena projektiranjem i izradom dijelova sustava, promatrana organizacija ne može utjecati izmjenama i poboljšanjima u svojoj organizaciji rada. Pojava greške utječe na obim radova održavanja zrakoplova jer se zrakoplov mora izvanredno popravljati u slučaju greške. Ujedno, ako se greška dogodi tijekom letenja, zrakoplov se zbog izvanrednih radova održavanja mora zadržati neplanirano duže između dva planirana leta, što može dovesti do kašnjenja u polijetanju za planirani let.

2.4. Program održavanja zrakoplova

Zračni prijevoznik, prema zahtijevu regulative (PART-M), mora izraditi program održavanja zrakoplova. Program održavanja zrakoplova *(*eng. *Maintenance Program,* MP*)* obuhvaća zadaće koje se trebaju obaviti na zrakoplovu tijekom životnog vijeka zrakoplova kako bi zrakoplov udovoljio zahtjevima za sigurnu zračnu plovidbu. Zadaće održavanja zrakoplova primarno izvršava tehničko osoblje. Dio zadaća, kao što su pretpoletni pregledi i pregledi između dvaju letova i slične jednostavnije zadaće tijekom letenja, može izvršavati posada zrakoplova [6]. Program održavanja zrakoplova odobravaju nacionalne zrakoplovne vlasti zemlje u kojoj je zrakoplov registriran, na prijedlog zračnog prijevoznika. Program održavanja zrakoplova koji su registrirani u Republici Hrvatskoj odobrava Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo [6]. Odobreni program održavanja zrakoplova uvjet je zračnom prijevozniku za dobivanje dozvole za obavljanje djelatnosti civilnog zračnog prijevoza. Na slici 2.8. prikazane su preporuke i zahtjevi koje treba uvrstiti u izradu programa održavanja zrakoplova.



Slika 2.8. Elementi koje zračni prijevoznik koristi za izradu programa održavanja zrakoplova (operator approved maintenance program) [6,43,45,50]

Program održavanja zrakoplova prema slici 2.8. izrađuje se na osnovi sljedećih preporuka i zahtjeva za održavanje zrakoplova:

*Maintenance Planing Document (*MPD*)* je preporuka proizvođača zrakoplova koja sadrži minimalne obvezne zadaće održavanje zrakoplova koje zračni prijevoznik mora izvršavati za svaki serijski broj zrakoplova. Tijekom životnog vijeka zrakoplova prati se pouzdanost rada zrakoplova i na osnovi analize vrše se preinake na zrakoplovima s ciljem poboljšanja sigurnosti i pouzdanosti. Preinake se mogu odnositi na izmjene u tehnologiji letenja ili zahtjevom regulative za ugradnjom novih sustava u zrakoplove. Kroz MPD propisuju se nove zadaće za održavanje zrakoplova koje se odnose na preinake za svaki serijski broj zrakoplova.
Additional Requirement obavezne su ili preporučene preinake ili zahtjevi koje se propisuju tijekom životnog vijeka zrakoplova i mogu biti:

- *Airworthiness Directive* (AD) su zrakoplovne naredbe o plovidbenosti koje su obvezujuće i moraju se primijeniti u sustavu održavanja zrakoplova. AD mogu biti s intervalom primjene za jedan interval (jednokratne) ili s intervalima primjene u nekom intervalu vremena, sati leta zrakoplova ili ciklusa zrakoplova.
- *Service Bulletins* (SB) su servisni listići kojima se propisuje način i uvjeti primjene novine na zrakoplovu. Novine mogu biti tehničke preinake na zrakoplovu, sustavu, motoru ili opremi zrakoplova, a mogu biti i izmjene u tehničkim procedurama ili operativnim procedurama letenja. Preinake mogu utjecati na izmjene u sustavu održavanja zrakoplova što se mora prikazati kroz MPD. SB su kategorizirani po važnosti primjene od obveznih do informativnih.
- *Servis Letters i ALL Operators Telex* (SL & AOT) su servisna pisma koja mogu imati težinu i karakter AD i SB te mogu imati informativni karakter obavijesti o održavanju zrakoplova ili obavijesti za operativno ili komercijalno korištenje zrakoplova.

Additional Special Requirements (ASP) su dodatni posebni zahtjevi koji se odnose na posebne zahtjeve proizvođača opreme koja se proizvodi za pojedini zrakoplov, posebno i zahtjeve koje imaju nacionalne zrakoplovne agencije, a mogu biti:

- *Vendors Requirements* (VR) su zahtjevi proizvođača opreme i dijelova koji se primjenjuju za pojedinog zračnog prijevoznika, a ovise o posebnosti opreme ili uvjeta letenja.

- *National Airworthiness Athorities Requirements* su zahtjevi nacionalnih zrakoplovnih vlasti, odnosno Hrvatske agencije za civilno zrakoplovstvo u Republici Hrvatskoj. Zahtjevi nacionalnih zrakoplovnih vlasti mogu biti dio nacionalne regulative ili posebni zahtjevi za pojedinog zračnog prijevoznika.

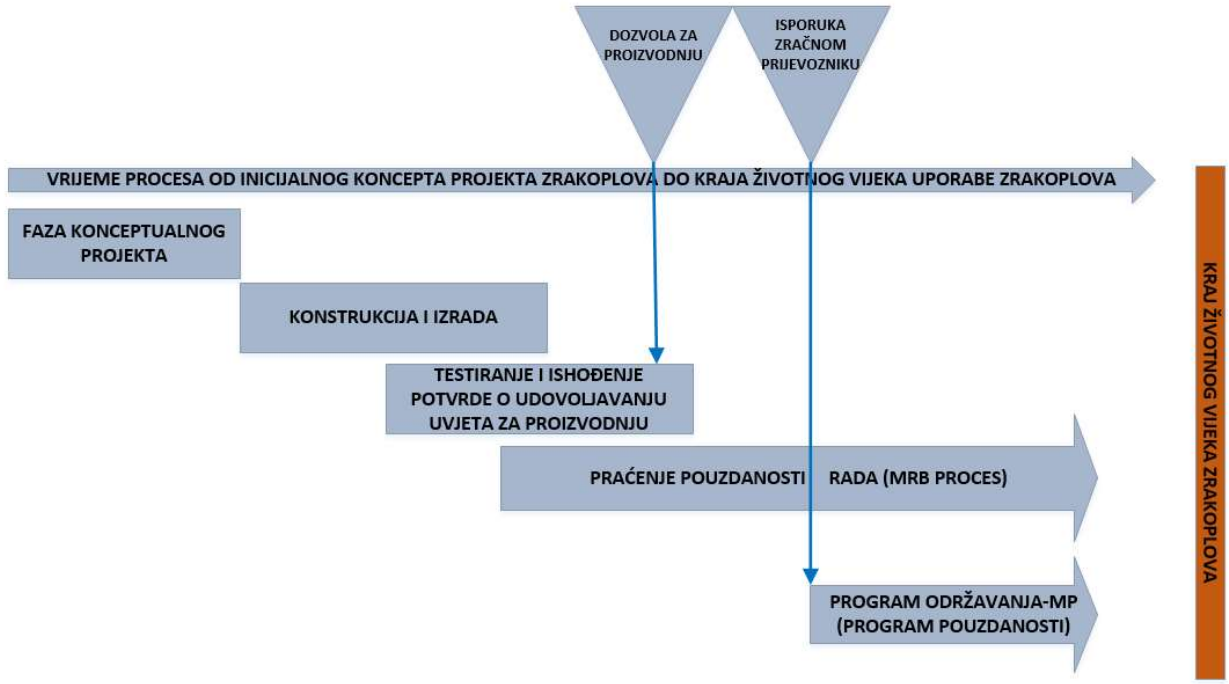
*Operators Requirements (*OR*)* su zahtjevi koje propisuje zračni prijevoznik. OR su zadaće održavanja zrakoplova koje zračni prijevoznik propisuje na osnovi prijašnjih iskustava u održavanju i sustavu letenja koji planira i odnose se na sljedeće:

- *Requirements CAT-III* su zahtjevi za prilaz u smanjenoj vidljivosti. Ako zračni prijevoznik koristi zrakoplov s prilazima CAT-III (prilaz poletno-sletnoj stazi prema ICAO-ANEX-14), mora uvrstiti zahtjev održavanja zrakoplova sukladno regulativi za održavanje sustava CAT-III, što povećava broj zadaća održavanja i smanjuje pojedine intervale zadaća u odnosu na letenje bez CAT-III.
- *Extended Range Operations with two-engined aeroplanes (ETOPS)* (*Engines Turn or Passengers Swim)* predstavlja zahtjev za održavanje zrakoplova koji omogućava zrakoplovu letenje preko velikih vodenih površina gdje je najbliža zračna luka udaljena više od 60 minuta leta u slučaju otkaza jednog motora. Prema regulativi PART-M povećava se broj zadaća održavanja zrakoplova i motora, smanjuju intervali zadaća u odnosu na letenje bez ETOPS, a inženjeri za plovidbenost i tehničari, koji neposredno rade na zrakoplovu moraju, biti posebno školovani za održavanje zrakoplova.
- *Task Based On Previous Experience* su zadaće održavanja koje zračni prijevoznik propisuje na osnovi prijašnjih iskustava. Iz prijašnjih iskustva zadaće su dobivene analizama grešaka u održavanju i mjerama koje su primjenjene radi sprječavanja istih.

2.5. Program pouzdanosti

*Operators Reliability Program (*ORB*)* ili program pouzdanosti zrakoplova dio je programa održavanja koji zrakoplovne vlasti odobravaju zračnom prijevozniku za pojedini tip zrakoplova. Program pouzdanosti obvezan je za zrakoplove čiji se program održavanja zasniva na *Maintenance Steering Group (*MSG-3*)*, ako se održavanje zrakoplova vrši prema programu praćenja stanja sustava ili dijelova, ako zrakoplov nema točno propisane intervale periodičnih radioničkih remonta za značajne sustave ili komponente i ako je to propisano programom koji propisuje proizvođač zrakoplova. U regulativi *Appendices to AMC to PART-M* detaljno su definirani zahtjevi regulative za

program pouzdanosti [6]. Program pouzdanosti koji ima zračni prijevoznik primjenjuje se odobrenjem programa održavanja zrakoplova kako je prikazano na slici 2.9. Program pouzdanosti koji zračni prijevoznik ima prema regulativi, zasniva se na prikupljanju podataka, analizi podataka, izradi korektivnih mjera i praćenju efikasnosti korektivnih mjera.



Slika 2.9. Tijek praćenja tehničke pouzdanosti rada zračnog prijevoznika

Prikupljanje podataka o statusu zrakoplova obuhvaća zapise o tehničkom statusu zrakoplova, zapise automatskih izvješća zrakoplova o stanju zrakoplovnih sustava ili ostvarenim satima letenja tijekom jednog leta te praćenje trendova rada motora i zrakoplovnih sustava.
Analiza prikupljenih podataka vrši se u odnosu na:

- dozvoljena odstupanja od planiranih vremenskih intervala radova
- odstupanja trenda rada pojedinih sustava od dozvoljenih granica propisanih priručnikom za održavanje zrakoplova koji propisuje proizvođač zrakoplova, motora i opreme zrakoplova
- količini i utjecaju pronađenih neispravnosti na sigurnost zrakoplova tijekom velikih pregleda
- broju radioničkih radova koji odstupaju od dozvoljenih granica propisanih priručnikom za održavanje
- odstupanja od planiranog broja zamjena dijelova

- broj izvanrednih kvarova tijekom letenja zrakoplova i
- broj ponavljanja istog događaja u zadanom vremenskom intervalu.

Prikupljeni podatci sistematiziraju se prema vrsti događaja i broju ponavljanja istih događaja. Sistematizacija mora omogućiti praćenje i prepoznavanje kritičnih trendova pojedinih događaja kao i praćenje i prepoznavanje utjecaja pojedinačnih događaja ili grupe događaja na sigurnost zrakoplova. Obveza je zračnog prijevoznika da za svaki kritičan trend ili događaj, koji može imati ili je imao utjecaj na sigurnost zrakoplova, istraži uzrok, napravi korekciju u programu održavanja i prati efikasnost primijenjene korekcije.

Zračni prijevoznik može napraviti izmjene u odobrenom priručniku za održavanje kao što su izmjena intervala održavanja pojedinih zadaća, uvođenje novih zadaća održavanja u program održavanja, dodatni zahtjevi za radioničko održavanje dijelova i motora ili ugradnja novih sustava na zrakoplov, koja izravno uvodi dodatne zadaće u program održavanja. Pojedine korektivne mjere mogu biti izmjene procedura za letenje, izmjene postupaka održavanja ili zahtjevi za školovanje djelatnika [6,43].

2.6. Pouzdanost otpreme kao mjera djelotvornosti sustava za održavanje zrakoplova

Zračni prijevoznik mjeri ključne indikatore svog sustava održavanja koji mu omogućuju praćenje djelotvornosti održavanja zrakoplova za ostvarenje planiranog letenja [45]. Svako kašnjenje ili nepotrebno zadržavanje zrakoplova na zemlji duže od planiranog, rezultira kašnjenjem zrakoplova u polijetanju i predstavlja izvanredni trošak za zračnog prijevoznika.

Prema statistici koju je dala *The International Air Transport Association* (IATA) prosječni svjetski nalet jednog zrakoplova A320 po danu iznosi 8,85 sati. Prosječno vrijeme trajanja jednog leta zrakoplova A320 iznosi 1,76 sati po jednom letu. Zrakoplov A320 u jednom kalendarskom danu ostvari prosječno pet polijetanja ili napravi pet preleta između dvije zračne luke [51].

Prosječni svjetski nalet jednog zrakoplova DHC-Q400 po danu iznosi 5,97 sati, odnosno toliko zrakoplov dnevno leti. Prosječno vrijeme trajanja jednog leta zrakoplova DHC-Q400 je 0,98 sati po jednom letu. Zrakoplov DHC-Q400 u jednom kalendarskom danu ostvari prosječno šest polijetanja ili napravi šest preleta između dvije zračne luke.

Planirano vrijeme jednog leta predstavlja zbroj sati letenja zrakoplova na jednoj liniji uvećan za dodatne aktivnosti koje su nužne za obavljanje leta. Planiran broj letova u danu ovisi o satu letenja zrakoplova koji je izravno uvjetovan udaljenosšću dviju zračnih luka i vremenu boravk zrakoplova

na zemlji prije polijetanja ili između dva leta. Prije polijetanja ili između dva uzastopna leta obavljaju se planirani radovi s točno izračunatom dužinom trajanja pojedinog događaja. Planirani radovi su: iskrcavanje putnika i istovar prtljage s prethodnog leta, čišćenje zrakoplova, dobava hrane i pića za sljedeći let, tehnički pregled zrakoplova između dva leta, servisiranje vode i toaleta zrakoplova, dopuna goriva, ukrcaj putnika i prtljage za sljedeći let i odleđivanje zrakoplova prije polijetanja. Zadržavanje zrakoplova na zemlji između dva leta, koje je veće od planiranog, unosi lančani poremećaj u planiranim aktivnostima između dva leta u sljedećoj zračnoj luci. Stoga dolazi do lančanog kumuliranja i povećanja zadržavanja zrakoplova na zemlji između letova i kašnjenja u sljedećim polijetanjima zrakoplova. Putnici koji su kasnili na jednoj liniji, kasne na sljedeći let kojim su planirali nastaviti letenje, a posljedično mogu izgubiti naredni let uslijed velikog kašnjenja. To zračnom prijevozniku umanjuje iskoristivost zrakoplova za operativno letenje i stvara trošak zbrinjavanja putnika zbog izgubljenog leta ili zbog kašnjenja zrakoplova.

Uzroci neplaniranog zadržavanja zrakoplova na zemlji mogu biti čimbenici na koje zračni prijevoznik ne može imati utjecaja pa im se mora prilagoditi. Da bi se svaki pojedini čimbenik mogao pratiti prema utjecaju na sigurnost i trošak i uz to bio usporediv s drugim zračnim prijevoznicima, IATA je standardizirala kodove pojedinih čimbenika koji utječu na točnost letenja u svom priručniku *The Airport Handling Manual (AHM)*, odnosno uzroke kašnjenja zrakoplova u polijetanju ili otkaz letenja. Definirano je dvanaest glavnih uzroka kašnjenja zrakoplova. Standard se koristi kako bi mjerenje bilo usporedivo sa svjetskom flotom i s drugim zračnim prijevoznicima, pa je svako kašnjenje veće od 15 minuta ili otkaz leta definiran pojedinim kodom.

Kod kojim se definiraju tehničke neispravnosti zrakoplova za let je kod 41 *(TD) aircraft defects* ili tehnička neispravnost zrakoplova. Mjerilo za izračun broja neplaniranih kašnjenja zrakoplova na let ili otkaza leta naziva se *Dispatch Reliability Rate* ili izračun pouzdanosti otpreme zrakoplova. Računa se mjesečno i godišnje, a mora se prema regulativi dostavljati nacionalnoj zrakoplovnoj vlasti i proizvođaču za tip zrakoplova. Mjesečni interval je kratkoročno praćenje trendova pouzdanosti otpreme zrakoplova što omogućava pravovremena poboljšanja održavanja zrakoplova prije nastanka trenda kvarova koji bi ugrozili sigurnost zrakoplova ili imali za posljedicu materijalni trošak. Interval od jedne godine najbolji je pokazatelj kvalitete i pouzdanosti sustava održavanja zrakoplova jer razdoblje od jedne godine pokriva sve uvjete letenja od sezonalnosti korištenja zrakoplova tijekom godine do različitih uvjeta letenja. Jednogodišnji interval daje mogućnost analize i preventivne intervencije u sustav kako bi se povećala sigurnost zrakoplova i smanjli troškovi održavanja za dugoročni period od sljedeće godine.

Deparature (dispatch) Reliability ***DR*** je pouzdanost otpreme zrakoplova koja se naziva i tehnička pouzdanost otpreme zrakoplova. To je zbroj tehničkih kašnjenja većih od 15 minuta i otkaza leta zbog

tehničkog kvara jednog tipa zrakoplova u odnosu na broj planiranih polijetanja zrakoplova za jednu kompaniju u promatranom periodu, a uobičajen je period od jednog mjeseca ili jedne godine.

Pouzdanost otpreme zrakoplova u % se računa prema:

$$\boldsymbol{DR} = 100\% \left(1 - \frac{\boldsymbol{N_d + N_c}}{\boldsymbol{N_p}}\right) \quad (9)$$

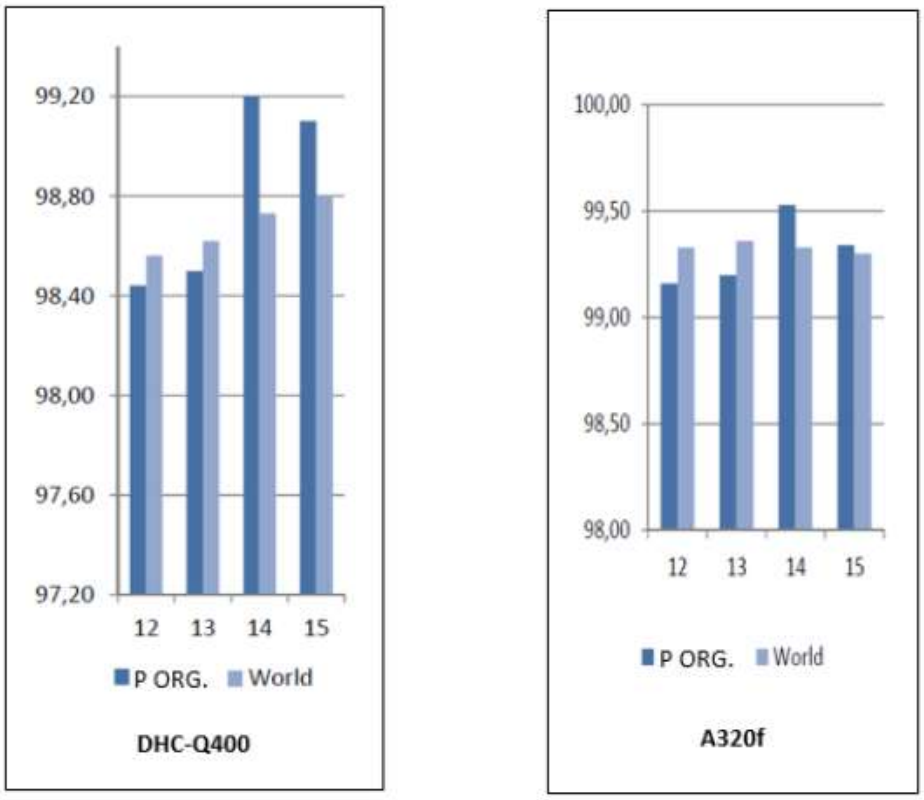
gdje je:

- N_d je kašnjenje zrakoplova na let duže od 15 minuta od planiranog vremena polijetanja, a koje je nastalo zbog tehničkog kvara u periodu od jednog mjeseca ili jedne godine ovisno na koji period se izračunava pouzdanost u otpremi zrakoplova.
- N_c su svi planirani letovi koji su otkazani zbog tehničkog kvara u promatranom periodu od jednog mjeseca ili jedne godine ovisno na koji se izračunava pouzdanost u otpremi zrakoplova.
- N_p je planirani broj polijetanja jednog tipa zrakoplova za jednu kompaniju u promatranom periodu od jednog mjeseca ili jedne godine ovisno o promatranom periodu na koji se izračunava pouzdanost u otpremi zrakoplova.

Proizvođač zrakoplova koristi istu formulu s podatcima na način da :

- u brojniku za N_d i N_c koristi broj tehničkih kašnjenja ili otkaza letova uslijed tehničkog kvara svih zrakoplova u svijetu za određeni tip zrakoplova
- u nazivniku za N_p koristi broj svih planiranih polijetanja koje je imala svjetska flota za promatrani tip zrakoplova.

Na slici 2.10. prikazana je pouzdanost otpreme zrakoplova svjetske flote i promatrane organizacije za period promatranja od jedne godine za zrakoplove tipa DHC-Q400 i A320f.



Slika 2 10. Pouzdanost otpreme zrakoplova svjetske flote i promatranog zračnog prijevoznika od 2012. godine do 2015. godine

Na osnovi izračuna svjetske i svoje pouzdanosti u otpremi zrakoplova, zračni prijevoznik ima mogućnost kvalitativne usporedbe uspješnosti svog tehničkog sustava za održavanje zrakoplova. Cilj je imati pouzdanost otpreme zrakoplova na razini svjetskog prosjeka ili bolju. Poboljšanje pouzdanosti zračni prijevoznik može ostvariti u dijelu poboljšanja održavanja zrakoplova na koji ima izravan utjecaj.

2.7. Neplanirano održavanje zbog kvarova

Zbog nepredviđenih kvarova mora se vršiti neplanirano održavanje zrakoplova. U komercijalnom letenju kvarovi mogu, ovisno o vremenu potrebnom za popravak zrakoplova, prouzročiti kašnjenje leta duže od 15 minuta od predviđenog polijetanja ili otkaz leta. Greške mogu nastati zbog vjerojatnosti pojave greške uračunate u projektiranu pouzdanost zrakoplova i zbog grešaka u održavanju koje nastaju zbog utjecaja ljudskog faktora.

Kako je prethodno opisano u poglavlju 2.3. i prikazano na slici 2.7., greška rada generatora u električnom sustavu zrakoplova može se dogoditi s vjerojatnošću 7 x 10^{-4}. Na osnovi projektirane pouzdanosti u radu kod promatranog zračnog prijevoznika može se dogoditi jedan kvara generatora u dvije godine letenja. Zračni prijevoznik ne može utjecati na smanjenje broja takvog tipa grešaka zrakoplovnih sustava.

Na nenamjerne ljudske greške koje nastaju u održavanju zrakoplova zbog utjecaja ljudskog faktora zračni prijevoznik ima izravan utjecaj. Potrebno je otkriti pridonoseće čimbenike koji dovode do nastanka takvih grešaka i poduzeti korektivnu akciju u internoj okolini radi njihova otklanjanja.

Prema *IATA Safety Report 2014.,* za uzroke nesreća koje su se dogodile u razdoblju od 2010. godine do 2014. godine, udio tehničkih grešaka koje su doprinijele nesrećama je 9% za greške na konstrukciji zrakoplova i 14% je udio grešaka koje su doprinijele nesrećama, a odnose se na greške zbog utjecaja ljudskog faktora [7,53].

Udio grešaka koje su nastale zbog tehničke neispravnosti zrakoplova zajedno s raspoloživošću posada za let čine 41,8% udjela svih kašnjenja zrakoplova na let. To je značajan trošak za zračnog prijevoznika ako su tri najveće stavke ukupnog troška letenja zrakoplova, trošak goriva 33,4%, najam zrakoplova 11,3% i trošak održavanja zrakoplova 9,8%. Prema dostupnim analizama na jednu grešku koju uzrokuje sustav, po vjerojatnosti koja je proračunska u konstrukciji i izradi, mogu biti više od četiri greške koje nenamjerno napravi čovjek tijekom radova na zrakoplovu zbog utjecaja ljudskog faktora [52,53,54]. Greške zbog utjecaja ljudskog faktora predstavljaju prijetnju sigurnosti zrakoplova zbog kvarova koji nisu predvidljivi i ne mogu se kontrolirati. Mjerenjem pouzdanosti otpreme zrakoplova dobiva se uvid u trend tehničkih kašnjenja što je ujedno i pokazatelj kvalitete sustava održavanja zrakoplova.

Pouzdanost otpreme zrakoplova mjeri se za razdoblje od jednog mjeseca i razdoblje od godine dana. Mjesečna pouzdanost otpreme zrakoplova daje uvid u trend povećanja ili smanjenja broja tehničkih kašnjenja koji su nastali neplaniranim održavanjem zrakoplova zbog otklona grešaka. Ukoliko se pojavi trend povećanja grešaka, ili se pojave greške koje mogu ugroziti sigurnost zrakoplova, mogu se poduzeti pravovremene korektivne mjere za smanjivanje nastanka sličnih grešaka. U razdoblju od jedne godine zrakoplov planski ne leti zbog planiranih velikih pregleda održavanja, a plansko letenje se prilagođava sezoni letenja. To znači da intenzitet letenja pojedinog zrakoplova ovisi u kojem je dijelu godine sezona intenzivnog letenja, što je uvjetovano zemljopisnom širinom na kojoj se zrakoplov nalazi. Zračni prijevoznik svoju pouzdanost otpreme zrakoplova u razdoblju od godine dana može usporediti sa svjetskom pouzdanošću otpreme zrakoplova u razdoblju od godine dana jer je u tom razdoblju uključena sezona održavanja i sezona letenja za sve zračne prijevoznike. Uvidom u odstupanje svoje pouzdanosti otpreme zrakoplova u odnosu na svjetsku, dobiva podatak kakav

sustav održavanja zrakoplova ima. Ukoliko je sustav lošiji od svjetskog prosjeka, mora intervenirati u svoj sustav održavanja zrakoplova kako bi se povećala pouzdanost otpreme zrakoplova. Pouzdanost otpreme zrakoplova služi kao alat kontrole komercijalne zarade, kontrole tehničke sigurnosti i kvalitete održavanja zrakoplova za pojedini tip zrakoplova koji ima u svojoj floti [2, 6]. Stoga je prioritet zračnog prijevoznika da izmjenama unutar svoje organizacije rada preventivno djeluje s cilem poboljšanja održavanja zrakoplova.

Da bi zračni prijevoznik mogao intervenirati izmjenama u svojoj organizaciji, primarno je pronaći alat koji će omogućiti pronalaženje uzroka problema. Spoznajom čimbenika koji pridonose nastanku tehničkih grešaka, omogućava se izrada korektivnih mjera u organizaciji radi smanjenja broja grešaka koje nastaju zbog ljudskog faktora.

Cilj istraživanja prikazanog u ovom radu je pronaći takav alat koji će omogućiti pronalaženje uzroka problema i smanjiti broj grešaka zbog ljudskog faktora, što izravno smanjuje broj grešaka tijekom letenja zrakoplova. Rezultati poboljšanja tehničkog sustava održavanja mjerit će se smanjenjem broja izvanrednih grešaka tijekom operativnog letenja što će se vidjeti povećanjem pouzdanosti otpreme zrakoplova.

3. UTJECAJ LJUDSKOG FAKTORA NA ODRŽAVANJE ZRAKOPLOVA

Zadaće programa održavanja zrakoplova izvršavaju zaposlenici (tehničari) različitih zanimanja i razina naobrazbe. U skladu sa zadaćama koje se izvode, određuje se tehnologija rada, organizacija rada i uvjeti u kojima se zadaća izvodi. Na zaposlenike (tehničare), koji izvode zadaće, utječu različiti čimbenici u radu na koje zaposlenici prema svojoj osobnosti različito reagiraju. U ovom poglavlju opisuje se razvoj spoznaja o utjecaju čimbenika koji dovodi do nenamjerne ljudske greške tijekom izvođenja zadaća održavanja zrakoplova. Da bi se greške zbog utjecaja ljudskog faktora mogle otkloniti, potrebno je prepoznati pridonoseće čimbenike koji utječu na nastajanje grešaka. Stoga je potrebno sustavno analizirati i klasificirati greške po intenzitetu nastanka i djelovanja na sigurnost zrakoplova. Prikazani su modeli kojima se objašnjava uzročno-posljedična veza između greška u održavanju, koja nastaje nenamjernim greškama tehničkog osoblja, i posljedica koje su rezultat grešaka.

3.1. Povijest istraživanja ljudskog faktora u održavanju zrakoplova

Prva velika nesreća putničkog zrakoplova, čiji je uzrok bio propust u održavanju zrakoplova, je pad zrakoplova DC-10 McDonnell-Douglas za vrijeme polijetanja 1979. godine. Na zrakoplovu je došlo do odvajanja motora s krila što je završilo padom zrakoplova i smrću 271 osobe. Uzrok nesreće bila je skrivena greška koja se dogodila u održavanju zrakoplova tijekom ugradnje motora [55].

Skorašnja velika nesreća je pad zrakoplova Airbus A330-200 koji se dogodio 2009. godine sa smrtnim ishodom svih putnika i članova posade. Zrakoplov s 228 putnika letio je na liniji od Rio de Janeira do Pariza. Zbog zaleđivanja *pitot* cijevi, koja daje potrebne tlakove zraka za izračun brzine zrakoplova, došlo je do pogrešnog pokazivanja brzine zrakoplova. Zrakoplov je zbog toga doveden u konfiguraciju za gubitak uzgona na krilima te je pao u ocean. Istraživanje je utvrdilo grešku u konstrukciji *pitot* cijevi. Prema istraživanju, utvrđeno je da je bilo više sličnih incidenata na zrakoplovima sa istim tipom cijevi. U održavanju se nije obraćala pozornost na probleme zaleđivanja *pitot* cijevi sve do nesreće koja se dogodila, a koja je utjecala na izmjenu konstrukcije *pitot* cijevi [56].

Prve civilne žrtve letova u svemir dogodile su se 1986. godine kada je eksplodirao svemirski brod u kojem je bila profesorica koja je trebala održati predavanje iz svemira. Uzrok greške upućuje na tehnički kvar [57].

Zajedničku karakteristiku svih ovih događaja predstavlja greška koju je napravio čovjek s direktnim utjecajem na događaj. Čovjek je napravio sustavnu ili skrivenu grešku koja je bila prikrivena do trenutka kada je kao pridonoseći čimbenik doprinijela događaju [17, 55, 56, 57, 58].

Greške koje čovjek nenamjerno napravi tijekom rada nazivaju se greške zbog utjecaja ljudskog faktora. U početnoj fazi izučavanja ljudski faktor bio je tretiran kao grana ergonomije i isključivo kao dio medicinskog istraživanja. *International Air Transport Association (*IATA*)* u priručniku *Human Factor Guidlines for Aircraft Maintenance Manual-DOC9824* definira ljudski faktor kao proučavanje međusobnog odnosa između ljudi, strojeva, okoline i procesa proizvodnje, odnosno održavanja zrakoplova [17]. Time je dat poticaj tehničkom osoblju da izmjenama u procesu održavanja smanji mogućnost navedenih grešaka. Ljudske mogućnosti u radu su ograničene pa se proces i inženjerski pristup organizacije rada mora prilagoditi ljudskoj sposobnosti.

3.2. Razvoj istraživanja ljudskog faktora

Postoji više definicija za pojam ljudski faktor. Prema *The International Civil Aviation Organization* (ICAO) ljudski faktor u zrakoplovstvu može se definirati na dva načina [17,18]. ICAO prihvaća definiciju koju je dao profesor Elwyn Edwards:

„*Ljudski faktor razmatra optimiranje odnosa između ljudi i aktivnosti kojima se bave primjenjujući spoznaje iz svih znanstvenih disciplina koje izučavaju ljudske sposobnosti i čovjeka kao integriranog djela procesa proizvodnog inženjeringa*."

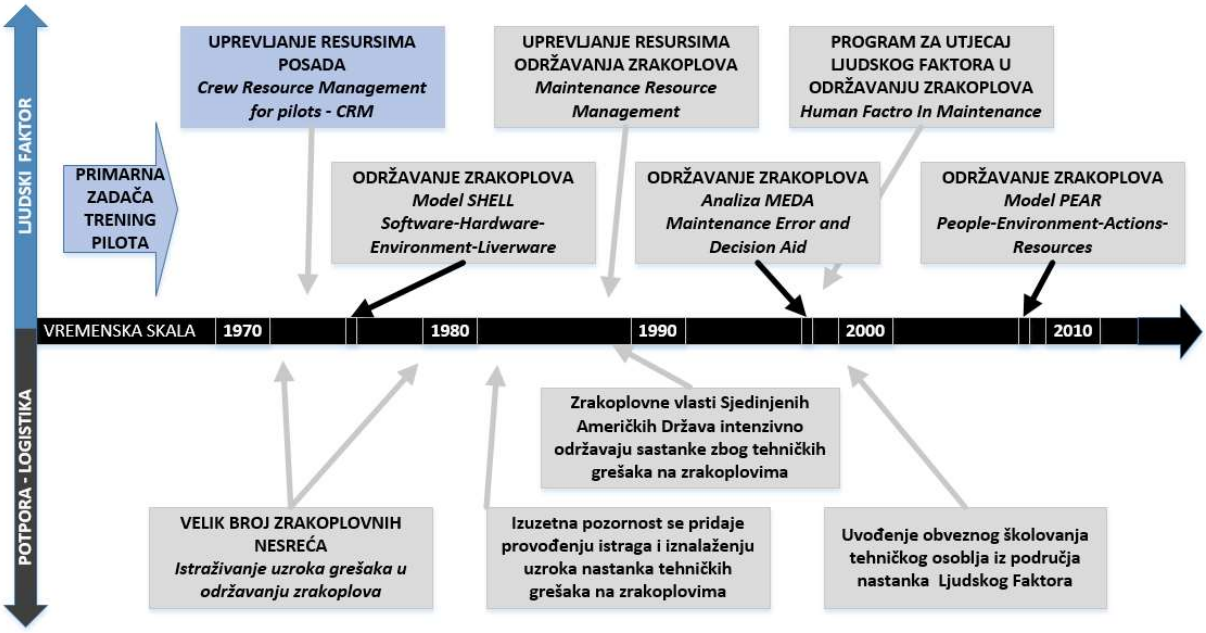
Drugu definiciju koju prihvaća ICAO dalo je *Izvršno tijelo za zdravstvo i sigurnost Velike Britanije* (*United Kingdom Health and Safety Executive*):

„*Ljudski faktor može se prikazati kao čimbenik okruženja, organizacije i rada i predstavlja individualnu karakteristiku koja utječe na ponašanje tijekom rada koje može imati utjecaj na zdravlje i na sigurnost*".

Zajedničko svojstvo svih definicija za grešku zbog utjecaja ljudskog faktora je nenamjerna greška pri kojoj radna zadaća nije izvršena u skladu sa zahtjevom. Takva greška može izazvati trenutne posljedice po ispravnost zrakoplova koje mogu biti vidljive odmah, ili ostati skrivene, može biti potencijalna opasnost za tehničku ispravnost zrakoplova.

U zračnom prijevozu prvi koraci u obveznom obrazovanju iz područja ljudskog faktora napravljeni su za posadu zrakoplova, a nakon toga, 1970. godine napravljeni su prvi koraci primjene u održavanju zrakoplova sustavom razvoja ljudskog faktora (engl. *Maintenance Resource Management* - MRM). Razvoj ljudskog faktora kao obvezne edukacije u zrakoplovstvu prikazan je na slici 3.1. [13].

Obvezno obrazovanje o utjecaju ljudskog faktora na sigurnost letenja prvo se primjenjuje u obrazovanju posada zrakoplova početkom sedamdesetih godina. U području održavanja zrakoplova osamdesetih godina prošlog stoljeća započinju intenzivne aktivnosti uvođenja obveznog predmeta o utjecaju ljudskog faktora na sigurnost letenja. Danas je regulativom propisano da je program iz područja ljudskog faktora obvezan predmet za dobivanje dozvole za održavanje zrakoplova.

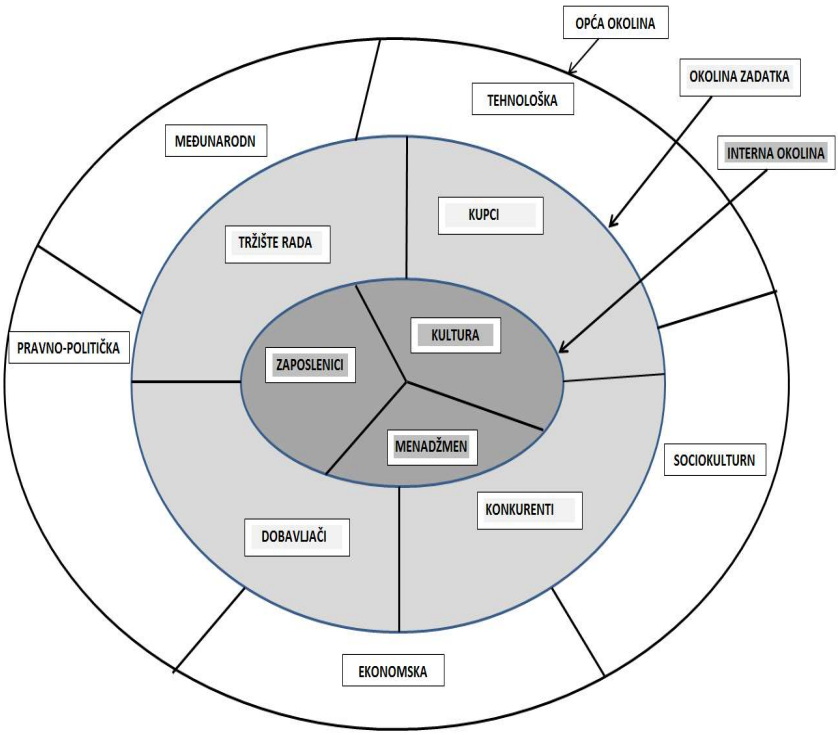


Slika 3.1. Ljudski faktor u zrakoplovstvu [13]

Organizacija je za bilo koju proizvodnu ili uslužnu djelatnost izložena utjecaju okoline s čimbenicima koji su u njenom vanjskom i unutarnjem okruženju. Na slici 3.2. prikazane su okoline koje utječu na organizaciju svih vrsta radova i vođenja organizacije. Definirani procesi u jednoj sredini ne daju nužno dobre rezultate u drugoj sredini. Razlog tome je utjecaj vanjskih čimbenika na internu okolinu u kojoj se odvija proizvodnja. Zbog toga je nužna prilagodba procesa održavanja zrakoplova, odnosno izmjena u internoj okolini kako bi se vanjski pridonoseći čimbenici za nastanak grešaka u radu mogli spriječiti.

Prikazan model na slici 3.2. dao je R.L.Draft [59]. Prema tom modelu, svaka organizacija nalazi se pod utjecajem sljedećih okolina:

- opća okolina koju čine čimbenici: tehnološki, sociokulturni, ekonomski, pravno-politički i međunarodni čimbenici
- okolina zadatka koju čine čimbenici: kupci (korisnici usluga), konkurenti, dobavljači i tržište rada
- interna okolina koju čine čimbenici: kultura, menadžment i zaposlenici.



Slika 3.2. Okoline organizacije rada [59]

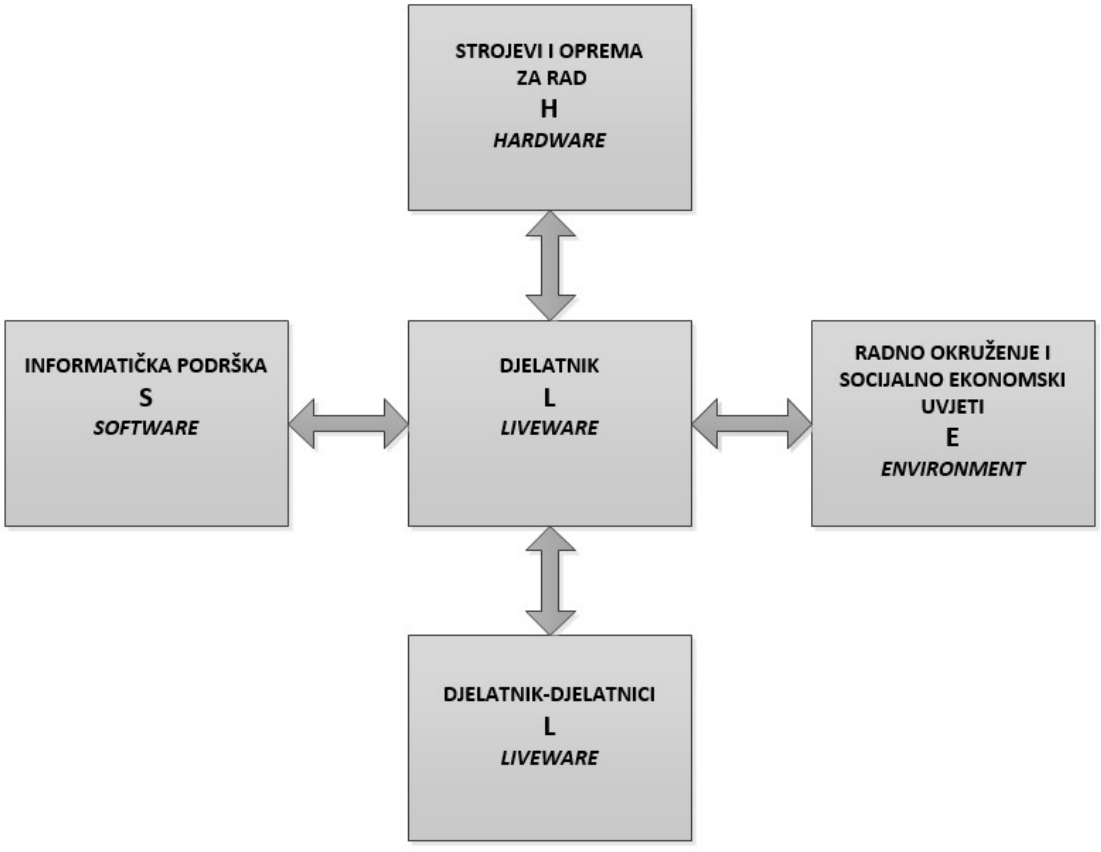
Organizacija za rad nema izravne mogućnosti izmjena u vanjskoj okolini ili okolini zadatka jer su to čimbenici zadani uvjetima regulative za rad i tržišnim zakonitostima. Izravna poboljšanja mogu se ostvariti izmjenama u procesu djelatnosti odnosno mogu se napraviti izmjenama u internoj okolini. Time se izravno mijenja odnos u procesu rada i uvjeta rada djelatnika kao karike u lancu proizvodne ili uslužne djelatnosti [34, 59].

3.3. Modeli za prikaz uzroka grešaka zbog utjecaja ljudskog faktora

Postoji više modela interne okoline koji se koriste za razumijevanje ljudskog faktora u organizaciji za održavanje zrakoplova. Modelima se pokušavaju sistematizirati svi čimbenici koji utječu na ljudski rad i na pojave grešaka koje nastaju zbog utjecaja ljudskog faktora.

3.3.1. Model SHELL

Model interne okoline, koji se primjenjuje na organizaciju za održavanje zrakoplova s čimbenicima koji određuju međusoban odnos čovjeka i okoline, prikazao je profesor Edwards 1972. godine [14]. Model prikazuje pojedine čimbenike koji se odnose na čovjeka i čimbenike koji određuju proces rada. Naziv modela *SHELL* određen je prema početnim slovima čimbenika koji pridonose nastanku nenamjerne ljudske greške u održavanju zrakoplova (*Software-Hardware-Environment-Liveware*). Svi čimbenici su međuovisni i imaju utjecaj jedan na drugog. Model prikazan na slici 3.3. ilustrirao je Hawkins 1975. godine, a ICAO ga je prihvatio objavom u obavijesti 216-AN31, a detaljnije opisao u priručniku Doc-9824-AN/450 [17].



Slika 3.3. SHELL model [14]

Model predstavlja komponente ljudskog faktora koje su međusobno povezane i utječu jedna na drugu. Osnovne komponente modela su:

- **S (*Software*) -** informatička podrška je skup pravila, procedura i dokumenata koji predstavljaju standardnu operativnu proceduru za rad.
- **H (*Hardware*) -** strojevi i oprema za rad
- **E (*Environment*)** - okruženje čine prostor, fiziološki i psihološki uvjeti u kojima se odvija rad i na koje izvršitelj rada ne može utjecati.
- **L (*Liveware*)** - ljudi koji izvršavaju zadaće održavanja zrakoplova i ostali čimbenici koji su u interakciji s njima i moraju biti podređeni zahtjevima ljudi.

U modelu se ističe da su ljudi (*Liveware*) u središtu svake aktivnosti. Oni su najznačajniji čimbenik, ali ujedno i najslabija karika u procesu održavanja zrakoplova. Pažnja je usmjerena greškama koje nastaju zbog utjecaja ljudskog faktora pa se u SHELL modelu proučava odnos ljudi prema ostalim čimbenicima koji imaju utjecaj na rad i ponašanje čovjeka tijekom rada.

Odnos L-L je odnos između ljudi, pa stoga naziv modela sadrži dva slova L. Model prikazuje odnos pojedinca prema nadređenim u hijerarhiji rada i naređenih u hijerarhijskom ustroju prema pojedincu, odnos pojedinca prema drugom pojedincu, odnos pojedinca prema timu ili grupi te suradnju pojedinca prema radu i ciljevima koje postavlja organizacija.

Odnos L-S je odnos pojedinca prema zahtjevima regulative, pravilnicima organizacije, tehnološkim normama, propisanim procedurama za rad od strane proizvođača zrakoplova, dijelova i opreme, znanja ljudi koje im omogućava korištenje informatičke tehnologije i sustava koji su robotizirani ili automatizirani. Potrebno je standardizirati znakove i govore tijela da bi poruka bilja razumljiva bez obzira na jezičnu barijeru između sudionika procesa. Govor tijela podrazumijeva jedan pokret kao univerzalan znak jedinstvenog značenja u cijelom svijetu.

Odnos L-H je odnos ljudi prema predmetima rada, alatu za rad, opremi za rad i okruženju u kome se izvode radovi. Mjesto gdje se radovi izvode mora zadovoljavati standarde kao što su sigurnost u radu, zaštita od povrede na radu i zaštita od nekonvencionalnih psihofizičkih naprezanja. Alat i oprema trebali bi biti standardizirani i usklađeni s regulativom, a djelatnici adekvatno osposobljeni za rad. Norma posla treba biti u skladu s tehnologijom radova i kompetencijama ljudi.

Odnos L-E je odnos ljudi i okoline u kojoj rade. Djelatnicima u procesu održavanja zrakoplova treba osigurati optimalne mikroklimatske uvjete za rad, dok su minimalni uvjeti propisani regulativom. Okolina treba biti takva da osigurava dovoljno svjetla, temperature, vlage, propisanu razinu buke i

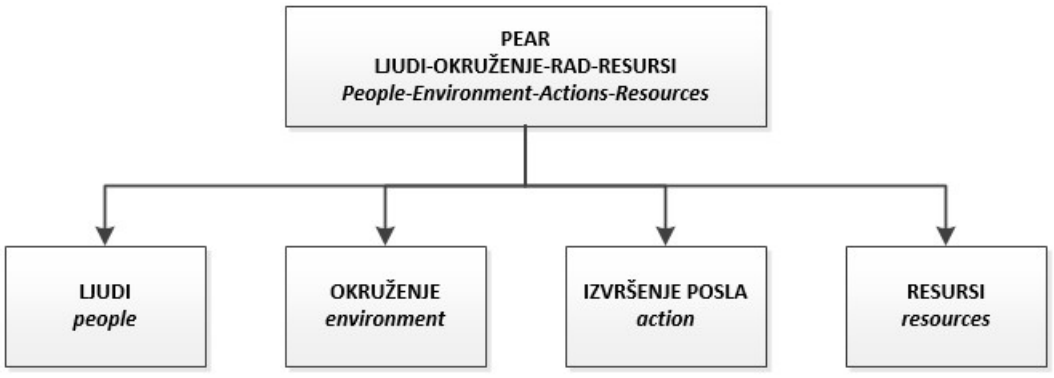
ostalih štetnih elemenata za rad. Ukoliko se radovi moraju izvoditi u uvjetima koji su nepovoljni za rad, mora se poštivati propisana norma za rad u ekstremnim uvjetima, što znači korištenje zaštitnih sredstava i potreban odmor za rad.

3.3.2. Model PEAR

Naziv modela PEAR dolazi od početnih slova modela koji uključuje ljude, okruženje, izvršenje rada i resurse za rad (engl. *People-Environment-Actions-Resources*). Model prikazan na slici 3.4. koristi se u definiranju osnovnih čimbenika koji utječu na nastajanje ljudske greške. Autori modela su dr. Michale Maddox i dr. Bill Johnson koji su 2007. godine objavili model u časopisu CAT magazine [16].

Modelom se definiraju glavni čimbenici u internoj okolini organizacija za održavanje koji utječu na greške nastale zbog utjecaja ljudskog faktora. Osnova modela je prikazati uvjete koji pospješuju greške u internoj okolini. Ujedno je cilj da sami zaposlenici prepoznaju važnost čimbenika koji mogu pospješiti nastanak grešaka zbog utjecaja ljudskog faktora.

PEAR model je alat voditeljima održavanja kako bi mogli lakše prepoznati nedostatke sustava rada, odnosno omogućuje uspostavljanje inicijalnog sustava održavanja s ciljem smanjenja grešaka zbog utjecaja ljudskog faktora. Model se koristi kao osnova za uspostavu sigurnosnog sustava održavanja.



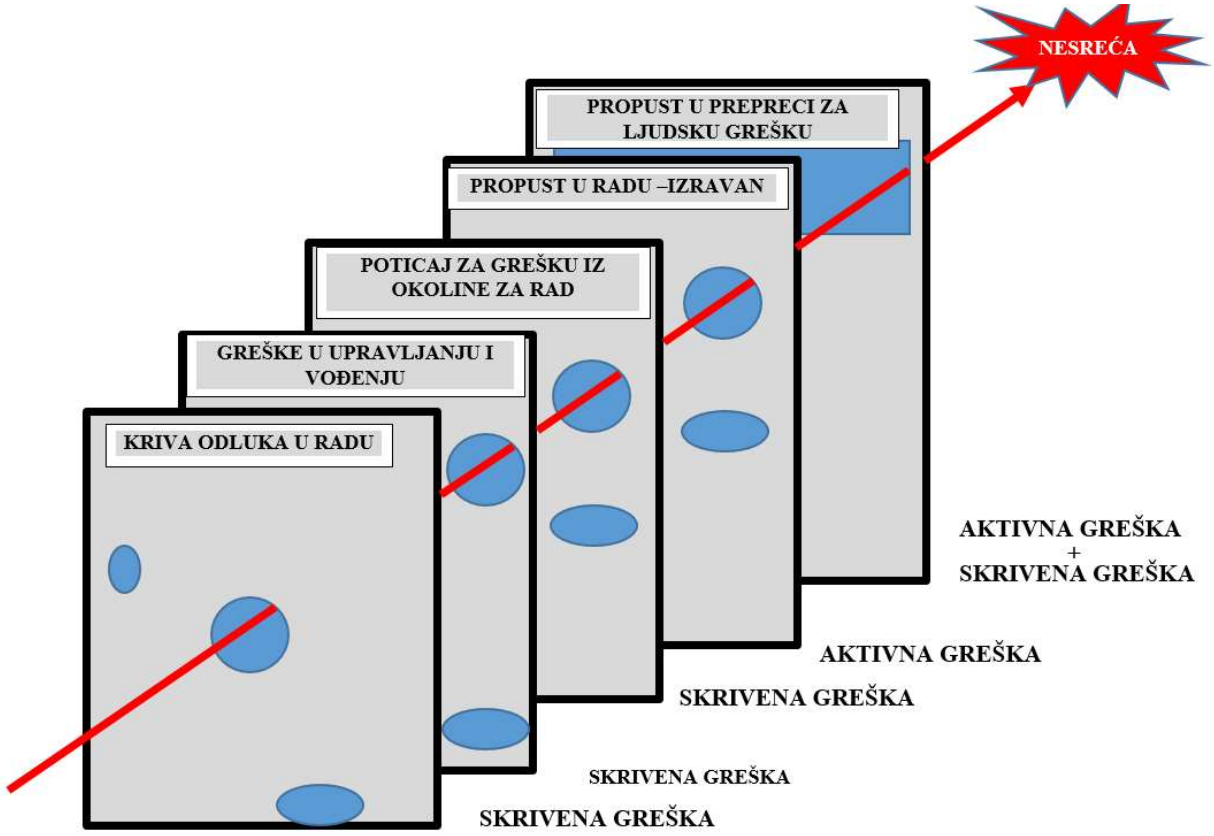
Slika 3.4. PEAR model [16]

Prema PEAR modelu koji je prikazan na slici 3.4. određena su četiri glavna čimbenika nastanka greške zbog ljudskog faktora, koje nastaju tijekom održavanja zrakoplova. To su:

- **P (*people*)** - ljudi sa svojim sposobnostima za rad, načinom razmišljanja i socijalnim ponašanjem i osobinama
- **E (*environment*)** - okruženje u kojem se izvodi proces održavanja i uvjeti mjesta koji utječu na rad; okruženje predstavlja i tip organizacije gdje se rad obavlja te vrsta vođenja i upravljanja organizacije
- **A (*actions*)** - izvršenje rada ima rizik nastanka greške ako nije razumljiv primjerice nalog za rad, kompleksnost i složenost rada, zahtjev za posebnim znanjima i vještinama u radu
- **R (*resources*)** - resursi za izvršenje zadaće obuhvaćaju potrebnu opremu za rad, alat, materijal, dijelove za zamjenu, ispomoć i dokumentaciju za rad.

3.3.3. Posljedice grešaka zbog utjecaja ljudskog faktora

Posljedice grešaka zbog utjecaja ljudskog faktora prikazane su na slici 3.5. modelom *švicarskog sira (Swiss cheese model)*. James Reason je modelom *švicarskog sira* prikazao organizacijsku i radnu strukturu u organizaciji za održavanje u kojoj se mogu donijeti krive odluke ili napraviti greške koje su ponaosob neprimetne [17]. Neprimjetna ili skrivena greška pojedinačno nije čimbenik za nastanak greške u održavanju. Ukoliko se skrivene greške u organizaciji za rad poklope, a djelatnik napravi propust u radu, dolazi do nastanka greške.

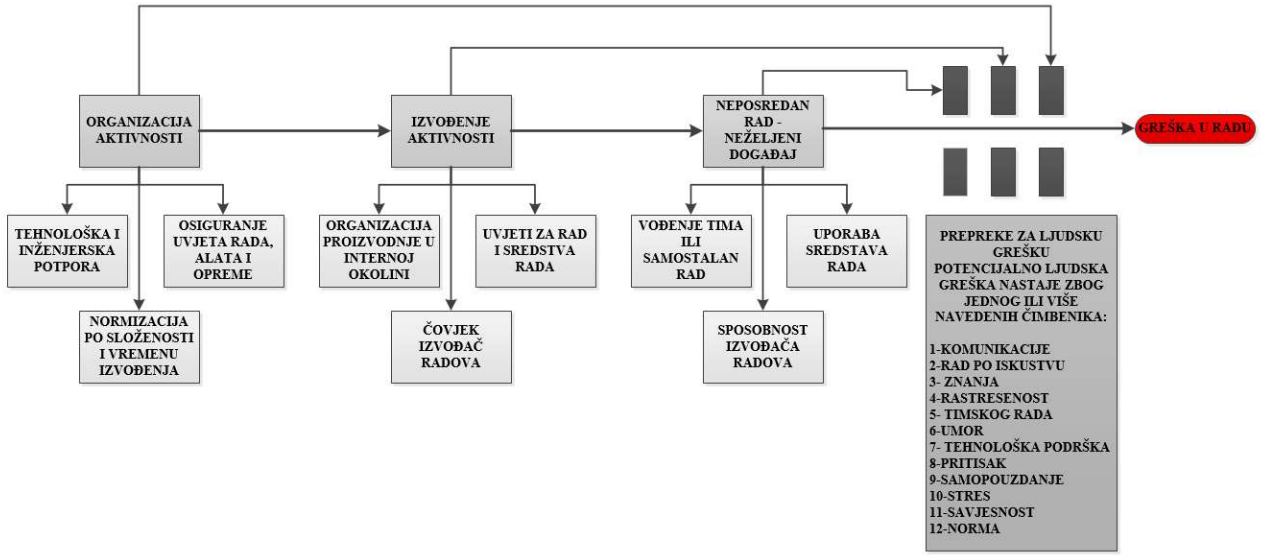


Slika 3.5. Model švicarski sir [17]

Princip sprječavanja grešaka u održavanju preventivno se provodi u dijelovima organizacije koji se odnose na upravljanje, organizaciju rada i pronalasku najboljih puteva koji bi u potpunosti iskoristili pozitivne osobine čovjeka, a korigirali negativne osobine. Organizacija za održavanje zrakoplova mora koristiti alate radi sistematizacije podataka kako bi mogla raščlaniti čimbenike koji doprinose greškama zbog utjecaja ljudskog faktora.

Prema modelu *švicarskog sira,* tri cjeline mogu prouzročiti skrivene greške. Postoji mogućnost da se propust u jednoj cjelini otkrije u drugoj cjelini rada i da se greška otkloni. Ukoliko se poklope propusti u sve tri cjeline, dolazi do greške u održavanju zrakoplova. Učinak greške može biti izvanredan kvar zrakoplova koji izaziva kašnjenje zrakoplova na let i može doći do izravnog ugrožavanja sigurnosti zrakoplova s neželjenim posljedicama koje pridonose nesreći ili nezgodi.

Na slici 3.6. prikazano je gdje se u internoj okolini može djelovati kako bi se otklonili čimbenici nastanka grešaka zbog utjecaja ljudskog faktora. Stoga se vrše izmjene u tehnologiji, organizaciji posla i djelovanjem na samog čovjeka



Slika 3.6. Zaštitni model za greške zbog utjecaja ljudskog faktora

Osnovne barijere koje sprječavaju greške zbog utjecaja ljudskog faktora su sljedeće:

- Organizacija aktivnosti podrazumijeva da se unaprijed određuje tehnološki ustroj interne okoline. Kakva će biti organizacija posla i koja tehnologija će se primjenjivati, ovisi o mjestu na kojem se organizacija za održavanje zrakoplova nalazi. Ova razina je pod velikim utjecajem vanjske okoline. Kako bi se kompenzirao utjecaj vanjske okoline, osnovna zadaća sprječavanja potencijalnih čimbenika za nastanak grešaka zbog utjecaja ljudskog faktora odnosi se na pripremu i planiranje svakog koraka tehnološkog procesa, normiranje posla po složenosti i duljini trajanja, prilagodbe organizacije uvjetima rada i osiguranje tehnološke potpore tijekom rada.
- Izvođenje aktivnosti je rad na održavanju zrakoplova kojim se neposredno upravljanja procesom i ljudima. Ova razina odnosi se na radnu okolinu koja je izravna potpora u osiguranju uvjeta rada, sredstava i predmeta rada kao i vođenje ljudi prema ustroju radnog procesa.
- Neposredan rad u kojem se daje poticaj izvršitelju radova vođenjem tima, sustavnom edukacijom za poslove koje djelatnik izvodi i za poznavanje tehnologije i opreme koju djelatnik koristi. Djelatnik pored znanja i vještina koja posjeduje za rad mora biti motiviran za rad.

3.4. Alati za analizu poticajnih čimbenika za nastanak greške zbog utjecaja ljudskog faktora u održavanju zrakoplova

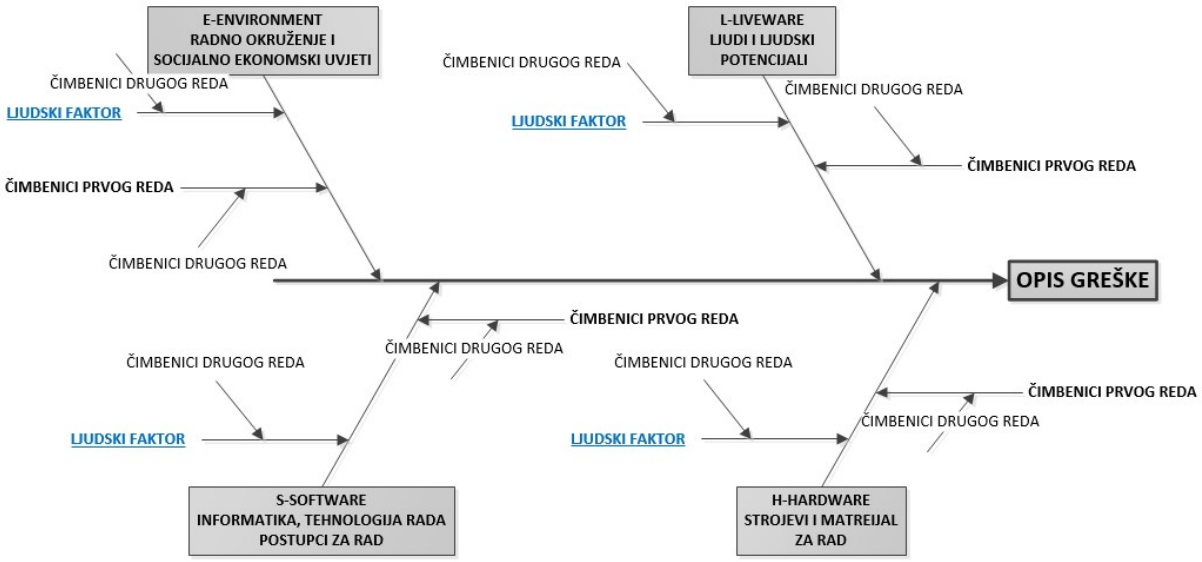
U provedenom istraživanju korištena su dva alata za analizu i sistematizaciju grešaka koje nastaju u održavanju zrakoplova. Rezultati prikupljanja i analize podataka prikazani su dijagramima *riblje kosti* i *MEDA* sistematizacijom i analizom (MEDA - *Maintenance Error and Decision Aid*) [60].

3.4.1. Dijagram *riblje kosti*

Ishikawa dijagram ili dijagram *riblje kosti* predstavlja alat koji se koristi za pronalaženja uzroka nekog događaja, a razvio ga je profesor Ishikawa na Sveučilištu u Tokiju 1943. godine. Dijagram je danas standardni alat za uzročno-posljedičnu analizu sustava kvalitete. Dijagram oblikom podsjeća na riblju kost pa otuda proizlazi naziv dijagram *riblje kosti*. Događaj je na osnovnoj liniji ili kralježnici *riblje kosti* dijagrama, a uzroci su prikazani kao glavne grane *riblje kosti* i mogu imati dodatne elemente pridonosećih čimbenika. Dijagram se kao alat primarno koristi za sva uzročno-posljedična istraživanja događaja. Dijagram *riblje kosti*, prikazan na slici 3.7., koristi se kako bi se na osnovi greške koja je nastala, odredili čimbenici koji su doveli do greške.
Uzroci mogu općenito biti jedan od čimbenika interne okoline koji su glavne osi „kosti“ i na njih se naslanjaju pridonoseći čimbenici koji su drugog, trećeg i nižeg reda.
Dijagram *riblje kosti* ima grane koje su vezane za one čimbenike na koje se tehnološki može utjecati, što bi u sustavu održavanja zrakoplova bilo:

- ***L* (*Liveware*) -** ljudi koji čine nenamjerne greške zbog utjecaja ljudskog faktora
- ***S (Software)*** - informatička tehnologija rada i postupci koji su propisani za rad
- ***E (environment)* -** okružje rada, tj. prostor i uvjeti rada te socijalno i ekonomsko okruženje
- ***H (Hardware)* -** strojevi i oprema za rad kao i materijali i predmet rada.

Postavljanjem glavnih linija ili kosti prema sustavu SHELL, dobiva se učinkovita sistematizacija pridonosećih čimbenika koji pridonose pojavi nenamjerne ljudske greške u radu zbog utjecaja ljudskog faktora.



Slika 3.7. Dijagram riblje kosti

3.4.2. MEDA sistematizacija i analiza

Kako bi se standardizirali nalazi istrage u sustavu održavanja zrakoplova *Boeing* je uveo poseban obrazac za ispitivanje greške u održavanju zrakoplova pod nazivom MEDA (*Maintenance Error and Decision Aid*) [60].
Obrazac se koristi u sustavu dojave grešaka u održavanju zrakoplova radi preventivnog djelovanja i kao pomagalo za analizu pridonosećih čimbenika kad se greška dogodi.

MEDA obrazac podijeljen je na poglavlja za istraživanje uzroka i posljedica koje greška ima u održavanju zrakoplova:

- generalne podatke o zrakoplovu, mjestu i vremenu pronađene greške
- kakav utjecaj greška ima na plovidbenost zrakoplova i na redovito letenje zrakoplova
- kako se greška manifestira na zrakoplovu odnosno koji su rezultati greške
- poglavlje koje definira čimbenike koji su pridonijeli grešci u održavanju
- prijedlog korektivnih akcija za otklanjanje pridonosećih čimbenika za nastanak greške.

Svako poglavlje ima detaljno nabrojane podjele unutar naslova. Za istraživanje uzroka grešaka i pojedinih čimbenika, koji su doprinijeli da se greške dogode, koriste se sve poznate metode istraživanja i analize podataka.

3.5. Klasifikacija grešaka nastalih zbog utjecaja ljudskog faktora

Greške nastale zbog utjecaja ljudskog faktora su nenamjerne i osoba koja ih je počinila nije svjesna svog propusta. Te greške se mogu klasificirati prema:

- manifestaciji djelovanja
- uzroku nastanka.

3.5.1. Klasifikacija grešaka prema manifestaciji djelovanja

Čovjek je ključni čimbenik u procesu rada jer daje novu vrijednost predmetu rada. Kao čimbenik u procesu rada, čovjek nije savršen već je ograničen svojim osobnim znanjem i mogućnostima za rad te stoga unosi grešku u sustav rada. Nenamjernu greške treba prepoznati i spriječiti njihovo ponavljanje.

U prethodno opisanim modelima SHELL i PEAR prikazani su čimbenici koji utječu na greške zbog utjecaja ljudskog faktora.

Greške koje se učine na održavanju zrakoplova mogu biti skrivene greške na zrakoplovu i aktivne greške na zrakoplovu.

Skrivene greške predstavljaju greške koje se mogu napraviti tijekom održavanja zrakoplova, a mogu pod određenim uvijetima doprinjeti nastanku nezgode, kvara ili nesreće tijekom državanja zrakoplova ili tijekom letenja zrakoplova. Skrivene greške su tijekom letenja zrakoplova naizgled nevidljive. One same po sebi ne predstavljaju opasnost, ali u kombinaciji s drugim poticajnim događajima ili u kombinaciji s drugim greškama, dovode zrakoplov u opasnu situaciju. Karakteristika ovih grešaka je to što zrakoplov nastavlja letenje s formalno tehnički ispravnim sustavima. Tehničar koji je potpisao ispravnost zrakoplova za let nije svjestan postojanja tih grešaka, kao niti posada zrakoplova. Ove greške se obično otkrivaju nakon nezgoda ili nesreća zrakoplova kao glavni ili posredni poticajni čimbenici za nezgode ili nesreće.

Primjer takve skrivene greške je prethodno navedena zrakoplovna nesreća putničkog zrakoplova McDonnell-Douglas DC-10 [55]. Uzrok ove nesreće je greška u instalaciji motora koju nije primijetilo tehničko osoblje koje je radilo na instalaciji motora na zrakoplovu. Uslijed oštećenja nosača motora, došlo je do odvajanja motora od krila pri punoj snazi motora tijekom polijetanja što je na kraju dovelo do potpunog gubitka zrakoplova sa smrtnim ishodom svih putnika i članova posade.

Aktivne greške su greške koje daju efekt neispravnosti čim se učine i za posljedicu imaju vidljivi kvara zrakoplova, trenutno oštećenje zrakoplova ili povredu ljudi. Greške zbog utjecaja ljudskog faktora tijekom održavanja zrakoplova događaju se na zemlji. Efekt aktivnih grešaka je njihova

transparentnost u momentu kad se dogode, odnosno greška se odmah manifestira kao oštećenje zrakoplova, greške u sustavu ili na način da se mogu izravno detektirati. Ove greške imaju za posljedicu materijalnu štetu, a u nekim slučajevima ozljede putnika ili smrtne ishode.
Primjer ovakve greške analiziran je u poglavlju 4.2.1. pod nazivom *Nenamjerno aktiviranje tobogana*. Otvaranjem vrata na krilu djelatnik je aktivirao tobogan i nenamjerno izazvao materijalnu štetu na toboganu i zrakoplovu. Greška je odmah vidljiva jer je izazvala materijalnu štetu na zrakoplovu te je ujedno produžila vrijeme boravka zrakoplova na zemlji. Pored troška tehničkog popravka, zračni prijevoznik ima dodatne troškove koji se očituju manjkom broja zrakoplova za planirano letenje uslijed dužeg zadržavanja zrakoplova na zemlji zbog neplaniranog popravka.

3.5.2. Klasifikacija grešaka prema dvanaest pridonosećih čimbenika (*The Dirty Dozen*)

Djelatnik zračnog prijevoznika *Transport Canada*, Gordon Dupout, definirao je dvanaest pridonosećih čimbenika za nastanak nenamjerne ljudske greške koje je nazvao *The Dirty Dozen*. Otkrivanjem pridonosećih čimbenika za nastanka nenamjerne greške zbog ljudskog faktora omogućava se implementaciju korektivnih mjera u internoj okolini s ciljem njihova otklanjanja. Izmjene se rade otklanjanjem nedostataka prema zaštitnim modelima prethodno prikazanih slikom 3.5. i slikom 3.6. [17,18]. Dvanaest pridonosećih čimbenika za nastanak greške zbog utjecaja ljudskog faktora su opisani prema sustavu *The Dirty Dozen* tako da su pored naziva pojedinog poticajnog čimbenika u zagradama iza naziva date oznake od HF-1 do HF-12 [15]. Navedene oznake olakšavaju prikaz rezultata u tablicama u poglavlju 4.:

- nedostatak komunikacije - *lack of comunication* (HF-1)

Komunikacija predstavlja razmjenu informacija tijekom izvođenja zadaća održavanja zrakoplova. Komunikacija obuhvaća sve podražaje kojima se prenose poruke. Poruke se prenose svjesno ili nesvjesno. Komunikacija može biti govorna, pisana i znakovna. Govor tijela je izraz namjere što će osoba napraviti slijedećeg trenutka ili izraz unutarnje energije pojedinca. U održavanju zrakoplova prisutna je komunikacija na razini čovjek-čovjek, čovjek-stroj, stroj-čovjek i komunikacija stroj-stroj koju posredno nadziru ljudi.
Govorna komunikacija predstavlja osnovni oblik komunikacije tijekom rada, a u slučaju multikulturalne sredine, javlja se jezična barijera između sudionika rada. U bučnoj sredini poruku je teško prenijeti pa se koriste standardizirani znakovi za razumijevanje. Pri kretanju zrakoplova na

zemlji, tijekom pristajanja, djelatnik na zemlji standardiziranim znakovima ruke ili svjetlosnim palicama daje upute pilotima za vođenje zrakoplova. Pisana komunikacija koristi se za izradu procedura za rad, za informaciju o tehničkom statusu zrakoplova i za prijenos informacija između različitih službi. Informacija je za primatelja poruke pasivna jer ne može postavljati izravna pitanja za pojašnjenje poruke. Radovi na zrakoplovu često započinju u jednoj radnoj smjeni, a započete radove nastavlja sljedeća smjena. Pisana i usmena komunikacija je preporučena komunikacija za prijenos statusa radova u održavanju između smjena s ciljem smanjenja mogućnosti krivog prenošenja statusa trenutnih radova na zrakoplovu. Komunikacija između ljudi i strojeva predstavlja reguliran protokol poruka. S obzirom na stalnu izmjenu tehnologije, zahtijeva sustavnu naobrazbu djelatnika koji su dio procesa održavanja zrakoplova.

Komunikacija je na vrhu ljestvice uzroka grešaka u održavanju zrakoplova, stoga postoji niz preporuka i zakonskih okvira za standardizaciju poruka. Standardizirana komunikacija može se primijeniti u pojedinim oblicima komunikacije, ali u neposrednoj ili izravnoj komunikaciji između timova ili u komunikaciji pojedinaca unutar tima nije moguće napraviti standardizirani prijenos poruka. Stoga proučavanje komunikacije predstavlja stalni izazov za organizaciju za održavanje zrakoplova s ciljem stalnog školovanja djelatnika radi razumijevanja sustava i načina komuniciranja u sustavu.

- procjena rada prema prijašnjem iskustvu u radu – *complacency* (HF-2)

Procjena rada prema prijašnjem iskustvu u radu je greška zbog utjecaja ljudskog faktora kada djelatnik ne izvrši zadaću na zrakoplovu, a svojim potpisom u radnom nalogu ovjerava da je zadaća izvršena. Drugi oblik greške je rad na zadaći prema iskustvu bez korištenja propisane i ažurne dokumentacije za rad.

Takve greške događaju se ako je djelatnik u situaciji da mora raditi više poslova u isto vrijeme ili se više stvari dogodi u periodu kada djelatnik istovremeno mora dati odgovor na više upita. Tehničar vrši selekciju poslova prema prioritetu. Najčešće se ne odrađuju one zadaće kod kojih se, prema iskustvu, ne očekuje problem ili su rutinski dio posla. Kako bi skratio vrijeme zadaće, djelatnik izvršava zadaću bez čitanja važeće revizije priručnika za rad jer je iskustveno istu zadaću napravio više puta.

Korektivne mjere za sprječavanje ovakvih grešaka je sustavno školovanjem djelatnika radi podizanja svijesti o tome da svaka greška na zrakoplovu može ugroziti sigurnost zrakoplova i kao krajnji rezultat može biti zrakoplovna nesreća. Organizacija za održavanje zrakoplova mora djelovati aktivno tako

da posao organizira u skladu sa zahtjevima koji udovoljavaju kvaliteti i sigurnosti radova u skladu sa regulativom .

- nedovoljno znanje - *lack of knowledge* (HF-3)

Nedovoljno znanje iskazuje se izvršenjem zadaća izvan propisanih uputa za rad koje su sastavni dio priručnika za održavanje. Tehničar izvršava zadaće a pri tome nije svjestan da je došlo do tehnološke promjene sustava uslijed preinaka na sustavu.
Greška u radu može nastati izvršenjem zadaća na tipu zrakoplova za koji djelatnik nije školovan ili na tipu zrakoplova za koji je djelatnik školovan, ali nije školovan za naknadno ugrađenu novu tehnologiju na zrakoplovu. Djelatnici, koji rade na održavanju zrakoplova bez potrebnog znanja za izvršenje zadaća, izravno ugrožavaju sigurnost zračnog prijevoza.
Razvoj zrakoplovne tehnologije podrazumijeva da tehničari mogu imati ovlaštenja za rad samo za tipove zrakoplova za koje su školovani. Pored toga tehničari koji imaju ovlaštenje za tip zrakoplova moraju nadograđivati svoja znanja u skladu s izmjenama tehnologije na tipu zrakoplova za koji imaju dozvolu za rad. Kako bi održale kvalitetu i sigurnost rada na zrakoplovu, organizacije za održavanje zrakoplova provode interna školovanja i interne provjere znanja djelatnika koji u njihovo ime daju dozvolu za uporabu zrakoplova.

- rastresenost – *distraction* (HF-4)

Rastresenost je skretanje mentalne pažnje s posla koji se obavlja tijekom rada. Skretanje pažnje s radne zadaće dovodi do preskakanja redoslijeda u radu koji propisuje priručnik za rad.
Skretanje pozornosti s radne zadaće može dovesti do toga da se započeta zadaća zaboravi završiti u potpunosti, a zrakoplov s takvim nedostatkom ode na let. Odvraćanje pažnje može biti uzrokovano prekidom posla zbog iznenadnog poziva druge osobe ili fizioloških potreba izvršioca posla. Odvraćanje pažnje može uzrokovati mentalno stanje uslijed bolesti izvršioca, problema u obitelji, svađe na poslu, egzistencijalnih problem ili drugi. Djelatnik je više koncentriran na svoje osobne probleme nego na posao koji obavlja. To dovodi do površnosti u poslu i do rada po sjećanju.
Kako bi se smanjio rizik za ovakve greške posao je potrebno podijeliti na tehnološke cjeline i napraviti prekide nakon izvršene tehnološke cjeline. Pri ponovnom početku nužno je ponovo provjeriti je li napravljen jedan ili dva koraka unazad. Obavljen posao nakon završetka treba još jednom provjeriti prema glavnim točkama. Za radne zadaće koje su složene ili izravno utječu na sigurnost zrakoplova potrebno je napraviti dodatni pregled izvršenja posla od strane drugog djelatnika.

- nedostatak timskog rada - *lack of team work* (HF-5)

Složene zadaće na zrakoplovima kao što su funkcionalna ispitivanja sustava zrakoplova izvode timovi djelatnika koji moraju biti koordinirani u poslu koji izvode. Nedostatak koordinacije dovodi do greške u radu koja može rezultirati oštećenjem zrakoplova ili opreme i u krajnjem slučaju, povredama ljudi. Tim se može promatrati kao skup djelatnika sa svim osobnostima koje ljudi imaju odnosno znanjima, vještinama i psihofizičkim osobinama. Tim treba izvršiti složenu zadaću tijekom održavanja zrakoplova. Timski rad podrazumijeva da svatko zna izvršiti zadaću u skladu sa svojim kvalifikacijama. S obzirom da je tim ustrojen za određenu radnu zadaću, svaki pojedinac pokušava procijeniti svoj udio u timu u odnosu na udio ostalih djelatnika. Novi djelatnik u timu uvijek je na meti procjene ostatka tima. Dolaskom pojedinca u tim ili odlaskom iz njega dolazi do pregrupiranja unutar tima što izaziva smanjenje radne sposobnosti tima u prvom trenutku.
Da bi tim uspješno odradio posao, nužna je dobra komunikacija tijekom cijelog rada, a osobito informiranost o tijeku posla i planiranim koracima rada. Tim ima svoj cilj rada koji mora biti dostižan i po složenosti posla, količini posla i po vremenu izvođenja. Prije početka rada nužno je napraviti dobru komunikacijsku pripremu i tijekom posla pratiti tijek aktivnosti uz eventualne korekcije. Za složene poslove dobro je imati dijagram tijeka radova. Nakon obavljene zadaće voditelj tima treba istaknuti dobre i loše strane tima.

- umor – *fatigue* (HF-6)

Umor je smanjena sposobnost čovjeka da napravi neki rad. Umor može biti fizički i mentalni. Fizički umor nastaje uslijed intenzivnog posla u kratkom periodu i naziva se akutni umor. Može nastati uslijed intenzivnog posla u dužem periodu, a tada je riječ o kroničnom umoru. Mentalni umor predstavlja stanje svijesti tehničara koji obavlja posao.
Umor dolazi kao posljedica lošeg i nekvalitetnog odmora nakon rada, a može biti posljedica prekomjerne fizičke ili mentalne aktivnosti. Opterećenje na poslu povećava se lošim uvjetima rada pogotovo kad se održava zrakoplov na otvorenom prostoru uz nepovoljne klimatske uvjete. Umor potiču stalne promjene ritma rada zbog rada u noćnim i dnevnim smjenama. Uzrok umora može biti bolest djelatnika ili konzumiranje alkohola ili narkotika.
Sprječavanje umora radnika može se izbjeći dobrim i aktivnim planiranjem ljudskih potencijala u odnosu na obim posla. Dobro je osigurati povremene prekide rada i dozvoliti ljudima kratko rasterećenje od posla. Tijekom posla treba raditi kratke sastanke kako bi djelatnici imali uvid u radni proces i ujedno dobili kratku stanku za odmor. Potrebna je redovita zdravstvena kontrola djelatnika kao i kontrola djelatnika na konzumaciju alkohola ili opojnih sredstava.

- nedostatak resursa za rad- *lack of resourses* (HF-7)

Nedostatak tehnološke podrške ili materijala za rad predstavlja nemogućnost izvršenja zadaće zbog nedostatka, potrošnog materijala, dijelova, alata, opreme za rad ili tehnološke potpore. U takvim situacijama tehničar koji izvodi zadaću, koristi alternativne metode rada što izravno ugrožava sigurnost letenja zrakoplova.

U slučaju planiranih radova na zrakoplovu planira se sva logistika za izvođenje zadaće. Zadaća se treba planirati unaprijed kako bi se osiguralo dovoljno vremena za izradu radnih naloga, pripremu alata, osiguranje dovoljnog broja djelatnika, nabavu materijala i za osiguranje uvjeti za izvođenje određene zadaće. Tijekom planiranog redovitog održavanja zrakoplova mogući uzrok nedostatka resursa za rad je pronalazak tehnološki zahtjevne greške za koju nisu planirani resursi. Najčešći oblik nedostatka resursa za rad javlja se kad je zrakoplov u planiranom letenju, a došlo je do izvanrednog kvara koji zahtijeva posebnu logistiku za otklanjanje kvara na zrakoplovu. U takvim situacijama radi što bržeg popravka zrakoplova, vrši se pritisak na tehničare da poprave zrakoplov u što kraćem roku bez osiguranja resursi za popravak. Tehničar koji izvršava zadaće radi skraćenja popravka postupa izvan propisanog sustava održavanja čime ugrožava sigurnost zrakoplova.

Osnovna zadaća svake organizacije za održavanje zrakoplova je planirati gdje se izvode radovi, kojom opremom, i s kakvim profilom ljudi. Stoga je potrebno osigurati logistiku za nabavu materijala i tehnološku podršku. Zakonodavne vlasti izuzetno su osjetljive pri izdavanju dozvole za rad organizaciji koja se bavi održavanjem zrakoplova. Organizacija ne smije vršiti radove za koje nema ovlaštenja za rad ili potrebne resurse za izvođenje posla. zadaća održavanja zrakoplova ne smije se raditi ukoliko nije zadovoljen bilo koji od uvjeta za rad, odnosno ako organizacija nema ovlaštenje za rad za neku zadaću održavanja, ili ima ovlaštenje za rad ali trenutno nema sve potrebne resurse za rad. Nužno je dobro planiranje, a u slučaju propusta u planiranju, radovi se zbog profita ne smiju napraviti mimo zahtjeva radnih uputa ili ovlaštenja. U slučaju izvanrednih kvarova tijekom planiranog letenja sigurnost zrakoplova postavlja se ispred profita. U slučaju da organizacija za održavanje zrakoplova ne može svojim resursima popraviti zrakoplov moguće je angažirati posebne specijalističke timove za popravak zrakoplova. U takvim slučajevima na svjetskom nivou postoje od proizvođača zrakoplova posebno ovlaštene organizacije koje imaju timove spremne za trenutnu tehničku pomoć.

- pritisak na izvršitelja rada – *pressure* (HF-8)

Pritisak na izvršitelja rada je zahtjev da se zadaće održavanja zrakoplova izvrše u što kraćem vremenu i bez grešaka u radu. Pored vremenskog uvjeta postoji i tehnološki uvjet kojim se od tehničara zahtijeva da se zadaća izvrši s manjim brojem ljudi u timu.
Postavljaju se zahtjevi za izvršenje radova izvan postojećih mogućnosti koje pružaju resursi za rad. Posljedica lošeg planiranja radova koja se ogleda u nerealnom vremenskom okviru planiranja za izvođenje radova. Drugi razlog su događaji koji se javljaju tijekom radova. Pronađene greške tijekom redovitih pregleda nužno zahtijevaju produženje boravka zrakoplova u održavanju i povećanje broja djelatnika za rad. To dovodi do pritiska na izvršitelje da izvrše radne zadaće u planiranom vremenskom roku bez obzira na povečan obim posla. Takav pristup dovodi do ubrzanog rada i nužno do krivih odluka ili pogrešnog tumačenja procedura.
Kako bi se izbjegle ovakve situacije, redoviti radovi se trebaju planirati u skladu s operativnim letenjem. Kako ne bi došlo do pritiska na izvršitelje, u slučaju izvanrednih situacija, plan radova treba prilagoditi trenutnoj situaciji. U kritičnim točkama posla treba „*stati na loptu*“ i dobro proučiti novonastalu situaciju prije nego što se od malog problema napravi velik ili nerješiv. Potrebno je analizirati postojeće stanje i u plan radova uklopiti novonastalu situaciju s točnom razradom slijedećih koraka rada.

- nedostatak samopouzdanja - *lack of assertiveness* (HF-9)

Nedostatak samopouzdanja je oblik rada u kojem djelatnik, koji ima problem u radu, ne zna napraviti zadaću koja mu je dodijeljena, ne iznosi svoje probleme voditelju posla ili ne traži potporu u rješavanu problema. U timskom radu uzrok može biti autoritativno vođenje tima, što kod članova tima stvara bojazan davanja bilo kakvog mišljenja o radu.
Nedostatak samopouzdanja može biti izazvan okolinom u kojoj se izvršavaju radovi. Nepoznat teren, rad u okruženju drugih ljudi koji procjenjuju, klimatski uvjeti i svi čimbenici koji se odnose na nestandardne uvjete rada smanjuju samopouzdanje. Pritisak bilo koje vrste na djelatnika, u kombinaciji s nedostatkom samopouzdanja, predstavlja lošu kombinaciju za dobro obavljanje zadaće. Lošu kombinaciju predstavlja i nepoznavanje jezika ili boravak u sredini koja je neprijateljski usmjerena prema izvršitelju radova. Djelatnik u strahu od neizvršenja zadaće donosi krive odluke i zatvara posao po cijenu nesigurnosti u svoje odluke.
Da se djelatnici ne bi doveli u ovu poziciju, nužno je djelovati na organizacijskoj razini. Potrebno je jasno definirati ciljeve rada i obučiti djelatnike za radove koji mu se dodjeljuju. Stvoriti klimu unutar

tima takvu da se izvodi samo ona radna zadaća u kojoj je djelatnik siguran u svoje znanje i odluke. Tehnološki razraditi kartice za rad prema nivou složenosti posla. Upute za rad moraju biti izrađene tako da se ovjeravaju po principu korak po korak u radu. Sustavno treba nametnuti kulturu rada tako da djelatnici koriste upute za rad tijekom izvođenja zadaće. Osigurati sustavnu provjeru obavljenih zadaća kako bi se provjerilo jesu li napravljene prema zahtjevu priručnika za održavanje i jesu li zadaće napravljene u skladu s preinakama zrakoplova. Po potrebi osigurati pregled izvršene zadaće od strane drugog djelatnika.

- rad pod stresom – *stress* (HF-10)

Stres može biti uvjetovan fizičkim , psihofizičkim i fiziološkim stresorima. Fizički stresor javlja se od radnog okruženja u kojem se izvršava zadaća. Psihički stresori su stresori koji djeluju na mentalno i emocionalno stanje tehničara koji izvodi posao. Fiziološki stresori odnose se na radne sposobnosti tehničara koji izvodi posao.

Stresori imaju različit učinak na tehničara koji izvodi posao. Fizički stresor može biti skučeni prostor za rad u spremnicima za gorivo gdje se izvodi zadaća održavanja uz različite neudobne položaje tjela dok drugi tehničar to ne doživljava kao stresor. Psihološki stresor može biti mogućnosti gubitka posla što za pojedinog tehničara može biti značajan problem dok za drugog ne. Fiziološki stresor, kao što je bolest tehničara, usmjerena je samo na njega, a ne i na ostale tehničare. Pojedine vrste stresa mogu biti pozitivne jer pospješuju razmišljanje i dovode do rješavanja problema. Negativno djelovanje stresa na tehničara nastaje uslijed prevelike količine stresa ili kad je tehničar izložen samo negativnim komponentama stresa. Negativni stres dovodi do grešaka i previda u radu. Poticaj kojim djelatnik izvršava poslove je kontrolirani stres i takav stres je poticaj ili motivacija za rad. Motivacija može biti cilj koji je zadan, emotivni čimbenik pojedinca, želja za napredovanjem, dokazivanjem ili zaradom. Ukoliko zbog unutarnjih razloga ili vanjske sredine dođe do povećanja poticaja, stres postaje prevelik i djelatnik gubi kontrolu nad njim. Rezultat toga je greška u radu ili potpuno gubljenje kontrole nad radom.

Stres je neizbježan tijekom rada pa se stoga pojedinac osobno treba naučiti vladati stresom i boriti se protiv toga da ga stres ovlada. Postavljanje stresa pod kontrolu može se postići racionalnim pogledom na stres gledajući ga kao problem kojim se može upravljati i ne dozvoliti da se tehničar emocionalno veže za stres. Tijekom rada može doći do zaoštravanja odnosa s drugim djelatnicima ili do problema u izvođenju posla. Ovakve situacije su jaki stresovi. U emocionalno nabijenoj atmosferi potrebno je odmoriti se i pokušati riješiti problem uz pomoć osobe koja je racionalna. Svaka emotivno donesena odluka trebala bi biti odgođena i nakon toga preispitana racionalnom prosudbom. Ukoliko prevladaju

emocije, stres upravlja čovjekom i nemoguće je racionalno razmišljati. Ako je tehničar pod negativnim stresom zbog bolesti, racionalnije je prekinuti posao nego napraviti grešku u radu čime se izravno ugrožava sigurnost zrakoplova. U slučaju stresne situacije, dobro bi bilo zatražiti tuđe mišljenje o problemu.

- nedostatak savjesnosti - *lack of awarness* (HF-11)

Nedostatak savjesnosti je izvršenje zadaće za rad izvan propisanog priručnika za rad uz svjesnost osobe koja to radi o posljedicama koje takav rad može izazvati.
Nesavjesnost se ogleda kao površan pristup poslu što je uzrok mnogih previda u radu. Čest primjer je memoriranje ili zapisivanje momenata zatezanja raznih matica kod zamjene komponenti čija se zamjena ponavlja. Mehaničar to radi kako bi pri svakoj zamjeni izbjegao tražiti momente zatezanja u priručniku za održavanje. Nesavjesnost predstavlja korištenje uputa za rad bez provjere je li uputa pisana za serijski broj zrakoplova na kome se uputa koristi. Nesavjesnost predstavlja korištenje mjernih uređaja kojima je istekao datum valjanosti provjere ispravnosti rada. Djelatnici su skloniji raditi nesavjesno ako rade kao dio tima nego kad samostalno izvode posao. Razlog tomu je teže otkrivanje djelatnika koji nije savjestan, a istodobno drugi članovi tima mogu prikriti nemar pojedinca. Da bi se otklonio ovakav način razmišljanja, potrebno je napraviti dobro mentalno ozračje u timu. Potrebno je točno definirati ciljeve rada u skladu s mogućnostima tima, stalno provjeravati trenutni status radova te planirati kako dalje nastaviti rad. Na taj se način otkrivaju propusti u radu tijekom održavanja zrakoplova i ujedno otklanjaju greške. Nije dobro kažnjavati ili verbalno osuđivati uočen nedostatak pojedinca, već se mora stvoriti klima poticanja i suradnje što dovodi do pozitivnog pristupa poslu. Potrebno je napraviti programe sustavnog školovanja za poslove koji se rade.

- norma – *norms* (HF-12)

Norma predstavlja kvalitativni i kvantitativni pokazatelj planiranja rada. Svaka organizacija postavlja normu kao jedan od čimbenika koji joj služi u planiranju proizvodnje. Pored toga norma se odnosi na to što se radi, tko radi određeni posao i koliko vremena potroši na pojedinu zadaću. Kao takva, može biti pozitivna i negativna. Pozitivna norma predstavlja klasifikaciju pojedine zadaće po složenosti, opasnosti za rad, posebnih uvjeta rada, mogućnosti pojave greške u poslu i druge značajke koje određuju potrebnu strukturu djelatnika koji izvršavaju te poslove. Negativna norma predstavlja loše planiranje radova po vremenskom izvršenju ili po kvalifikaciji ljudi koji izvode radova. Negativnu

normu može postaviti i tim unutar sebe kada nastoji obaviti posao koji premašuje njegove mogućnosti po znanju ili po vremenu izvođenja.

Pozitivna norma omogućava tehničarima prepoznavanje kritičnih točaka u zadaćama te otrkivanje strukture zadaće i potrebnog resursa za izvršenje zadaće. Negativnu normu treba prepoznati i izlučiti iz procesa proizvodnje. U zrakoplovstvu je poželjno normirati zadaće po složenosti, ali ne i po vremenu izvođenja. Ukoliko se normiranje izvrši tako da je određeno vrijeme izvođenja pojedine zadaće, dolazi do grešaka u radu. Do grešaka u radu dolazi u slučaju propisane vremenske norme izvođenja posla zbog nastojanja tehničara da se radovi obave prije normiranog vremena kako bi imali duže stanke u radu. Dobro je imati okvirno vrijeme izvođenja pojedine zadaće kako bi se mogli planirati radovi održavanja zrakoplova ali se tijekom radova vrijeme izvođenja pojedine zadaće mora korigirati u skladu s progresom radova održavanja zrakoplova. Da bi se otklonio negativan efekt normi, bitno je radove uvijek izvoditi u skladu s procedurama, odnosno tehničkim uputama za rad. Tehničar treba pozornost obratiti na sigurnost i kvalitetu, a ne na brzinu izvođenja posla. Tehnološki, svaka se zadaća treba odrediti prema kvalifikaciji djelatnika.

4. ISTRAŽIVANJE GREŠAKA ZBOG UTJECAJA LJUDSKOG FAKTORA U PROMATRANOJ ORGANIZACIJI ZA ODRŽAVANJE ZRAKOPLOVA

U ovom poglavlju prikazane su greške nastale zbog utjecaja ljudskog faktora u promatranoj organizaciji na početku istraživanja. Primjer greške iznosi se kako bi se vidio postupak analize koji je primijenjen za otkrivanje pridonosećih čimbenika za nastanak greške zbog utjecaja ljudskog faktora, vjerojatnost ponavljanja greške, utjecaja greške na sigurnost leta i isplativost ulaganja u otklon pridonosećih čimbenika za nastanak greške zbog utjecaja ljudskog faktora. Prikazana je klasifikacija pridonosećih čimbenika zbog utjecaja ljudskog faktora koji su doveli do njihovog nastanka prema klasifikaciji opisanoj u poglavlju 3.5.2., zatim klasifikacija i sistematizacija prema utjecaju na sigurnost zrakoplova i prema isplativosti ulaganja za otklon greške.

4.1. Polazna analiza grešaka u održavanju zrakoplova

Prvi korak istraživanja predstavlja analiza uzroka pridonosećih čimbenika zbog utjecaja ljudskog faktora za greške koje su utvrđene istragama sustava kvalitete u razdoblju od dvije godine. Primjer analize greške u održavanju zrakoplova prikazan je u prilogu C. Greške prikazane tablicom 4.1. dogodile su se u promatranoj organizaciji za održavanje zrakoplova u razdoblju od 1. srpnja 2011. do 1. srpnja 2013. godine.

U tablici 4.1. prikazana je klasifikacija grešaka prema sljedećem rasporedu:

- prva kolona predstavlja tip greške koji je opisan prema MEDA kategorizaciji tipa greške
- druga kolona predstavlja tip pridonosećih čimbenika zbog utjecaja ljudskog faktora koji su doprinijeli da dođe do greške
- treća kolona prikazuje gdje su napravljene izmjene radi sprječavanja nastanka novih grešaka
- četvrta kolona predstavlja izračun isplativosti ulaganja u otklon greške.

Oznake se označavaju prema dvanaest pridonosećih čimbenika ili *The Dirty Dozen*:

- **HF-1**-nedostatak komunikacije
- **HF-2** - procjena rada po prijašnjem iskustvu u radu
- **HF-3** - nedovoljno znanje
- **HF-4** - rastresenost
- **HF-5** - nedostatak timskog rada
- **HF-6** - umor

- **HF-7** - nedostatak resursa za rad
- **HF-8** - pritisak na izvršitelja rada
- **HF-9** - nedostatak samopouzdanja
- **HF-10** - rad pod stresom
- **HF-11** - nedostatak savjesnosti
- **HF-12** -norma.

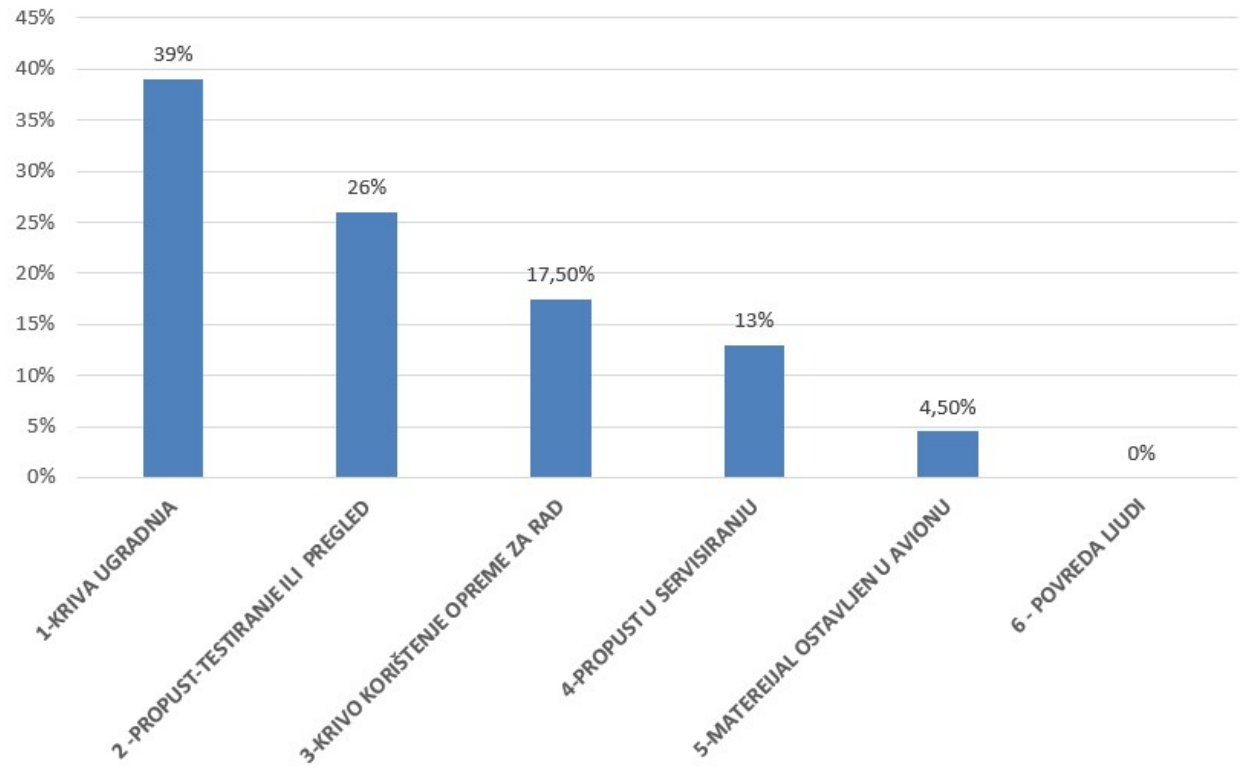
Tablica 4.1. Analiza grešaka u održavanju zrakoplova u promatranoj organizaciji

KATEGORIJA GREŠKE	PRIDONOSEĆI ČIMBENICI LJUDSKI FAKTOR	IZMJENE U INTERNOJ OKOLINI	ISPLATIVOST ULAGANJA
4- PROPUST U SERVISIRANJU- LOŠE SERVISIRANJE DIJELA SKINUTOG SA ZRAKOPLOVA	HF-3/HF-5/HF-1	1-IZMJENA TEHNOLOŠKOG PROCESA//2-OBRAZOVANJE	2 GODINE
2-OTKRIVANJE GREŠKE-LOŠ MANJKAV POPRAVAK NOSNE NOGE	HF-7	1-IZMJENA U TEHNOLOŠKOM PROCESU // 2- OBRAZOVANJE DJELATNIKA	JEDAN DOGAĐAJ
2-LOŠ MANJKAV POPRAVAK –NAKON ZAMJENE PROPELERA NIJE NAPRAVLJENA PROVJERA BALANSA	HF-2/HF9	1-OBRAZOVANJE DJELATNIKA KOJI IMAJU DOZVOLU ZA BALANSIRANJE PROPELERA	JEDAN DOGAĐAJ
4 – PROPUST U SERVISIRANJU – IZ RADIONICE JE DOBIVEN VENTIL NOSNE NOGE KOJI JE BIO NEPOUZDAN U RADU	HF-2/HF-7/HF-10/HF-10	1-PREZENTACIJA GREŠKE SVIM DJELATNICIMA	NIJE U OPISU POSLA ODRŽAVANJA ZRAKOPLOVA
2- PROPUST U PREGLEDU – CIJENJE VODE U PUTNIČKOJ KABINI IZ PLAHONA	HF-7	1- IZMJENE U PROCEDURI RADA // 2- PREZENTACIJA GREŠKE SVIM DJELATNICIMA	JEDAN DOGAĐAJ
2- PROPUST U OTKLONU GREŠKE – DJELATNIK NIJE NAPRAVIO POPRAVAK STRUKTURE ZRAKOPLOVA U SKLADU SA ZAHTJEVOM	HF-1/HF-4/HF-5	1-IZMJENA U ORGANIZACIJI ZA RAD/2- IZMJENA U TEHNOLOGIJI RADA 3- PREZENTACIJA GREŠKE SVIM DJELATNICIMA	JEDAN DOGAĐAJ
2-PROPUST U OTKLONU GREŠKE – POPRAVK OKOVA PROZORA PILOTSKE KABINE JE DJELIMIČNO NAPRAVLJEN	HF-1/HF-2/HF-7	1– IZMENA U ORGANIZACIJI RADA/2- IZMJENA TEHNOLOGIJE RADA 3-ŠKOLOVANJE	JEDAN DOGAĐAJ
5- MATERIJAL OSTAVLJEN U AVIONU- OSTATCI ŠPENE NAKON LIMARSKIH RADOVA	HF-11	1- IZMENA U TEHNOLOGIJI RADA	JEDAN DOGAĐAJ
1- KRIVA UGRADNJA DIJELA– KRIVA ZAMJENA GENERATORA ZA KISIK	HF-1/HF-4/HF-7	1- IZMJENA U TEHNOLOGIJI RADOVA	JEDAN DOGAĐAJ
1- KRIVA UGRADNJA DIJELA- UGRAĐEN DIO KOJI NIJE EVIDENTIRAN	HF-1/HF-7/HF-8	1- ŠKOLOVANJE	JEDAN DOGAĐAJ
3- OŠTEĆENJE IZAZVANO OPREMOM ZA RAD- NENAMJERNO AKTIVIRANJE TOBOGANA	HF-7/HF-2/HF-3	1- IZMJENE TEHNOLOGIJE RADA/ 2- ŠKOLOVANJE	JEDAN DOGAĐAJ
1-DIO KRIVO UGRAĐEN – POPRAVAK NIJE NAPRAVLJEN U SKLADU SA ZAHTJEVOM	HF-1/ HF-9/HF-9	1- IZMJENA U TEHNOLOGIJI RADA/ 2- NORMIZACIJA POSLA PO SLOŽENOSTI 3- ŠKOLOVANJE DJELATNIKA	JEDAN DOGAĐAJ
2-PROPUST U OTKRIVANJU GREŠKE- INSPEKTOR ZA BOROSKOPIJU JE NAPRAVIO KRIVU PROCJENU OŠTEĆENJA MOTORA	HF-3	1-ŠKOLOVANJE INSPEKTORA ZA BOROSKOPIJU	DVIJE GODINE
1-KRIVO UGRAĐEN DIO- NIJE ZAMIJENJEN KEMIJSKI GENERATOR ZA KISIK ZA KOJI JE IZDAN NALOG ZA ZAMJENU	HF-1/HF-7	1-IZMJENA U DOKUMENTACIJI	DVIJE GODINE
1- KRIVO UGRAĐEN DIO – INŽENJER JE KRIVO ODRADIO POSAO IZRADE RESURSA VALJANOSTI	HF-4	1- IZMJENA U DOKUMENTACIJI	JEDAN DOGAĐAJ
3-OŠTEĆENJE OPREMOM ZA RAD – OŠTEĆENJE ZRAKOPLOVA DIZALICOM ZA DIZANJE	HF-2/HF-4/HF-5	1- IZMJENE TEHNOLOGIJE ZA RAD/2 –IZMJENE ORANIZACIJE RADA 2- ŠKOLOVANJE DJELATNIKA	JEDAN DOGAĐAJ
1-KRIVA UGRADNJA DJELA- UGRAĐENA KRIVA NALJEPNICA NA UREĐAJ NAKON SERVISIRANJA	HF-1/H-F-2/HF-11	1- IZMJENA PROCEDURA ZA RAD//2-ŠKOLOVANJE DJELATNIKA	JEDAN DOGAĐAJ
3-LOŠ POPRAVAK – VRATA SE TEŠKO ZATVARAJU	HF ODRŽAVANJA NIJE UZROK GREŠKE	1-NE ODNOSI SE NA ORGANIZACIJU ZA POPRAVAK ZRAKOPLOVA	NEMA VREDNOST
4- PROPUST U SERVISIRANJU – VRATA ZA PRTLJAGU SU LOŠE PODEŠENA NA ZADNJEM SERVISU	HF-3	1-ŠKOLOVANJE SVIH DJELATNIKA ZA PODEŠAVANJE VRATA	DVIJE GODINE
1- KRIVA UGRADNJA DIJELA- TESTIRANJE JE NAPRAVLJENO ALTERNATIVNOM PROCEDUROM	HF-1/HF-3/HF-7	1- IZMJENA U TEHNOLOGIJI ODRŽAVANJA	JEDNA GODINA
3- OŠTEĆENJE SA OPREMOM- TIJEKOM PREGLEDA NAPRAVLJENO JE OŠTEĆENJE CIJEVI ZA ZRAK KOJE NIJE PRIMIJEĆENO	HF-2/HF-9	1-IZMJENE U PROCEDURI ZA RAD 2- ŠKOLOVANJE DJELATNIKA ZA PROCEDURE KVALITETE	JEDAN DOGAĐAJ
1-KRIVA UGRADNJA DIJELA – ZAMJENA DIELA KOJI NIJE IMAO DOZVOLU ZA UGRADNJU	HF-7/HF-8/HF-10	1-ŠKOLOVANJE SVIH DJELATNIKA ZA SUSTAV KVALITETE PO NAVEDENOM SLUČAJU	JEDAN DOGAĐAJ
1-KRIVA UGRADNJA DIJELA- DIO NIJE UGRAĐEN U SKLADU S PRIRUČNIKOM ZA ODRŽAVANJE	HF-1/HF-11	1-IZMJENA TEHNOLOGIJE RADA// 2-IZMJENE U ORGANIZACIJI POSLA	JEDAN DOGAĐAJ

U tablici su pridonoseći čimbenici za nastanak ljudske greške zbog utjecaja ljudskog faktora označeni kraticom HF-i. Kratica HF predstavlja oznaku za pridonoseći čimbenik zbog utjecaja ljudskog faktora, a broj na oznaci (i) je broj koji označava tip jednog od dvanaest pridonoseći čimbenika kako je prikazano u poglavlju 3.5.2. (klasifikacija grešaka prema dvanaest pridonoseći čimbenika ili *The Dirty Dozen*.)

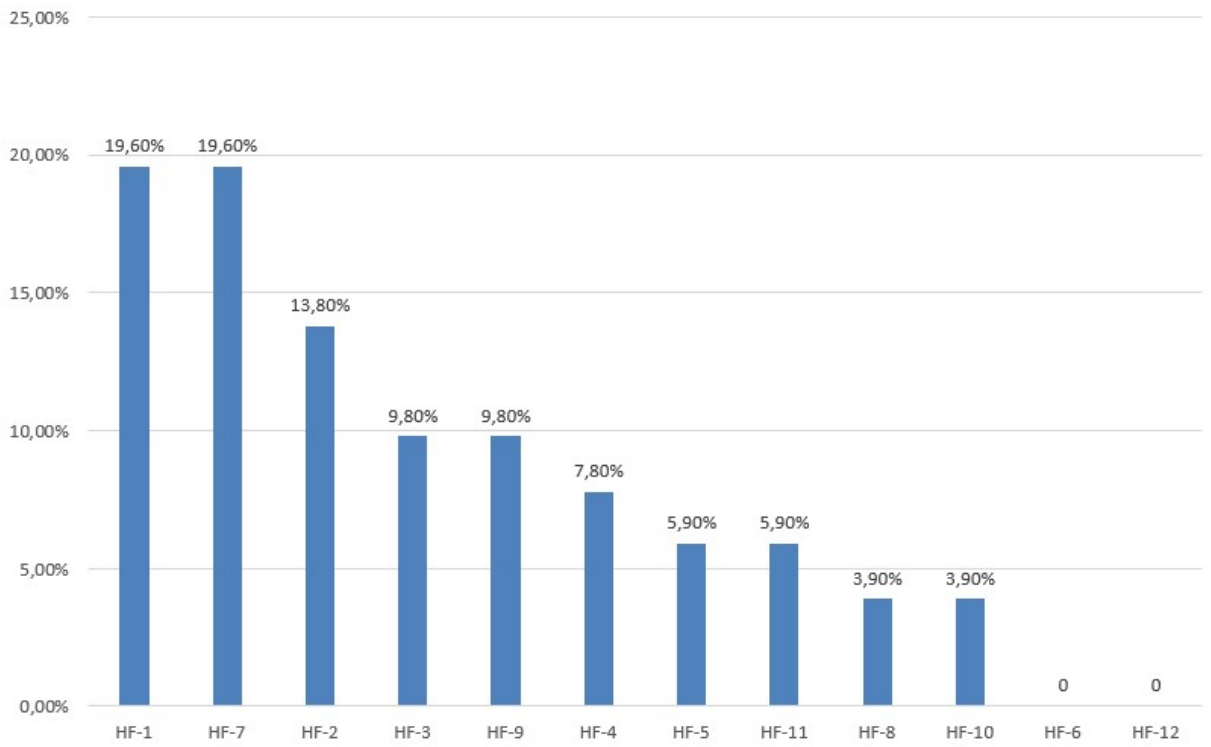
Kako bi organizacija za održavanje zrakoplova mogla upravljati greškama nastalim zbog utjecaja ljudskog faktora, mora pratiti trendove promjena pridonoseći čimbenika za ljudsku grešku u svojoj internoj okolini. Promatrana organizacija za održavanje zrakoplova vrši praćenje udjela pridonoseći čimbenika selektiranih prema sustavu *The Dirty Dozen* u greškama koje nastaju u zadnje dvije godine. Da bi to ostvarila, svake tekuće godine u isto kalendarsko vrijeme briše se zadnja godina s podatcima, a nova godina dodaje. Potom se računa novi udio pridonoseći čimbenika zbog utjecaja ljudskog faktora.

Prema dijagramu na slici 4.1., u prva tri vodeća tipa greške ubraja se kriva ugradnja dijela, krivo testiranje i krivo korištenje opreme za rad. Prema izvješćima s istraga u svim slučajevima, osobe koje su bile odgovorne za grešku, nisu bile svjesne da prave grešku, a ujedno su bile uvjerene da izuzetno dobro rade svoj posao.



Slika 4.1. Raspodjela tipova grešaka u razdoblju od 1. srpnja 2011. godine do 1. srpnja 2013. godine

Analizom svakog događaja utvrđen je pridonoseći čimbenik prema „*The Dirty Dozen*“ klasifikaciji. Težinski omjer pridonosećih čimbenika prikazan je na slici 4.2. prema dijagramu. Najizraženiji elementi koji pridonose nastanku greške su nedostatak komunikacije (HF-1), nedostatak resursa za rad (HF-7), procjena rada po prijašnjem iskustvu (HF-2) i nedovoljno znanje (HF-3). Opis *The Dirty Dozen* čimbenika nalazi se u poglavlju 3.5.2.



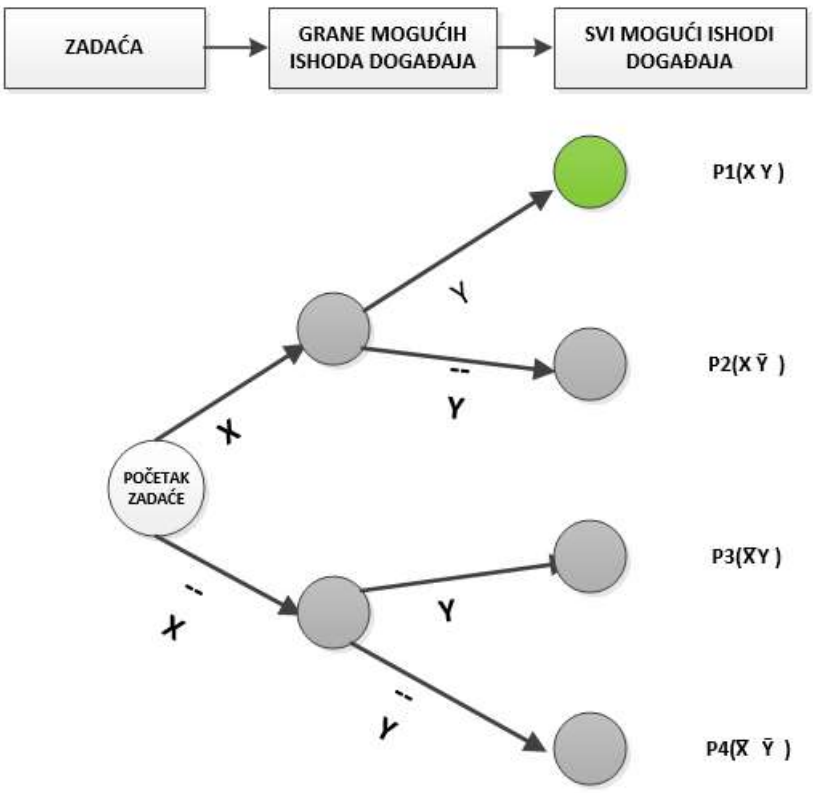
Slika 4.2. Raspodjela pridonosećih čimbenika The Dirty Dozen u razdoblju od 1. srpnja 2011. godine do 1. srpnja 2013. godine

Na slici 4.2. prikazan je udio pojedinog pridonosećeg čimbenika u broju pronađenih grešaka u održavanju za koje su napravljene istrage prema tablici 4.1. Podatci se koriste u izračunu za vjerojatnost ponavljanja greške kad se izvodi ista zadaća.

4.2. Izračun vjerojatnosti ponavljanja greške za zadaću koja se ponavlja

Za greške koje se dogode zbog utjecaja ljudskog faktora, radi se analiza uzroka grešaka i njihov utjecaj na sigurnost zrakoplova. Prikazan je primjer analize dviju grešaka koje su se dogodile zbog utjecaja ljudskog faktora. Vjerojatnost ponavljanje greške u slučaju da se ponovi ista zadaća održavanja zrakoplova računata je metodom FTA analize i metodom analize *stabla odlučivanja*. FTA analiza za izračun pouzdanosti zrakoplovnih sustava opisana je u poglavlju 2.3.1.

Metodu *stabla odlučivanja* razvio je J. Ross Quinlan početkom 80-tih godina za analizu vjerojatnosti ostvarenja nekog događaja [61]. *Stablo odlučivanja* se koristi u analizi grešaka ponavljanja koje nastaju zbog utjecaja ljudskog faktora [62]. *Stablo odlučivanja* omogućava detaljan grafički prikaz pridonosećih čimbenika koji doprinose nastanku greške zbog utjecaja ljudskog faktora i detaljan prikaz mogućih ishoda vjerojatnosti ponavljanja događaja u slučaju da se napravi greška uslijed jednog pridonosećeg čimbenika ili uslijed više njih koji dovode do nastanka greške. Metoda je jednostavna za izradu i koristi jednostavan matematički alat pa je stoga lako primjenjiva u analizama. Za analizu metodom *stabla odlučivanja* potrebno je pronaći pridonoseće čimbenike koji su doveli do nastanka greške zbog utjecaja ljudskog faktora. Kao primjer na slici 4.3. metodom *stabla odlučivanja* prikazana je analiza greške s dva poticajna čimbenika.



Slika 4.3. Grafički prikaz analize metodom *stabla odlučivanja* [73,74].

Poticajni čimbenici označeni su s X i Y. Ukoliko pridonoseći čimbenik ne doprinese nastanku greške odnosno ako se zadaća izvrši bez greške, onda su grane označene s X i Y. Ukoliko poticajni čimbenik doprinese nastanku greške, odnosno ako se tijekom zadaće napravi greška, tada su grane označene s $\bar{X}$ i $\bar{Y}$.

Za izračun vjerojatnosti greške stabla odlučivanja koristi se jednadžba (10):

$$P_j = P_2 + P_3 + P_4 \tag{10}$$

P_1 predstavlja vjerojatnost izvođenja zadaća u grani bez greške u radu odnosno pridonoseći čimbenici nisu doveli do nastanka greške X i Y.

P_2 predstavlja vjerojatnost izvođenja zadaće u grani s greškom u radu koju je uzrokovao pridonoseći čimbenik $\bar{Y}$.

P_3 predstavlja vjerojatnost izvođenja zadaće u grani s greškom u radu koju je uzrokovao pridonoseći čimbenik $\bar{X}$.

P_4 predstavlja vjerojatnost izvođenja zadaće u grani s greškom u radu koju je uzrokovao pridonoseći čimbenik $\bar{X}$ i $\bar{Y}$.

P_j vjerojatnost svih grana da se zadaća izvela s greškom koju je uzrokovao bar jedan pridonoseći čimbenik.

Vjerojatnost utjecaja pojedinog pridonosećeg čimbenika na mogućnost pojave greške u radu određena je empirijskom metodom na osnovi istraživanja uzroka nastanka ljudske greške prema slici 4.2.

4.2.1. Primjer: Nenamjerno aktiviranje tobogana

Opis događaja

Zrakoplov je bio parkiran na hangarskoj poziciji gdje se vrše tehnički pregledi zrakoplova. Prije početka pregleda na zrakoplovu se napravi osiguranje pojedinih sustava zrakoplova od nenamjernog uključenja u rad. U skladu s planiranim zadaćama održavanja i trenutnim opsegom zadaća održavanja koje se izvode, osigurava se sustava zrakoplova od nenamjernog uključenja u rad kako se zrakoplov ili ljudi ne bi doveli u opasnost u slučaju nenamjernog uključenja zrakoplovnih sustava. S obzirom da nisu planirani radovi na krilu, sustav za sprječavanje aktiviranja tobogana u slučaju nužde na krilima, nije bio osiguran od nenamjernog uključenja ili aktiviranja tobogana. Odjel kontrole bez razaranja na početku radova održavanja zrakoplova zaprima planirane zadaće ispitivanja zrakoplova

metodom bez razaranja koje trebaju napraviti na zrakoplovu. Kako se trenutno nisu radili radovi na krilu zrakoplova, inspektor za kontrolu bez razaranja, mimo planiranog rasporeda rada zadaća koje treba napraviti, odlučio je napraviti svoju zadaću pregleda bez razaranja na krilu.

Tijekom velikih pregleda vrata na krilu, koja služe za evakuaciju putnika u slučaju nužde, uvijek su otvorena kako bi se ostvario lakši pristup gornjoj površini krila i izravna komunikacija između djelatnika u zrakoplovu i izvan njega. Pristup dijelu krila gdje se trebao izvršiti pregled metodom bez razaranja je na dijelu krila gdje se pregled može napraviti pristupom s podiznom pokretnom platformom. S obzirom da u blizini nije bilo podizne pokretne platforme, djelatnik kontrole bez razaranja odlučio je prići mjestu pregleda izravno preko krila kroz vrata za izlaz u slučaju nužde. Dolaskom u zrakoplov vidio je da su vrata zatvorena. S obzirom na prijašnje iskustvo da su vrata uvijek otvorena, otvorio je vrata prema uputi za otvaranje u slučaju nužde i aktivirao krilni tobogan. Aktivirani tobogan odbacio je vrata koja ga pokrivaju na krilu i napuhao se u poziciju za evakuaciju putnika u slučaju nužde. Tijekom aktiviranja tobogana oko krila nije bilo prisutnih ljudi pa nije bilo povrijeđenih. Materijalna šteta je bila popravak tobogana u radionici i ugradnja novog na zrakoplov. Istraživanjem uzroka događaja definirana su tri osnovna čimbenika nastanka greške:

- HF-7 - nedostatak resursa za rad

  Nalog za rad bio je dio paketa velikog pregleda i nije sadržavao sva upozorenja za rad jer je pretpostavka da je zrakoplov potpuno postavljen u sigurnosni status koji omogućava kretanje po zrakoplovu i oko njega. Obavijesti o mogućim štetnim događajima i sigurnosna obavještenja nisu jasno istaknuta u nalogu za rad.
- HF-2- procjena rada prema prijašnjem iskustvu u radu

  Prema iskustvu djelatnik kontrole bez razaranja uvijek je radio u hangarskom okruženju na zrakoplovu kad su vrata za izlaz u slučaju nužde bila otvorena. Bez razumijevanja sustava, inspektor je otvorio vrata koja je smatrao da moraju biti otvorena zbog lakšeg prilaza na krilo zrakoplova.
- HF-3- nedovoljno znanje:

  Djelatnik kontrole bez razaranja koji je izvršavo zadaću , nije imao obuku za tip zrakoplova. Prema regulativi, on nije obvezan imati obuku za zrakoplov, ali zbog složenosti poslova koje obavlja na zrakoplovu i radi sprječavanja neželjenih događaja, zaključeno je da inspektori trebaju biti obučeni za tip zrakoplova na kojem rade. Dio obuke je i trening otvaranja vrata u slučaju nužde bez aktiviranja tobogana.

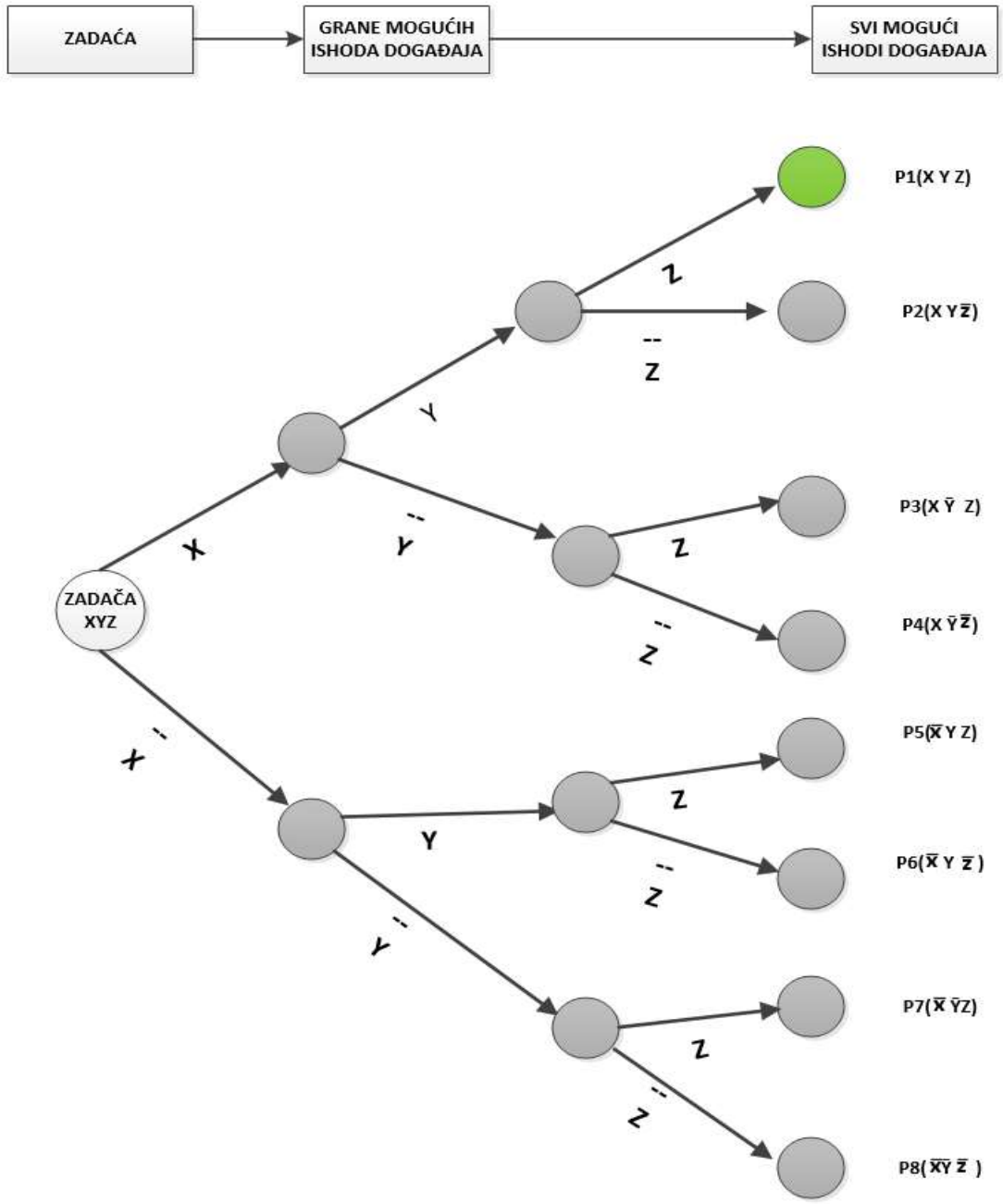
FTA analizom i *stablom odlučivanja* procijenjena je mogućnost ponavljanja navedene greške. Vjerojatnost događaja čimbenika koji su doveli do pojave greške zbog utjecaja ljudskog faktora uzeta empirijskom metodom na osnovi istraživanja uzroka događaja prema slici 4.2. Pridonoseći čimbenici koji su uzrokovali greške zbog utjecaja ljudskog faktora su:

- Nedostatak resursa za rad ili HF-7 označeno je s X u grani drveta. Vjerojatnost ponavljanja greške označava se s $\overline{X}$=0,196, a vjerojatnost da se greška neće dogoditi označava se X=0,804.
- Procjena rada prema prijašnjem iskustvu ili HF-2 označen je s Y u grani drveta. Vjerojatnost ponavljanja greške označava se s $\overline{Y}$=0,138, a vjerojatnost da se greška neće dogoditi se s Y=0,862.
- Nedovoljno znanje ili HF-3 označeno je sa Z u grani drveta. Vjerojatnost ponavljanja greške označava se sa $\overline{Z}$=0,098, a vjerojatnost da se greška neće dogoditi sa Z=0,902.

Mogućnost ponavljanja greške za izvođenje iste zadaće izračunata je metodom *stabla odlučivanja* koje je prikazano na slici 4.4. Zadaća počinje s pretpostavkom da je tehničar dobio radni nalog da napravi posao. Početno grananje se računa s pretpostavkom da je osigurana dobra priprema posla i da nema pridonosećih čimbenika koji bi doprinijeli grešci u izvršenju zadaće što je prikazano granom X. Druga mogućnost je da priprema posla nije dobro napravljena i da postoje pridonoseći čimbenici koji mogu uzrokovati greške zbog utjecaja ljudskog faktora. Grana s mogućom greškom prikazana je granom $\overline{X}$. Ovaj princip vjerojatnosti ishoda bez greške i ishoda s greškom primjenjuje se u svakoj točki grananja.
Mogućnost da krajnji ishod bude izvršenje zadaće bez greške, prikazano je granskom linijom *X-Y-Z* i krajnjim rezultatom $P1 = (YXZ)$.

Mogućnost da krajnji ishod bude izvršenje zadaće sa svim mogućim greškama, prikazno je granskom linijom $\overline{X - Y - Z}$ i krajnjim rezultatom $P_8 = \left(\overline{XYZ}\right)$.

Mogućnosti nastanka greške u radu pri izvođenju iste zadaće uzrokovane nekim od tri pridonoseća čimbenika prikazana je ostalim granama s vjerojatnostima $P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8$.



Slika 4.4. Grafički prikaz metodom stabla odlučivanja

$P_2 = (YX\,\overline{Z}) = 0{,}068$ - vjerojatnost da će se greška dogoditi jer tehničar nema dovoljno znanja za zadaću koju radi.

$P_3 = (X\,\overline{Y}Z) = 0{,}100$ - vjerojatnost da će se greška dogoditi jer tehničar izvršava zadaću prema prijašnjem iskustvu u radu, odnosno ne radi prema zahtjevu iz priručnika za održavanje zrakoplova.

$P_4 = (\mathrm{X}\overline{YZ}) = 0{,}011$ - vjerojatnost da će se greška dogoditi jer tehničar izvršava zadaću prema prijašnjem iskustvu u radu odnosno ne radi prema zahtjevu iz priručnika za održavanje zrakoplova i tehničar nema dovoljnog znanja za zadaću koju radi.

$P_5 = (\overline{X}\mathrm{YZ}) = 0{,}152$- vjerojatnost da će se greška dogoditi jer nije napravljena priprema posla koja je u skladu sa zahtjevom zadaće osigurava potrebne resurse za rad i pripremu posla.

$P_6 = (\overline{X}\mathrm{Y}\,\overline{Z}) = 0{,}017$ - vjerojatnost da će se greška dogoditi jer nije napravljena priprema posla koja je u skladu sa zahtjevom zadaće osigurava potrebne resurse za rad i pripremu posla, a tehničar koji je dobio nalog za izvršenje zadaće, nema dovoljno znanja za zadaću koju radi

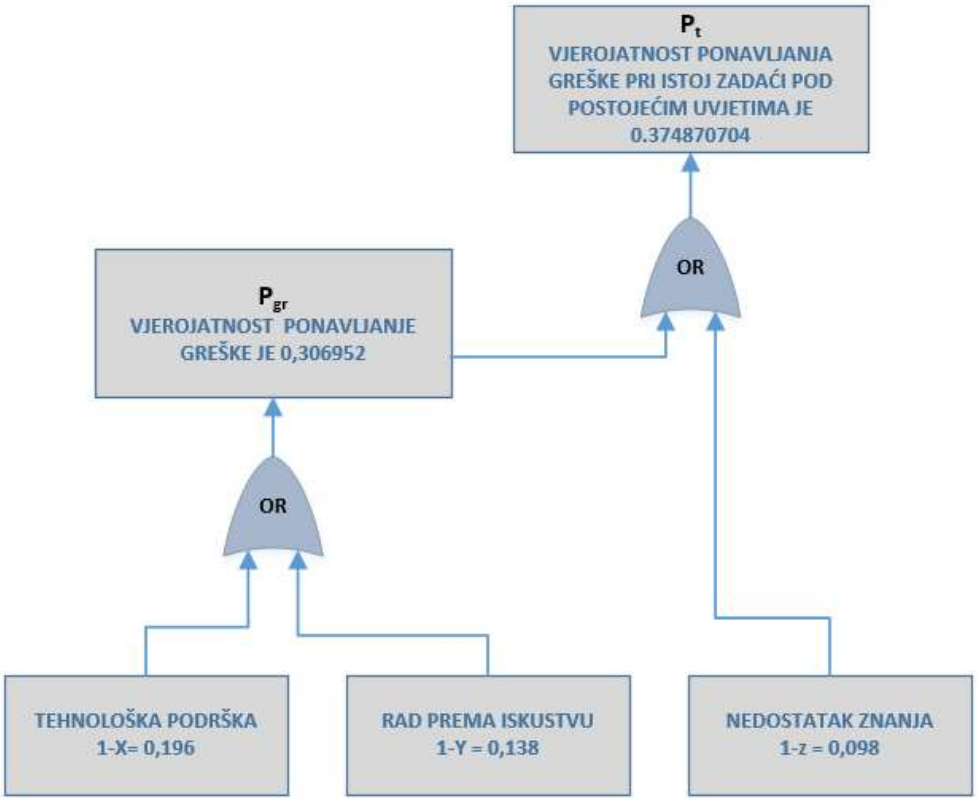
$P_7 = (\overline{XY}\mathrm{Z}) = 0{,}024$ - vjerojatnost da će se greška dogoditi jer nije napravljena priprema posla koja je u skladu sa zahtjevom zadaće osigurava potrebne resurse za rad i pripremu posla, a tehničar izvršava zadaću prema prijašnjem iskustvu u radu, odnosno ne radi prema zahtjevu iz priručnika za održavanje zrakoplova.

$P_8 = (\overline{XYZ}) = 0{,}003$ – vjerojatnost da će se greška dogoditi jer nije napravljena priprema posla koja je u skladu sa zahtijevom zadaće osigurava potrebne resurse za rad i pripremu posla, tehničar izvršava zadaću prema prijašnjem iskustvu u radu odnosno ne radi prema zahtjevu iz priručnika za održavanje zrakoplova tenema dovoljnog znanja za zadaću koju radi.

Izračun vjerojatnosti P_j da će se dogoditi nenamjerne ljudske greške pri izvođenju zadaće u bilo kojem obliku, naveden je u primjeru prikazanom slikom 4.4., a iznosi:

$$P_j = P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 = 0{,}375$$

Drugi izračun mogućnosti ponavljanja greške izračunat je FTA analizom koja je prikazana na slici 4.5. FTA analiza također se koristi u procjeni pouzdanosti rada u sustavu organizacije posla. U tom slučaju, elementi sustava su međusobni odnosi između pojedinih koraka rada i uvjeta koji djeluju na pojedine korake rada u sustavu. Primjer korištenja FTA analize je utjecaj elementa ljudskog faktora na mogućnost ponavljanje greške tijekom obavljanja radnih zadaća održavanja zrakoplova.



Slika 4.5. Vjerojatnosti ponavljanja greške prikazane FTA analizom

Vjerojatnost greške u radu izračunata prema logičkom dijagramu data izračunom P_t. Vjerojatnost nenamjerne greške zbog utjecaja ljudskog faktora za aktiviranja tobogana kad se radi navedena zadaća ispitivanjem bez razaranja je:

- vjerojatnost ponovnog događaja za granu u kojoj su pridonoseći čimbenici HF-7 i HF-2 je jednaka P_{gr} prema jednadžbi:

$$P_{gr} = 1 - \left(1 - \overline{X}\right)(1 - \overline{Y})$$

$$P_{gr} = 1 - (0{,}804 \times 0{,}862) = 1 - 0{,}693 = 0{,}307$$

- vjerojatnost nastanka greške za HF-3 je: $P_{\overline{z}} = 0{,}098$

- vjerojatnost da će se pri izvođenju iste zadaće napraviti greška u radu jednaka je Pt.

$$P_t = 1 - ((1 - P_{gr})(1 - P_z))$$

$$P_t = 1 - ((1 - 0{,}307) \times 0{,}902) = 1 - (0{,}693 \times 0{,}902) = 0{,}375$$

4.2.2. Primjer: Erozija napadne ivice vrata za ulaz zraka u izmjenjivač topline

Opis događaja

Inspekcijom zrakoplova, tijekom održavanja zrakoplova nakon dnevnog letenja, pronađeno je oštećenje napadne ivice vrata za zrak koji ulazi u izmjenjivač topline. Erozija je bila vidljiva tijekom generalnog obilaska zrakoplova, a na vidnoj daljini s koje se vrši detaljan pregled, mogu se vidjeti hrapava oštećenja koja su u začetku nastajanja. U tehničkoj dokumentaciji nije bilo upisa ili zabilježbe da postoji oštećenje zrakoplova. Ovlašteni djelatnik, koji je potpisao dnevni pregled, vidio je oštećenje, ali nije napravio evidenciju oštećenja i pregled istog.
Napravljen je intervju s djelatnikom koji je potpisao pregled i zatraženo pojašnjenje zašto nije evidentirao erozivno oštećenje ivice vrata u tehničke knjige zrakoplova. Prema rezulatima intervjua, djelatnik je upoznat s erozijom na vratima i promatrao ju je duže vrijeme. Prema iskazu, poznato mu je da tom zrakoplovu i na toj poziciji postoji erozivno oštećenje, ali nije bio svjestan da grešku treba evidentirati.
Istraživanjem uzroka događaja definirana su tri osnovna čimbenika nastanka greške:

- HF-11 - nedostatak savjesnosti:
  Kad je tehničar prvi put primijetio eroziju, bila je beznačajna i nije obraćao pozornost na progresiju oštećenja. Uočeno beznačajno oštećenje dovelo je do navike da erozija postoji. Djelatnik dalje nije obratio pozornost na progresiju oštećenja. Djelatnik se navikao na izgled oštećenja i nije poduzimao potrebne radnje koje predviđa sustav održavanja zrakoplova.
- HF-2 - procjena rada prema prijašnjem iskustvu u radu:
  S obzirom da nije bilo nikakvih primjedbi na rad sustava, tehničar je smatrao da ne treba poduzimati bilo kakve aktivnosti radi detaljnog pregleda erozije ili evidentiranja greške. Prema iskustvu zano je da svaka neispravnost ili nepouzdanost sustava daje izravno upozorenje sustava na neispravan rad. Za oštećenje od erozije, pretpostavljalo se da nije veće od dopuštenog oštećenja i da ne treba pridavati pažnju istom.

- HF-3 - nedovoljno znanje:

  Erozija vrata nema sustav upozorenja pilotima za grešku u rada sustava. Erozija je utjecala na obim oštećenja kompozita na vratima i s povećanjem erozije povećava se trošak popravka vrata. Prevencija bi bila popraviti manja oštećenja i spriječiti skup popravak tijekom velikih pregleda.

Da bi se izračunala vjerojatnost ponovnog događaja, primjenjuje se metoda kao u prethodnom primjeru. Elementi događaja su:

- Nedostatak savjesnosti ili HF-11 označen je sa X u grani drveta. Vjerojatnost ponavljanja greške označava se s $\overline{X}$= 0,059, a vjerojatnost da se greška neće dogoditi označava se s $X = 0{,}941$.
- Procjena rada prema prijašnjem iskustvu u radu ili HF-2 označena je s s Y u grani drveta. Vjerojatnost ponavljanja greške označava se s $\overline{Y}$= 0,138, a vjerojatnost da se greška neće dogoditi s s Y=0,862.
- Nedovoljno znanje ili HF-3 označeno je sa s Z u grani drveta. Vjerojatnost ponavljanja greške označava se sa $\overline{Z}$ =0,098, a vjerojatnost da se greška neće dogoditi sa s Z=0,902.

Prema metodi *stabla odlučivanja,* mogućnosti nastanka greške u radu pri izvođenju iste zadaće uzrokovane nekim od triju pridonoseća čimbenika prikazna je granama *stabla odlučivanja* s vjerojatnostima $P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8$.

$P_2 = \left(YX\,\overline{Z}\right) = 0{,}941 \times 0{,}862 \times 0{,}098 = 0{,}080$

$P_3 = \left(\mathrm{X}\,\overline{Y}\mathrm{Z}\right) = 0{,}941 \times 0{,}138 \times 0{,}902 = 0{,}117$

$P_4 = \left(\mathrm{X}\overline{YZ}\right) = 0{,}941 \times 0{,}138 \times 0{,}098 = 0{,}013$

$P_5 = \left(\overline{X}\mathrm{YZ}\right) = 0{,}059 \times 0{,}862 \times 0{,}902 = 0{,}046$

$P_6 = \left(\overline{X}\mathrm{Y}\,\overline{Z}\right) = 0{,}059 \times 0{,}862 \times 0{,}098 = 0{,}005$

$P_7 = \left(\overline{XY}\mathrm{Z}\right) = 0{,}059 \times 0{,}138 \times 0{,}902 = 0.007$

$P_8 = \left(\overline{XYZ}\right) = 0{,}059 \times 0{,}138 \times 0{,}098 = 0{,}001$

Izračun vjerojatnosti P_t da će se dogoditi nenamjerne ljudske greške pri izvođenju zadaće u bilo kojem obliku za drugonavedeni primjer je:

$$P_t = P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 = 0{,}269$$

Vjerojatnost greške u radu izračunata prema logičkom dijagramu na primjeru drugog događaja je:

- vjerojatnost ponovnog događaja je P_{gr}

$$P_{gr} = 1 - \left(1 - \overline{X}\right)(1 - \overline{Y})$$

$$P_{gr} = 1 - (0{,}941 \times 0{,}862) = 1 - 0{,}811 = 0{,}189$$

- vjerojatnost nastanka greške za HF-3 je $P_{\overline{z}} = 0{,}098$

- vjerojatnost da će se pri izvođenju iste zadaće napraviti greška u radu je jednaka Pt

$$P_t = 1 - (\left(1 - P_{gr}\right)(1 - P_z))$$

$$P_t = 1 - \left((1 - 0{,}189) \times (1 - 0{,}098\right) = 1 - (0{,}811 \times 0{,}902) = 0{,}268$$

4.3. Upravljanje greškama nastalim zbog utjecaja ljudskog faktora

Greške u održavanju zrakoplova, koje nastaju zbog utjecaja ljudskog faktora, klasificiraju se prema tome kakav učinak imaju na sigurnost zrakoplova i ljudi. Pojedine greške prema učinku djelovanja izravno ugrožavaju sigurnost zrakoplova, a pojedine umanjuju letne sposobnosti zrakoplova. Primjer je greška na jednom od dvaju postojećih sustava za klimatizaciju zrakoplova koja za posljedicu ima prekid rada jednog zrakoplovnog sustava za klimatizaciju. Posljedica te neispravnosti je smanjenje letne sposobnosti zrakoplova jer se smanjuje maksimalna visina letenja. Takva greška ne ugrožava izravno sigurnost letenja, ali povećava troškove letenja zbog smanjenja maksimalne visine leta. Zračni prijevoznik može, a ne mora uložiti sredstva u korektivne mjere radi sprječavanja nastanka ove greške. Ukoliko greška zbog utjecaja ljudskog faktora može ugroziti rad motora, odnosno može doći do otkaza motora u letu, što je izravno ugrožavanje sigurnosti leta, zračni prijevoznik mora napraviti korektivne mjere u sustavu bez obzira na cijenu troška korektivnih mjera.
Da bi zračni prijevoznik mogao odlučiti za koje greške će napraviti korektivne mjere u sustavu s ciljem sprječavanja nastanka grešaka zbog utjecaja ljudskog faktora, potrebno je napraviti:

- tablicu rizika koja prikazuje utjecaj grešaka na sigurnost zrakoplova
- izračun isplativosti ulaganja za sprječavanje nastanka grešaka u održavanju zbog utjecaja ljudskog faktora.

4.3.1. Klasifikacija grešaka prema učinku na sigurnost letenja

Prema sustavu sigurnosti i preporuci ICAO-a, sve greške klasificiraju se prema utjecaju greške na sigurnost letenja [18].
Kako bi odredili utjecaj grešaka na sigurnost letenja, vrši se procjena na osnovi:

- potencijalne opasnosti na trenutnu sigurnost letenja koju greška može izazvati kad se aktivira
- broja ponavljanja greške u intervalu vremena i vjerojatnosti ponavljanja greške pri izvođenju iste zadaće.

Prema potencijalnoj opasnosti, koju greška može izazvati kad se aktivira, napravljena je kategorizacija grešaka na kategorije A, B, C, D i E [19].
Pojedina kategorija greške ima značenja:

- A – katastrofalna - tip greške koji uzrokuje gubitak zrakoplova i veliki broj smrtno stradalih osoba
- B - opasna - tip greške koji uzrokuje značajno oštećenje zrakoplova ili povreda ljudi s mogućnošću smrtno stradalih
- C – znatna - tip greške koji može imati velik utjecaj na sigurnost zrakoplova ili ljudi, a može uzrokovati manja oštećenja zrakoplova ili lakše povrede ljudi
- D - mala - tip greške koji može imati manji utjecaj na sigurnost zrakoplova i ljudi, a ima trend oštećenja ili povreda
- E – neznatna - tip greške koji nema utjecaja na sigurnost zrakoplova ili ljudi, ali dovodi do zastoja u letenju ili do zadržavanja zrakoplova na zemlji zbog popravka.

U provedenom istraživanju, vjerojatnost ponavljanja greške zbog utjecaja ljudskog faktora klasificirana je prema ponavljanju u kalendarskom intervalu i prema vjerojatnosti ponavljanja greške pri svakom izvođenju pojedine zadaće na kojoj je napravljena greška.

Kalendarskim intervalom smatra se kalendarski period vremena u kojem se evidentira broj ponavljanja ili događanja grešaka istog ili sličnog tipa.

Učestalost se mjeri kao broj ponavljanja u određenom kalendarskom periodu, odnosno u promatranoj organizaciji, a kao referentni je uzet kalendarski interval od dvije godine.

Vjerojatnost ponavljanje greške pri izvođenju iste zadaće vrši se na osnovi izračuna mogućeg ponavljanja greške pri istoj zadaći kako je opisano u poglavlju 4.2.

Klasifikacija grešaka prema broju ponavljanja ostvarena je preporukama HACZ, EASA, ICAO i FAA [17,19,49,58,64]. U promatranoj organizaciju napravljena je slijedeća kategorizacija:

- Izuzetno neznatno – oznaka 1: Vjerojatnost i mogućnost da se greška dogodi u organizaciji za održavanje zrakoplova izuzetno je mala. Pojava greške nije zabilježena u promatranoj organizaciji, ali se dogodila u drugoj organizaciji za održavanje zrakoplova.
- Neznatno - oznaka 2: Greška se dogodila u periodu vremenskog intervala većeg od dvije godine. Vjerojatnost da se dogodi greška pri izvođenju iste zadaće manja je od 0,001 odnosno postoji mogućnost da se jedna greška dogodi u slučaju da se ista zadaća ponovi 1000 puta.
- Rijetko – oznaka 3: Sličan tip greške se dogodio u periodu manjem od dvije godine. Vjerojatnost da se greška dogodi pri izvođenju iste zadaće manja je od 0,05, a veća od 0,01. Mogućnost pojave greške je jedna greška u slučaju da se ista zadaća ponovi više od 100 puta a manje od 500 puta.
- Povremeno – oznaka 4: Isti tip greške ili ista greška dogodila se u periodu manjem od dvije godine. Vjerojatnost da se greška dogodi pri izvođenju iste zadaće manja je od 0,1, a veća od 0,05. Mogućnost pojave greške je jedna greška u slučaju da se ista zadaća ponovi više od 10 puta a manje od 500 puta.
- Učestalo – oznaka 5: Isti tip greške ili ista greška se dogodila u periodu manjem od šest mjeseci. Vjerojatnost da se greška dogodi pri izvođenju iste zadaće veća je od 0,1. Mogućnost pojave greške je jedna greška u slučaju da se ista zadaća ponovi manje od 10 puta.

U tablici 4.2 na horizontalnoj skali prikazane su vrijednosti intenziteta učinka greške na sigurnost zrakoplova, a na vertikalnoj skali intenzitet vjerojatnosti ponavljanja greške. Na osnovi učinka na sigurnost leta i intenziteta ponavljanja, greške mogu biti svrstane u jedno od tri područja opasnosti prema utjecaju na sigurnost letenja.

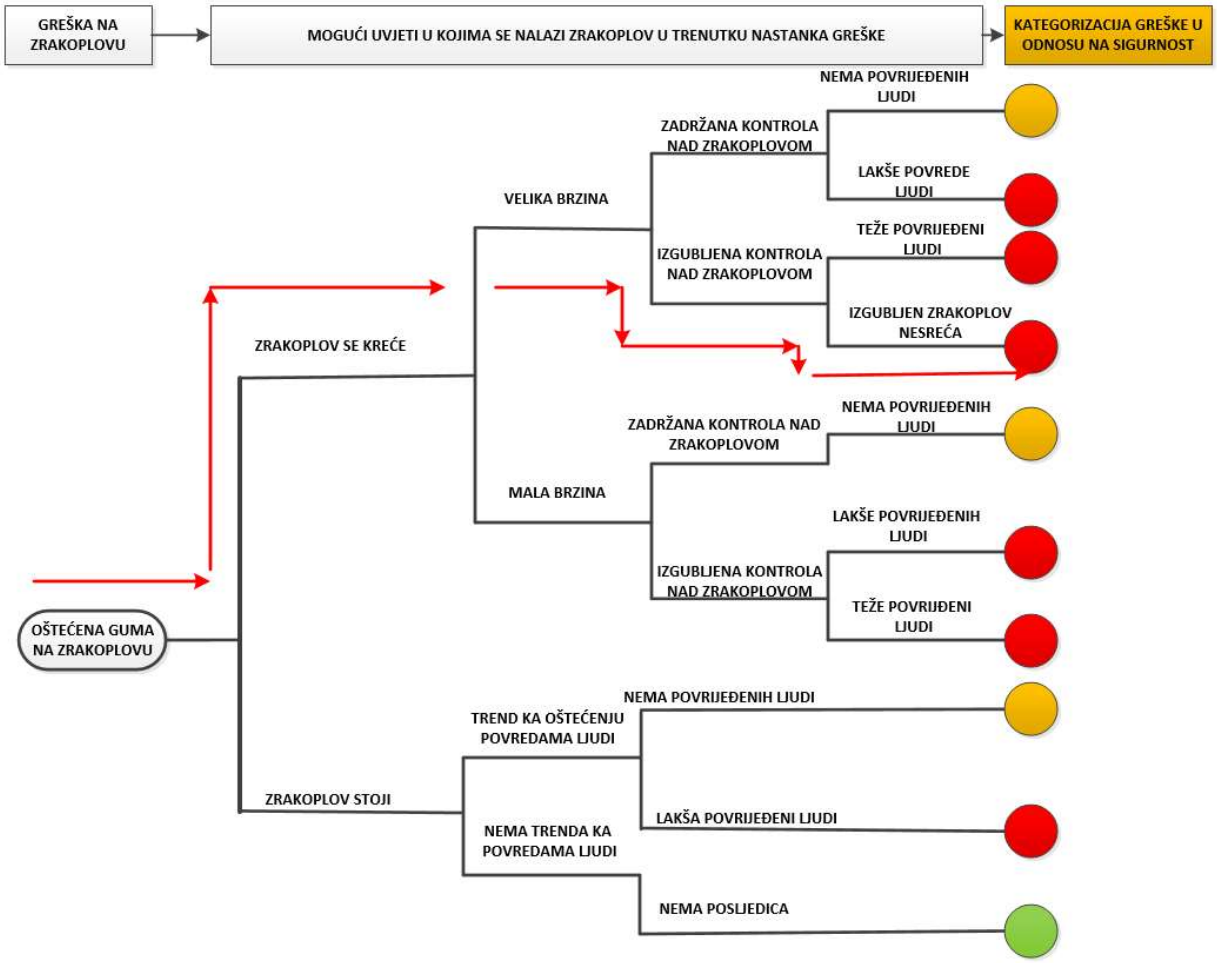
Tablica 4.2. Tablica rizika

UČESTALOST DOGAĐANJA GREŠKE U PROMATRANOJ ORGANIZACIJI		KATEGORIJA OPSANOSTI PO SIGURNOST				
		KATASTROFALNA GUBITAK ZRAKOPLOVA- PUNO POVRIJEĐENIH I SMRTNO STRADALIH A	OPASNA ZNAČAJNO OŠTEĆENJE ZRAKOPLOVA / POVREDA LJUDI I SMRTNO STRADALI B	ZNATNA VELIKI UTJECAJ NA SIGURNOSTI ZRAKOPLOVA ILI LJUDI - MANJA OŠTEĆENJA ILI POVREDE C	MALA MANJI UTJECAJ NA SIGURNOST ZRAKOPLOVA I LJUDI, TREND KA OŠTEĆENJU ILI POVREDAMA D	NEZNATNA NEMA UTJECAJA NA SIGURNOST ZRAKOPLOVA ILI LJUDI E
VJEROJATNOST PONAVLJANJA GREŠKE PRI OBAVLJANJU ISTE ZADAĆE >0,1	UČESTALO-5 DOGODILO SE VIŠE OD DVIJE GREŠKE ISTOG TIPA U PERIODU MANJEM OD ŠEST MJESECI	5A	5B	5C	5D	5E
VJEROJATNOST PONAVLJANJA GREŠKE PRI OBAVLJANJU ISTE ZADAĆE IZMEĐU 0,05-0,10	POVREMENO-4 ISTI TIP GREŠKE SE PONOVIO U PERIODU MANJEM OD DVIJE GODINE	4A	4B	4C	4D	4E
VJEROJATNOST PONAVLJANJA GREŠKE PRI OBAVLJANJU ISTE ZADAĆE IZMEĐU 0,01-0,05	RIJETKO-3 SLIČAN TIP GREŠKE SE DOGODIO U PERIODU MANJEM OD DVIJE GODINE	3A	3B	3C	3D	3E
VJEROJATNOST PONAVLJANJA GREŠKE PRI OBAVLJANJU ISTE ZADAĆE IZMEĐU 0,001-0,01	NEZNATNO-2 DOGODIO SE U PERIODU VEČEG INTERVALA OD DVIJE GODINE	2A	2B	2C	2D	2E
VJEROJATNOST PONAVLJANJA GREŠKE PRI OBAVLJANJU ISTE ZADAĆE <0,001	IZUZETNO NEZNATNO-1 MOGUĆ U TEHNIČKOM SUSTAVU ODRŽAVANJA ZRAKOPLOVA	1A	1B	1C	1D	1E

Kako je prikazano u tablici rizika 4.2., greške su klasificirane na tri područja opasnosti prema utjecaju na sigurnost letenja zrakoplova:

- Neprihvatljivo područje je na tablici crvena zona rizika. Ukoliko greška ugrožava sigurnost letenja, mora se otkloniti bez obzira na trošak potrebnog ulaganja za otklon greške. To su greške koje izravno ugrožavaju ne samo sigurnost zrakoplova već i opstojnost kompanije kod koje se takve greške događaju jer predstavljaju prijetnju za daljnje letenje i negativna su reklama zračnom prijevozniku. Cilj je potpuno otkloniti uzroke nastajanja ovih grešaka.
- Područje koje se tolerira je na tablici označeno žutom zonom rizika. Greške koje su prihvatljive za sigurno letenje mogu se pratiti uz prihvatljiv rizik za sigurnost letenja. Ovakve greške su pod stalnim praćenjem i ukoliko se procijeni da se zbog njih povećava rizik sigurnosti za letenje moraju se otkloniti uzroci nastajanja istih. Iako su ovakve greške prihvatljive u sustavu sigurnosti, one su najveći izvor neplaniranih materijalnih troškova pa se svaka organizacija trudi pronaći uzroke ovih grešaka i preventivno ih spriječiti. Pored ugrožavanja sigurnosti letenja, takav tip grešaka predstavlja potencijalni izvanredni trošak za zračnog prijevoznika i za organizaciju za održavanje zrakoplova. Za zračnog prijevoznika to su troškovi zbrinjavanja putnika uslijed kašnjenja zrakoplova na let i gubljenja ugleda kompanije. Za organizaciju koja se bavi održavanjem zrakoplova to su troškovi plaćanja popravka zbog greške koja se dogodila zbog utjecaja ljudskog faktora tijekom održavanja zrakoplova.
- Prihvatljivo područje označeno je na tablici zelenom zonom rizika. Područje za greške prihvatljivog rizika za sigurnost zrakoplova mogu se otkloniti, ali to nije nužno. Greške iz zelenog područja su rijetke ili nemaju izravan utjecaj na sigurnost zračne plovidbe. To su manje greške, ali je bitno pronaći uzrok njihova nastanka i pokušati ih potpuno eliminirati. Pronalaskom njihova uzroka nastajanja i intervencijom u internu okolini organizacije za održavanje zrakoplova, poboljšava se proces održavanja i preventivno djeluje na sprječavanje grešaka većeg ranga rizika.

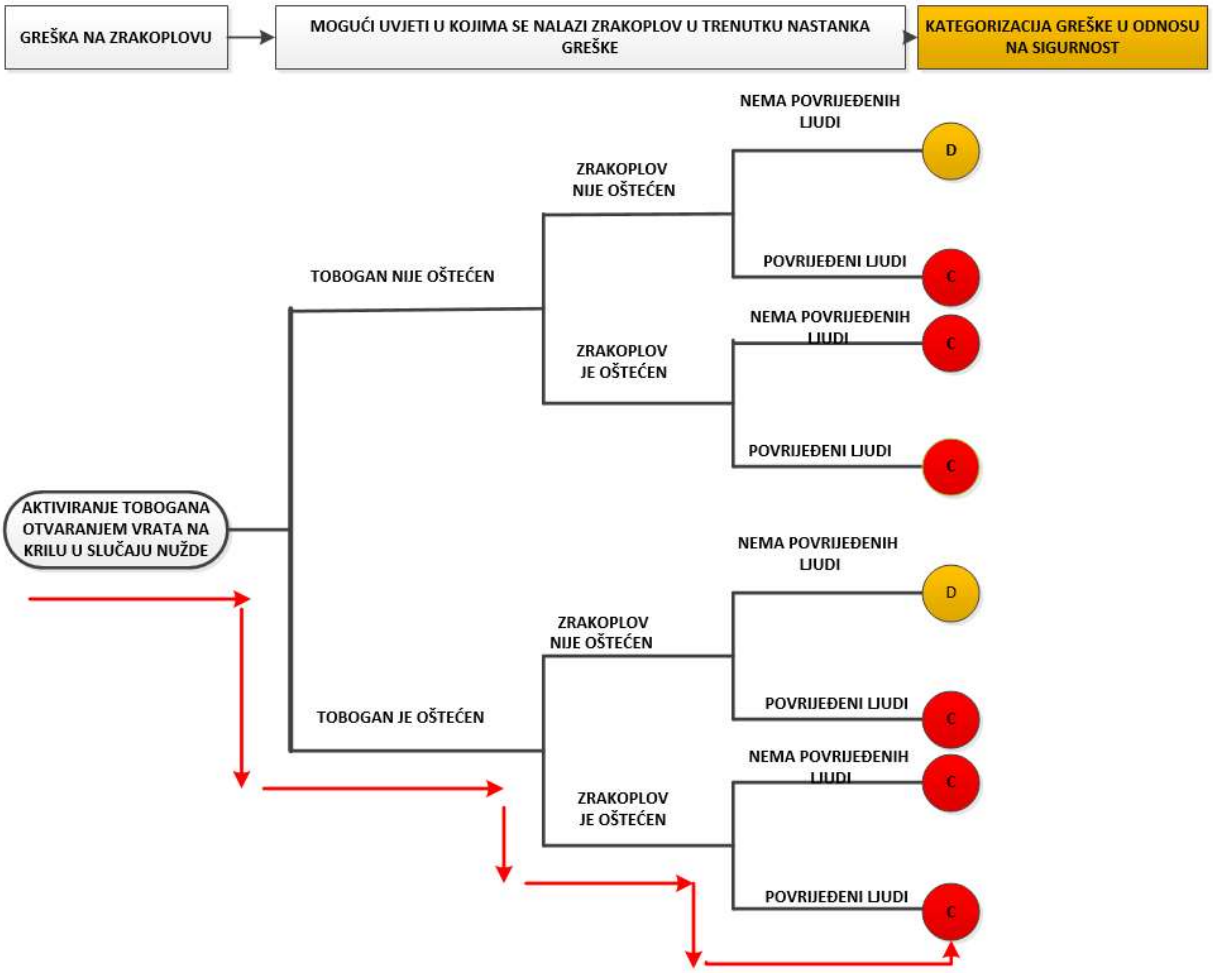
Prema preporuci koja se nalazi u *Safety Management System Manual,* određivanje utjecaja greške na sigurnost zrakoplova može se napraviti *Bow-Tie* modelom. Na slici 4.6. prikazana je prilagođena verzija *Bow-Tie* modela za primjer oštećenja gume zrakoplova [64].



Slika 4.6. Prilagođena verzija Bow-Tie modela za primjer oštećenja gume zrakoplova [64]

Model se zasniva na logici dviju odluka u svakoj grani od kojih je jedna odluka velikog rizika, a druga odluka manjeg rizika. Grane se određuju za svaku grešku pojedinačno i predstavljaju osnovne mogućnosti okruženja u kojima nastaju kao i posljedica koje mogu izazvati. Za određivanje utjecaja greške na sigurnost zrakoplova uzima se grana koja ima najveći utjecaj na sigurnost zrakoplova. Najveći utjecaj na sigurnost zrakoplova ima grana koja je označena crvenim strelicama.

Na slici 4.7. napravljena je analiza utjecaja greške iz primjera 1. opisanog u poglavlju 4.2.1. Grana s najvećim rizikom na sigurnost zrakoplova označena je crvenim strelicama.



Slika 4.7. Analiza mogućih ishoda posljedica za događaj opisan u primjeru 1. - nenamjerno aktiviranje tobogana

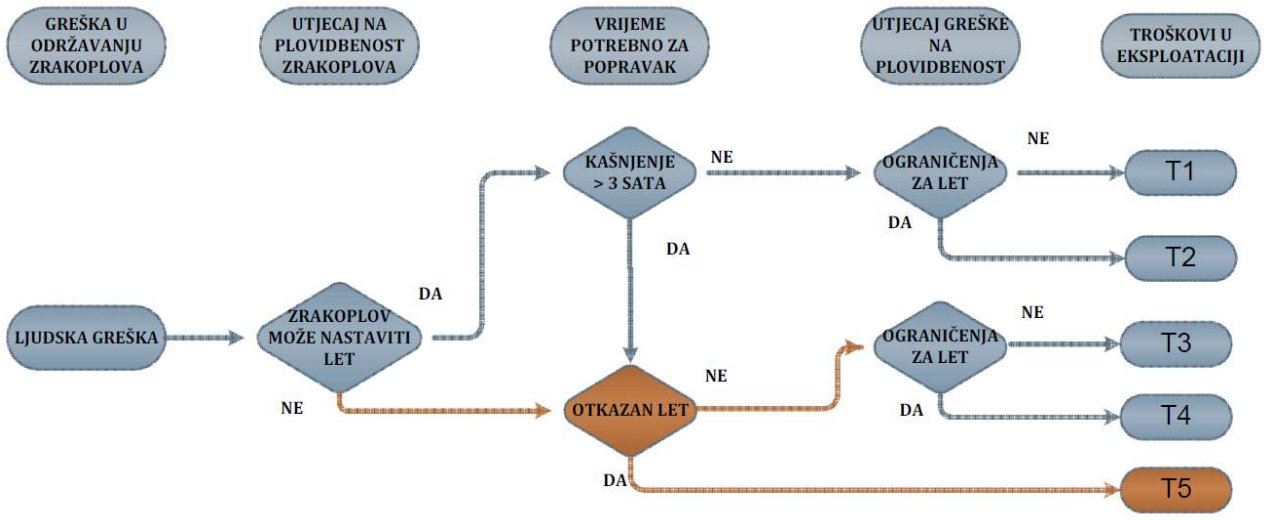
Prema utjecaju na rizik greška iz primjera 1. u poglavlju 4.2.1., uvrštena je u tablicu rizika prikazanoj tablicom 4.2. Prema kategoriji opasnosti po sigurnost zrakoplova određena je kategorija rizika *znatan* - C. Prema vjerojatnosti ponavljanja događaja izračunata vjerojatnost ponavljanja događaja P*t*=0,375 što je vjerojatnost ponavljanja >0,1. Prema tablici rizika pripada učestalosti ponavljanja kategorije *učestalo* - 5.

Prema tablici rizika greška se nalazi u crvenom području i za nju se mora izraditi korektivna mjera koja treba spriječiti nastanak iste ili slične greške u održavanju zrakoplova.

4.3.2. Isplativost ulaganja za otklanjanje greške

Uz greške koje se nalaze u zoni područja koje se tolerira (žuto područje) ili u području prihvatljivog rizika (zeleno područje), zračni prijevoznik može zrakoplovom, na kome su evidentirane greške, obavljati djelatnost javnog zračnog prijevoza uz stalno praćenje grešaka. Stalno praćenje grešaka podrazumijeva praćenje da greške ne prijeđu u neprihvatljivo područje (crveno područje) prema tablici rizika, da se ne pojave druge greške koje u kombinaciji s postojećim utječu na sigurnost zrakoplova i ukupni rizik za zrakoplov prijeđe u neprihvatljivo područje tablice rizika. Greške iz područja koje se tolerira ili prihvatljivog područja potencijalno povećava broj kašnjenja zrakoplova i ograničava operativne karakteristike zrakoplova.

Na slici 4.8. prikazani su indeksi troška zbog kašnjenja zrakoplova na let. Indeksi kašnjenja T_i predstavljaju troškove koji ovise o vremenu pojedinog kašnjenja i vrsti tehničke greške na zrakoplovu. Greška može izazvati kašnjenje i može se popraviti bez posljedica na daljnju plovidbenost zrakoplova. Zrakoplov može nastaviti let s greškom koja može imati utjecaj na ograničenje plovidbenosti zrakoplova, odnosno smanjiti broj dozvoljenih putnika za let ili ograničenja vezana za letne karakteristike zrakoplova što povećava trošak letenja.



Slika 4.8. Troškovi koji nastaju u slučaju tehničkog kašnjenja

Trošak po svakom indeksu ovisi o trošku koji ima zračni prijevoznik zbog izvanrednih operativnih troškova i troškova popravka zrakoplova. Najmanji trošak je prema indeksu T_1 koji predstavlja

kašnjenje zrakoplova na let bez financijske naknadne putnika i bez ograničenja za letenje uslijed tehničke neispravnosti. Zračni prijevoznik indekse računa za svaku pojedinu zračnu liniju posebno. Troškovi koje ima zračni prijevoznik u slučaju kašnjenja zrakoplova su [2,7,53,54]:

- naknada putnicima u slučaju kašnjenja zrakoplova na let uslijed tehničkog kvara ili otkaza leta i zbrinjavanje putnika do otklona kvara ili organizacija alternativnog prijevoza
- troškovi neplaniranog održavanja zrakoplova (popravak zrakoplova)
- neplanirani operativni troškovi nastali kašnjenjem leta, otkazom leta, vraćanja zrakoplova s leta ili neplanirano slijetanje zrakoplova u alternativnu zračnu luku.

Uredbom koju je propisala EU regulativa-261/2004. [2], tehnički kvar ne uzima se u obzir kao viša sila za opravdanje putnicima u slučaju kašnjenja zrakoplova na let ili otkaza leta. Stoga je zračni prijevoznik dužan nadoknaditi štetu putnicima u ovisnosti o vremenu kašnjenja polaska zrakoplova na polijetanje, otkazu leta, a razmjerno dužini leta na koji je putnik krenuo [2].
U slučaju kašnjenja zrakoplova zbog tehničkog kvara prema EU regulativi-261/2004. [2] putnik ima pravo na:

- za kašnjenja leta do 3 sata - skrb u vidu napitka i hrane.
- za kašnjenja leta više od 3 sata - financijska naknadu koja se kreće od 250 EUR za kraće letove do 1500 km
- za kašnjenje na let više od 3 sata ili otkaz leta - financijska naknadu koja može biti i do 600 EUR za udaljenosti leta veće od 3500 km
- najveća šteta koju putnik može dobiti, uključuje i dodatne odštete zbog vremena provedenog na putu, a može iznositi 5438 EUR.

Troškovi popravka zrakoplova uslijed tehničke neispravnosti ovise o vrsti kvara zrakoplova, utjecaju kvara zrakoplova na njegovu plovidbenost, mjestu gdje se dogodio kvar i ostalim uvjetima potrebnim za dovođenje zrakoplova u ispravno stanje. S obzirom da se tehničke greške ne mogu predvidjeti, u troškovima popravaka zrakoplova računa se:

- neplanirano vrijeme zadržavanja zrakoplova na zemlji zbog tehničkog kvara
  Zbog izvanrednog organiziranja radova na zrakoplovu, dodatno je zadržavanje zrakoplova na zemlji duže nego kod planiranog popravka ili servisnog održavanja. Duže vrijeme popravka zahtijeva više radnih sati tehničara koji vrše popravak zrakoplova.

- dostupnost opreme i zrakoplova

  Izvanredna doprema alata, opreme za popravak i dijelova zahtijeva izvanredne troškove. Izvanredna doprema dijelova i opreme za radove produžuje vrijeme zadržavanja zrakoplova na zemlji zbog trošenja vremena na dopremu na neplanirana mjesta održavanja.
- oiguranje uvjeta za rad

  Za otklanjanje pojedinih grešaka potrebni su posebni hangarski uvjeti s reguliranim mikroklimatskim uvjetima, sigurnosnim uvjetima rada i ekološkim standardu rada s gorivom, mazivom i kemikalijama koje se koriste tijekom popravka zrakoplova.
- dostupnost ljudskih potencijala

  U slučaju kvara izvan matičnih baza, za popravak moraju se osigurati radnici kvalificirani za popravak zrakoplova.

Korektivne akcije, koje zračni prijevoznik napravi u svom sustavu održavanja zrakoplova s ciljem sprječavanja nastanka sličnih ili istih grešaka, zračnom prijevozniku predstavljaju trošak. Stoga, zračni prijevoznik računa isplativost ulaganja u korektivne akcije u odnosu na trošak koji nastaje kad se greška dogodi na zrakoplovu. Za izračun isplativosti ulaganja korištena je modificirana jednadžba iz *Operator's Manual for Human Factor in Maintenance and Ground Operations* [66].

Jednadžba za isplativost ulaganja:

$$\frac{E_j}{\sum_1^x (T_i \times N_i)} \leq 1 \qquad (11)$$

Gdje je:

- T_i - trošak štete koji nastaje za jedan događaj za jedan tip greške
- N_i - broj ponavljanja iste greške s istom količinom štete
- E_j - trošak ulaganja za preventivno otklanjanje greške.

Prema jednadžbi 11, omjer troška ulaganja u korektivne mjere i trošak koji napravi jedan tip greške uvećan za broj ponavljanja iste greške mora biti jednak ili manji od 1 da bi ulaganje u korektivne mjere bilo isplativo. Broj ponavljanja iste greške može se dobiti empirijski uvidom u broj istih grešaka

u nekom proteklom periodu ili izračunom vjerojatnosti ponavljanja greške prikazanom u poglavlju 4.2.2.

Zračni prijevoznik na osnovi perioda isplativosti ulaganja u korektivne mjere, može donijeti odluku o primjeni korektivnih mjera u svoj sustav održavanja zrakoplova:

- primjena svih korektivnih mjera bez obzira na isplativost ulaganja.
  Ovakvim pristupom zračni prijevoznik vrši stalno poboljšanje svog sustava održavanja zrakoplova i time povećava pouzdanosti otpreme zrakoplova.
- primjena samo onih korektivnih mjera koje u isplative u nekom vremenskom periodu.
  Zračni prijevoznik može imati politiku primjene svih korektivnih mjera isplatiih za jedan događaj ili primjenu korektivnih mjera za isplativost u periodu od dvije godine. Za greške za koje nisu poduzete korektivne mjere, mora u skladu sa zahtjevom tablice za sigurnost, voditi nadzor i praćenje takvih grešaka [17,18,19,20,58]. Ovakvim pristupom zračni prijevoznik smanjuje svoju pouzdanost otpreme zrakoplova od moguće nominalne i ujedno potencijalno smanjuje kvalitetu održavanja zrakoplova jer ne korigira nedostatke u sustavu.

U promatranoj organizaciji za održavanje zrakoplova primjenjuju se sve korektivne mjere za sprječavanje nastanka greške u održavanju koje nastaju zbog utjecaja ljudskog faktora bez obzira na period isplativosti.

5. POBOLJŠANJE POUZDANOSTI OTPREME ZRAKOPLOVA PROAKTIVNIM UPRAVLJANJEM GREŠKAMA U ODRŽAVANJU

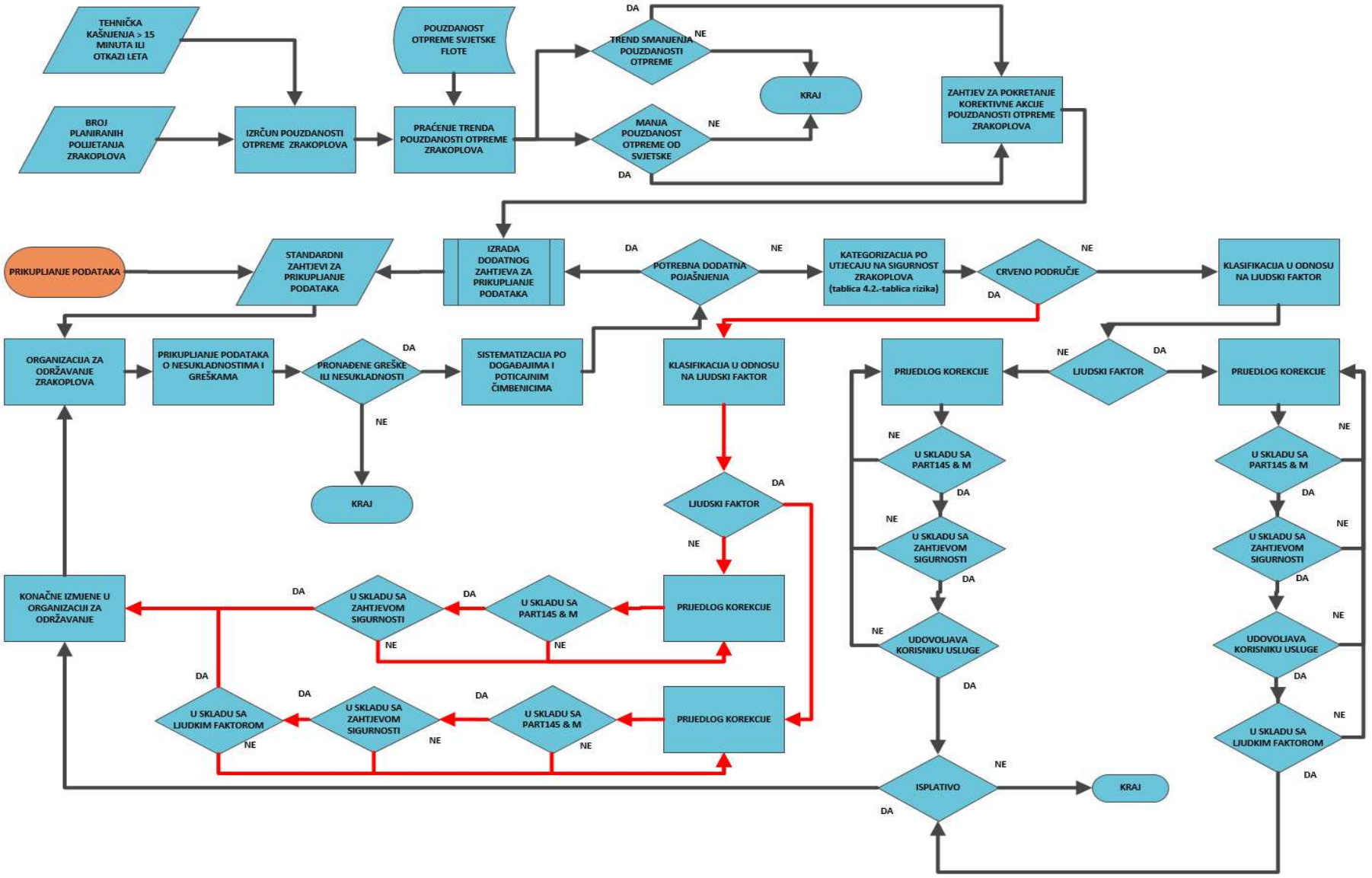
U ovom poglavlju iznosi se pregled zrakoplovnom regulativom propisanih (standardnih) načina prikupljanja podataka. Godine 2012. napravljena je usporedba pouzdanosti otpreme zrakoplova zračnog prijevoznika koji ima šest zrakoplova tipa Airbus A320 i šest zrakoplova tipa Bombardier DHC-Q-400 s pouzdanošću otpreme svjetske flote istih topova zrakoplova. Održavanje zrakoplova zračni prijevoznik vrši u organizaciji za održavanje zrakoplova koja je u sastavu zračnog prijevoznika. S obzirom da je pouzdanost otpreme zrakoplova bila lošija ili ista kao pouzdanost u otpremi svjetske flote, analizira se model standardnog upravljanja greškama u održavanju. Na osnovi analize grešaka, koje su se događale u promatranoj organizaciji za održavanje zrakoplova i standardnog prikupljanja podataka, uvode su dvije novine u model standardnog upravljanja greškama u održavanju. Uvedena je edukativna inspekcija kao dodatni dio standardnog prikupljanja podataka te je postavljen motivirajući čimbenik u grani izrade korektivnih mjera za sprječavanja nastanka grešaka zbog utjecaja ljudskog faktora. Na osnovi toga napravljen je model proaktivnog upravljanja greškama u održavanju.

5.1. Model standardnog upravljanja greškama u održavanju (MSUG)

U programu održavanja zrakoplova koji odobrava *Agencija za civilno zrakoplovstvo* propisane su sve zadaće održavanja zrakoplova. Zadaće održavanja mogu se jednokratno izvoditi ili mogu biti ponavljajuće. Početni interval ili interval ponavljanja izvođenja pojedine zadaće može se mjeriti u kalendarskom vremenu, broju sati leta zrakoplova ili broju polijetanja zrakoplova. Intenzitet zadaća održavanja i dužina planiranog vremena zadržavanja zrakoplova na zemlji zbog održavanja proporcionalan je intenzitetu letenja odnosno povećava se s povećanjem sati letenja ili brojem polijetanja. Na primjer, ako se zadaća provjere količine ulja na motoru vrši svakih 50 sati leta, a zračni prijevoznik leti dnevno 5 sati, provjera ulja na motorima vršit će se svakih 10 kalendarskih dana. Ako zračni prijevoznik leti 10 sati dnevno, provjera količine ulja na motorima vršit će se svakih 5 kalendarskih dana. S povećanjem sati letenja u danu smanjuje se kalendarsko vrijeme za izvođenje zadaća održavanja koje se određene prema broju sati leta zrakoplova. Povećanje broja zadaća održavanja zrakoplova zahtijeva usklađivanje planiranog letenja i planiranog zadržavanja zrakoplova na zemlji radi izvršenja zadaća održavanja. Neplanirano zadržavanje zrakoplova na zemlji zbog tehničkih grešaka, koje se dogode tijekom planiranog letenja, dovodi do kašnjenja zrakoplova na let

ili otkaza leta što smanjuje pouzdanost u otpremi zrakoplova. Zrakoplovnom regulativom su propisani (standardni) načini za prikupljanje podataka o grešakama u radu, otkrivanja mogućih pridonosećih čimbenika nastanka tehničkih grešaka uključujući i pronalaženje pridonosećih čimbenika koji dovode do nastanka nenamjernih grešaka u održavanju zbog utjecaja ljudskog faktora. Nakon analize uzroka grešaka, zračni prijevoznik izrađuje korektivne mjere za sprječavanje nastanka grešaka u skladu sa zahtjevima regulative i procjenom isplativosti ulaganja u korektivne mjere.

Na slici 5.1. prikazan je model standardnog upravljanja grekama u održavanju za poboljšanje pouzdanosti otpreme zrakoplova. Pojedine točke u gantogramu aktivnosti na slici 5.1. opisane su u poglavlju 5.1.1. i u poglavljima 5.1.2. i 5.1.3.



Slika 5.1 Model standardnog upravljanja greškama u održavanju (MSUG)

5.1.1. Standardni zahtjevi za prikupljanje podataka

Prema zrakoplovnim propisima zračni prijevoznik koji ima zrakoplove čiji se program održavanja zrakoplova temelji na MSG-3 logici mora uspostaviti program pouzdanosti zrakoplova. Program pouzdanosti zrakoplova ima zadaću prikupljanja podataka o tehničkom stanju zrakoplova, analizu prikupljenih podataka i izradu korektivnih akcija u sustavu održavanja zrakoplova čiji je cilj smanjiti broj tehničkih kvarova i povećati pouzdanost otpreme zrakoplova. Pored tehničkog statusa zrakoplova vrši se prikupljanje podataka kako bi se utvrdilo udovoljava li organizacija za održavanje zrakoplova zahtijevima zrakoplovne regulative[6].
Prikupljanje podataka vrši se standardnim zahtjevima za prikupljanje podataka koji se primjenjuje u modelu standardnog upravljanja greškama u održavanju (MSUG) za poboljšanje pouzdanosti otpreme zrakoplova. Ovaj model zasniva se na prikupljanju podataka koja se odnose na:

- istraživanja uzroka nesreća i nezgoda
- *audite* ili provjere
- povratne informacije sa školovanja
- izmjene informacija tijekom operativnih sastanaka
- inspekcije koje se vrše između dva leta zrakoplova
- interne inspekcije
- upise u tehničke knjige zrakoplova
- dojave tehničkih kvarova
- kultura dojave grešaka
- elektronska izvješća o statusu sustava zrakoplova koja šalje zrakoplov sa leta
- elektronske zapise koje bilježe sustavi za snimanje leta
- praćenje razvoja tehnologije i događaja u području održavana zrakoplova
- praćenje izmjena unutar organizacije za održavanje zrakoplova
- interne dodatne zahtjeve za prikupljanje podataka
- mjerenje pouzdanosti otpreme zrakoplova

Istražuju se uzroci koji su primarno doveli do nesreća i nezgoda kao i pridonosećih čimbenici koji su pridonijeli ovim događajima. Ovisno o uzrocima događaja, zrakoplovne vlasti, koje su istraživale nezgodu ili nesreću, predlažu korektivne mjere radi sprječavanja nastajanja sličnih događaja. Korektivne mjere tehničkog poboljšanja mogu biti izmjene dizajna zrakoplova, izmjene u proizvodnji

dijelova, izmjene u proizvodnji otpreme ili izmjene sustava održavanja zrakoplova. Korektivne mjere koje se odnose na korekciju pridonosećih čimbenika koji dovode do nastanka grešaka zbog utjecaja ljudskog faktora mogu biti mjere kojima se mijenja tehnologija rada ili se propisuju kao dio obvezne naobrazbe pojedinih učesnika u zračnom prijevozu.

Audit ili provjere predstavljaju provjeru je li organizacija za održavanje zrakoplova udovoljava zahtjevima regulative, odobrenog priručnika za rad i tehničkim standardima rada u industriji. Za svako odstupanje od propisa treba pronaći pridonoseće čimbenike i nakon toga napraviti korektivnu akciju radi otklanjanja istih. *Auditi* mogu generalno biti podijeljeni na vanjske i interne, ovisno o tome tko vrši provjere.

- Vanjski *audit* može biti od strane zrakoplovnih vlasti ili druge organizacije koja je korisnik usluga. Zrakoplovne vlasti *auditima* provjeravaju udovoljavaju li organizacije za održavanje zrakoplova zahtjevima za izdavanje ili produljenje dozvole za održavanje zrakoplova. Organizacija koja je korisnik usluga može biti zračni prijevoznik koji surađuje s organizacijom za održavanje zrakoplova ili druga organizacija koja je zainteresirana za suradnju. *Auditom* se provjerava udovoljava li organizacija propisanoj regulativi za održavanje zrakoplova i njihovim zahtjevima kvalitete te je li komercijalno prihvatljiva za suradnju. U slučaju odstupanja od zahtjeva organizacija za održavanje zrakoplova treba pronaći pridonoseće čimbenika koji dovode do nesukladnosti i napraviti korektivne mjere.
- Interni *audit* ima sve elemente kao i vanjski s razlikom što provjeru vrši sama organizacija za održavanje zrakoplova radi samokontrole.

Povratne informacije sa školovanja predstavljaju informacije koje se dobiju nakon obavljenih tečajeva i školovanja koje djelatnici moraju proći tijekom svog rada. Prema regulativi zračnog prometa obnova odobrenih specijalnih znanja i vještina za djelatnike, koji se bave održavanjem zrakoplova, mora se obnoviti svake dvije godine. Obnova znanja ili školovanje djelatnika obvezan je dio odobrenja za rad koje organizacija za održavane zrakoplova dobiva od zrakoplovnih vlasti. Da bi bila u skladu s važećim tehnologijama i zakonskom regulativom, organizacija za održavanje zrakoplova nužno mora primjenjivati nove tehnologije koje zahtijevaju dodatno obrazovanje djelatnika. Kako bi djelatnici mogli prihvatiti sve promjene u tehnologiji rada i izmjena u regulativi, nužno je kontinuirano školovanje djelatnika. Nakon svakog održanog predavanja djelatnici ocjenjuju predavanja prema kriteriju važnosti za daljnji rad. Pri tome djelatnici mogu predložiti aktualne teme za koje su zainteresirani za sljedeća predavanja. Ocjene i prijedlozi služe kao povratna informacija za unapređenje predavanja odnosno informacije o tome što djelatnicima treba za višu razinu znanja i

kvalitetnije obavljanje posla. Time se od djelatnika izravno dobivaju informacije o problemima koji su pridonoseći čimbenici za nastanak greške zbog utjecaja ljudskog faktora.

Izmjene informacija između službi ili timova odvijaju se na redovitim operativnim sastancima tijekom tekućih radova na održavanja zrakoplova ili tijekom posebnih zadaća održavanja zrakoplova koji se nominiraju kao projekti. Posebne zadaće održavanje zrakoplova ili projekti mogu biti složenije zadaće održavanje zrakoplova, složene zadaće održavanja zrakoplova koje se prvi put izvode, izvanredni događaji koji traže posebne pripreme za održavanje ili traju duže vrijeme kao što su popravak zrakoplova uslijed udara groma i slično. Izmjene informacija odvijaju se na početku, za vrijeme i nakon završetka projekta. Projekt se može sastojati od više timova koji izvršavaju različite zadaće kao što su tim za pripremne i završne raodove, tim za popravak zrakoplova, tim za ispitivanje materijala bez razaranja i tim za završna ispitivanja. Izmjena informacija između timova po planiranim koracima rada ili u slučaju nastanka problema u radu nužan je za analizu uzroka problema u radu, iznalaženja rješenja i koordinaciju rada između timova. Nakon završetka projekta nužno je analizirati svaki korak rada i potvrditi je li bilo grešaka ili ne. Ukoliko su pronađene greške, moraju se prepoznati uzroci i predložiti korektivne mjere radi otklanjanja istih u budućem radu.

Inspekcije koje se vrše između dvaju letova zrakoplova predstavljaju nenajavljeno utvrđivanje odstupanja od zahtjeva i utvrđivanje tehničke ispravnosti zrakoplova tijekom planiranog letenja zrakoplova. Na zračnim lukama zemalja Europske Unije, inspekcije vrši EASA. Inspekciju za zrakoplove Europske Unije provodi EASA odjel za procjenu sigurnosti zrakoplova koji su registrirani u EU (eng. *Safety Assessment of Community Aircraft* SACA), a za zrakoplove zemalja izvan Europske Unije, EASA odjel za procjenu sigurnosti zrakoplova koji su registrirani izvan EU (eng. *The Safety Assessment of Foreign Aircraft* SAFA*)* [65]. Inspekcije vrše inspektori zrakoplovnih vlasti zemlje na čiju zračnu luku zrakoplov slijeće, a odvijaju se tijekom boravka zrakoplova na zemlji između dvaju letova. Pregled obuhvaća pregled operativnih postupaka zračnog prijevoznika, pregled valjanosti dokumentacije zrakoplova i članova posade i tehničku ispravnost zrakoplova (prilog B). Greške koje se pronađu, a odnose se na tehničku ispravnost zrakoplova predstavljaju izvanrednu grešku tijekom planiranog letenja i izvanredno zadržavaju zrakoplov na zemlji do popravka iste. Broj grešaka i trend broja grešaka u nekom periodu predstavlja ocjenu kvalitete sustava održavanja zrakoplova. Ukoliko se pronađu greške koje nastaju zbog utjecaja ljudskog faktora, zračni prijevoznik mora napraviti korektivnu akciju s ciljem sprječavanja nastanka istih ili sličnih grešaka. Inspekciju koja je pronašla grešku potrebno je izvijestiti o učinjenim korekcijama.

Interne inspekcije predstavljaju utvrđivanje odstupanja od zahtijeva regulative i utvrđivanje tehničke ispravnosti zrakoplova tijekom planiranog održavanja zrakoplova na zemlji. Interne inspekcije vrše nominirani inspektori u organizaciji za održavanje zrakoplova. Cilj interne inspekcije je utvrditi status

izvršenih zadaća, stanje okruženja u kome se vrši rad, stanje alata kojim se radi i druge provjere sustava održavanja zrakoplova.

U tehničke knjige bilježe se kvarovi zrakoplova odnosno tehnički problemi operativnog letenja. Posada zrakoplova ili tehničari koji održavaju zrakoplov u tehničke knjige bilježe izvješća o tehničkom statusu zrakoplova. Analiziraju se tehnički problemi radi pronalaženja mogućih pridonosećih čimbenika za nastanak greške u održavanju zrakoplova.

Dojava tehničkih kvarova je obveza zračnog prijevoznika da izvještava zrakoplovne vlasti o svakom učestalijem kvaru na zrakoplovu ili kvaru zrakoplova koji je mogao ugroziti sigurnost zrakoplova. U izvješću se mora navesti uzrok greške, a ukoliko je uzrok nastanka greške ljudski faktor, mora se predložiti i primijeniti korektivna mjera koja će spriječiti nastanak iste ili slične greške.

Kultura dojave grešaka predstavlja obvezu svih učesnika u organizaciji za održavanje zrakoplova da prijave sva odstupanja od zrakoplovnih propisa rada i da prijave greške koje su učinjene u radu na zrakoplovu, uključujući i osobne greške pojedinog djelatnika. Kultura dojave grešaka najzahtjevniji je dio svjesnosti rada u svakoj organizaciji. Regulativa propisuje uvjete prema kojima se ne smije vršiti kažnjavanje djelatnika koji je napravio grešku. Sankcioniranje djelatnika zbog učinjene greške događa se u slučaju namjerne greške ili ako je u trenutku počinjena greške djelatnik bio pod utjecajem opojnih sredstava ili alkohola. Upravljački dio organizacije mora osigurati navedene uvjete kako bi se ostvarila sloboda i kultura izvješćivanja o nenamjernim propustima u radu i greškama koje nisu standard u održavanju zrakoplova. Na osnovi dobivenih izvješća, analiziraju se uzorci i stvaraju preporuke za otklanjanje pronađenih uzroka greške.

Elektronska izvješća predstavljaju automatsko prikupljanje podataka u centralno računalo o stanju ispravnosti zrakoplovnih sustava, motora zrakoplova, satima leta zrakoplova i drugim podatcima koji su važni za praćenje rada sustava zrakoplova. Elektronska izvješća o statusu sustava zrakoplova mogu se prikupiti iz centralnog računala tijekom boravka zrakoplova na zemlji. Pojedina izvješća automatski se šalju tijekom leta zrakoplova ili nakon slijetanja zrakoplova. Na osnovi podataka koji se šalju prate se trendovi podataka motora iz kojih se vidi trenutni tehnički status motora i trend rasta ili opadanja veličina mjernih podataka motora. Na osnovi toga moguće je predvidjeti greške u radu motora. Prema navedenim podatcima mogu se preventivno otklanjati greške na zrakoplovnim sustavima i motorima. Analizom uzroka grešaka traže se poticajni čimbenici nastanka greške. Ukoliko su greške nastale zbog djelovnja ljudskog faktora nužno je pronaći pridonoseće čimbenike u organizaciji za održavanje zrakoplova i napraviti korektivnu akciju za njihovo otklanjanje.

Elektronski zapisi snimaju vertikalnu i horizontalnu putanju zrakoplova u odnosu na zemljinu površinu od polijetanja do slijetanja. Ovi zapisi analiziraju se neovisno o tome je li zrakoplov imao kvar tijekom perioda snimanja. Za analizu tehničkih kvarova navedeni podatci koriste se kako bi se

pronašle greške u pojedinim fazama leta koje nije moguće simulirati na zemlji, ili za analizu incidentnih događaja koji su se desili tijekom letenja kao što su jake turbulencije, tvrdo slijetanje i slični događaji. Ukoliko se analizom utvrdi da je uzrok greške ljudski faktor, mora se izvršiti korektivna mjera u sustavu održavana zrakoplova da bi se spriječili isti ili slični događaja.

Praćenje razvoja tehnologije i događaja u području održavanja zrakoplova predstavlja aktivno sudjelovanje organizacije za održavanje zrakoplova na stručnim skupovima i praćenje događaja iz područja tehnologije održavanja zrakoplova. Proizvođači zrakoplova kontinuirano tehnički poboljšavaju model zrakoplova koji je u operativnom letenju. Primjena novih tehnologija u zračnom prijevozu nužno zahtijeva izmjene u regulativi kojom se propisuju uvjeti dobivanja dozvola za rad organizacije za održavanje zrakoplova. Kako bi postojeća organizacija za održavanje zrakoplova zadržala dozvolu za održavanje zrakoplova, ona mora udovoljiti izmjenama u regulativi.

Izmjene unutar organizacije za održavanem zrakoplova vrše se zbog primjene novih tehnologija rada ili primjene korektivnih mjera za otklon nesukladnosti u radu. Svaka izmjena u organizaciji predstavlja potencijalnu opasnost za stvaranje pridonosećih čimbenika za nastanak ljudske greške. Negativna iskustva u radu drugih organizacija za održavanje zrakoplova koje su napravile slične izmjene, a koje su dovela do grešaka u održavanju, mogu poslužiti kao upozorenje da se slične ili iste greške izbjegnu. Stoga organizacija za održavanje zrakoplova prati iskustva drugih organizacija za održavanje koje su napravile slične izmjene i ugrađuje preventivne mjere za sprječavanje nastanka ljudske greške temeljem tuđih iskustava.

Interni dodatni zahtjevi za prikupljanje podataka su zahtjevi koje zračni prijevoznik koristi za dodatne provjere i kontrole radi šireg i jasnijeg uvida u održavanje zrakoplova ili tehničkog statusa zrakoplova.

Pouzdanost u otpremi zrakoplova je opisana u poglavlju 2.6. Povećanjem grešaka u planiranom letenju smanjuje se pouzdanost otpreme zrakoplova što je uočljivo na trendu krivulje pouzdanosti otpreme zrakoplova. Praćenjem trenda krivulje pouzdanosti otpreme zrakoplova omogućuje se uvid u kratkoročne tehničke i dugoročne promjene u održavanju zrakoplova. Kratkoročne promjene odnose se na pojedine probleme koji se prikazuju kao nagli skok u dijagramu pouzdanosti otpreme na koji treba reagirati traženjem uzročno-posljedičnih veza s ciljem rješavanja problema. Stalni i dugoročni pad pouzdanosti otpreme zrakoplova upućuju na povećanje izvanrednih kvarova što je posljedica sustavnog problema u organizaciji za održavanje zrakoplova.

5.1.2. Kategorizacija prikupljenih podataka prema događajima i poticajnim čimbenicima

Prikupljanje podataka o nesukladnosti između zahtjeva regulative i zatečenog stanja u organizaciji za održavane zrakoplova te podataka o tehničkom statusu zrakoplova počinje u početnoj točki prikazanoj na slici 5.1. Početna točka prikazana je elipsom sa nazivom *prikupljanje podataka*. Početna točka, ovisno o veličini organizacije za održavanje, može biti posebna služba za veliku organizaciju, a u manjim organizacijama to je obično služba sustava kvalitete.
Za svaku nesukladnost ili događaj mora se napraviti:

- sistematizacija podataka prema vrsti greške u održavanju
- kategorizacija podataka prema utjecaju na sigurnost leta
- kategorizacija podataka prema utjecaju poticajnih čimbenika na nastanak greške zbog utjecaja ljudskog faktora
- izrada provjere i implementacije korektivnih mjera.

Sistematizacija podataka prema vrsti greške u održavanju odvija se prema kategorijama opisanim u MEDA obrascu u poglavlju 3.4.2. i poglavlju 4.1. Za sistematizaciju pridonosećih čimbenika koristi se dijagram *riblje kosti*. Ukoliko su za analizu potrebna dodatna pojašnjenja, izrađuju se dodatni zahtjevi za prikupljanje podataka. Za dodatna pojašnjenja koristi se jedan od standardnih zahtjeva prikupljanja podataka.
Kategorizacija podataka koji imaju utjecaj na sigurnost letenja odvija se prema utjecaju greške na sigurnost leta. Nalazi ili greške koje se otkriju tijekom *audita* sistematiziraju se u tri kategorije [6,19]. Kategorizacija nesukladnosti i grešaka ima tri nivoa:

- **Nivo 1 ili *Level 1*** je nalaz provjere koji označava nesukladnost koja utječe na sigurnost letenja ili odstupanje od zahtjeva regulative. Organizacija za održavanje zrakoplova mora odmah ukloniti nesukladnost, a ovisno o potencijalnoj opasnosti, može odmah izgubiti dozvolu za rad do otklona nesukladnosti. Maksimalni vremenski period za otklon nesukladnosti može biti 30 dana.
- **Nivo 2 ili *Level 2*** je nalaz provjere koji označava nesukladnost koja ima mogućnost utjecaja na sigurnost letenja ili djelomično odstupanje od zahtjeva regulative. Maksimalni vremenski period za otklon nesukladnosti može biti tri mjeseca.

- **Preporuka ili *Recomandation*** je preporuka koja se može dati tijekom provjere s ciljem poboljšanja rada u organizaciji za održavanje zrakoplova. Može biti prihvaćena ili odbijena bez posljedica po organizaciju za održavanje zrakoplova. Maksimalni vremenski period za otklon nesukladnosti može biti šest mjeseci.

Greške koje pronađu inspekcije SACA i SAFA, a odnose se na tehničku ispravnost zrakoplova, pohranjuju se u bazu podataka navedenih agencija i služe za praćenje kvalitete održavanja zrakoplova. Prati se trend količine grešaka i utjecaj koje greške imaju na sigurnost letenja kroz određeni vremenski period. Zračni prijevoznici, koji prema bazi podataka imaju nalaze koji utječu na sigurnost zrakoplova ili stalne trendove povećanja nalaza, mogu dobiti zabranu slijetanja u zračne luke zemalja na kojima su inspekcije pronašle tehničke neispravnosti. Nakon primitka nalaza zračni prijevoznik analizira uzroke pronađenih grešaka kako bi se otkrili čimbenici nastanka pronađenih grešaka. Ukoliko su greške nastale zbog utjecaj ljudskog faktora, moraju se pronaći pridonoseći čimbenici opisani u poglavlju 3.5.2. te napraviti korekcije u organizaciji za održavane zrakoplova kako bi se otklonili pridonoseći čimbenici nastanaka ljudske greške.

Greške koje pronađu inspekcije SACA i SAFA podijeljene su u kategorije (eng. *Category*) [65]:

- Kategorija 1 ili *Category 1* su greške koje ne utječu na plovidbenost zrakoplova. Ova kategorija se prijavljuje zračnom prijevozniku, a ne prijavljuje se zrakoplovnim vlastima.
- Kategorija 2 ili *Category 2* su greške koje mogu imati utjecaj na plovidbenost zrakoplova. Greške se moraju otkloniti prije prvog komercijalnog leta. Primjer ovih grešaka su greške sa kojima zrakoplov može nastaviti let prema listi MEL [48]. Ova kategorija se prijavljuje zračnom prijevozniku koji je ujedno obavezan greške prijaviti zrakoplovnim vlastima zemlje u kojoj je registriran zrakoplov.
- Kategorija 3 ili *Category 3* su greške koje imaju izravan utjecaj na plovidbenost zrakoplova. Greške se moraju otkloniti prije prvog komercijalnog leta. Ova kategorija se prijavljuje zračnom prijevozniku i izravno se prijavljuje zrakoplovnim vlastima zemlje u kojoj je registriran zrakoplov .

Kategorizacija grešaka ili nesukladnosti koje pronađe organizacija za održavanje zrakoplova mora se utvrditi prema utjecaju na sigurnost letenja. U poglavlju 4.3.1. opisan je postupak kategorizacije grešaka na tri područja prema utjecaju na sigurnost letenja.

Kategorizacija podataka prema utjecaju pridonoseći čimbenika na nastanak greške zbog djelovanja ljudskog faktora dobiva se analizom pridonoseći čimbenika za nastanak nesukladnosti ili grešaka na zrakoplovu. Uzroci nesukladnosti ili grešaka analiziraju se dijagramom *riblje kosti*. Poticajni

čimbenici klasificiraju se na čimbenike zbog djelovanja ljudskog faktora prema klasifikaciji dvanaest pridonosećih čimbenika *The Dirty Dozen.*

Izrade provjera i implementacije korektivnih mjera u promatranoj organizaciji za održavanje zrakoplova prikazan je na slici 5.1. Slika prikazuje model standardnog upravljanja greškama u održavanju (MSUG) za povećanje pouzdanosti otpreme zrakoplova. U modelu su na gantogramu aktivnosti prikazane dvije grane korektivnih mjera prema utjecaju na sigurnost leta. Grana u crvenom području u odnosu na ugrožavanje sigurnosti leta i grana u kojoj su greške kategorizirane u žutom ili zelenom području u odnosu na ugrožavanje sigurnosti leta.

Ukoliko postoji odstupanje ili greške pripadaju crvenom području prema utjecaju na sigurnost leta, korektivne mjere moraju se napraviti bez obzira na troškove korekcije. Greška se korigira prema granama tijeka aktivnosti. Ukoliko su pridonoseći čimbenici nastali zbog djelovanja ljudskog faktora, oni se otklanjaju prema grani toka koja u sebi ima zahtjev za korekciju vezan za ljudski faktor.

Ukoliko postoji odstupanje ili greške pripadaju žutom ili zelenom području prema utjecaju na sigurnost leta, organizacija za održavanje zrakoplova procjenjuje isplativost primjene korektivnih mjera i na osnovi interne procjene isplativosti može primijeniti korektivnu mjeru ili ne. Za navedene korektivne greške u granama za izradu korektivnih mjera, uvrštena je odluka o prihvatljivosti korektivne mjere korisniku usluga

Nakon kompletnog procesa donošenja odluka po pojedinoj grani aktivnosti, vrši se implementacija korektivnih mjera u organizaciju za održavanje zrakoplova.

5.1.3. Pouzdanost otpreme sustava održavanja zračnog prijevoznika tijekom 2012. godine

Istraživanje učinkovitosti modela standardnog upravljanja greškama u održavanju (MSUG) i izrada korektivnih mjera provedena je u organizaciji zračnog prijevoznika koji ima svoju organizaciju za održavanje zrakoplova na kojoj je izvršeno istraživanje. Organizacija za održavanje zrakoplova u kojoj je vršeno istraživanje i koja je promatrana tijekom istraživanja, ovlaštena je za linijsko i bazno održavanje zrakoplova te za radioničko održavanje sekundarne strukture i manje složenih komponenti. Organizacija nije ovlaštena za radioničko održavanje motora i složenih komponenti.

Istraživanje je napravljeno na zrakoplovima u floti zračnog prijevoznika koji ima:

- 6 zrakoplova tipa Airbus A320f s motorima CFM56-5B6/P
- 6 zrakoplova tipa DHC-Q-400 proizvođača Bombardier s motorima PW150A

Polazne pretpostavke za istraživanje koje je počelo 2012. godine bili su podatci učinkovitosti sustava održavanja zrakoplova koji su se temeljili na standardnom prikupljanju podataka i poboljšanju pouzdanosti otpreme zrakoplova upravljanjem greškama u održavanju. Analizom podatka iz 2012. godine napravljena je usporedba rezultata za:

- pouzdanost otpreme zrakoplova zračnog prijevoznika koji ima promatranu organizaciju za održavanje i pouzdanost otpreme svjetske flote
- broj tehničkih grešaka koje su pronađene tijekom SAFA i SACA inspekcija u 2012. godini.

Pouzdanost otpreme zrakoplova zračnog prijevoznika u kojem se nalazi promatrana organizacija za održavanje zrakoplova i pouzdanost otpreme svjetske flote za tipove zrakoplova Airbus A320 i Bombardier DHC-Q-402 prikazana je tablicom 5.1. Prikazana je prosječna pouzdanost otpreme zrakoplova za 2012. godinu za svjetsku flotu i za zrakoplove zračnog prijevoznika koji ih održava u promatranoj organizaciji za održavanje.

Tablica 5.1. *Prosječna pouzdanost otpreme zrakoplova za 2012, godinu*

PROSJEČNA POUZDANOST OTPREME ZRAKOPLOVA ZA 2012. GODINU	SVJETSKA FLOTA	ZRAČNI PRIJEVOZNIK
DHC-Q-400	98.56%	98,45%
AIRBUS A320f	99,33%	99,16%

Broj tehničkih grešaka pronađih tijekom SAFA i SACA inspekcija u 2012. godini prikazan je tablicom 5.2. Prema analizi stoji:

- Broj pronađenih grešaka po jednoj inspekciji je 0,78. To prema vjerojatnosti znači pronalazak greške tijekom svake SAFA ili SACA inspekcije i zaustavljanje zrakoplova zbog tehničkog kvara.
- Broj inspekcija na kojima je bilo nalaza je 43,9%. što znači da je na svakoj drugoj inspekciji zrakoplov bio izvanredno zaustavljen zbog tehničke neispravnosti koja je pronađena tijekom inspekcije.

Tablica 5.2. *Statistički prikaz tehničkih greška pronađenih tijekom SAFA inspekcija kod promatranog zračnog prijevoznika*

PARAMETRI SAFA I SACA INSPEKCIJA ZA ANALIZU	IZRAČUNATI PODATCI ZA 2012 GODINA
BROJ INSPEKCIJA U KOJIMA JE PRONAĐENA TEHNIČKA NEISPRAVNOST TIJEKOM GODINE	43,9%
PROSJEČAN BROJ TEHNIČKIH GREŠAKA PO JEDNOJ INSPEKCIJI	0,78

U navedenoj organizaciji za održavanje zrakoplova primijenjen je regulativom propisan sustav kvalitete. Prikupljanje podataka i korektivne mjere koje se primjenjuju nisu učinkovite jer je kvaliteta održavanja zrakoplova u promatranoj organizaciji lošija od svjetskog prosjeka što se vidi prema podatcima iz tablice 5.1. Prema podacima iz tablice 5.2. pri svakoj drugoj inspekciji je postojala vjerojatnost da inspektor na zrakoplovu pronađe grešku, što za poslijedicu ima kašnjenje zrakoplova na let.

Na osnovi statističke analize odnosa pouzdanosti otpreme zrakoplova i broja grešaka pronađenih tijekom SAFA i SACA inspekcija zaključeno je da se moraju istražiti uzroci navedenog stanja i postaviti učinkovitiji modeli otkrivanja grešaka i otklanjanja pridonosećih čimbenika koji uzrokuju njihovo nastajanje.

5.2. Analiza standardnog načina prikupljanja podatka

U promatranoj organizaciji za održavanje zrakoplova uspostavljen je sustav kvalitete u skladu s regulativom. Standardni način prikupljana podatka i poboljšanja pouzdanosti otpreme zrakoplova upravljanjem greškama u održavanju uspostavljen je u skladu sa zahtjevom regulative. Za sve nesukladnosti i tehničke greške koje su se pronašle standardnim modelom prikupljanja podataka napravljene su korektivne mjere u zahtijevanom roku i implementirane u organizaciju za održavanje zrakoplova. Pored primjene navedenih zahtjeva regulative, pouzdanost otpreme zrakoplova za A320 je lošija od svjetskog prosjeka, a pouzdanost otpreme zrakoplova za DHC-Q400 je blizu svjetskog prosjeka zahvaljujući prosječnoj starosti zrakoplova od dvije godine. Broj grešaka koje se pronađu pri vanjskim inspekcijama je gotovo jedna greška po inspekciji.

Svi događaji prikazani tablicom 4.1. imaju dokumentirane zapise o tijeku utvrđivanja uzroka nastanka greške. Tražena je međuovisnost navedenih zapisa i prikupljenih podataka o nesukladnostima i greškama koji su prikupljene u vremenu nastanka navedenih događaja. Da bi se utvrdila međuovisnost kontrole rada i pronalaska pridonosećih čimbenika za nastanak ljudske greške, napravljena je analiza prema koracima:

- Za svaki pridonoseći čimbenik zbog djelovanja ljudskog faktora koji je pronađen prema tablici 4.1., pregledana su dva prijašnja događaja koji su imali slične ili iste pridonoseće čimbenike za nastanak greške zbog djelovanja ljudskog faktora. Utvrđeno je da su se događaji dogodili u različitim uvjetima, pri izvođenju tehnološki različitih zadaća održavanja i od strane različitih tehničara, odnosno da među njima nema poveznica.
- Za svaku greški napravljen je intervju s poslovođama ili voditeljima timova koji rade na sličnim ili istim poslovima kako bi dali svoje mišljenje vezano za pojedini pridonoseći čimbenik u radu.

Na osnovi analize grupirana su tri čimbenika koja otežavaju pronalaženje pridonosećih čimbenika za greške zbog djelovanja ljudskog faktora klasičnim načinom prikupljanja podataka:

- standardni pristup kontrolama
- odnos ljudi prema kontrolama
- odnos ljudi prema radu ili motiviranost za rad

Standardni pristup kontrolama predstavlja međusobni odnos inspektora koji pri kontroli profesionalno traži nesukladnosti ili greške i kontrolirane osobe koja brani sustav. To dovodi do toga da se pri najavi kontrole pojačava pozornost djelatnika na rad samo tijekom perioda kontrole. Pri najavi kontrole djelatnici se trude raditi prema procedurama i dolazi do nenamjernog skrivanja pojedinih problema od inspektora. Pri vanjskim kontrolama mogu se otkriti veće nesukladnosti i greške u organizaciji koje se manifestiraju u vrijeme kontrole. Pronalazak pridonosećih čimbenika za nastanak grešaka zbog djelovanja ljudskog faktora, moguć je ako su veća procesna odstupanja od zahtjeva, odnosno primarno se pronalaze greške koje predstavljaju odstupanje od regulative ili priručnika za održavanje. Tijekom internih kontrola interni inspektori orijentirani su na utvrđivanje izvršenja zadaće, a ne na otkrivanje pridonosećih čimbenika za nastanak grešaka u radu. U slučaju da se pronađe greška u radu, ona se ispravlja tijekom kontrole bez zapisa o nesukladnosti i pridonosećim čimbenicima koji doprinose nastanku greške. Time su interne provjere neučinkovite za otkrivanje pridonosećih čimbenika za nastanak ljudske greške u održavanju. Standardnim načinom prikupljanja

podataka teško se otkriva propust ako postoji nedostatak komunikacije (HF-1) između inženjera u planiranju održavanja i izvršitelja, a što je česti pridonoseći čimbenik nastanka grešaka zbog ljudskog faktora. Nedostatak komunikacije (HF-1) može biti između službe za pripremu radova održavanja i službe održavanja, unutar tehničara u timu ili pri prijenosu informacija o zadaći. Nedostatak resursa za rad (HF-7) i nedovoljno znanje (HF-3) mogu biti povezani ukoliko se izvodi složena zadaća, a tim ima manje stručnih tehničara. U tom slučaju zbog nedostatka resursa manje stručni tehničari preuzimaju posao za koji nemaju znanje što izravno utječe na nesigurnost u radu djelatnika odnosno do nastanka poticajnog čimbenika nedostatak samopouzdanja ili tehničkog pristupa radu (HF-9). Ukoliko je za izvođenje zadaće potreban specijalni alat ili oprema, a nije osigurana za rad za vrijeme izvođenja zadaće, djelatnik se dovodi u poziciju da samostalno razrađuje korake rada i da ih normira po stručnosti ili da odgodi zadaću. Takve zadaće djelatnici ne izvode tijekom inspekcija u namjeri da se organizacija za održavanja zrakoplova prikaže da izvodi zadaće prema standardu na svim razinama organizacije rada. Poticajni čimbenici za nastank ljudske greške tehnološka podrška, degradacija znanja i pad psihofizičkih sposobnosti djelatnika otkriveni su tijekom intervjua pri analizi grešaka koje su se dogodile u radu, a koje su prikazane u poglavlju 4. u tablici 4.1 Prvih pet pridonoseća čimbenika za nastanak greške su nedostatak komunikacije (HF-1), nedostatak resursa za rad (HF-7), procjena rad prema prijašnjem iskustvu (HF-2), nedovoljno znanje (HF-3) i nedostatak samopouzdanja (HF-9). Tijekom inspekcije inspektoru je otežano pronaći nesukladnost koju čine pridonoseći čimbenici nedostatak komunikacije (HF-1) i nedostatak resursa za rad (HF-7). Standardnim inspekcijama i auditima otežano je utvrditi degradaciju znanja djelatnika koja se javlja zbog primjene novih tehnologija, vremenske degradacije znanja i psihofizičkih osobina djelatnika odnosno prema modelu SHELL dio koji se odnosi na L *(Liveware).* Standardnim prikupljanjem podataka koja se obavlja auditima i inspekcijama provjerava se je li tim napravio zadaću po koracima rada kako je propisano regulativom i priručnicima za rad.

Odnos ljudi prema kontrolama predstavlja nenamjerno prikazivanje sustava i kontroliranih osoba u skladu sa zahtjevom, a ne onako kakvo je stvarno stanje. Djelatnici koji su iz održavanja profesionalno nominirani kao interni inspektori, rade samo poslove inspekcije pa s vremenom gube praktično iskustvo na radovima koje kontroliraju što umanjuje kvalitetu inspekcija. To dovodi do toga da interni inspektori koji kontroliraju pojedine zadaće čine rutinske greške u provjerama, a da toga nisu svjesni. Djelatnici koji se kontroliraju, nakon više inspekcija od strane istog inspektora, prepoznaju zahitjeve pojedinog inspektora te usklađuju svoje aktivnosti u skladu s zahtijevom pojedinog inspektora. Navedeni čimbenici dovode do toga da se nenamjerno prikrivaju greške od strane djelatnika koji rade, a inspektorima otežava pronalazak poticajnih čimbenika za nastanak ljudske greške.

Odnos ljudi prema radu ili motiviranost za rad predstavlja pridonoseći čimbenik za učinkovito izvršenje zadaće. Postojeće klasične kontrole nemaju alate za otkrivanje pozitivnih ili negativnih motivirajućih trendova u organizaciji za održavanje zrakoplova. Ne može se utvrditi što tehničari očekuju i koji su njihovi zahtjevi osobnog pozitivnog pristupa zadaćama koje izvode i radnom mjestu na kome rade. Zbog postojećeg Zakona o radu, jednom stečena prava su trajna bez obzira na rezultat rada. Takav sustav demotivira mlade tehničare za rad jer ne vide mogućnost obrazovnog i hijerarhijskog napredovanja. Stariji tehničari nisu motivirani za rad jer su na osnovi stečenih prava visoko postavljeni na hijerarhijskoj ljestvici u organizaciji za održavanje zrakoplova. Takvim pristupom motivacije za rad stvara se loša radna atmosfera koja nije vidljiva klasičnim kontrolama. Loša motiviranost djelatnika za rad smanjuje učinkovitost rada što povećava zadržavanje zrakoplova na zemlji tijekom pregleda. Problem se rješava povećanjem broja djelatnika za rad ili pritiskom na izvrštelje. Povećanje djelatnika dovodi do toga da je za istu zadaću odgovorno više djelatnika čime se ugrožava jasna hijerarhijska odgovornost za rad. Ako u timu koji izvršava posao ima više djelatnika od potrebnog broja, narušavaju se odnosi u timu što doprinosi nastanku greške zbog djelovanja ljudskog faktora primarno zbog čimbenika nedostatak timskog rada (HF-5), koji posredno ometa komunikaciju unutar tima prema pridonosećem čimbeniku nedostatak komunikacije (HF-1). Narušeni odnosi unutar tima nisu vidljivi standardnim načinom prikupljanja podataka. U standardnom sustavu prikupljanja podataka koji se obavljaju auditom ili inspekcijama nije predviđeno pronalaženje motivirajučih čimbenika za rad djelatnika u održavanju.

Analizom grešaka koje su se dogodile u održavanju opisanim u poglavlju 4. i prikazani tablicom 4.1., utvrđeno je da su se greške dogodile zbog djelovanja ljudskog faktora. Analizom standardnog prikupljanja podataka nisu se mogli otkriti poticajni čimbenici koji doprinose nastanku grešaka zbog djelovanja ljudskog faktora. Poticajni čimbenici su se otkrili nakon grešaka i nisu nađeni proaktivnim načinom standardne kontrole rada koja se vrši standardnim načinom prikupljanja podataka. Time u sustavu ostaju neotkriveni poticajni čimbenici za nastanak ljudske greške što dovodi do izvanrednih kvarova zrakoplova. Zbog izvanrednih grešaka ne može se ostvariti planirano letenje bez kašnjenja planiranog leta zbog otklona greške ili u krajnjem slučaju može doći do otkaza leta. Za zračnog prijevoznika to posljedično znači povećanje troška održavanja zrakoplova zbog izvanrednih popravaka i negativni utjecaj na sigurnost letenja. Standardni način prikupljana podataka nije omogućio preventivno pronalaženje poticajnih čimbenika za nastanak grešaka čime bi se preventivno napravila korekcija u organizaciji za održavanje zrakoplova radi otklanjanja uvjeta za nastanak nesukladnosti ili grešaka. Pokazatelji neučinkovitog sustava održavanja zrakoplova vide se u pouzdanosti otpreme zrakoplova koja je lošija od svjetskog prosjeka i u broju grešaka koje se pronađu tijekom vanjskih inspekcija.

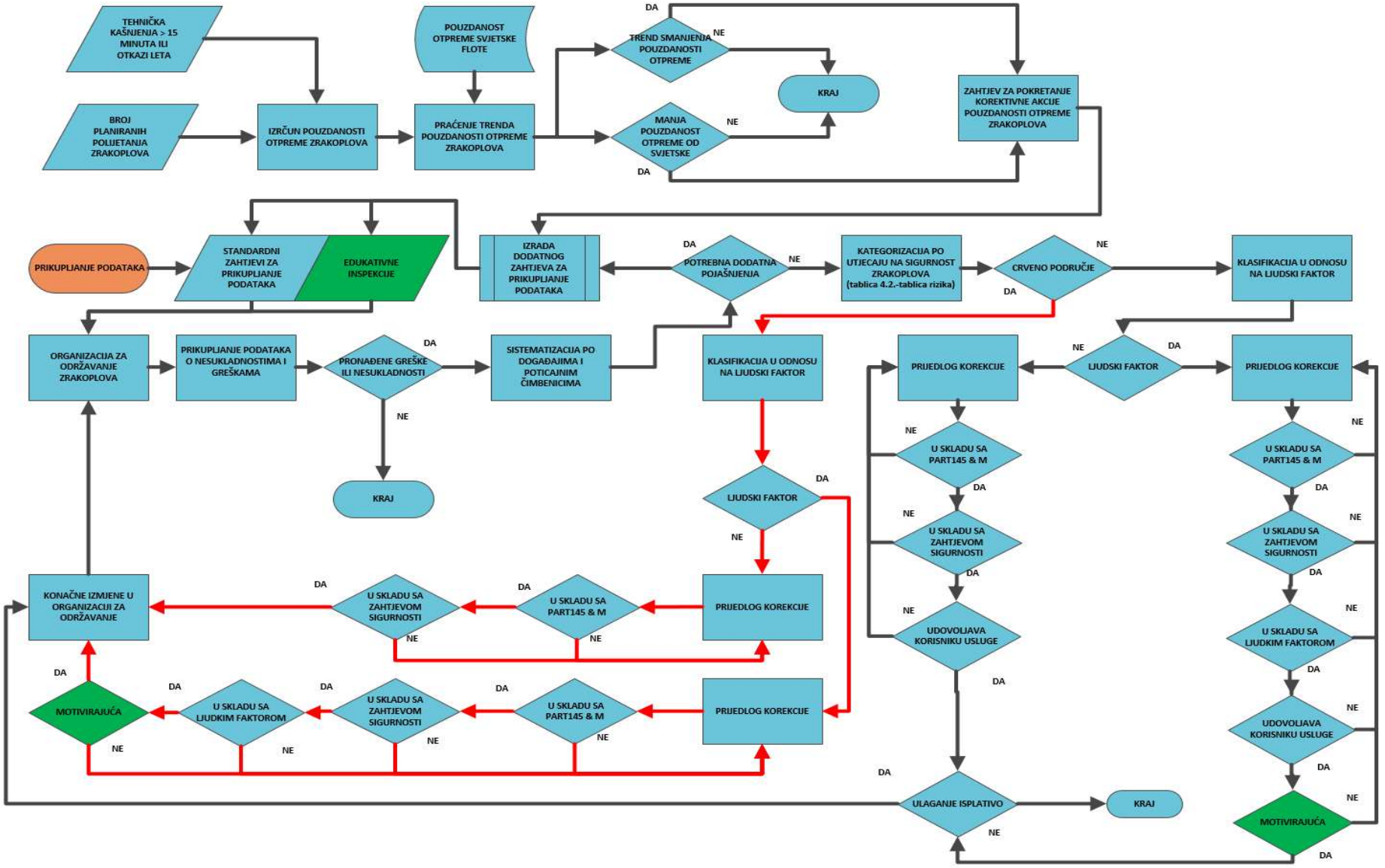
5.3. Model proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG)

Na slici 5.2. prikazan je model proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) kojim je ostvareno poboljšanje pouzdanosti otpreme zrakoplova, a koji predstavlja nadogradnju modela standardnog upravljanja greškama u održavanju zrakoplova (MSUG) prikazanog na slici 5.1. Model proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) ima dva elementa više u odnosu modela standardnog upravljanja greškama u održavanju zrakoplova (MSUG). Dodani elementi prikazani su na slici 5.2.:

- edukativne inspekcije
- motivacija djelatnika

Edukativne inspekcije su interne inspekcije koje omogućuju učinkovitije otkrivanje pridonosećih čimbenika za nastanak greške zbog djelovanja ljudskog faktora u sustavu održavanja zrakoplova. Edukativne inspekcije su nadogradnja prikupljanja podataka koji se koristi kod modela standardnog upravljanja greškama u održavanju zrakoplova (MSUG).

Motivacija djelatnika je uključena u granu odluke o izradi korektivnih mjera za sprječavanje nastanka grešaka zbog djelovanja ljudskog faktora. Svaka korektivna mjera mora imati motivacijski i poticajni karakter za tehničare koji izvode zadaće održavanja zrakoplova.



Slika 5.2. Model proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG)

5.3.1. Edukativne inspekcije

Edukativne inspekcije su prikazane u modelu proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) na slici 5.2. *Edukativne inspekcije* su nadogradnja modela standardnog upravljanja greškama u održavanju zrakoplova (MSUG) u grani prikupljanja podataka. Zadaća edukativnih inspekcija je prikupljanje podataka o pridonosećim čimbenicima za nastanak grešaka zbog djelovanja ljudskog faktora. Da bi *edukativne inspekcije* bile učinkovite u otkrivanju pridonosećih čimbenika potrebno je definirati slijedeće:

- zadaća e*dukativne inspekcije*
- postupak izvođenja *edukativne inspekcije*
- program pregleda *edukativnih inspekcija*
- izvješća *edukativnih inspekcija*.

Zadaća je *edukativne inspekcije* pronaći pridonoseće čimbenike za nastanak greške zbog djelovanja ljudskog faktora i istovremeno educirati tehničare za izvođenje zadaće koju su dobili za rad. Da bi edukativna inspekcija bila učinkovitija od klasične inspekcije, ona mora zadovoljiti sljedeće zadaće:

- Inspekcije se ne smiju zasnivati na klasičnom odnosu koji suprotstavlja dvije strane odnosno postavlja inspektora u nadređen položaj, a izvršitelja u podređen položaj. Inspektor se pridružuje djelatniku ili timu koji vrši određenu zadaću kao dio tima. Ovakav pristup posebno je učinkovit u slučaju da tim prvi put radi neku zadaću ili je prema procjeni potrebno napraviti potpunu analizu određenih zadaća. Inspektor treba aktivno kao član tima biti uključen u izvršenje zadaće. Time mu se omogućava da pronađe potencijalne čimbenike koji bi mogli dovesti do grešaka u radu zbog djelovanja ljudskog faktora.
- Inspektor može vršiti inspekciju nakon radova na način da s djelatnikom sagleda i analizira sve uočene kritične segmente rada. Naglasak je na pridonosećim čimbenicima koji utječu na stvaranje greške zbog djelovanja ljudskog faktora.
- Inspektor koji provodi inspekciju mora postavljati pitanja kako tehničar izvršava i nadgleda pojedine korake u radu da bi se uočile neispravnosti. Inspektor treba prikupiti informacije o problemima s kojima se djelatnik susreće. Potrebno je utvrditi ima li djelatnik koji izvodi zadaću potrebna znanja i vještine za rad.
- Inspektor tijekom razgovora i pregleda radova treba utvrditi jesu li radovi bili u skladu sa zahtjevom sljedećeg koraka u lancu radnog procesa. Treba se dobiti odgovor od tehničara je li im poznato tko, na koji način i kako koristi njegov proizvod odnosno tko nastavlja radove

nakon njegovog završenog posla. Na osnovi tijeka informacija prije, za vrijeme i nakon izvođenja zadaće inspektor može otkriti pridonoseće čimbenike koji mogu dovesti do greške zbog djelovanja ljudskog faktora. To mogu biti komunikacijske vještine, priprema posla, odnosi u timu i znanje pojedinih članova tima. *Edukativnu inspekciju* treba voditi inspektor koji je ujedno i instruktor u domeni koju provjerava.

- Bilo bi dobro dobiti bar jedan prijedlog tehničara za koji smatra da bi olakšao izvršenje radnih zadaća. To može biti izmjena u tehnologiji, tehnici rada, promjena režima rada, promjena radnog mjesta ili dodatno školovanje. Na taj način dobiva se uvid što bi djelatnika motiviralo za kvalitetniji rad.

Postupak izvođenja *edukativne inspekcije* određen je planiranim vremenom i mjestom izvođenja *edukativne inspekcije*. Redovite *edukativne inspekcije* planiraju se godišnjim i mjesečnim rasporedom u okviru kalendarskog perioda. Izvanredne *edukativne inspekcije* mogu se jednokratno planirati na zahtjev tima koji pokušava utvrditi uzrok neke greške na zrakoplovu ili tijekom analize grešaka koja se vrši prema modelu proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG). Planirano vrijeme izvođenja *edukativne inspekcije* ovisi o raspoloživosti zrakoplova za pregled i obimu planiranih zadaća za rad. *Edukativne inspekcije* tehnološki se izvode po principu:

- Jedan ciklus pregleda je ograničen na mjesec dana. Moguće je izmijeniti razdoblje ovisno o veličini flote ili tipa zrakoplova. U rutinskim radovima planira se mjesečni ciklus provjere pojedinih radova ili koraka. U redovitim *edukativnim inspekcijama* inspektori educiraju tehničare o novinama u rutinskom radu. Učinkovito je kad proizvođač opreme ili zrakoplova napravi izmjene tehnologije rada u priručniku za održavanje. Primjer *edukativne inspekcije* je izvanredna provjera zamjene kotača na zrakoplovu koji je rutinski dio za svakog djelatnika održavanja zrakoplova, a u priručniku za održavanje napravljena je izmjena momenta zatezanja vijka kojim se pričvršćuje kotač. Inspektor u tom slučaju daje informacije djelatnicima o izmjenama u priručniku za održavanje zrakoplova te ujedno prati rad djelatnika tijekom izvođenja zadaće zamjene kotača.
- Posebni ili izvanredni pregledi po pojedinim zadaćama vrše se na zahtjev koji može dati služba koja je uočila neki problem ili nadređena osoba koja želi utvrditi stanje pojedinog dijela zrakoplova ili komponente na zrakoplovu. Izvanredni zahtjevi za pregled mogu, ali ne moraju biti dio postojećeg ciklusa redovitih edukativnih inspekcija. Ukoliko su izvanredni zahtjevi za pregled dio redovitih inspekcija inspektoru se pismeno daje pojašnjenje razloga dodatnih zahtjeva.

- Radi postizanja zadovoljavajuće kvalitete pregleda, tehničari koji imaju najmanje pet godina iskustva rada na održavanju zrakoplova nominiraju se za internog inspektora za sustave na kojima su radili. Nije preporučeno da interni inspektor dva puta za redom vrši inspekciju na istoj zadaći ili zrakoplovu.
- *Edukativne inspekcije* vrše se u vrijeme kad je zrakoplov u matičnoj zračnoj luci u kojoj se nalazi glavna baza za održavanje zrakoplova zračnog prijevoznika. Time se osigurava mogućnost otklona svih grešaka koje bi se potencijalno mogle pronaći tijekom inspekcije. Primjedbe koje utječu na plovidbenost zrakoplova upisuju se u sustav tehničkih knjiga zrakoplova. Osoba ili tim koji vrši radove ne mora se navoditi u izvješću, osim ako je izravno narušena sigurnost zračne plovidbe zbog pronađene greške.
- *Edukativne inspekcije* vrše se tijekom planiranih radova održavanja zrakoplova na zemlji. Zrakoplov je podijeljen na cjeline koje se provjeravaju. Redoslijed inspekcija nije unaprijed određen, a *edukativna inspekcija* je završena kad su pregledane sve cjeline na istom zrakoplovu. Pregled pojedinih cjelina odvija se po principu slučajnog uzorka. Na početku ciklusa izabere se jedna cjelina za pregled, a tijekom svakog sljedećeg pregleda bilo koja od preostalih cjelina. Ukoliko inspektor ima vremena, cijeli ciklus može zatvoriti u jednom pregledu.

Program pregleda *edukativnih inspekcija* su točke prema kojima interni inspektor vrši pregled (prilog A). Zrakoplov je podijeljen na cjeline koje se prema programu održavanja grupiraju u pojedine zadaće za rad. Svaka je cjelina jedna točka pregleda koja ima dodatna pojašnjenja što se točno pregledava tijekom inspekcije. Lista *edukativne inspekcije* ima šest točaka za pregled kako slijedi:

- trup zrakoplova i komande:
    - pregled vanjskog trupa zrakoplova, krila, nosnog dijela i repa na ogrebotine, oštećenja oplate, oštećenja boje i nedostatak naljepnica
    - tekući zapisi na oštećenja trupa i istjecanje fluida
    - pregled vanjskog prostora za prtljagu, provjera vrata, panela i oplate te statusa obaveznih naljepnica
    - provjera vrata i svih otvora zbog mogućih oštećenja oplate ili boje i nedostataka
    - vizualna provjera antena i statičkih ispražnjivača zbog mogućih oštećenja ili nedostataka

- provjera nogu podvozja, kotača i kočnica (oštećenja na kotačima i status guma na istrošenost)
- pregled trupa i motora zbog evidentnih istjecanja fluida.

- motor i prostor oko motora:

  - pregled oplate oko motora i dijela krila oko motora zbog mogućih ogrebotina, oštećenja oplate, oštećenja boje
  - nedostatak i oštećenje obveznih naljepnica
  - provjera propelera ili ventilatora (oštećenje ili nedostatak dijelova)
  - pregled motora i okoline zbog mogućih istjecanja fluida (hidraulika, gorivo, motorno ulje)

- prostor za prtljagu:

  - pregled prostora zbog mogućih oštećenja strukture i nedostatka obveznih natpisa
  - pregled osvjetljenja
  - provjera sigurnosnih mreža
  - generalna provjera stanja podova, zidova i plafona u prtljažnicima

- putnička i pilotska kabina:

  - pregled općeg stanja sjedala, pojaseva za vezivanje, prostora za rad, tepiha i interijera
  - pregled toaleta
  - pregled obaveznih naljepnica
  - Pregled svjetala
  - Pregled obavezne opreme i roka uporabe (prva pomoć, megafon, boce za kisik, protupožarne boce, pojaseve za djecu i dr.)
  - po izboru provjera najmanje 1% opreme za nuždu i valjanost uporabe
  - pregled općeg stanja pilotske kabine provjera opreme u slučaju nužde u pilotskoj kabini

- posebni zahtjevi:

    - pregled tehničke dokumentacije i dokumentacije za plovidbenost zrakoplova; provjera upisa u tehničku knjigu zrakoplova (provjera lista odgođenih radova i minimalne opreme zrakoplova; provjera osnovnih dokumenata zrakoplova).
    - posebni zahtjevi provjere zrakoplova u slučaju da inspektor ocijeni da je to nužno zbog utvrđivanja statusa zrakoplova (provjera radova prema posebnom zahtjevu inženjeringa, pripreme rada, ili od kontrole kvalitete).
    - Zabilješke o prijedlozi djelatnika za poboljšanje rada koje su dali djelatnici tijekom izvođenja edukativne inspekcije (motivirajući razgovor)

Izvješća *edukativnih inspekcija* nadogradnja su standardnog načina prikupljanja podataka propisanog regulativom.

5.3.2. Kategorizacija grešaka u *edukativnim inspekcijama*

Kategorizacija grešaka na zrakoplovu napravljena je prema kategorizaciji koju koriste EASA inspektori za kategorizaciju nalaza tijekom SAFA i SACA inspekcija. Takvo rangiranje grešaka ili nalaza, koji se pronađu tijekom *edukativne inspekcije*, omogućava praćenje trenda *edukativnih inspekcija* i usporedbu učinkovitosti rada u odnosu na trend nalaza SAFA i SACA inspekcija. Tipovi grešaka prikazani su slikom 5.3. predstavljaju:

- TIP-I su greške koje ne utječu na plovidbenost zrakoplova pa nemaju utjecaja na pouzdanost otpreme zrakoplova. Zrakoplov može nastaviti let bez intervencije odnosno popravka. Ova vrsta greške u nekim slučajevima zahtijeva samo evidenciju postojanja greške bez intervencije u sustav. Ove greške mogu biti:

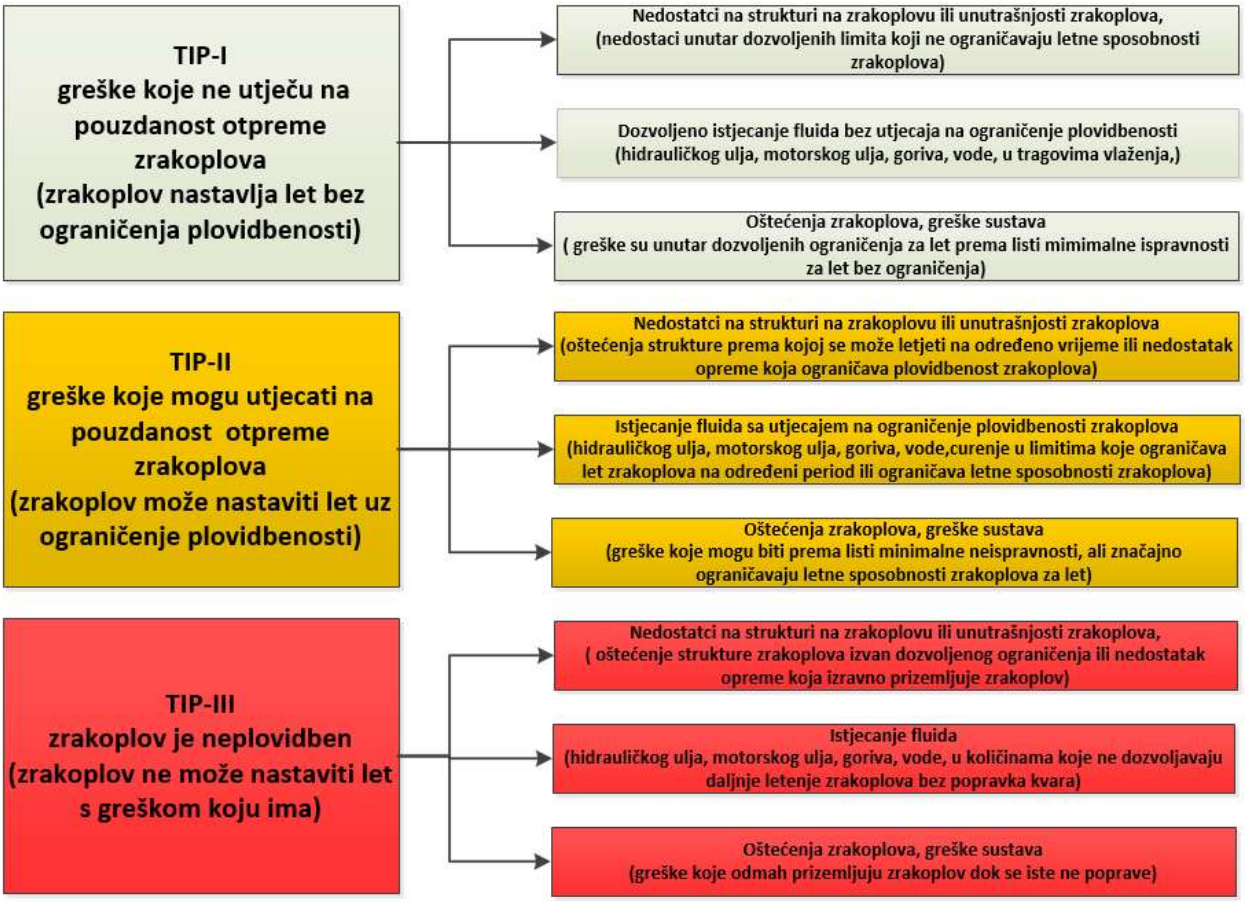
    - oštećenje strukture (istrošenost boje, obveznih naljepnica ili erozija strukture i boje na zrakoplovu)
    - vidljiva vlaženja u sustavu hidraulike, uljnom sustavu, sustavu goriva te sustavu pitke i otpadne vode
    - dozvoljena odstupanja sustava od potpunog rada (svjetla u putničkoj kabini za udobnost putnika i slično).

- TIP-II su greške s kojima zrakoplov može operativno letjeti, ali zahtijevaju tehnički pregled ili manje tehničke aktivnosti u sustavu prije nastavka leta. Takve greške mogu ograničavati zrakoplov u operativnom letenju smanjenjem performansi leta. Mogu ograničiti plovidbenost zrakoplova do trajanja dozvoljene neispravnosti. Ograničenje trajanja može biti prema kalendarskom vremenu dozvoljene neispravnosti, prema broju polijetanja ili prema broju sati leta. Sve navedene greške moraju biti upisane u tehničku knjigu zrakoplova. Ove greške mogu biti:

    - oštećenja strukture (udubljenja s kojima zrakoplov može nastaviti let uz mogućnost praćenja progresije oštećenja ili mogućnosti odgode popravka te nedostatak obveznih naljepnica uz posebna odobrenja
    - istjecanje fluida u dozvoljenim granicama prema priručniku za održavanje zrakoplova
    - smanjena sposobnost rada pojedinog sustava ili potpuna neispravnost pojedinog sustava ako zrakoplov može letjeti s takvom greškom.

- TIP-III su greške koje odmah isključuju zrakoplov iz operativnog letenja i moraju se popraviti prije sljedećeg leta. Ove greške mogu biti:

    - oštećenje strukture zrakoplova izvan dozvoljene granice za letenje te nedostatak važnih oznaka na zrakoplovu (registracija ili državna pripadnost i ostale oznake propisane regulativom)
    - istjecanje fluida izvan dozvoljenih granica prema priručniku za održavanje zrakoplova
    - greške u sustavu koje degradiraju sustav tako da zrakoplov nije siguran za operativno letenje.



Slika 5.3. Kategorizacija grešaka u odnosu na plovidbenost zrakoplova

Nakon napravljene točke u *edukativnoj inspekciji* ili cijele inspekcije, inspektor u suradnji s voditeljem posla šalje izvješće u službu koja vrši prikupljanje podataka. Izvješće *edukativne inspekcije* sadrži:

- Kategorizaciju grešaka prema opisu na slici 5.5. Ukoliko je greška u kategoriji TIP-II ili TIP-III, greške se upisuju pored izvješća u zrakoplovne knjige o tehničkom statusu zrakoplova. Greške se prije narednog leta moraju otkloniti.
- Interni inspektor u izvješće *edukativnih inspekcija* upisuje svoja zapažanja o radu za svaku točku vezana za pridonoseće čimbenike za nastanak greške zbog djelovanja ljudskog faktora. Pridonoseći čimbenik ne mora nužno imati izravan utjecaj na izvođenje zadaće i odmah generirati grešku TIP-I, TIP-II ili TIP-III. Pridonoseći čimbenik koji inspektor može zapaziti može biti nekorištenje zaštitne opreme ili neispravna zaštitna oprema, neuredan osobni alat tehničara, slabo znanje engleskog jezika i ostala zapažanja koja su prema sustavu *The Dirty Dozen* pridonoseći čimbenici za nastanak ljudske greške u održavanju zrakoplova.

- Nakon prikupljanja podataka vrši se daljnja analiza sukladno modelu proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG)
- Motivacijske primjedbe se ne klasificiraju prema utjecaju na sigurnost zrakoplova odnosno prema tablici rizika. Motivacijske primjedbe koriste se u sustavu ocjenjivanja za rangiranje motivirajućih zahtijeva za učinkovitiji rad.

5.3.3. Motiviranje djelatnika za rad

Model proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) uvodi motivacijski čimbenik kao uvjet odlučivanja za primjenu korektivne mjere. Djelatnici su ključni za prihvaćanje korektivnih mjera jer o motiviranosti djelatnika za rad ovisi učinkovitost sustava za održavanje zrakoplova. Motivacijski čimbenik je u liniji logičkog odlučivanja za prihvaćanje izmjena u internoj okolini u dijagramu toka modelu proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG). Obim zadaća održavanja koje organizacija za održavanje izvršava, određuje veličinu organizacije, složenost posla, tehnologiju koja se primjenjuje odnosno alate i strojeve za rad. Na osnovi toga određuje se hijerarhijska ustrojenost proizvodnje, broj djelatnika i njihova naobrazba. Organizacija za održavanje zrakoplova mora stalnim izmjenama u tehnologiji rada i organizaciji udovoljavati zahtjevima regulative i zahtjevima korisnika usluga. Ključni element predstavlja uspostaviti sustav motivacije djelatnika za rad.

Klasificrani su motivacijski čimbenici dobiveni tijekom edukativnih inspekcija u promatranoj organizaciji za održavanje zrakoplova. Prema nalazima *edukativnih inspekcija* prva tri motivacijska poticajna čimbenika su :

- mogućnost napredovanja temeljem znanja i radnog učinka
- nagrađivanje izvrsnosti
- školovanje u struci.

Temeljem glavnih čimbenika napravljen je sustav praćenja izvrsnosti rada u promatranoj organizaciji za održavanje. Ustrojen je sustav koji je omogućio vrednovanje pojedinog radnog djelatnika prema njegovom znanju i zalaganju na poslu. Temeljem toga napravljena je rang-lista organizacijskog unapređenja i usavršavanja, odnosno školovanja u struci.

Mogućnost napredovanja temeljem znanja i radnog učinka predstavlja mogućnost napredovanja prema rezultatima rada. Da bi se mogao provesti navedeni zahtjev, mora se napraviti kvalitativno rangiranje tehničara. Uvjet za rangiranje je ocjena tehničara koji obavljaju iste ili slične zadatke.

Određeni su kriteriji ocjenjivanja:

- kriterij vrednovanja znanja i vještina u radu - odnosi se na poznavanje tehnologije rada, korištenje alata za rad i brzinu rješavanja problema u radu
- kriterij vrednovanja savjesnosti na poslu - odnosi se na savjesnost u radu odnosno redovitost dolaska na posao, broj neproduktivnih prekida tijekom rada i urednost radnog mjesta
- kriterij vrednovanja sklonosti vođenja posla - odnosi se na komunikativnu sposobnost djelatnika, njegov odnos u rješavanju konflikata i njegovu vještinu prijenosa znanja drugima
- kriterij vrednovanja radnog iskustva - radno iskustvo element je ocjenjivanja koji između dvaju djelatnika koji su prema prethodnim kriterijima imali isti broj bodova, favorizira onog s više radnog iskustva.

Ocjenjivanja svakog djelatnika provodi se prema dvije skale (prilog D). Prva skala ocjenjivanja predstavlja ocjenjivanje prema principu ocjene po pojedinim kriterijima vrednovanja od 1 do 5. Ocjenjuju se karakteristike svakog pojedinca ocjenama gdje je 1 najlošija, a 5 najbolja. Druga skala ocjenjivanja su usporedbe dvaju djelatnika od kojih se jedan morao ocijeniti kao bolji od drugog. Jedan od dvaju djelatnika dobiva 1 ako je bolji, a 0 ako je lošiji. U ukupnoj rang-listi djelatnik sa najvećim brojem ocjena 1 je na prvom mjestu, a s najmanjim brojem ocjena 1 je posljednji. Oba vrednovanja su jednakopravna i temeljem obaj kriterija stvara se jedna rang-lista svih djelatnika prema navedenim kriterijima ocjenjivanja. Ocjenjivanje se provodi na tromjesečnoj bazi, a za novoprimljene djelatnike, u periodu jednog mjeseca.

Nagrađivanje izvrsnosti predstavlja mogućnost nagrađivanja djelatnika koji se svojim radom i zalaganjem izdvajaju od prosjeka. Stari ustroj organizacije zasnivao se na hijerarhijskom ustroju koji je kruto određen fiksnim ili stalnim ugovorom o radu. Jednom postavljen djelatnik na neko radno mjesto nije mogao biti manje plaćen ili postavljen na niže plaćeno radno mjesto. Izvršenje zadaća ovisilo je o savjesnosti pojedinca za rad. Takva struktura upravljanja djelatnika nije motivirajuća za rad.

Da bi motivirali djelatnike za rad, napravljen je model rada prema kojem je svaki projekt podijeljen na radne cjeline prema odgovornosti i složenosti posla. Jedna radna cjelina predstavljala je zaokruženi radni proces koji po složenosti i obimu posla mora voditi jedan djelatnik. Radna cjelina postavljena je prema točkama *edukativne inspekcije*. Voditelj radne cjeline može biti djelatnik koji je prema ocjeni bio prvi na listama ocjenjivanja. Nominacije za radno mjesto su prema projektu ili na period od mjesec dana što ovisi o prirodi posla.

Za radna mjesta koja prema normizaciji zahtjevaju posebna znanja i vještine, odabiru se djelatnici za posebna školovanja koji su prvi na listi gdje se ocjenjuje kriterija vrednovanja znanja i vještina u radu. Takva radna mjesta su razmjerno tome i više plaćena od prosječnih zahtieva. Djelatnici koji se imenuju za posebna ovlaštenja za rad, imenuju se za određeni period koji može biti vrijeme izvođenja projekta ili maksimalno godinu dana.

Školovanje u struci predstavlja interna školovanja propisana regulativom koja omogućuju tehničarima da samostalno obavljaju zadaće održavanja zrakoplova. Prema regulativi, tehničari koji rade na održavanju zrakoplova moraju se sustavno školovati tijekom svog radnog vijeka da bi mogli samostalno raditi na zrakoplovu i udovoljiti specijalnim vještinama za rad. Svakom djelatniku hijerarhijski položaj u organizaciji za održavanje zrakoplova i pripadajuća naknada za rad ovise o razini stečenog obrazovanja. Regulativom su definirana tri vrste školovanja:

- školovanje za samostalno izvođenje radova na zrakoplovu daje ovlasti potpisivanja udovoljavanjem zahtjevima za uporabu nakon radova na zrakoplovu, a propisuje se regulativom PART-66. Za dozvolu treba položiti petnaest ispita s pragom prolaza od 75% točno odgovorenih pitanja na ispitu.
- školovanje za rad za pojedini tip zrakoplova omogućava djelatniku da dobije dozvolu za rad na zrakoplovu za koji je školovan. Djelatnik može imati dozvolu za rad na jednom tipu zrakoplova ili na više njih. Primanja i položaj u hijerarhijskoj strukturi organizacije ovise o broju tipova zrakoplova za koju djelatnik ima dozvola za rad.
- školovanja specijalnog tipa za pojedine posebne poslove obuhvaća posebne vrste pregleda zrakoplova, strukture zrakoplova ili specijalne popravke zrakoplova i komponenti.

Djelatnik koji je na školovanju ne može istovremeno raditi poslove održavanja zrakoplova. Organizacija za održavanje zrakoplova omogućava djelatniku da se školuje uz zadržavanje ugovora o radu što predstavlja motivirajući čimbenik za djelatnike. Trošak školovanja, polaganja ispita i redovna naknada za rad tijekom školovanja u promatranoj organizaciji plaćeno je od poslodavca. Redoslijed slanja djelatnika na školovanje u skladu je s rang listom koja se dobiva ocjenjivanjem djelatnika.

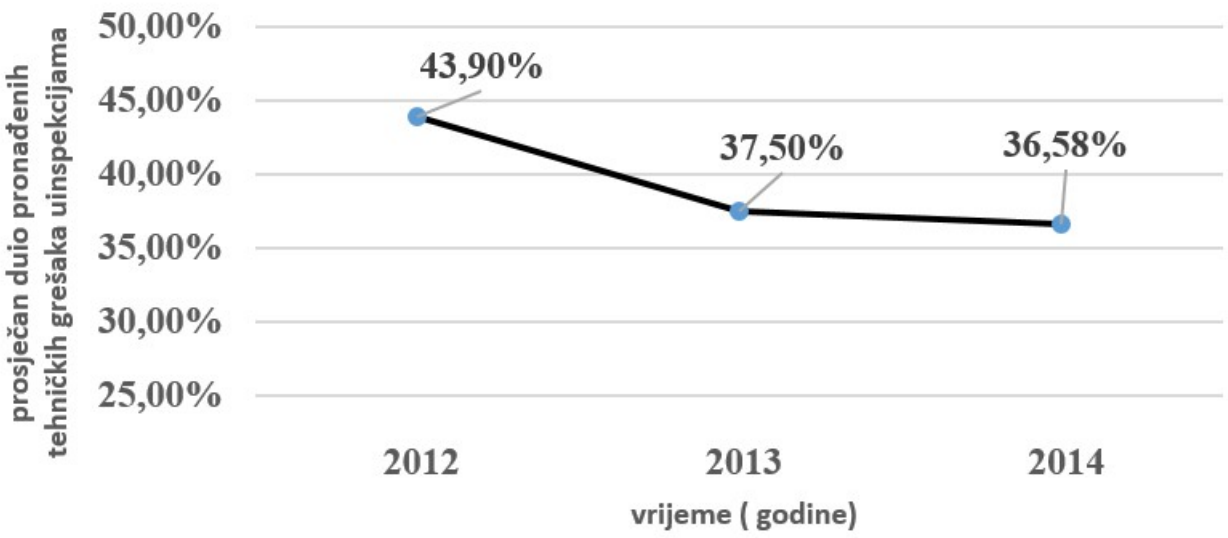
6. POTVRDA UČINKOVITOSTI MODELA POBOLJŠANJA POUZDANOSTI OTPREME ZRAKOPLOVA PROAKTIVNIM UPRAVLJANJEM GREŠKAMA U ODRŽAVANJU

Primjenom modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) u promatranoj organizaciji za održavanje zrakoplova, povećava se učinkovitost pronalaska grešaka zbog djelovanja ljudskog faktora. Povećanjem učinkovitosti pronalaska grešaka i korektivnim mjerama broj grešaka zbog djelovanja ljudskog faktora se smanjuje. Zamjetan je trend opadanja grešaka koje pronalazi EASA u svojim inspekcijama i povećava se pouzdanost otpreme zrakoplova. U smanjenju grešaka koje se pronalaze tijekom primjene modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) u promatranoj organizaciji za održavanje zrakoplova, napravljen je pozitivan trend smanjenja grešaka u održavanju zbog djelovanja ljudskog faktora. Također, povećana je pouzdanost otpreme zrakoplova i smanjenjen broj nalaza SAFA i SACA inspekcija. Model se pokazao učinkovit, a potvrda učinkovitosti modela napravljena je *Studentovim t-testom*.

6.1. Učinkovitost modela praćenjem trendova inspekcijskih provjera

Prve godine istraživanja primjene MPUG modela poboljšanja pouzdanosti otpreme zrakoplova upravljanjem greškama u održavanju zbog djelovanja ljudskog faktora u promatranoj organizaciji za održavanje zrakoplova, sistematizirani su podatci o greškama i o pouzdanost otpreme zrakoplova. Sistematizacija podataka napravljena je za greške koje su pronađene od neovisne inspekcije koju provodi EASA preko svojih agencija *Safety Assessment of Community Aircraft & Safety Assessment of Foreign Aircraft (*SACA & SAFA*).* Sistematizacija podataka omogućava uvid u trenutno stanje tehničkih grešaka koje nastaju zbog djelovanja ljudskog faktora i sustavno praćenje efikasnosti modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG). U radu je prikazano razdoblje od 2012. godine do 2014. godine.

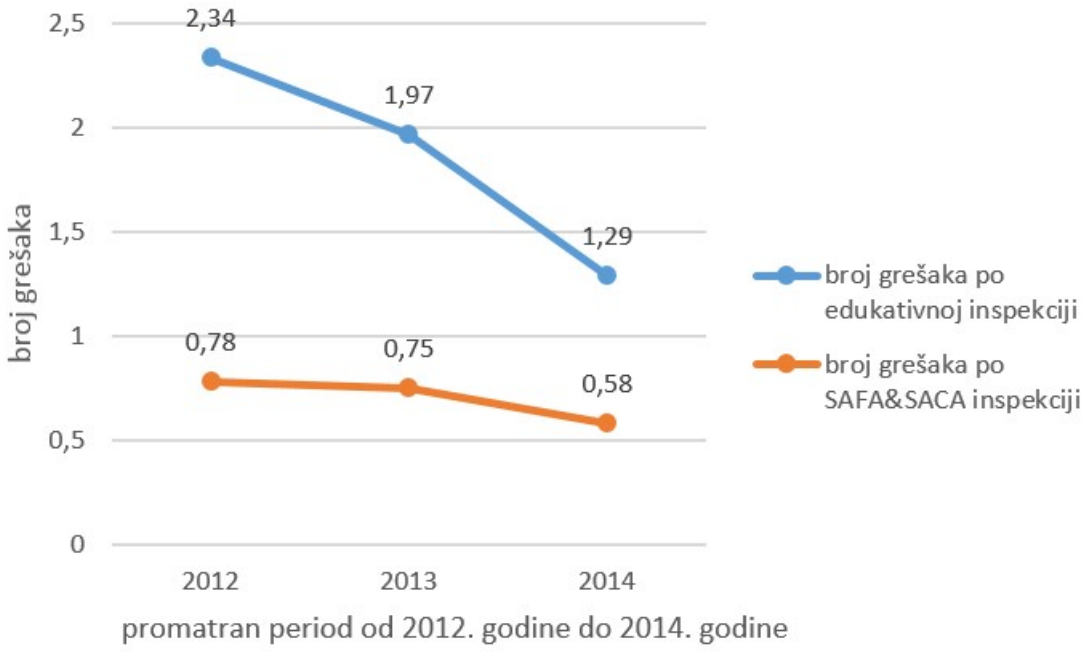
U ukupnom broju primjedbi tijekom pregleda zrakoplova na slici 6.1. prikazan je udio tehničkih grešaka u inspekcijama SAFA od 2012 godine do 2014. godine. Iz dijagrama je vidljiva učinkovitost modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) koji je omogućio ostvarenje trenda smanjenja nalaza vezanih za tehničku ispravnost zrakoplova.



Slika 6.1. Udio tehničkih grešaka u inspekcijama SAFA od 2012 godine do 2014. godine.

Na slici 6.1. vidljiv je trend smanjenja broja primjedbi od početka primjene modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) zbog djelovanja ljudskog faktora od 2012.godine do 2014. godine.

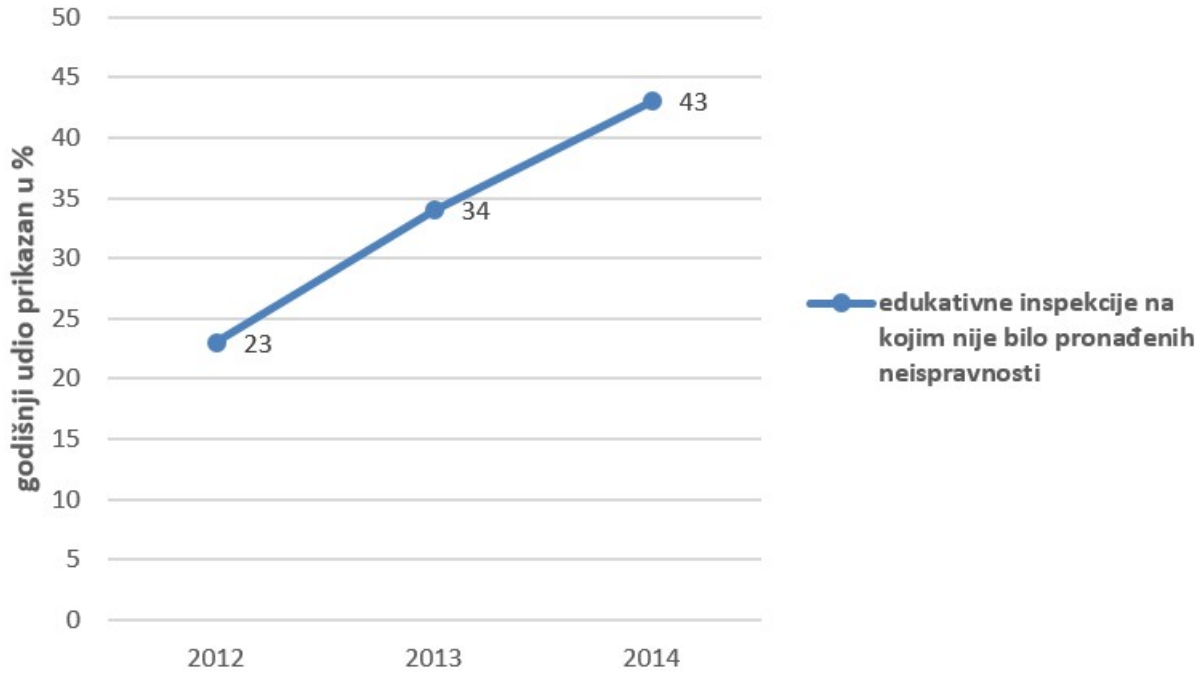
Na slici 6.2. prikazan je trend pada prosječnog broj grešaka po jednoj SAFA i SACA inspekciji od 2012. do 2014. godine.



Slika 6.2. Prosječan udio grešaka po jednoj SAFA i SACA inspekciji i po jednoj edukativnoj inspekciji za razdoblje od 2012. godine do 2014. godine

Na slici 6.2. prikazan je trend pada prosječnog broja grešaka ili preporuka po jednoj SAFA&SACA inspekciji i po jednoj edukativnoj inspekciji za razdoblje od 2012. godine do 2014. godine. Broj pronađenih grešaka i preporuka ima stalni trend smanjenja.

Na slici 6.3. prikazan je dijagram na kojem se očituje koliki je postotak *edukativnih inspekcija* bez primjedbi na ispravnost zrakoplova. Iz dijagrama je vidljiv trend smanjenja broja primjedbi od početka primjene modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG). Prikazano je vremensko razdoblje od 2012. do 2014. godine. Broj *edukativnih inspekcija* bez primjedbi povećao se s 23% u 2012. godini na 43% u 2014. godini.

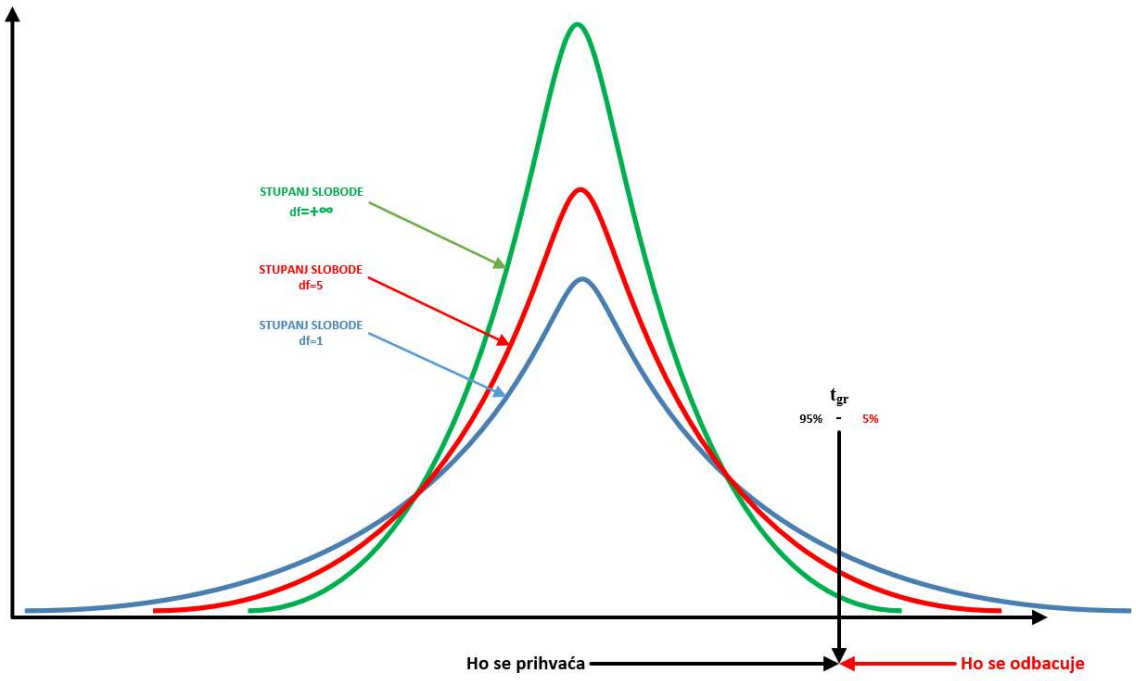


Slika 6.3. Trend broja edukativnih inspekcija bez nalaza za razdoblje od 2012.godine do 2014.godine

Analizom grešaka i primjenom korektivnih akcija utjecalo se na izvore nastanka grešaka što je dovelo do smanjenja grešaka u održavanju i boljom pouzdanošću flote odnosno smanjenju kašnjenja zrakoplova na letenje.

6.2. Učinkovitost modela analizom *Studentovim t-testom*

U radu je *Studentov t-test* upotrebljen za testiranje učinkovitosti modela. *Studentova t-test* analiza koristi se uz uvjet da su slučajne varijable, kojima se uspoređuju očekivane vrijednosti numeričke s normalnom distribucijom vjerojatnosti, međusobno nezavisne i s nepoznatim varijancama.
Za svaki prirodan broj *df* postoji odgovarajuća *Studentova distribucija* kojoj je *df* tzv. broj stupnjeva slobode. Za veliki *df* (u praksi je dovoljno da je $df \geq 30$), *Studentova distribucije* gotovo je identična krivulji normalne distribucije, a što je manji broj s, to je visina krivulje manja u odnosu na normalnu distribuciju, krajevi krivulje imaju veće vrijednosti za manji broj podataka, odnosno površina krivulje se smanjuje po visini, a povećava na repovima. U radu se koristi *Studentova distribucija* za testiranje razlike očekivanih vrijednosti s vjerojatnošću greške prvog tipa od 5% što je prikazano na slici 6.4.



Slika 6.4. Grafički prikaz Studentove distribucije

U radu se koristiti program *Microsoft Excel-2010* koji izračunava potrebne vrijednosti. *Studentov t-test* se koristi za usporedbu očekivanih vrijednosti dviju slučajnih varijabli na osnovi dvaju

međusobno nezavisnih uzorka, po jednog iz svake slučajne varijable. Iz svakog slučajnog uzorka izračunat će se prosječna vrijednost uzorka $\overline{X}$ i standardna devijacija *S* po sljedećim formulama:

$$\overline{X} = \frac{\sum_1^n xi}{n} \quad (12)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_1^n (Xi - \overline{X})^2}{n-1}} \quad (13)$$

gdje je *n* broj podataka u uzorku a x_i vrijednost i tog podatka u uzorku.

Broj stupnjeva slobode *df Studentove distribucije* računa se po sljedećoj formuli:

$$d_f = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1}\right)^2}{(n_1-1)} + \frac{\left(\frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{(n_2-1)}} \quad (14)$$

gdje je indeksima *1* i *2* označeno kojem uzorku pripadaju navedene vrijednosti.

Vrijednost „*t-testa*“ računa se po formuli:

$$t = \frac{\overline{X1} - \overline{X2}}{\sqrt{\frac{S1^2}{n1} + \frac{S2^2}{n2}}} \quad (15)$$

Vrijednost „*t-granični*“ dobiva se iz programa i predstavlja teorijsku graničnu vrijednost razlike dviju srednjih vrijednosti koja određuje prihvaćanje nulte hipoteze H_o ili prihvaćanje jednostrane alternativne hipoteze H_a (H_0 se odbacuje)

Test je rađen s vjerojatnošću 5% greške prvog tipa (ako se odbaci nulta hipoteza iako je ispravna);

- prihvaćanje nulte hipoteze H_o je u slučaju: $t\text{-}_{testa} < t\text{-}_{granični}$
- odbacivanje nulte hipoteze i prihvaćanje jednostrane alternativne hipoteze H_a je u slučaju: $t\text{-}_{testa} > t\text{-}_{granični}$.

Zračni prijevoznik na kojem je rađena analiza podataka i u kojem je testiran model proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) ima u svojoj floti šest zrakoplova tipa Airbus A320f i šest zrakoplova tipa Bombardier DHC-Q400. Učinkovitost modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) testirana je s više *t-testova*. Prvo je za 2012. godinu testirano je li pouzdanost otpreme zrakoplova svjetske flote bolja nego kod zračnog prijevoznika kome pripada promatrana organizacija za održavanje zrakoplova u kojoj on održava zrakoplove. Testovi su napravljeni zasebno na floti od šest zrakoplova tipa Airbus A320f i zasebno na floti Bombardier DHC-Q400. Nakon uspostave i primjene modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) koje nastaju zbog djelovanja ljudskog faktora, napravljeno je novo testiranje *Studentovim t-testom* . Testiranjem se istražilo je li pouzdanost otpreme zrakoplova promatranog zračnog prijevoznika u 2014. godini bolja nego kod svjetske flote i je li pouzdanost otpreme zračnog prijevoznika 2014. godine bolja nego 2012. godine. Obje analize napravljene su zasebno za tipove zrakoplova Airbus A320 i za tip zrakoplova Bombardier DHC-Q400.

6.2.1. Pouzdanosti otpreme zrakoplova A320 zračnog prijevoznika za 2012. godinu i za 2014. godinu

S vjerojatnošću greške od 5% *Studentovim t-testom* provjerava se je li pouzdanost otpreme zrakoplova promatranog zračnog prijevoznika bolja 2014. godine u odnosu na pouzdanost otpreme 2012. godine. Time se provjerava učinkovitost modelu proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) u promatranoj organizaciju za održavanje zrakoplova.

U dijagramu na slici 6.5. prikazana je pouzdanost otpreme zrakoplova zračnog prijevoznika za 2012. godinu prosječne vrijednosti 99,168% i za 2014. godinu prosječne vrednosti 99,528%. U programu *Excel -2010* izračunate su vrijednosti *Studentovog t-testa* koje se koriste za procjenu prihvaćanja nulte hipoteze H_0 ili prihvaćanja hipoteze H_a u slučaju odbacivanja H_0.

H_0 hipoteza je tvrdnja da je pouzdanost otpreme promatranog zračnog prijevoznika za 2014. godinu ista kao pouzdanost otpreme za 2012. godinu.

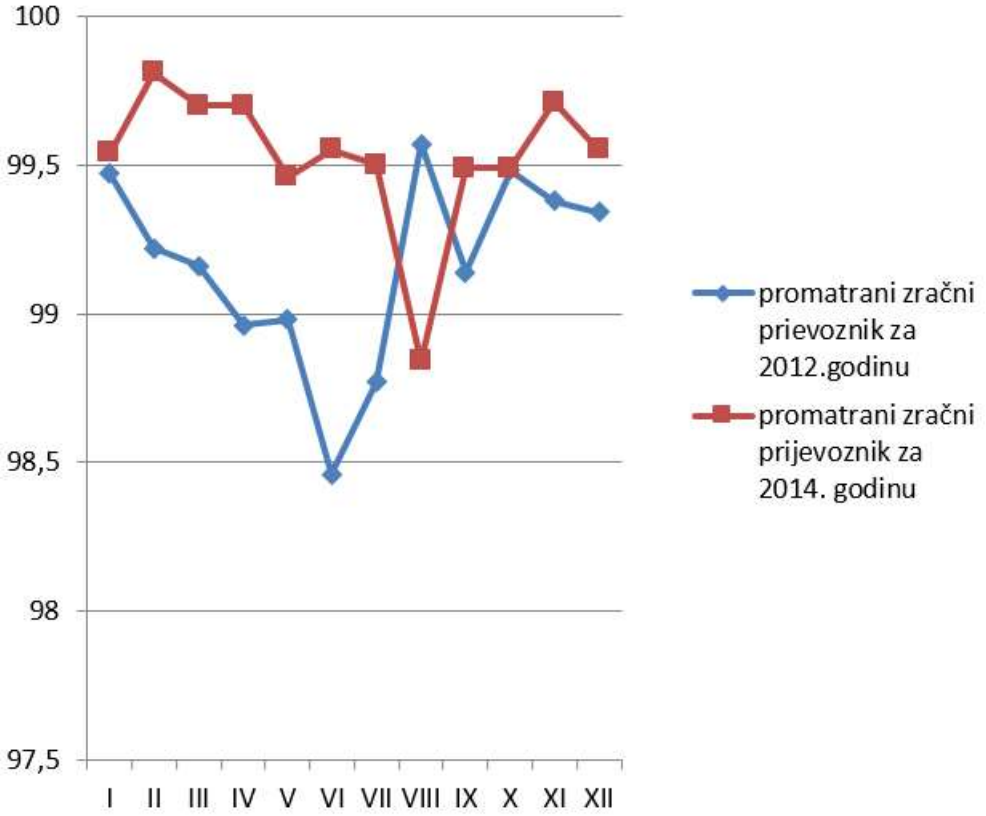
H_a hipoteza je tvrdnja da je pouzdanost otpreme promatranog zračnog prijevoznika za 2014. godinu bolja od pouzdanost otpreme za 2012. godinu.

Za promatrane vrijednosti pouzdanosti otpreme zrakoplova $t\text{-}_{granični}$ koji računa program je $t\text{-}_{granični} = 1.725$

Izračunate vrijednosti $t\text{-}_{testa}$ prema formuli je $t\text{-}_{testa} = 3.130$

Prema Excel-2010 izračunata vrijednost za $p\text{-}_{value}$ iznosi $p\text{-}_{value} = 0.0026$

Rezultat testa: Pouzdanost otpreme promatranog zračnog prijevoznika bolja je u 2014. godini od pouzdanosti otpreme koja je bila 2012.



Slika 6.5. Pouzdanost otpreme zrakoplova A320 zračnog prijevoznika za 2012. godinu i za 2014. godinu

Prema rezultatu *Studentovog t-testa* može se potvrditi da je pouzdanost otpreme zrakoplova primjenom modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) kod promatranog zračnog prijevoznika poboljšana.

6.2.2. Pouzdanost otpreme zrakoplova A320 između zračnog prijevoznika i svjetske flote za 2014. godinu

S vjerojatnošću greške od 5% *Studentovim t-testom* se testira je li bolja pouzdanost otpreme zrakoplova promatranog zračnog prijevoznika od svjetske pouzdanosti otpreme za 2014. godinu. Time se provjerava učinkovitost modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) u promatranoj organizaciju za održavanje zrakoplova u odnosu na svjetsku pouzdanost otpreme zrakoplova.

U dijagramu na slici 6.6. prikazana je pouzdanost otpreme zrakoplova zračnog prijevoznika za 2014. godinu prosječne vrijednosti 99,528% i pouzdanost otpreme zrakoplova za svjetsku flotu za 2014. godinu prosječne vrijednosti 99,36%. U programu Excel-2010 izračunate su vrijednosti *Studentovog t-testa* koje se koriste za procjenu prihvaćanja nulte hipoteze H_0 ili prihvaćanja hipoteze H_a u slučaju odbacivanja H_0.

H_0 hipoteza je tvrdnja da je pouzdanost otpreme promatranog zračnog prijevoznika za 2014. godinu ista kao pouzdanost otpreme zrakoplova svjetske flote za 2014. godinu.

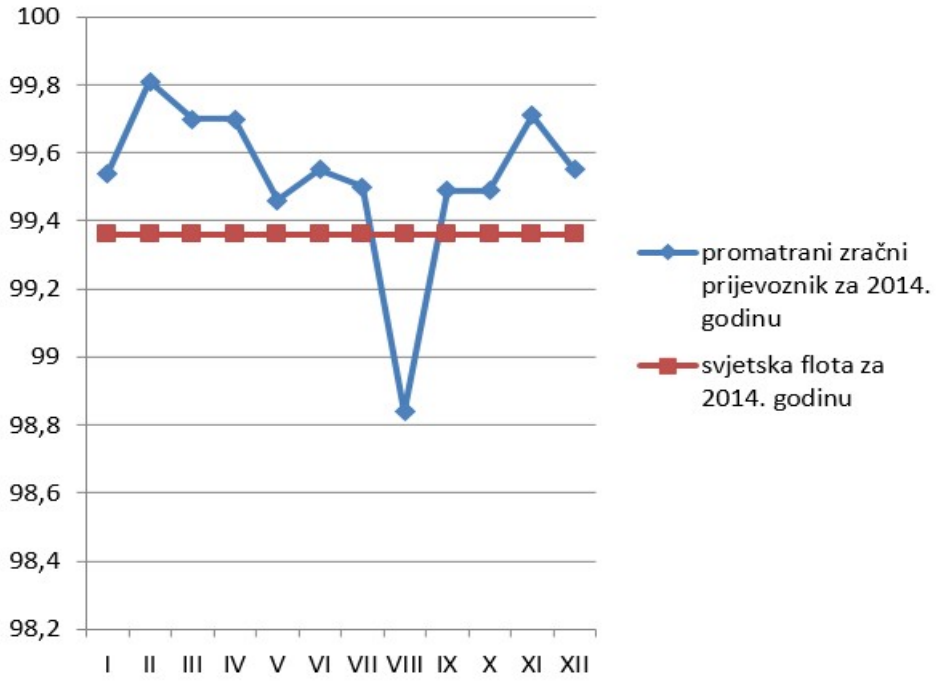
H_a hipoteza je tvrdnja da je pouzdanost otpreme promatranog zračnog prijevoznika za 2014. godinu bolja od pouzdanosti otpreme zrakoplova svjetske flote za 2014. godinu.

Za promatrane vrijednosti pouzdanosti otpreme zrakoplova $t\text{-}_{granični}$ koji računa program je $t\text{-}_{granični}$ =1,796.

Izračunate vrijednosti $t\text{-}_{testa}$ prema formuli je $t\text{-}_{testa}$ =2,390.

Prema Excel-2010 izračunata vrijednost za $p\text{-}_{value}$ iznosi $p\text{-}_{value}$ = 0,0179.

Rezultat testa: Pouzdanost otpreme promatranog zračnog prijevoznika u 2014. godini bolja je od svjetske pouzdanosti otpreme zrakoplova za 2014. godinu.



Slika 6.6. Pouzdanost otpreme zrakoplova A320 između zračnog prijevoznika i svjetske flote za 2014. godinu

Prema rezultatu *Studentovog t-testa* može se potvrditi da je pouzdanost otpreme zrakoplova primjenom modelu proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) u promatranom zračnom prijevozniku poboljšana i bolja od svjetske pouzdanosti otpreme zrakoplova.

6.2.3. Pouzdanost otpreme zrakoplova A320 između zračnog prijevoznik a i svjetske flote za 2012. godinu

S vjerojatnošću greške od 5% *Studentovim t-testom* provjerava se je li ista pouzdanost otpreme zrakoplova promatranog zračnog prijevoznika od svjetske pouzdanosti otpreme zrakoplova za 2012. godinu.

U dijagramu na slici 6.7. prikazana je pouzdanost otpreme zrakoplova zračnog prijevoznika za 2012. godinu prosječne vrijednosti 99,168% i pouzdanost otpreme zrakoplova za svjetsku flotu za 2012 godinu prosječne vrijednosti 99,33%. U programu Excel-2010 izračunate su vrijednosti *Studentovog t-testa* koje se koriste za procjenu prihvaćanja nulte hipoteze H_0 ili prihvaćanja hipoteze H_a u slučaju odbacivanja H_0.

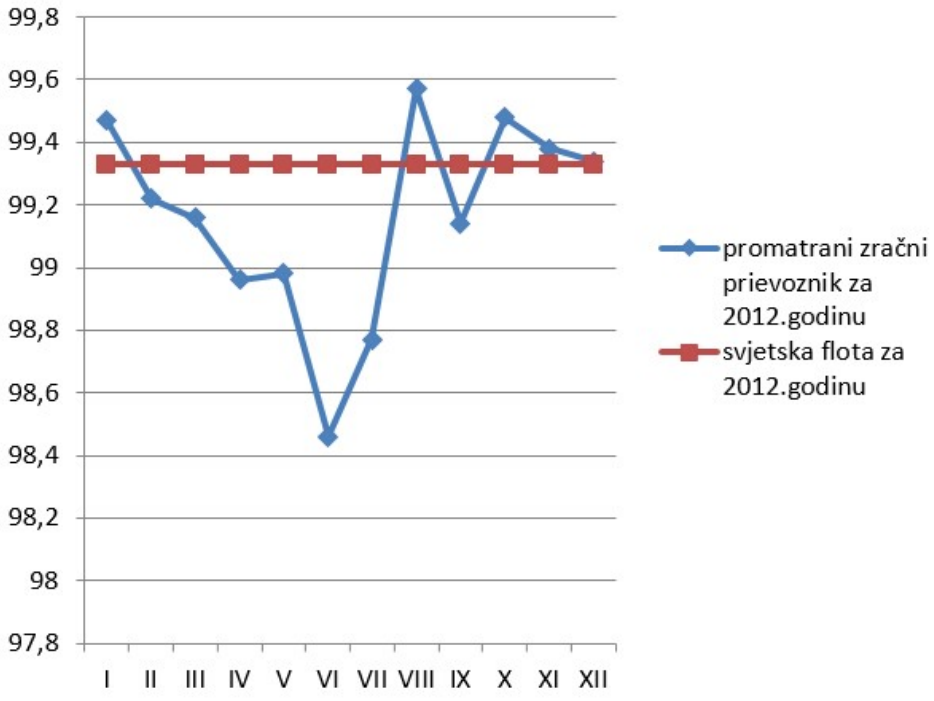
H_0 hipoteza je tvrdnja da je pouzdanost otpremepromatranog zračnog prijevoznika za 2012. godinu ista kao pouzdanost otpreme zrakoplova svjetske flote za 2012. godinu.

H_a hipoteza je tvrdnja da je pouzdanost otpreme promatranog zračnog prijevoznika za 2012. godinu lošija od pouzdanosti otpreme zrakoplova svjetske flote za 2012. godinu.

Za promatrane vrijednosti pouzdanosti otpreme zrakoplova $t\text{-}_{granični}$ koji računa program je $t\text{-}_{granični}$ =1,796.

Izračunate vrijednosti $t\text{-}_{testa}$ prema formuli je $t\text{-}_{testa}$ =1,800.

Prema Excel-2010 izračunata vrijednost za $p\text{-}_{value}$ iznosi $p\text{-}_{value}$ = 0,0496.



Slika 6.7. Pouzdanost otpreme zrakoplova A320 između zračnog prijevoznika i svjetske flote za 2012. godinu

Rezultat testa: Pouzdanost otpreme promatranog zračnog prijevoznika u 2012. godini lošija je od svjetske pouzdanosti otpreme zrakoplova za 2012. godinu.

Prema rezultatu *Studentovog t-testa* može se potvrditi da je pouzdanost otpreme zrakoplova u promatranom zračnom prijevozniku bila lošija od svjetske pouzdanosti otpreme zrakoplova prije primjene modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG).

6.2.4. Pouzdanosti otpreme zrakoplova DHC-Q-400 zračnog prijevoznika za 2012. godinu i za 2014. godinu

S vjerojatnošću greške od 5% *Studentovim t-testom* provjerava se je li pouzdanost otpreme zrakoplova promatranog zračnog prijevoznika bolja 2014. godine u odnosu na pouzdanost otpreme 2012. godine. Time se provjerava učinkovitost modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) u promatranoj organizaciju za održavanje zrakoplova.

U dijagramu na slici 6.8. prikazana je pouzdanost otpreme zrakoplova zračnog prijevoznika za 2012. godinu prosječne vrijednosti 98,45% i za 2014. godinu prosječne vrijednosti 99,2%. U programu *Excel-2010* izračunate su vrijednosti *Studentovog t-testa* koje se koriste za procjenu prihvaćanja nulte hipoteze H_0 ili prihvaćanja hipoteze H_a u slučaju odbacivanja H_0.

H_0 hipoteza je tvrdnja da je pouzdanost otpreme promatranog zračnog prijevoznika za 2014. godinu ista kao pouzdanost otpreme za 2012. godinu.

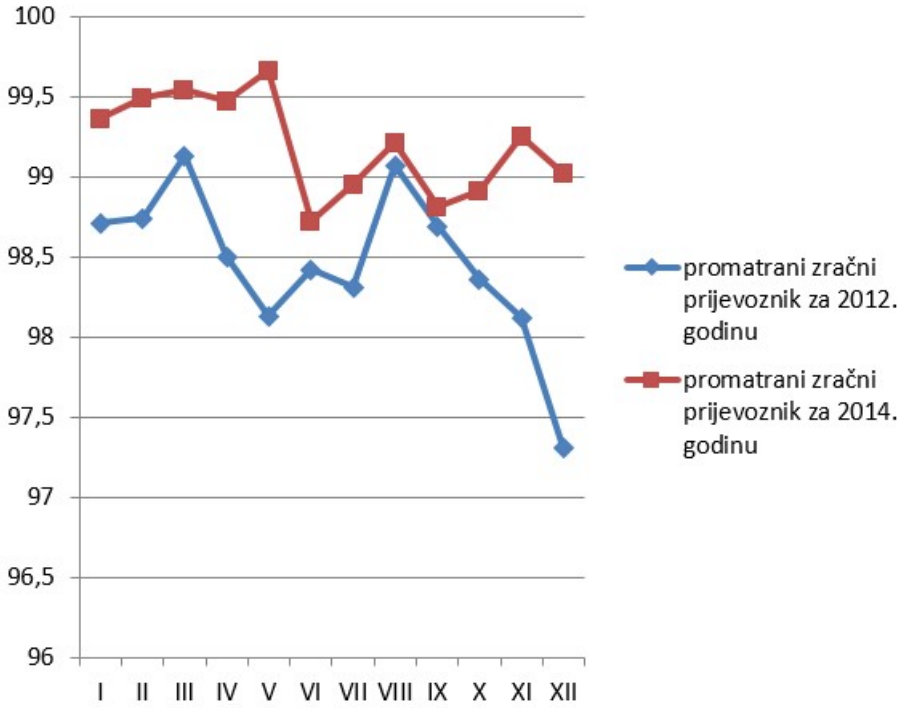
H_a hipoteza je tvrdnja da je pouzdanost otpreme promatranog zračnog prijevoznika za 2014. godinu bolja od pouzdanosti otpreme za 2012. godinu.

Za promatrane vrijednosti pouzdanosti u otpremi zrakoplova $t\text{-}_{granični}$ koji računa program je $t\text{-}_{granični}$=1,734.

Izračunate vrijednosti $t\text{-}_{testa}$ prema formuli je $t\text{-}_{testa}$=4,447.

Prema Excel-2010 izračunata vrijednost za $p\text{-}_{value}$ iznosi $p\text{-}_{value}$ = 0,0002.

Rezultat testa: Pouzdanost otpreme promatranog zračnog prijevoznika je bolja u 2014. godini od pouzdanosti otpreme koja je bila 2012. godine.



Slika 6.8. Pouzdanosti otpreme zrakoplova DHC-Q-400 zračnog prijevoznika za 2012. godinu i za 2014. godinu

Prema rezultatu *Studentovog t-testa* može se potvrditi da je pouzdanost otpreme zrakoplova primjenom modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) u promatranom zračnom prijevozniku poboljšana.

6.2.5. Pouzdanost otpreme zrakoplova DHC-Q-400 između zračnog prijevoznika i svjetske flote za 2014. godinu

S vjerojatnošću greške od 5% *Studentovim t-testom* provjerava se je li bolja pouzdanost otpreme zrakoplova promatranog zračnog prijevoznika od svjetske pouzdanosti otpreme za 2014. godinu. Time se provjerava učinkovitost modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) u promatranoj organizaciju za održavanje zrakoplova u odnosu na svjetsku pouzdanost otpreme zrakoplova.

U dijagramu na slici 6.9. prikazana je pouzdanost otpreme zrakoplova zračnog prijevoznika za 2014. godinu prosječne vrijednosti 99,2%. i pouzdanost otpreme zrakoplova za svjetsku flotu za 2014. godinu prosječne vrijednosti 98,75%. U programu Excel-2010 izračunate su vrijednosti *Studentovog t-testa* koje se koriste za procjenu prihvaćanja nulte hipoteze H_0 ili prihvaćanja hipoteze H_a u slučaju odbacivanja H_0.

H_0 hipoteza je tvrdnja da je pouzdanost otpreme promatranog zračnog prijevoznika za 2014. godinu ista kao pouzdanost otpreme zrakoplova svjetske flote za 2014. godinu.

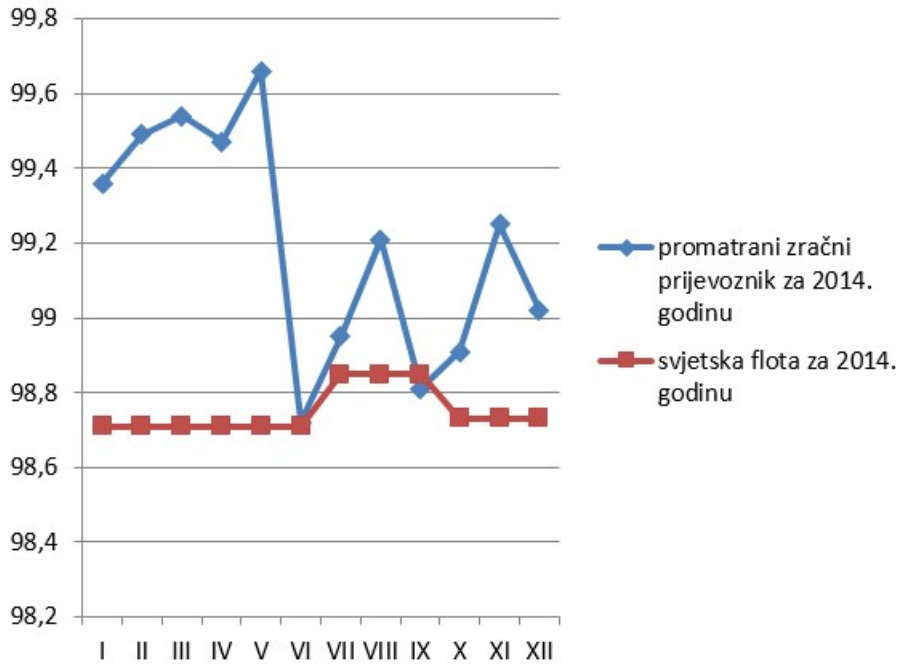
H_a hipoteza je tvrdnja da je pouzdanost otpreme promatranog zračnog prijevoznika za 2014. godinu bolja od pouzdanosti otpreme zrakoplova svjetske flote za 2014. godinu.

Za promatrane vrijednosti pouzdanosti otpreme zrakoplova $t\text{-}_{granični}$ koji računa program je $t\text{-}_{granični}$ =1,796.

Izračunate vrijednosti $t\text{-}_{testa}$ prema formuli je $t\text{-}_{testa}$ =4,888.

Prema Excel-2010 izračunata vrijednost za $p\text{-}_{value}$ iznosi p-value = 0,0002.

Rezultat testa: Pouzdanost otpreme promatranog zračnog prijevoznika u 2014. godini je bolja od svjetske pouzdanosti otpreme zrakoplova za 2014. godinu.



Slika 6.9. Pouzdanost otpreme zrakoplova DHC-Q-400 između zračnog prijevoznika i svjetske flote za 2014. godinu

Prema rezultatu *Studentovog t-testa* može se potvrditi da je pouzdanost otpreme zrakoplova primjenom modelu proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) u promatranom zračnom prijevozniku poboljšana i bolja od svjetske pouzdanosti otpreme zrakoplova.

6.2.6. Pouzdanost otpreme zrakoplova DHC-Q-400 između zračnog prijevoznika i svjetske flote za 2012. godinu

S vjerojatnošću greške od 5% *Studentovim t-testom* provjerava se je li ista pouzdanost otpreme zrakoplova promatranog zračnog prijevoznika od svjetske pouzdanosti otpreme zrakoplova za 2012. godinu.

U dijagramu na slici 6.10. prikazana je pouzdanost otpreme zrakoplova zračnog prijevoznika za 2012. godinu prosječne vrijednosti 98,45%, a pouzdanost otpreme zrakoplova za svjetsku flotu za 2012. godinu prosječne vrijednosti 98,56%. U programu Excel-2010 izračunate su vrijednosti *Studentovog t-testa* koje se koriste za procjenu prihvaćanja nulte hipoteze H_0 ili prihvaćanja hipoteze H_a u slučaju odbacivanja H_0.

H_0 hipoteza je tvrdnja da je pouzdanost otpreme promatranog zračnog prijevoznika za 2012. godinu ista kao pouzdanost otpreme zrakoplova svjetske flote za 2012. godinu.

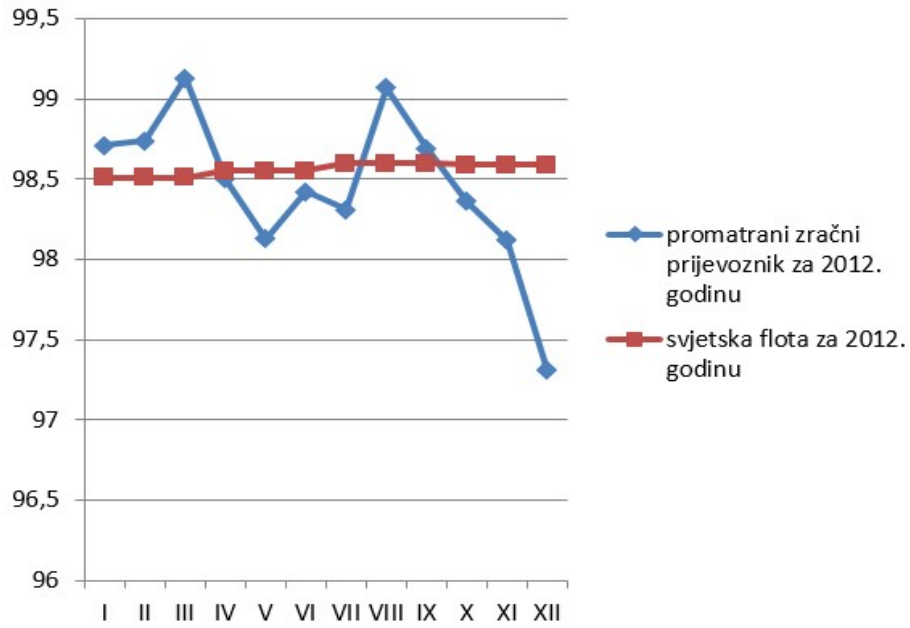
H_a hipoteza je tvrdnja da je pouzdanost otpreme promatranog zračnog prijevoznika za 2012. godinu lošija od pouzdanosti otpreme zrakoplova svjetske flote za 2012. godinu.

Za promatrane vrijednosti pouzdanosti otpreme zrakoplova $t\text{-}_{granični}$ koji računa program je $t\text{-}_{granični}$ = 1.796.

Izračunate vrijednosti $t\text{-}_{testa}$ prema formuli je $t\text{-}_{testa}$ =0,746.

Prema Excel-2010 izračunata vrijednost za $p\text{-}_{value}$ iznosi $p\text{-}_{value}$ = 0.2355.

Rezultat testa: Pouzdanost otpreme promatranog zračnog prijevoznika u 2012. godini nije lošija od svjetske pouzdanosti otpreme zrakoplova za 2012. godinu.



Slika 6.10. Pouzdanost otpreme zrakoplova DHC-Q-400 između zračnog prijevoznika i svjetske flote za 2012. godinu

Prema rezultatu *Studentovog t-testa* može se potvrditi da je pouzdanost otpreme zrakoplova promatranog zračnog prijevoznika nije bila lošija od svjetske pouzdanosti otpreme zrakoplova prije primjene modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG). Pouzdanost otpreme zrakoplova svijeta raste u 2012. godini dok kod promatranog zračnog prijevoznika ima trend pogoršanja iako je prosječna starost zrakoplova 2012. godine bila dvije godine što znači da zrakoplovi nisu imali planiranih većih radova koji bi povećali mogućnost nastanka greške zbog djelovanja ljudskog faktora.

7. ZAKLJUČAK

Glavne značajke zračnog prijevoza su najveća brzina prijevoza i najveći trošak prijevoza. Navedene značajke zračni prijevoz čini ekonomski isplativim samo za prijevoz ljudi ili vrijednih dobara. Prema izvješću strukture troškova zračnih prijevoznka za 2015. godinu koje je dala IATA, u najveći su troškovi goriva s 26,4%, vlasništva zrakoplova s udjelom od 13,2% i održavanja zrakoplova s udjelom od 10,7%.

Održavanje zrakoplova može biti planirano i neplanirano. Planirano održavanje zrakoplova je održavanje koje zračni prijevoznik planira prema programu održavanja odobrenom od zrakoplovnih vlasti. Za takve radove planira se vrijeme, materijal i ljudski resursi u vremenu kada zrakoplov komercijalno ne leti.

Neplanirano održavanje zrakoplova je popravak zrakoplova u slučaju tehničkog kvara tijekom komercijalnog letenja. U slučaju tehničkog kvara zrakoplova nastaju dodatni troškovi održavanja zbog izvanredne organizacije popravka zrakoplova, dodatnih troškova nabave materijala i opreme kao i izvanredni troškovi angažiranja dodatnih ljudskih resursa za popravak zrakoplova. Tehnički kvarovi mogu proizvesti kašnjenja u polasku zrakoplova na let ili otkaz planiranog leta. Tehnički kvar se prema regulativi ne smatra prihvatljivim opravdanjem za putnike za kašnjenje zrakoplova na let ili otkaz leta. Temeljem toga putnici imaju pravo na naknadu zbog kašnjenja zrakoplova na let duže od tri sata ili u slučaju otkaza leta. Nadoknada putnicima zračnom prijevozniku predstavlja posredne troškove održavanja zrakoplova koji prema regulativi mogu premašiti cijenu kupljenje karte za let.

Zračni prijevoznik može najviše upravljati troškovima održavanja zrakoplova. Zračni prijevoznik može upravljati troškovima održavanja zrakoplova izmjenama u sustavu organizacije održavanja zrakoplova i izmjenama u programu održavanja zrakoplova. Cilj zračnog prijevoznika je ostvariti planirano komercijalno letenje bez tehničkih kašnjenja koje nastaje uslijed izvanrednih tehničkih grešaka. Mjerilo za udio tehničkih grešaka koje dovode do kašnjenja zrakoplova na let usljed izvanrednih tehničkih kvarova, a što je ujedno i pokazatelj kvalitete održavanja zrakoplova, je mjerenje tehničke pouzdanosti otpreme zrakoplova. Aktivnim mjerenjem i praćenjem trenda tehničke pouzdanosti otpreme zrakoplova, zračni prijevoznik može kontrolirati učinkovitost izmjena u sustavu održavanja zrakoplova. Zračni prijevoznik može napraviti usporedbu sustava održavanja zrakoplova uspoređivanjem svoje pouzdanosti otpreme zrakoplova sa svjetskim prosjekom pouzdanosti otpreme zrakoplova što mu omogućava realnu procjenu kvalitete sustava održavanja zrakoplova.

Teorijska tehnička pouzdanost otpreme zrakoplova ne može doseći 100% jer prema tehničkim proračunskim karakteristikama zrakoplov ima projektiranu pouzdanost otpreme čija veličina vjerojatnosti pojave kvara nije manja od 10^{-9} za sustave čiji otkaz može dovesti do nezgode ili nesreće. Pojedini dijelovi u tom sustavu mogu imati vjerojatnost pojave kvara u radu reda veličine ne manje od 10^{-4}. To znači da je vjerojatnost izvanrednog kvara realna pojava tijekom komercijalnog letenja na što zračni prijevoznik ne može utjecati.

Broj grešaka koji se javljaju tijekom komercijalnog letenja zrakoplova pet je puta veći od broja grešaka koje bi se trebale dogoditi na osnovi projektirane i ugrađene pouzdanosti zrakoplovnih sustava i dijelova. Veći broj grešaka od proračunske pouzdanosti zrakoplova su greške koje nastaju kao nenamjerne greške ljudi tijekom održavanja zrakoplova. Takve greške nastaju zbog ljudskog faktora, a čimbenici koji pridonose nastanku tih grešaka su klasificirani u dvanaest kategorija koje se nazivaju *The Dirty Dozen*.

Za pronalaženje grešaka u sustavu održavanja zrakoplova prema regulativi koristi se model standardnog upravljanja greškama u održavanju (MSUG) koji koristi standardni način prikupljanja podataka za poboljšanja pouzdanosti otpreme zrakoplova. Uz primjenu standardnog načina prikupljanja podataka dio grešaka u održavanju zrakoplova ostaje neotkriven. Neotkrivene greške u održavanju zrakoplova čine do 80% neplaniranog zadržavanja zrakoplova na zemlji usljed kvara, a do 12% predstavljaju uzrok nastanka nesreća i nezgoda zrakoplova.

Greške u održavanju zrakoplova koje dovode do nesreća, oštećenja zrakoplova ili izvanrednih kvarova otkrivaju se nakon događaja, odnosno nisu otkrivene standardnim načinom prikupljanja podataka. U ovom radu je pored postojećeg modela standardnog upravljanja greškama u održavanju (MSUG) koji korist standardni način prikupljanja podataka i pronalaženja pridonosećih čimbenika za nastanak grešaka zbog djelovanja ljudskog faktora, prikazan model proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG). Model proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) omogućuje učinkovitije pronalaženje grešaka zbog djelovanja ljudskog faktora i omogućava učinkovitiju primjenu korektivnih mjera za sprječavanje ponavljanja grešaka.

Model proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) koristi metodu *edukativnih inspekcija* za pronalazak pridonosećih čimbenika za nastanak grešaka zbog djelovanja ljudskog faktora i postavlja motivirajući čimbenik u grani izrade korektivnih mjera za sprječavanje nastanka grešaka zbog utjecaja ljudskog faktora. *Edukativne inspekcije* provode inspektori čija je zadaća da tijekom izvršenje zadaće održavanja zrakoplova aktivno rade na izvođenju dijela zadaće održavanja ili cijele zadaće održavanja. Inspektori se pridružuju timu koji izvodi zadaće održavanja ili za manje

složene zadaće djelatnika koji ih izvodi. Cilj *edukativne inspekcije* je da inspektor tijekom rada pronađe pridonoseće čimbenike koji mogu dovesti do grešaka zbog djelovanja ljudskog faktora. *Edukativnim inspekcijama* pronalaze se nedostatci u tehnološkom procesu održavanja zrakoplova, nedostatci u timu koji izvode zadaće održavanja zrakoplova i ujedno se prikupljaju podatci o željama i problemima tima ili pojedinca metodom intervja tijekom radova.

Prema tablici rizika, greške se dijele na greške koje izravno ugrožavaju sigurnost letenja pa se moraju trenutno otkloniti i greške koje su u području prihvatljivog rizika za letenje za koje zračni prijevoznik može, a ne mora napraviti, korektivnu mjeru radi njenog sprječavanja. Za svaku grešku zračni prijevoznik radi izračun isplativosti ulaganja i primjenjuje onu korektivnu mjeru koja zadovoljava zahtjeve regulative, sigurnosti, kvalitete, isplativosti ulaganja za zračnog prijevoznika i koje su motivirajuće za djelatnike koji ih provode. Radi smanjenja operativnih troškova i troškova zbog izvanrednih kvarova zrakoplova zbog ljudskog faktora, zračni prijevoznik primjenjuje korektivne mjere čija implementacija rezultira manjim troškovima od izvanrednog kvara. Time se može izravno upravljati troškovima održavanja zrakoplova i dodatnim troškovima koji nastaju zbrinjavanjem putnika usljed kašnjenja zrakoplova na let ili otkaza leta.

Učinkovitost modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) testirana je na organizaciji za održavanje zrakoplova u sastavu promatranog zračnog prijevoznika s flotom od 6 zrakoplova tipa Airbus A320 i 6 zrakoplova tipa Bombardier DHC-Q-400. Zrakoplov A320 je niskokrilac s ventilatorskim motorima, a DHC-Q-400 visokokrilac s turbo-propelerskim motorima. Zrakoplov A320 ima potpuno računalno upravljanje komandama dok zrakoplov DHC-Q400 ima klasičan pristup upravljanja komandama. Zbog navedenih razlika provjera učinkovitosti modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) napravljena je na dvije vrste zrakoplova različitih tehničkih karakteristika i tehnologija održavanja.

Početni pokazatelji u 2012. godini, koja je prva godina testiranja, su usporedbe tehničke pouzdanosti otpreme zrakoplova promatrane organizacije i svjetske flote. Provjerom *Studentovim t-testom* s mogućnošću greške od 5% utvrđeno je da je tehnička pouzdanost otpreme promatranog zračnog prijevoznika na početku istraživanja nije lošija od pouzdanosti otpreme svjetske flote za zrakoplov DHC-Q400, a za zrakoplov Airbus A320f je lošija od pouzdanosti otpreme svjetske flote.

Nakon tri godine primjene modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG), utvrđeno je *Studentovim t-testom* da je tehnička pouzdanost otpreme promatrane organizacije bolja nakon tri godine nego na početku primjene modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG). Treće godine primjene modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG),

Studentovim t-testom utvrđeno je da je tehnička pouzdanost otpreme zrakoplova bolja u promatranoj organizaciji od svjetske tehničke pouzdanosti otpreme zrakoplova za tu godinu. Navedeni rezultati potvrđeni su za oba tipa zrakoplova. Od početka istraživanja ili od 2012. godine praćenjem trenda prosječnog broja primjedbi po jednoj inspekciji koju provodi EASA, utvrđen je stalan trend smanjivanja prosječnog broja tehničkih primjedbi po jednoj inspekciji u periodu od jedne godine.

Dobiveni rezultati pokazuju da se model proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) može primijeniti na sve tipove zrakoplova. Primjenom modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) povećana je pouzdanost otpreme zrakoplova kod promatranog zračnog prijevoznika, smanjene su izvanredne greške u održavanju zrakoplova i smanjeni su tehnički i posredni operativni troškovi održavanja zrakoplova.

Primjena modela proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) doprinosi smanjenju grešaka u održavanju zrakoplova zbog djelovanja ljudskog faktora, smanjenju troškova održavanja zrakoplova i ujedno izravno povećava sigurnost letenja. Primjena modela ne zahtijeva izvanredne troškove za uspostavljanje *edukativnih inspekcija* i praćenje motiviranja djelatnika za rad. Model proaktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG) primjenljiv je za sve tipove organizacija za održavanje zrakoplova, a organizacija za održavanje treba ga prilagoditi svojoj veličini i vrsti posla koji obavlja.

POPIS LITERATURE

[1] Official Journal of the European Union Regulation (Ec) No 261/2004, // EUR-Lex, 2014. dostupno na stranici: http://eur-lex.europa.eu.

[2] Gerdes, M.; Scholz, D.; Galar, D. Effects of Condition-Based Maintenance on Costs Caused by Unscheduled Maintenance of Aircraft, // Journal of Quality in Maintenance Engineering, 2016, 22, (4), 394-417. dostupno na stranici:https://doi.org/10.1108/JQME-12-2015-0062

[3] Shannon, A. Basics of Aircraft Maintenance Reserve Development and Management, 1st edition // International Air Transport Association (IATA) - Aircraft Monitor, 2012. dostupno na stranici:http://www.iata.org/whatwedo/workgroups/Documents/Paperless%20Supply%20Chain/Basics-AC-MR.pdf

[4] Maintenance Human Factor Training-Advisory Circular AC-120-72A, // Federal Aviation Administration (FAA), 2017. dostupno na stranici: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_120-72A.pdf

[5] Rankin, W.; Shappel, S.; Wiegmann, D. FAA Human Factors Guide for Aviation Maintenance and Inspection - Chapter 7 - Error and Error Reporting System), // Boeing, 2017. dostupno na stranici: https://www.faa.gov/about/initiatives/maintenance_hf/training_tools/media/HF_Guide.pdf

[6] Commission Regulation (EU) No 1321/2014, // European Aviation Safety Agency (EASA), 2014. dostupno na stranici: https://www.easa.europa.eu/regulations.

[7] Safety Report 2014, 51th edition // International Air Transport Association (IATA), 2015. dostupno na stranici: http://asndata.aviation-safety.net/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=-YHHZjSVRP-ch8K11adDwV_TdIUfRtMk3UrecKtmQw8,

[8] Larsen, T. Improving Dispatch Reliability, // World Maintenace Syposium, USA, 2015. dpostupno na stranici: http://www.worldtek.com/wp-content/uploads/2015/09/Measurement-of-Dispatch-Reliability-Tulinda-Larsen-Sept-23-1345.pdf

[9] Tiassou, K., Aircraft Operational Reliability–A Model-Based Approach And Case Studies, Logic in Computer Science, PhD, INSA de Toulouse, 2013.

[10] Tiassou, K.; Kanoun, K.; Kaaniche, M.; Seguin, C.; Papadopoulos, C. Modeling Aircrafts Operational Reliability, // Internatioal Conference on Computer Safety Reliability and Security (SAFECOMP 2011), Italy; 2011, 157-170. dostupno na stranici: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01176051/document

[11] Kaelen, J. How To Achieve Aircraft Availability in the MRO&U Trade, Ph.D, Delft University of Technology, 2014.

[12] Maggie, M. An Overview of Maintenance Error Decision Aid (MEDA), // AFRA-KCAA-Boeing Operations and Maintenance Safety Seminar, 2014.
[13] Xavier, A. J. Managing Human Factors in Aircraft Maintenance Through a Performance Excellence Framework, MSc, Embry-Riddle Aeronautical University, 2005. available from: http://www.system-safety.com/articles/Xavier%20Thesis.pdf.
[14] Hawkins, F.H.; Orlady, H. W. Human Factors in Flight, 2th edition, Published by Avebury Technical, Harry W. Orlady, England, 1993.
[15] Dupont, G. The Dirty Dozen Errors in Maintenance, // Meeting-11 Human Error in Aviation Maintenance, Federal Aviation Administration, 1997, 7 . dostupno na stranici: https://www.faa.gov/about/initiatives/maintenance_hf/library/documents/media/human_factors_maintenance/human_error_in_aviation_maintenance.pdf
[16] Johnson, B.; Maddox, M. A. PEAR-Shaped Model for Better Human Factors, // CAT Magazine, 2007, (2), 20- 21. dostupno na stranici: https://www.faa.gov/about/initiatives/maintenance_hf/library/documents/media/reports_publications/pear_civil_aviation_training_magazine_4-07.pdf
[17] Human Factors Guidelines for Aircraft Maintenance Manual-Doc 9824-AN/450, // International Civil Aviation Organization (ICAO), 2003. dostupno na stranici: https://www.faa.gov/about/initiatives/maintenance_hf/library/documents/media/support_documentation/icao_hf_guidelines_2003.pdf
[18] Safety Management Manual (SMM)-Doc 9859-AN/474, 3th edition // International Civil Aviation Organization (ICAO), 2013. dostupno na stranici: https://www.icao.int/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=pq8kCeZMCL1SJJABGEF5d-Agt-IYxtIKzeIwukH0suc,
[19] Implementacija sustava upravljanja sigurnošću (Safety Management System - SMS) - Sigurnosna Direktiva (Air Safety Order)-ASO-2010-004, revizija 4. // Hrvatska Agencija za Civilno Zrakoplovstvo (HACZ), 2016. dostupno na stranici: http://www.ccaa.hr.
[20] Implementacija principa ljudski faktor u priručnicima za održavanje - Sigurnosna Direktiva (Air Safety Order)-ASO-2011-005, revizija 2. // Hrvatska Agencija za Civilno Zrakoplovstvo (HACZ), 2011. dostupno na stranici: http://www.ccaa.hr.
[21] Current Market Outlook 2014-2033, // Boeing, 2014. dostupno na stranici: http://www.gnieob.com/resources/boeingdotcom/commercial/about-our-market/assets/downloads/Boeing_Current_Market_Outlook_2014.pdf
[22] Mullins, L. J. Essentials of Organisational Behaviour, 3th edition, FT-printice hall-Financial Times, Great Britain, 2011.

[23] Hall, S. Evaulation of Aviation Maintenance Working Environments, Fatigue, and Human Performance, PhD, Embry-Riddle Aeronautical University, 2001.
[24] Rashid, H. S. J. Human Factor Effects in Helicopter Maintenance: Proactive Monitoring and Controling Techniques, PhD, Cranfield University, 2010.
[25] Jayakody-Arachchige, D. Bayesian Model for Strategic Level Risk Assessment in Continuing Airthworthiness of Air Transport, PhD, Cranfield University, 2011.
[26] Latorella, K. A.; Prabhu, P.V. A Review of Human Error in Aviation Maintenance and Inspection, // International Journal of Industrial Ergonomics, 2000, 26 (2), 133-161
dostupno na stranici: https://doi.org/10.1016/S0169-8141(99)00063-3
[27] Hsiao. Y.; Drury. C.; Wu. C.; Paguet. V. Predictive Model of Safety Based on Audit Findings – Part-1 Model Development and Reliability, // Applied Ergonomics, 2013, 44 (2), 261-273. dostupno na stranici: https://doi.org/10.1016/j.apergo.2012.07.010
[28] Pickthall, N. The Contributionof Maintenance Human Factor to No Fault Founds on Aircraft Systems Engineering, // 3rd International Conference on Through-Life Engineerijng Services, 2014, 22, (1), 59-64.
dostupno na stranici: https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.013
[29] Eickemeyer, S.C.; et all. Reliable Capacity Planning Despite Uncertain Disassembly, Regeneration And Reassembly Workloads by Using Statistical and Mathematical Approaches, // Validation in Subsidiaries of a Global MRO Company With Operations in Asia, Europe and North America; Conference on Assembly Technologies and Systems, 2014, 23, 252-257 dostupno na stranici: https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.10.097
[30] Bratton, J.; Gold, J. Human Resource Management Theory and Practice, 5th edition, Hampshire Palgrave Macmillan, New York, 2012.
[31] Lindsay, W. M.; Evans, J. R. The Management and Control of Quality, 7th edition, Transcontinental-Louiseville, Canada, 2008.
[32] Dur. R.; Tichem. J. Altruism and Relational Incentives in The Workplace, // Journal of Economic and Management Strategy, 2015, 24, (3), 485–500 dostupno na stranici: https://doi.org/10.1111/jems.12099
[33] Tichem, J. Altruism, Conformism, and Incentives in the Workplace. Ph.D, Erasmus University Roterdam, 2014
[34] Singh. A. Resourse Constrained Multi-Project Scheduling With Priority Rules and Analytic Hierarchy Process, // 24th DAAAM International Symposium on Inteligent Manufacturing and Automation, 2014, 69, 725-734.
dostupno na stranici: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.048

[35] Saltoglu, R.; Humaira, N.; Inalhan, G. Scheduled Maintenance and Downtime Cost in Aircraft Maintenance Management, // International Juornal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering, 2016, 10, (3), 602-607. dostupno na stranici: http://waset.org/publications/10004075

[36] Leva. M.C.; Naghdali. F.; Alunni. C.C. Human Factor Engineering in System Design: A Roadmap For Improvement, // The 4th International Conference On Through-Life Engineering Service, 2015, 38, 94-99. dostupno na stranici: https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.08.091

[37] Appalius de Vos. J.I.; Leo van Dongen, Performance Centered Maintenance as a Core Policy in Strategic Maintenance Control, // The 4th International Conference on Through-Life Engineering Service, 2015, 38, 255-258.
dostupno na stranici: https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.08.016

[38] Amstrong. M. A Handbook of Human Resource Management Practice, 10th edition, Cambrian Printers Ltd, Great Britain, 2005.

[39] Bozz, G. Addressing Critical Business Issues Through Strategic Management of Human Resources, Ph.D, Universitat Autonoma de Barcelona, 2013.

[40] Healy, L. C. Motivation and Goal Self-Regulation, Ph.D, University of Birmingham, United Kingdom, 2015.

[41] Zoutenbier, R. Work Motivation and Incentives in The Public Sector, Ph.D, Erasmus University Rotterdam, 2015.

[42] Rottensteiner, C. Young Finnish Athletes' Participation in Organized Team Sports, PhD, University of Jyväskylä, 2015.

[43] Commission Regulation (EU)-No 748/2012, // European Aviation Safety Agency (EASA), 2012. dostupno na stranici: https://www.easa.europa.eu/regulations.

[44] Maintenance Review Bords Maintenance Type Bords, and OEM/TCH Recommended Maintenance Procedures-AC-No-122-22C, // Federal Aviation Administration (FAA), 2012. dostupno na stranici:
https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC%20121-22C.pdf

[45] Service Information Letter –SIL-00-57; Airbus, France; 2007.

[46] Amborski, J. Calculation of Alert Levels for Reliability, Ph.D, Institute of Aviation, Warsaw, 2006.

[47] Martensen, A.; Butler, R. The Fault Tree Complier, National Aeronautics and Space Administration, USA; 1987.

[48] Certification Specificarions and Guidance Material for Master Minimum Equipement List CS-MMEL - ED decision 2014/004/R, // European Aviation Safety Agency (EASA), 2015. dostupno na stranici: https://www.easa.europa.eu/regulations.
[49] Ficarella, A. Chap. 11-System Design and Development, Università del Salento, Iitaly; 2013.
[50] Airworthiness Limitations Section Part-2 (ALS) Damage Tolerant Airworthiness Limitation Items (DT-ALI), Airbus, Toulouse, 2016.
[51] Airlane Maintenance Cost Executive Commentary, // International Air Transport Association (IATA), 2015. dostupno na stranici:
https://www.iata.org/whatwedo/workgroups/Documents/MCTF/AMC-Exec-Comment-FY14.pdf
[52] Anual safety report 2014, 54th edition // European Organisation for The Safety of Air Navigation (EUROCONTROL), 2015. dostupno na stranici:
https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/single-sky/src/src-docs/src-doc-54-e1.0.pdf
[53] Airline Cost Management Group (ACMG) FY2014, Enhanced Report, // International Air Transport Association (IATA), 2015. dostupno na stranici:
http://www.iata.org/whatwedo/workgroups/Documents/ACMG/ACMG_Report_FY2014_Enhanced_Version_restricted_public.pdf
[54] Wang, H.; Gao, J.; Wu, H. Direct Maintenance Cost Prediction of Civil Aircraft, //Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal, 2014, 86 (5), 406-414, https://doi.org/10.1108/AEAT-11-2012-0209
[55] American Airlines inc DC-10-10 N110AA Chikago-O'Hare International Airport Chicago, National Transport Safety Board Bureau of Accident Investigation Washington-DC-20594, Washington; 1979.
[56] Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, Final report on the accident on 1st June 2009 on the Airbus a330-203 registrated F-GZCP operated by Airfrance flight AF447 Rio de Janerio-Paris; Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile (BEA), Paris; 2009.
[57] Rogers W.P. & Presidential Commision, On the Space Suhttle Challenger Accident; National Aeronautics and Space Administration U.S.A., Washington; 1986.
[58] 2012 European Strategy for Human Factor in Aviation, //European Aviation Safety Agency (EASA), 2012. dostupno na stranici:
https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/safety-and-research-docs-ehfag-European_HF_Strategy.pdf

[59] Sikavica. P.; Bahtijarević-Šiber. F.; Vokić. N.P. Temelji Menadžmenta, Školska Knjiga, Zagreb, Republika Hrvatska; 2008.
[60] Maintenance Error Decision Aid (MEDA), // Maintenance Human Factors Boeing Commercial Aviation Services, USA; 2013.
[61] Dhillon, B.S. Reliability Technology, Human Error, and Quality in Health Care; CRC Press Taylor and Francis Group, USA, 2008.
[62] Quinlan, J. R. Induction of Decision Trees, Centre of Advanced Computing Sciences, Sydney, 2007.
[63] Easy Access Rules of Continuing Airworthiness, // European Aviation Safety Agency (EASA), 2017. dostupno na stranici: https://www.easa.europa.eu
[64] Federal Aviation Administration Safety Management System Manual, // Federal Aviation Administration (FAA), 2004. dostupno na stranici: http://atcvantage.com/docs/FAA_ATO_SMS_Manual_v1.1.pdf
[65] SAFA Ramp Inspection –Guidance Material; // EASA–SAFA Coordination Section, European Aviation Safety Agency (EASA), 2012 (2). dostupno na stranici: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EASA%20GM%20for%20the%20Qualification%20of%20SAFA%20Inspectors.pdf
[66] Operator's Manual for Human Factror in Maintenance and Ground Operations, 2th edition // Federal Aviation Administration (FAA), 2014. dostupno na stranici: https://www.faa.gov/about/initiatives/maintenance_hf/library/documents/media/human_factors_maintenance/hf_ops_manual_2014.pdf
[67] Commission Regulation (EU) No 965/2012, // European Aviation Safety Agency (EASA), 2012. dostupno na stranici: https://www.easa.europa.eu/regulations.

POPIS SLIKA

Slika broj	Naziv slike	Stranica
2.1.	Proces određivanja minimalnih zadaća održavanja zrakoplova	19
2.2.	Promjena intenziteta otkaza tijekom životnog vijeka	23
2.3.	Promjena intenziteta otkaza za zrakoplovne elemente	24
2.4.	Prikaz preporučene vjerojatnosti otkaza sustava u odnosu na utjecaj na sigurnost zrakoplova	25
2.5.	Serijska veza elemenata u sustavu	27
2.6.	Paralelna veza elemenata u sustavu	28
2.7.	Primjer analize vjerojatnosti otkaza električnog sustava zrakoplova tipa A320 s FTA analizom	30
2.8.	Elementi koje zračni prijevoznik koristi za izradu programa održavanja zrakoplova (*operator approved maintenance* program)	31
2.9.	Tijek praćenja tehničke pouzdanosti rada zračnog prijevoznika	34
2.10.	Pouzdanost otpreme zrakoplova svjetske flote i promatranog zračnog prijevoznika od 2012. godine do 2015. godine	38
3.1.	Ljudski faktor u zrakoplovstvu	43
3.2.	Okolina organizacije rada	44
3.3.	SHELL model	45
3.4.	PEAR model	47
3.5.	Model *švicarski sir*	49
3.6.	Zaštitni model za greške zbog utjecaja ljudskog faktora	50
3.7.	Dijagram *riblje kosti*	52
4.1.	Raspodjela tipova grešaka u razdoblju od 1. srpnja 2011. godine do 1. srpnja 2013. godine	65
4.2.	Raspodjela pridonosećih čimbenika The Dirty Dozen u razdoblju od 1. srpnja 2011. godine do 1. srpnja 2013. godine	66
4.3.	Grafički prikaz analize metodom *stabla odlučivanja*	67
4.4.	Grafički prikaz metodom stabla odlučivanja	71
4.5.	Vjerojatnosti ponavljanja greške prikazana FTA analizom	73

4.6.	Prilagođena verzija Bow-Tie modela za primjer oštećenja gume zrakoplova	81
4.7.	Analiza mogućih ishoda posljedica za događaj opisan u primjeru 1. - nenamjerno aktiviranje tobogana	82
4.8.	Troškovi koji nastaju u slučaju tehničkog kašnjenja	83
5.1.	Model standardnog upravljanja greškama u održavanju (MSUG)	89
5.2.	Model prosktivnog upravljanja greškama u održavanju (MPUG)	104
5.3.	Kategorizacija grešaka u odnosu na plovidbenost zrakoplova	111
6.1.	Udio tehničkih grešaka u inspekcijama SAFA za interval od jedne godine	116
6.2.	Prosječan udio grešaka po jednoj SAFA i SACA inspekciji i po jednoj edukativnoj inspekciji u jednoj godini za razdoblje od 2012. godine do 2014. godine	116
6.3.	Trend broja edukativnih inspekcija bez nalaza za razdoblje od 2012.godine do 2014.godine	117
6.4.	Grafički prikaz *Studentove distribucije*	118
6.5.	Pouzdanost otpreme zrakoplova A320 zračnog prijevoznika za 2012. godinu i za 2014. godinu	121
6.6.	Pouzdanost otpreme zrakoplova A320 između zračnog prijevoznika i svjetske flote za 2014. godinu	122
6.7.	Pouzdanost otpreme zrakoplova A320 između zračnog prijevoznika i svjetske flote za 2012. godinu	123
6.8.	Pouzdanosti otpreme zrakoplova DHC-Q-400 zračnog prijevoznika za 2012. godinu i za 2014. godinu	125
6.9.	Pouzdanosti otpreme zrakoplova DHC-Q-400 između zračnog prijevoznika i svjetske flote za 2014. godinu	126
6.10.	Pouzdanost otpreme zrakoplova DHC-Q-400 između zračnog prijevoznika i svjetske flote za 2012. godinu	127

POPIS TABLICA

Tablica br.	Naziv tablice	Stranica
4.1.	Analiza grešaka u održavanju zrakoplova u promatranoj organizaciji	64
4.2..	Tablica rizika	79
5.1.	Prosječna pouzdanost otpreme zrakoplova za 2012. godinu	98
5.2.	Statistički prikaz tehničkih greška pronađenih tijekom SAFA inspekcija kod promatranog zračnog prijevoznika	99

PRILOZI

Prilog A Primjer e*dukativne inspekcije*

A/C registration: XX-ABCD, Inspected by: ID No.-12345 , SIGNATURE:_Inspector Signature
DATE: DD. MM. YYYY , UTC-XX:YY.

In accordance with AMC 145.A.50 (a) requirement, inspector has to open a defect and CRS staff has to rectify defect before the first flight when a safe operation could be in danger (in case that some condition leads to an unsafe condition). It typically includes, but is not limited to: significant cracking, deformation, corrosion or failure of primary structure, any evidence of burning, electrical arcing, significant hydraulic fluid or fuel leakage and any emergency system or total system failure.

FUSELAGE AND WINGS INSPECTION	FINDING		FINDING DESCRIPTION
Check general external condition of aircraft – FWD, AFT, Center (Belly Fairing), Tail Fuselage and Wings for obvious damage (in case of finding compare with Structure Damage/Repair Record).	~~YES~~	NO	
Check general external condition of aircraft – FWD, AFT, Center (Belly Fairing), Tail Fuselage and Wings for missing screws or fasteners.	~~YES~~	NO	
Check general external condition of aircraft – FWD, AFT, Center (Belly Fairing), Tail Fuselage and Wings for obvious paint damage (in case of finding compare with Structure Damage/Repair Record).	~~YES~~	NO	
Check Doors and Hatches for obvious damage or missing parts.	~~YES~~	NO	
Check Static Dischargers for presence and condition (Radom, Wings and Tail area).	~~YES~~	NO	NOTE: Static dischargers on the top of the vertical stabilizer are too far, and it is very difficult to see damage on them. Technician proposed to equipped personal tool with a binoculars.
Check Wheels, Tires and Brakes for obvious damage and check Tires worn out limits.	YES	~~NO~~	Left nose tire is replaced. NOTE: team coordination is not efficient. Two technician was waiting 30 minutes for nitrogen. After that they left equipment without surveillance. Team leader could be educated for team leading.
Check aircraft for FUEL or HYDRAULIC leakage. Check Drain Masts and Water Panels – no obstruction or evidence of leakage.	~~YES~~	NO	
ENGINES/PROPELLERS INSPECTION	**FINDING**		**FINDING DESCRIPTION**
Check Power Plant and Pylon for obvious damage and missing fasteners.	~~YES~~	NO	
Check Fan Blades or Propellers for obvious damage.	~~YES~~	NO	
Check Engines for fuel, hydraulic oil and engine oil leakage.	~~YES~~	NO	

Forward this report to engineering and quality department by Email

CARGO COMPARTMENTS	FINDING		FINDING DESCRIPTION
Check general condition of Cargo Compartments for obvious damage (Floor, Ceiling and Sidewall Panels) or missing Decompression Panels.	~~YES~~	NO	
Check Placards and Markings for presence and condition (Ref. IPC).	YES	~~NO~~	Some placards are worn out. Placards are in function but should be replaced as soon as possible Note: for good practice, would be useful to equipped line station with mandatory placards.
CABIN INSPECTION	**FINDING**		**FINDING DESCRIPTION**
Check general internal condition – check Seats, Seat Belts, Galleys and Cabin Attendants Stations for obvious damage or missing parts.	YES	NO	Not performed
Check general condition of Lavatories for obvious damage, missing parts and leakage, Placards for presence and condition.	YES	NO	Not performed
Check Life Jackets/Flotation Devices for presence, sufficient number and serviceability (randomly - use at least two items for checking).	YES	NO	Not performed
Check Emergency Exits, Lighting, Placards and Markings for condition, Torches for presence and sufficient number.	YES	NO	Not performed
Check First Aid Kit/Megaphones for presence and serviceability.	YES	NO	Not performed
Check Portable Fire Extinguishers for presence and serviceability.	YES	NO	Not performed
Check Oxygen supply (Cockpit, Cabin Crew and Passenger) for presence and serviceability.	YES	NO	Not performed
ADDITIONAL	**FINDING**		**FINDING DESCRIPTION**
Technical and airworthiness documentation	~~YES~~	NO	
Special request	~~YES~~	NO	Order: check one personal tool box Notes: One personal box was checked, there no finding
Interview notes	YES	~~NO~~	Technician XY has performed task "Check Fan Blades or Propellers for obvious damage" very professionally. He want to attend the Borescope inspection course. He is interested in becoming NDT Inspector.

Check TLB for proper last CRS and record data:
Last „ X" - Check performed, TLB REF-12345678 , by ID No.- 12345,
DATE:DD.MM.YYYY, UTC-HH:MM.

Forward this report to engineering and quality department by Email

Prilog B Primjer- SAFA-SACA inspekcije



SACA
Ramp Inspection Report
No.

Source:	SACA		**Place:**	
Date:			**Local Time:**	10:30
Operator:			**AOC Number:**	
State:			**Type of Operation:**	Commercial Air Transport operations (CAT)
Route from:			**Flight Number:**	
Route to:	NR	NOT RELEVANT	**Flight Number:**	NR
Chartered by	NR	NOT RELEVANT	**Charterer's State:**	Not Relevant
Aircraft type:	A320	Airbus A-320	**Registration Marks:**	
Aircraft configuration:	Passenger		**Construction Number:**	
Flight Crew **State of Licensing:**	LD	Croatia	**2nd State of Licensing':**	Not Relevant

Findings

Code	Std	Ref	Cat	Finding	Detailed Description	Status
A16	E	CAT.OE.A.285	G		Captain's life jacket expired on 31/08/2016, See also Additional Information	NR
C01	M	AMM 11-00-00	1	Markings and/or placards required by the manufacturer not applied or unreadable	"DO NOT PAINT" missing at FWD radio altimeter and at engine #2 LH fan cowl upper PIVOTING-Instruction-Decal missing the lower one totally damaged/ unreadable	NR
C07	M	AMM 71-11-00	3	Screws/rivets loose or missing, outside dispatch limits/conditions	2ea rivets hanging at engine #2 air intake cowl at 05:00 o'clock position around and at NACA-Inlet	Open
C07	M		G		Paint missing at two locations at pylon panel 481AC and not recorded/assessed	NR

Class of actions taken	Actions Taken
☐ 3d) Immediate operating ban	
☐ 3c) Aircraft grounded by inspecting NAA	
☑ 3b) Corrective actions before flight	C07: Rivets replaced by certified technical staff before departure
☐ 3a) Restriction on aircraft flight operation	
☑ 2) Information to Authority and Operator	
☑ 1) Information to Captain	

Additional Information

A16: The life jacket replaced by a spare one before departure

This report represents an indication of what was found on this occasion and must not be construed as a determination that the aircraft is fit for the intended flight.

This report represents an indication of what was found on this occasion and must not be construed as a determination that the aircraft is fit for the intended flight.

Item	Description	Checked	Remark
A - Flight Deck			
A01	General Condition	✓	
A02	Emergency Exit	✓	
A03	Equipment	✓	
A04	Manuals	✓	
A05	Checklists	✓	
A06	Navigation / instrument charts	✓	
A07	Minimum Equipment List	✓	
A08	Certificate of registration	✓	
A09	Noise certificate (where applicable)	✓	
A10	AOC or equivalent	✓	
A11	Radio license	✓	
A12	Certificate of Airworthiness	✓	
A13	Flight Preparation	✓	
A14	Mass and balance calculation	✓	
A15	Hand fire extinguishers	✓	
A16	Life jackets / flotation device	✓	✓
A17	Harness	✓	
A18	Oxygen equipment	✓	
A19	Independent portable light	✓	
A20	Flight crew licence / composition	✓	
A21	Journey log book or equivalent	✓	
A22	Maintenance release	✓	
A23	Defect notification and rectification (incl. Tech	✓	
A24	Pre-flight inspection	✓	
B - Safety/Cabin			
B01	General Internal Condition	✓	
B02	Cabin crew station and crew rest area	✓	
B03	First Aid Kit / Emergency Medical Kit	✓	
B04	Hand fire extinguishers	✓	
B05	Life jackets / Flotation devices	✓	
B06	Seat belt and seat condition	✓	
B07	Emergency exit, lighting, and independent	✓	
B08	Slides/Life-Rafts (as required), ELT	✓	
B09	Oxygen Supply (Cabin Crew and Passengers)	✓	
B10	Safety Instructions	✓	
B11	Cabin crew members	✓	
B12	Access to emergency exits	✓	
B13	Stowage of passenger baggage		
B14	Seat capacity	✓	
C - Aircraft Condition			
C01	General External Condition	✓	✓
C02	Doors and Hatches	✓	
C03	Flight Controls	✓	
C04	Wheels, tyres and brakes	✓	
C05	Undercarriage, skids/floats	✓	
C06	Wheel well	✓	
C07	Powerplant and Pylon	✓	✓
C08	Fan blades, Propellers, Rotors (main/tail)	✓	
C09	Obvious repairs	✓	
C10	Obvious unrepaired damage	✓	
C11	Leakage	✓	
D - Cargo			
D01	General Condition of Cargo Compartment	✓	
D02	Dangerous Goods		
D03	Cargo stowage	✓	
E - General			
E01	General	✓	

This report represents a indication of what was found on this occasion and must not be construed as a determination that the aircraft is fit for the intended flight.

Prilog C. Primjer analize greške

CONFIDENTIAL

INVESTIGATION REPORT

GENERAL DATA:

Reference #:	*ata-godina-mjesec-dan*	*Investigation report #:*	*QIR.- interni broj*
Station:	*mjesto događaja*	*Date of investigation:*	*dan/mjesec/godina*
Aircraft type:	*tip zrakoplova*	*Date of event:*	*dan/mjesec/godina*
Aircraft reg.:	*registracija*		
ATA:	*ATA referenca.*	*Type of maintenance:*	tip održavanja

EVENT: DAMAGING OF THE LEFT HORIZONTAL STABILIZER TIP

Received notification by e-mail from mechanic dated dd-mm-yyyy. reporting damage on the LH horizontal stabilizer on regitration Aircraft was damaged during pushback into the hangar for maintenance. Complete report in Croatian language is below:

„ Poštovani

*Ovim putem bih htio izvijestiti o događaju koji se dogodio u noćnoj smjeni **dd/mm**/yyyy. Prema planu radio sam (treću) noćnu smjenu 22-06. Poslovođa je planirao da radim na **registracija** koji je dolazio na noćenje oko 22.15 sati. U otprilike 23 sata, dovukao sam zrakoplov pred hangar Prilikom pozicioniranja zrakoplova u hangar, došlo je do krive procjene luka zakretanja repa pri čemu je lijevi horizontalni stabilizator ostrugao stup vodilica vrata hangara. Došlo je do oštećenja kompozitnik dijelova - vrha stabilizatora i vrha elevatora.*

Poslovođa je trenutno informiran, kao i inženjering. Oštećeni dijelovi su poslikani te skinuti sa zrakoplova i naručeni novi. Ostatak noći bio sam raspoređen na druge poslove prema važnosti.

Sa štovanjem"

SHORT EVENT DESCRIPTION:

".elevator and stabilizer tip was replaced. Details of the performed task could be seen in defect list"

INVOLVED DEPARTMENTS:

- Base maintenance
- egineering

INVESTIGATED DOCUMENTS (attachments to original HC report only):

Manuals and LOGs:

- AMM /-TOWING-MAINTENANCE PRACTICE/ TASK-09-AA-BB-CDE-801 Towing of the aircraft
- SKETCH for the towing marking in the hangar area
- Technical Log Book
- Work Order -XXY
- ICAO Anex-14 Chapter-5 Visual aids for navigations

E-mails:

- Engineerings email –wo evaluation
- Carent status of floor path marking
- Damage reports
- Voluntary report
- Investigation order

Additional:

- List of Night shift workers
- Photographs of the damaged Aircraft and HSI
- Shifts work load in that time

INTERVIEWED PERSONS:

1. Involved persons
2. Shift leader
3. Engineer on duty
4. Training manager
5. Planing manager

INVESTIGATION FINDINGS

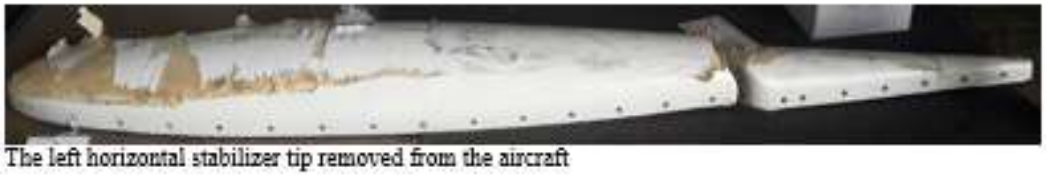
Facts:

- Night shift consisted of 20 workers. There were 12 licenced technicians Type B1, 5 licenced technicians type B2 and 5 mechanics. In according work plan there was sufficient maintenance staff.
- In accordance with maintenance plan for that night, aircraft registration XY was planed for scheduled maintenance in hangar
- First step in according maintenance plan was towing the aircraft in hangar immediately after passengers disembarking.
- Shift leader designated team for maintenance activity on XY. Team consisted of team leader and team members: 1,2,3,4.
- Mr.1 was designated to operate tow vehicles and 2 was dedicated to be in flight compartment to operate the parking brake in an emergency. 3 AND4 at that moment were in store to prepare consumable parts for tasks.
- After parking the aircraft in hangar Mr-1 saw damage on the right horizontal stabilizer and left elevator.
- Mr.1 confirmed that damage was due to strike left hangar door during the towing.
- Mr.1 reported aircraft damage to engineer and shift leader
- Damaged area was evaluated for damage and report was sent to production factory
- Damaged areas were repaired by replacing damaged parts
- Aircraft was AOG from DD/MM/YYYY to DD/MM/YYYY

Pictures:



The left horizontal stabilizer tip at the aircraft



The left horizontal stabilizer tip removed from the aircraft

What was happened:

- Towing from airport's parking to the area in front of the hangar was done by following parking provider
- Parking maneuver had two tries to park aircraft exactly on the position defined by path marking
- First try: aircraft was parked, but not aligned to the floor parking markers
- Second try: aircraft was towed out of hangar little bit as enough as to get vehicles operator to adjust aircraft wheels to the floor part marking. Aircraft pushed back again in to the hangar and was parked in position aligned to the floor part marking.
- There no maintenance members which stayed at each wing tip and tail areas to warned operator in the tow vehicle to have no safety space for towing
- During second maneuver horizontal stabilizer and elevator was damaged

INVESTIGATION OBJECTIVES (CONCLUSION /CORRECTIVE ACTIONS):



The cause and effect (fishbone) diagram

CONCLUSION:

Cause of this occurrence is no adherence to written procedure.
Main root cause of this event is human factor ommision (Complacency).

CONTRIBUTING FACTORS:

l-LIVEWARE

- There were no maintenance members staying at each tip and tail when aircraft was pushed back in to the hangar
- Mr-1 who operated the tow vehicle has more than 10 years experiences for aircraft towing. He was self-confident that he can push back aircraft in to the hangar without additional maintenance members for assistance as defined by Task-09-BB-CDE-801. He has performed that task many times satisfactory. Typical human factor ommision described in the human factor Dirty Dozen theory known as Complacency
- Person who operate the tow vehicle has to push back aircraft in to the hangar from taxiway to hangar alignment line by the independent evaluation

E-ENVIRONMENT

- Poor visibility ffrom the vehicles
- It was night, local time around 22:30.
- Weather was cloudy
- Started raining.
-

H-HARDWARE

- Between hangars door and horizontal stabilizer there are restricted slats for entrance.

S-SOFTWARE

- Towing floor path marking is painted in according ICAO-ANEX-14 in to hangar area. On the hangar area (in front of hangars), floor path marking is correctly painted for other hangars. Floor path marking for the hangar where was incident has no painted curve line from taxiway to the direction in the hangar. There are only extended floor path marking from the hangar position to outside.
- Floor path marker is deteriorated and not clearly visible from tow vehicle.

RECOMENDED CORRECTIVE ACTIONS:

1. Debrifing with Mr-1.

IR OPEN: _____
Responsible: department
Due: DD/MM/YYYY

2. Floor path marking in front of the hangar has to be corrected in the way that flor path safety lead from taxi way to the hangar parking position.

IR OPEN: _____
Responsible: department
Due: DD/MM/YYYY

3. SKETCH for the towing marking in the hangar area must be part of the GSE manual

IR OPEN: _____
Responsible: STP/ZDO
Due: DD/MM/YYYY

4. Hangar Floor Path Marking to be checked for visibility once per year

IR OPEN: _____
Responsible: STP/ZDO
Due: DD/MM/YYYY

5. This investigation report will be published in the QA-bulletin

IR OPEN: _____
Responsible: STP/QA
Due: DD/MM/YYYY

INVESTIGATION TEAM:

Mr.AA	**Mr. BB**	**Mr.CC**
_____	_____	_____

Date:dd/mm/yyyy

Prilog D. Ocjenjivanje djelatnika

Tablica-1 tablica prikazuje usporedbu jednog djelatnika u odnosu na drugog djelatnika

TABLICA-1 - TABLICA USPOREDBE									
KRITERIJ VREDNOVANJA ZNANJA I VJEŠTINA	DJELATNIK A	DJELATNIK B	DJELATNIK C	DJELATNIK D	DJELATNIK E	DJELATNIK F	DJELATNIK G	DJELATNIK H	SUMA "1"
DJELATNIK A	X	0	0	0	0	1	1	0	2
DJELATNIK B			1	0	0	1	1	0	3
DJELATNIK C				1	0	1	0	0	2
DJELATNIK D					1	1	0	0	2
DJELATNIK E						0	0	0	0
DJELATNIK F							0	0	0
DJELATNIKG								1	1
DJELATNIK H								X	
SUMA "0"		1	1	2	3	1	4	6	

Tablica-1 predstavlja ocjenjivanje prema kojem se u horizontalnom redu djelatnik A uspoređuje sa djelatnikom B u vertikalnom redu. Ukoliko je djelatnika A bolji upiše se ocjena 1, a ukolikoje lošiji od djelatnika B upisuje se ocjena 0. Postupak ocjenjivanja djelatnika A se ponavlja za slijedećeg djelatnika C, i nastavlja do kraja horizontalnog reda. Nakon toga se po istom postupku ocjenjuje djelatnik B, pa djelatnik C i redom do djelatnika H. Ukupan broj bodova je zbroj jedinica u horizontalnom redu jednog djelatnika i broj nula u vertikalnom redu istog djelatnika.

Tablica-2 tablica prikazuje ocjenjivanje djelatnika ocjenama od 1 do 5

KRITERIJ VREDNOVANJA ZNANJA I VJEŠTINA	TABLICA-2 KRITERIJ OCJENJIVANJA OD 1 DO 5 (NEZADOVOLJAVA -OCJENA 1 DO IZVRSTAN-OCJENA 5)				
DJELATNIK A	1	2	3	4	5
DJELATNIK B	1	2	3	4	5
DJELATNIK C	1	2	3	4	5
DJELATNIK D	1	2	3	4	5
DJELATNIK E	1	2	3	4	5
DJELATNIK F	1	2	3	4	5
DJELATNIKG	1	2	3	4	5
DJELATNIK H	1	2	3	4	5

Utablica 2 prikazuje ocjenjivanje djelatnika ocjenama od 1 do 5 gdje ocjena 1 predstavlja najlošije vrednovanje znanja i vještina, a ocjena 5 se dodjeljuje za izvrsno znanje i vještine.

Tablica-3 Prikazan je redoslijed djelatnika prema ocjenjivanju

REDOSLIJED PO TABLICI	OCJENE PO TABLICI 1	REDOSLIJED TABLICA 1	REDOSLIJED TABLICA 2
DJELATNIK A	2	5	4
DJELATNIK B	4	3	2
DJELATNIK C	3	4	1
DJELATNIK D	4	3	2
DJELATNIK E	3	4	1
DJELATNIK F	1	6	4
DJELATNIKG	5	2	1
DJELATNIK H	6	1	1

U tablici 3 prikazan je redoslijed koji su zauzeli djelatnici na osnovu ocjenjivanja prema ocjenama dobivenim u tablici 1 i tablici 2. Najveći broj bodova je prvo mjesto, a za najmanji broj dobovenih djelatnik je postavljen na najniže redoslijedno mjesto.

Tablica 4. Prikazan je ukupan (konačni) raspored djelatnika koji uključuje i radno iskustvo.

KONAČAN REDOSLIJED	RADNO ISKUSTVO	UKUPNI REDOSLIJED
DJELATNIK H	6	1
DJELATNIKG	10	2
DJELATNIK E	6	3
DJELATNIK C	5	4
DJELATNIK D	7	5
DJELATNIK B	4	6
DJELATNIK A	6	7
DJELATNIK F	5	8

U tablici 4. prikazan je konačni redoslijed djelatnika prema prosječnom broju bodova i prema radnom iskustvu sa redoslijedom od prvog do zanjižeg mjesta. Prvo mjesto određuje najboljeg djelatnika. Ukoliko su dva djelatnika sa istim brojem bodova bolji rang u rasporedu dobiva djelatnik sa više radnog iskustva.

KAZALO OZNAKA KRATICA

ACMG - The Airline Cost Management Group

AD - Airworthiness Directive

AMC-20 EASA General Acceptable Means of Compliance for Airworthiness of Products, Parts and Appliances

AMMP - Aviation Maintenance Monitoring Process

AOT - All Operators Telex

APU - Auxilary Power Unit

ASP - Additional Special Requirements

ATA - Air Transport Association

CMR - Certification Maintenance Requirement

CRS - Certificate of Release to Service

CS-25 EASA Certification Specifications for Large Aeroplanes

CS-34 Certification Specifications for Aircraft Engine Emissions and Fuel Venting

CS-36 Certification Specifications for Aircraft Noise

CS-APU-Certification Specifications for Auxiliary Power Units

CS-E Certification Specifications for Engines

CS-ETSO Certification Specifications for European Technical Standard Orders

CS-MMEL - Certification specifications and guidance material for master minimum equipment list

CS-P Certification Specifications for Propellers

DR - Deparature (dispatch) Reliability

EASA European Aviation Safety Agency

ETOPS - Engines Turn or Passengers Swim

ETOPS - Requirements CAT-III/ Engines Turn or Passengers Swim

EU - Europska Unija

FAA - The Federal Aviation Administration

FC - Flight Cycle

FH - Flight Hour

FTA - Fault tree analysis

HACZ - Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo

HT – Hard Time

IATA - International Air Transport Association

ICAO - International Civil Aviation Organization

ISC - Industry Steering Committee

MEDA - Maintenance Error and Decision Aid

MOE - Maintenance Organization Exposition

MP - Maintenance program

MPD - Maintenance Planning Document

MRB - Maintenance Review Board

MRBR - Maintenance Review Board Report

MRM - Maintenance Resource Management

MSG - Maintenance Steering Group

MSI - Maintenance Significant Items

NFF - No Fault Found

OR - Operators Requirements

ORB - Operators Reliability Program

PEAR - People-Environment-Actions-Resources

RCES - Root Case Existance scale

RCES -Root Case Existance scale

SACA - Assessment of Community Aircraft

SAFA - The Safety Assessment of Foreign Aircraft

SB - Service Bulletins

SHELL - Software-Hardware-Environment-Liveware

SL - Servis Letters

SMM - Safety Management Manual

SSI - Structural Significant Items

TD - Technical Defects

VR - Vendors Requirements

ŽIVOTOPIS

Darko Virovac rođen je 27.01.1957. u Noskovcima, općina Čađavica, Republika Hrvatska.
Višu elektro-metalsku školi završio je 1982. u Beogradu, a sveučilišni dodiplomski studij završio na Fakultetu prometnih znanosti (aeroprometni smjer) Sveučilišta u Zagrebu 2002. te je stekao zvanje diplomiranog inženjera prometa. Poslijediplomski znanstveni studij *Tehničko-tehnološki sustavi u prometu i transportu* završio na Fakultetu prometnih znanosti 2010. godine te je stekao zvanje magistra znanosti iz znanstvenog područja tehničkih znanosti, znanstvenog polja tehnologija prometa i transporta, znanstvene grane zračni promet.
Položio je posebna ovlaštenja za održavanje zrakoplova tipa A, B2 i C propisana regulativom PART-66. Položio je ovlaštenje za rad na zrakoplovima proizvođača zrakoplova *Boeing* tip B727 i tip B737, na zrakoplovima proizvođača *McDonnell Douglas* tip DC-9 i tip DC-10, na zrakoplovima proizvođača *Bombardier* tip DHC-Q400, na zrakoplovima proizvođača *Avions de Transport Regional* tip ATR-42 i proizvođača *Airbus* tip A320f.
Od 1978. do 1991. bio je zaposlenik *Jugoslavenskog Aerotransporta* (JAT) u Beogradu gdje je radio na poslovima održavanja zrakoplova. Od svibnja 1991. zaposlen je u hrvatskom nacionalnom zračnom prijevozniku *Croatia Airlines* gdje također radi na poslovima održavanja zrakoplova. Tijekom dosadašnjeg radnog vijeka stekao je jedanaest godina radnog iskustva na radioničkim radovima i radovima linijskog održavanja zrakoplova, šestnaest godina radnog iskustva u vođenju i organizaciji baznog održavanja zrakoplova, dvije godine radnog iskustva na mjestu direktora održavanja zrakoplova s odgovornošću za rad organizacije za održavanje zrakoplova PART-145 i organizacije s dozvolom PART-147 za školovanje tehničkog osoblja prema PART-66 te četiri godine radnog iskustva na mjestu direktora tehničkih poslova s odgovornošću za rad organizacije za vođenje kontinuirane plovidbenosti prema PART-M, organizacije PART-145 i organizacije PART-147. Od 2017 voditelj tehničke kontrole u Sektoru tehničkih poslova Croatia Airlines.
Na Veleučilištu Velika Gorica izabran je u zvanje viši predavač na predmetima *Sustavi i oprema zrakoplova-II* i *Održavanje zrakoplova-I*. Član je Sektorskog vijeća XVII Hrvatskog kvalifikacijskog okvira (Zrakoplovstvo, raketna i svemirska tehnika) pri Ministarstvu znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske.

POPIS ZNANSTVENIH RADOVA

1. Pita, O.; Virovac, D.; Bradovski, D. Usage of Information Systems for Operation Logistic in Airline Companies // Automatizacija u prometu '98, Stubičke Toplice, 1998, 252-255. dostupno na stranici: https://www.bib.irb.hr/691169
2. Jakopčić, M.; Bazijanac, E.; Virovac, D. Boroskopska inspekcija materijala u održavanju zrakoplova // Proceedings MATEST 2009 - Zagreb: Croatian Society for Non-Destructive Testing, Cavtat, 2009. dostupno na stranici: https://www.bib.irb.hr/438043
3. Virovac, D.; Jakopčić, M.; Bazijanac, E. Oštećenje strukture zrakoplova uslijed nezgode // Međunarodno savjetovanje održavanje 2010, Šibenik, 2010, 63-68. dostupno na stranici: https://www.bib.irb.hr/691170
4. Virovac, D.; Bazijanac, E.; Domitrović, A. Implementacija sustava upravljanja sigurnošću u organizaciji za održavanje zrakoplova // Međunarodno znanstveno savjetovanje razvitak logističkog poslovanja i prometnog sustava uz potporu EU fondova, Zagreb, 2012, 324-334. dostupno na stranici: https://www.bib.irb.hr/691271
5. Žagar, M.; Virovac, D.; Lukšić, M. Primjena teorije markovljevih redova za održavanje učinkovitosti kapaciteta opsluživanja aviona na zemlji // Međunarodno znanstveno stručno savjetovanje razvitak logističkog poslovanja i prometnog sustava uz potporu EU fondova, Zagreb, 2012, 312-323. dostupno na stranici. https://www.bib.irb.hr/691272
6. Domitrović, A.; Virovac, D.; Bazijanac, E. Nadzor stanja tehničkih parametara zrakoplovnog mlaznog motora, // Zbornik radova 18. međunarodnog savjetovanja HDO, Šibenik, 2012, 149-157. dostupno na stranici: https://www.bib.irb.hr/691273
7. Krstanac, B.; Domitrović, A.; Virovac, D. Održavanje zrakoplova prema "zelenom" konceptu // Zbornik radova 20. međunarodnog savjetovanja HDO, Zagreb, 2014, 195-202. dostupno na stranici: https://www.bib.irb.hr/746910
8. Virovac, D.; Domitrović, A.; Bazijanac, E. Školovanje i licenciranje tehničkog osoblja u održavanju zrakoplova, // Zbornik radova 21. međunarodnog savjetovanja HDO, Šibenik, 2015, 183-190. dostupno na stranici: https://www.bib.irb.hr/889629
9. Virovac, D.; Domitrović, A.; Bazijanac, E. Motivacija djelatnika – važan čimbenik u održavanju na primjeru organizacije za održavanje zrakoplova, // Zbornik radova 22. međunarodnog savjetovanja HDO, Šibenik, 2016, 103 – 109. dostupno na stranici: https://www.bib.irb.hr/929650
10. Virovac, D.; Domitrović, A.; Bazijanac, E. The Influence of Human Factor in Aircraft Maintenance // Promet - Traffic & Transportation, 2017, 29 (3), 257-266. dostupno na stranici: http://www.fpz.unizg.hr/traffic/index.php/PROMTT/article/view/2068

11. Domitrović, A.; Virovac, D.; Šegvić, M. Program praćenja pouzdanosti zrakoplova u eksploataciji, // Zbornik radova 23. međunarodnog savjetovanja HDO, Vodice, 2017, 15-22. dsotupno na stranici: https://www.bib.irb.hr/890449