Program pouzdanosti motora zrakoplova DASH 8 Q400

Dragić, Đivo

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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:119:037061

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-19**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Đivo Dragić

PROGRAM POUZDANOSTI MOTORA ZRAKOPLOVA DASH 8 Q400

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 24. ožujka 2021.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**
Predmet: **Održavanje zrakoplova**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 6069

Pristupnik: **Đivo Dragić (0135243881)**
Studij: Aeronautika

Zadatak: **Program pouzdanosti motora zrakoplova DASH 8 Q400**

Opis zadatka:

U radu je potrebno opisati program praćenja pouzdanosti koji provodi zračni prijevoznik. Nakon toga potrebno je opisati osnovne tehničko-eksploatacijske značajke pogonskog sustava zrakoplova DASH 8 Q400 na kojemu će se analizirati pouzdanost pogonskog sustava.
Definirati pokazatelje pouzdanosti pogonskog sustava i razraditi postupak izračuna istih, a zatim na primjeru izabranog zračnoga prijevoznika analizirati pouzdanost pogonskog sustava zrakoplova DASH 8 Q400.
Podatke o puzdanosti pogonskog sustava izabranog zračnoga prijevoznika usporediti s pouzdanošću svjetske flote.

Mentor:

prof. dr. sc. Ernest Bazijanac

Predsjednik povjerenstva za diplomski ispit:

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

PROGRAM POUZDANOSTI MOTORA ZRAKOPLOVA DASH 8 Q400

AIRCRAFT ENGINE RELIABILITY PROGRAM OF DASH 8 Q400

Mentor: prof. dr. sc. Ernest Bazijanac

Student: Đivo Dragić

JMBAG: 0135243881

Zagreb, rujan 2021.

SAŽETAK

Pouzdanost zrakoplova jedna je od ključnih stavki sigurnog leta zrakoplova. Letačko osoblje i odjel održavanja zrakoplova bilježe razne podatke o eksploataciji motora i izračunavaju parametre koji se prate na mjesečnoj bazi. Sve te informacije sadrži program pouzdanosti koji je, prema regulativi, svaki zračni prijevoznik dužan izraditi. Odbor za praćenje pouzdanosti prati statistiku podataka i prema potrebi poduzima korektivne mjere kako bi pouzdanost sustava zrakoplova bila veća i kako bi se smanjio stupanj otkaza. Za pouzdanost pogonskog sustava prati se gašenje motora u letu, dolasci motora u radionicu i neplanirane zamjene motora. Prijevoznici su dužni podatke slati proizvođaču motora koji na godišnjoj bazi objavljuje, analizira i uspoređuje podatke svih prijevoznika koji imaju isti tip zrakoplova u operacijama.

KLJUČNE RIJEČI: Pouzdanost zrakoplova; program pouzdanosti; elisno mlazni pogonski sustav; Dash 8 Q400.

SUMMARY

Aircraft reliability is one of the key factors for ensuring a safe flight. Different data are collected by flight crews and maintenance department during engine exploitation. Afterwards, noted data are used to calculate required parametres. This is included into reliability program, which is, according to regulations, obligation for all carriers. Reliability board checks statistics that is provided and takes appropriate measures if necessary. Main goal is to increase reliability and reduce failures. When it comes to powerplant reliability, following data are observed: inflight shutdowns, shop visits and unscheduled removals. Air carriers must send data to engine manufacturers, who publishes, analyzes and compares given information with all carriers using same type of the aircraft in their fleets.

KEYWORDS: Aircraft reliability; reliability program; turboprop engine; Dash 8 Q400.

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. OSNOVE POUZDANOSTI I PRATEĆI POKAZATELJI 3

2.1. Definicija otkaza sredstva 3

2.2. Definicija pouzdanosti sredstva 5

2.3. Osnovni pokazatelji pouzdanosti 6

2.3.1. Funkcija gustoće bezotkaznog roka i funkcija gustoće otkaza 6

2.3.2. Funkcija intenziteta otkaza 8

3. PROGRAM POUZDANOSTI ZRAKOPLOVA 10

3.1. Zrakoplovna regulativa koja definira program pouzdanosti 10

3.2. Odgovornosti i procesi pri izradi i vođenju programa pouzdanosti 13

3.2.1. Parametri za praćenje pouzdanosti zrakoplova u eksploataciji 14

3.2.2. Parametri za praćenje pouzdanosti pogonskog sustava zrakoplova 16

3.2.3. Analiza parametara i obrada podataka pouzdanosti 17

3.2.4. Preporuke i korektivne mjere 21

4. KARAKTERISTIKE ZRAKOPLOVA DASH 8 Q400 I ELISNO-MLAZNOG POGONSKOG SUSTAVA 22

4.1. Tehničke i eksploatacijske karakteristike zrakoplova 22

4.2. Sastavni dijelovi elisno-mlaznog pogonskog sustava zrakoplova 25

4.3. Osnovne karakteristike elisno-mlaznog motora PW 150A 27

5. ANALIZA PROGRAMA POUZDANOSTI NA PRIMJERU ODABRANOG ZRAČNOG PRIJEVOZNIKA I USPOREDBA SA SVJETSKOM FLOTOM 29

5.1. Operativna statistika zračnog prijevoznika 29

5.2. Analiza pouzdanosti pogonskog sustava 39

6. ZAKLJUČAK 45

LITERATURA 46

POPIS GRAFIKONA 48

POPIS ILUSTRACIJA 49

POPIS KRATICA 50

POPIS TABLICA 51

1. UVOD

Zrakoplovi su, zahvaljujući sigurnosti, efikasnosti i brzini postali jedno od najčešćih sredstava putovanja, posebno za veće udaljenosti. Sigurnost, kao najvažniji aspekt u zračnom prometu, velikim udjelom ovisi o stanju samog zrakoplova, odnosno održavanjem. Proizvođači zrakoplova ulažu velika sredstva kako bi se smanjili kvarovi i teže poboljšanju svih sustava.

Zbog toga prijevoznici prate pouzdanost sustava. Obrađujući podatke iz eksploatacije može se zaključiti kojem sustavu degradiraju performanse te se zatim fokusirati na korektivne mjere sustava da ne bi dovodio do daljnjih otkaza.

Cilj ovog diplomskog rada je detaljnije upoznavanje pojmova vezanih uz pouzdanost sustava, karakteristika zrakoplova *Dash 8 Q400* i elisno-mlaznog pogonskog sustava, kako bi se mogla analizirati pouzdanost njegovih komponenti na primjeru prijevoznika i usporediti parametri sa svjetskom flotom.

U izradi rada prikupljeni su i analizirani podaci odabranog zračnog prijevoznika koji u svojoj floti ima šest zrakoplova navedenog tipa, a statistika je iz 2018.godine. Rad se sastoji od šest cjelina:

1. Uvod
2. Osnove pouzdanosti i prateći pokazatelji
3. Program pouzdanosti zrakoplova
4. Karakteristike zrakoplova *Dash 8 Q400* i elisno-mlaznog pogonskog sustava
5. Analiza programa pouzdanosti na primjeru odabranog zračnog prijevoznika i usporedba sa svjetskom flotom
6. Zaključak

U drugom poglavlju definirani su termini otkaza sredstva i pouzdanosti sustava te objašnjene osnove pouzdanosti. Uz otkaz i pouzdanost vežu se sljedeći pojmovi i funkcije: srednje vrijeme između otkaza, srednje vrijeme do otkaza, funkcija gustoće bezotkaznog roka, funkcija gustoće otkaza i funkcija intenziteta otkaza.

Treće poglavlje obuhvaća program pouzdanosti, regulativu prema kojoj on mora biti izrađen i ažuriran, odgovornosti i procese pri izradi i vođenju. Analizirani su parametri za praćenje pouzdanosti u eksploataciji zrakoplova s naglaskom na parametre pogonskog sustava.

Tehničke i eksploatacijske karakteristike zrakoplova *Bombardier Dash* 8 Q400 opisane su četvrtom poglavlju. Također, na primjeru motora *Pratt and Whitney* PW150A navedeni su sastavni dijelovi elisno-mlaznog pogonskog sustava te ukratko objašnjen princip rada motora.

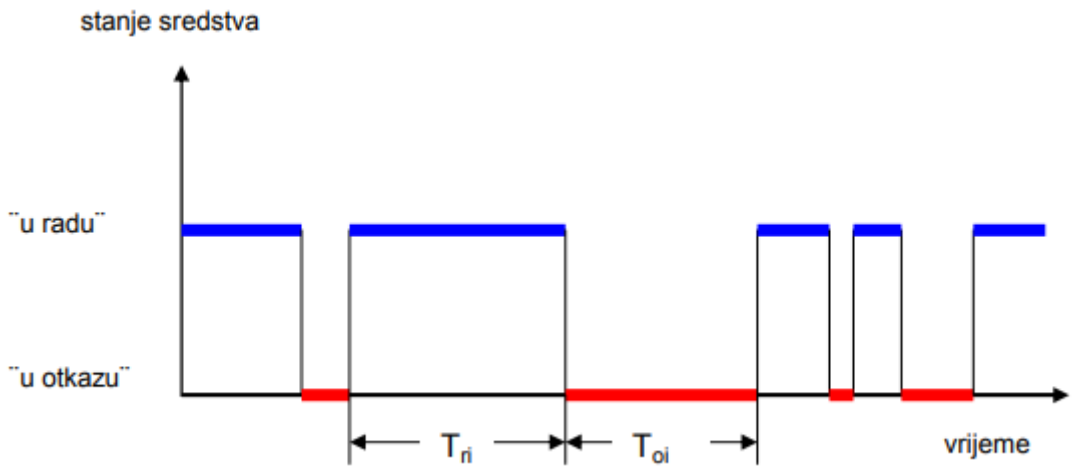
U petom poglavlju analizirana je operativna statistika zrakoplova *Dash 8 Q400* odabranog zračnog prijevoznika, kao i statistika koja se prati za pouzdanost motora zrakoplova. Podaci su uspoređeni s podacima istog tipa svjetske flote.

2. OSNOVE POUZDANOSTI I PRATEĆI POKAZATELJI

Zrakoplovni mlazni motori današnjice imaju visoku razinu pouzdanosti, što im omogućuje veliki broj ciklusa i dugi životni vijek. Kako bi se smanjio broj kvarova motora, potrebno je promatrati ponašanje motora u eksploataciji, osigurati propisane intervale održavanja svakog zrakoplovnog sustava i analizirati pokazatelje koji utječu na pojavu otkaza i smanjenje pouzdanosti. Da bi se dobila bolja slika pojma pouzdanosti, najprije je potrebno definirati pojam otkaza sredstva, a zatim i njezine pokazatelje.

2.1. Definicija otkaza sredstva

Kod eksploatacije sredstva razlikuju se dva stanja: „u radu" i u „otkazu". Otkaz sredstva je događaj nakon kojeg neko sredstvo ne može na propisan način izvršiti svoju funkciju. Kada je sredstvo u otkazu, tehnička služba vrši popravke i tehničke provjere komponenata sredstva. Slika 2.1. prikazuje proces eksploatacije nekog sredstva. Vrijeme sredstva koje je provelo u radu označeno je oznakom T_{ri}, a vrijeme sredstva u otkazu oznakom T_{oi}.[1]



Slika 2.1. Stanje sredstva [1]

Temeljem toga mogu se definirati sljedeći pojmovi:

- Srednje vrijeme između otkaza (*Mean Time Between Failure* – MTBF) koje je prikazano izrazom (2.1.).

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^{n} Tri}{n} \quad (2.1.)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

  - Tri – trajanje i-tog razdoblja ispravnog rada
  - n – ukupan broj analiziranih razdoblja rada i otkaza.

- Srednje vrijeme do otkaza (*Mean Time To Failure* - MTTF) koje je prikazano izrazom (2.2.). Ovaj pojam koristi se za nepopravljiva sredstva, odnosno ona koja se više ne popravljaju.

$$MTTF = \frac{\sum_{i=1}^{n} Tri}{n} \quad (2.2.)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje :

  - Tri – vrijeme rada do otkaza i-tog sredstva
  - n – broj sredstava koja se promatraju.

- Srednje vrijeme popravke (*Mean Time To Repair*-MTTR) - koje je prikazano izrazom (2.3.). Ovisno o vrsti otkaza za popravku je potrebno neko vrijeme.

$$MTTR = \frac{\sum_{i=0}^{n} Toi}{n} \quad (2.3.)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

  - Toi – trajanje i-te popravke
  - n – ukupan broj analiziranih razdoblja rada i otkaza.

Otkaz može nastati zbog raznih uzroka: ugrađene pogreške, pogrešne uporabe sredstva, zamora, starenja i habanja materijala. Otkaz ne znači nužno potpuni kvar nekog sredstva, već može biti samo kvar neke komponente koja onemogućava pravilan rad sredstva.[1]

2.2. Definicija pouzdanosti sredstva

Pouzdanost (*Reliability*) je vjerojatnost da će sredstvo izvršiti zadanu funkciju u zadanim uvjetima i u tijeku zadanog vremena. Matematički gledano, pouzdanost se može definirati kao vjerojatnost R(t) da će vrijeme otkaza T biti veće od određenog vremena t. U praksi, pouzdanost je važan aspekt za otkrivanje mana i ukazuje koji sustav uzrokuje najviše problema. Na sustav s najviše otkaza, stavlja se najveća pozornost i vrijeme održavanja postaje učestalije kako bi se izbjegli neplanirani kvarovi sredstva. Pouzdanost se opisuje trima osnovnim elementima:

- Zadana funkcija,
- Zadani uvjeti,
- Određeni vremenski period.[1]

Pouzdanost R(t) se može i statistički procijeniti prema izrazu (2.4.):

$$R(t) = \frac{n - N(t)}{n} = 1 - \frac{N(t)}{n} = \frac{n(t)}{n} \quad (2.4.)$$

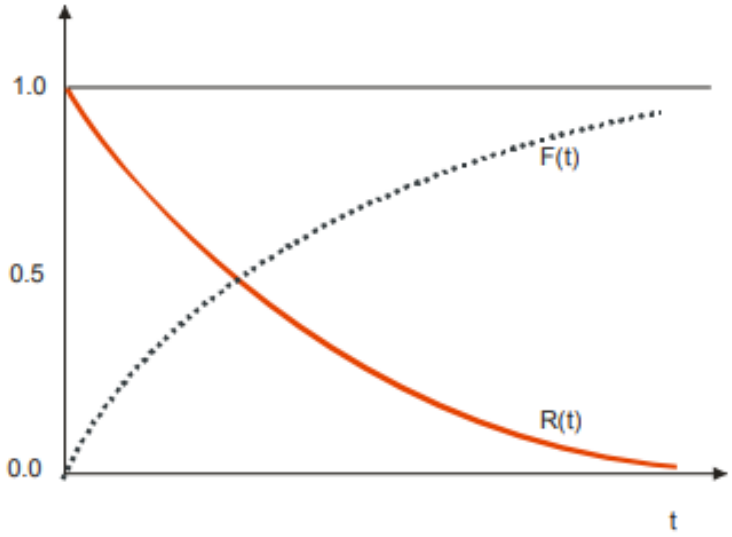
gdje oznake imaju sljedeća značenja:

- n – broj elemenata na početku eksploatacije
- N(t) – broj elemenata koji su otkazali do vremena t
- n(t) – ukupan broj ispravnih elemenata do trenutka t.

Osim pouzdanosti, za analizu sredstva koristi se i pojam nepouzdanosti. Nepouzdanost F(t) je vjerojatnost otkaza sredstva. Pouzdanost i nepouzdanost su međusobno komplementarne funkcije te njihov zbroj uvijek iznosi jedan, kao što je prikazano izrazom (2.5.).[1]

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (2.5.)$$

Detaljniji odnos dviju funkcija prikazan je na slici 2.2. Na osi apscisa prikazano je promatrano vrijeme, a na osi ordinata analitička vrijednost funkcija.[1]



Slika 2.2. Odnos pouzdanosti i nepouzdanosti [1]

Primijenjeno na zrakoplovstvo, umjesto vremena t, uzima se broj ciklusa (broj slijetanja i polijetanja) ili broj sati rada motora.

2.3. Osnovni pokazatelji pouzdanosti

Osnovni pokazatelji pouzdanosti su oni koji se najčešće koriste kod praćenja pouzdanosti sredstva. To su: funkcija gustoće bezotkaznog roka, funkcija gustoće otkaza i funkcija intenziteta otkaza. [1]

2.3.1. Funkcija gustoće bezotkaznog roka i funkcija gustoće otkaza

Prvom derivacijom izraza (2.5.) po vremenu dobije se izraz (2.6.):

$$\frac{dR(t)}{dt} + \frac{dF(t)}{dt} = 0 \quad (2.6.)$$

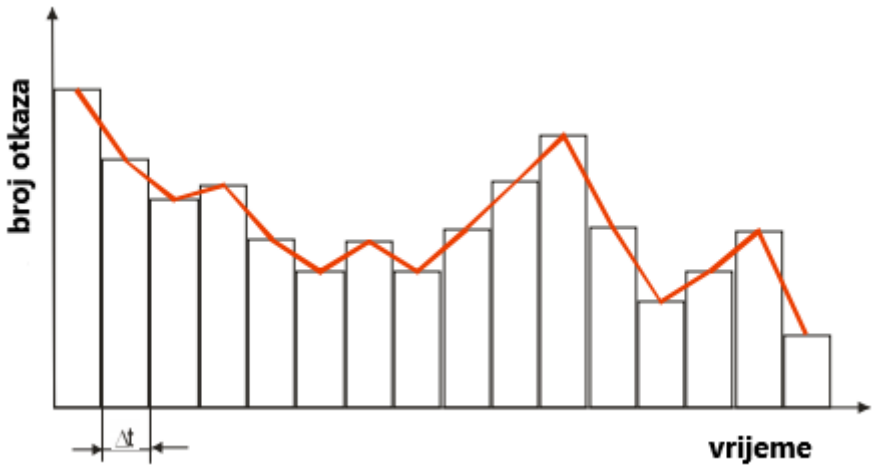
Prvi dio izraza (2.6.), odnosno prva derivacija pouzdanosti, naziva se funkcija gustoće bezotkaznog rada ρ(t) te je prikazana izrazom (2.7.).

$$\rho(t) = \frac{dR(t)}{dt} \quad (2.7.)$$

Drugi dio izraza (2.6.), odnosno prva derivacija nepouzdanosti, naziva se funkcija gustoće otkaza f(t) i prikazana je izrazom (2.8.).

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (2.8.)$$

Ova funkcija može se dobiti praćenjem sredstva tako da se vremensko razdoblje promatranja podijeli na manje vremenske interval Δt kao što je prikazano na osi apscisa na slici 2.3. U svakom intervalu prati se broj otkaza sredstva, koji je prikazan na osi ordinata.[1]



Slika 2.3. Statističko određivanje funkcije gustoće otkaza [1]

Također, sredstva koja otkažu ne zamjenjuju se novima. Funkcija gustoće otkaza može se dobiti i izrazom (2.9.).

$$f(t) = \frac{N(\Delta t)}{n * \Delta t} \quad (2.9.)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- N(Δt) – broj otkazanih elemenata u interval Δt u okolini vremena t
- n – broj promatranih elemenata kod t=0
- Δt – trajanje vremenskog intervala.

2.3.2. Funkcija intenziteta otkaza

Pokazatelj pouzdanosti koji se najčešće koristi u praksi, naziva se intenzitet otkaza (*Failure Rate*). Intenzitet otkaza λ(t) je uvjetna gustoća vjerojatnosti da će element koji se nije nalazio u stanju "u otkazu" do trenutka t, otkazati u narodnom periodu. Osim toga, može se definirati i kao broj otkaza u ukupnom vremenu u radu. Intenzitet otkaza prikazan je izrazom (2.10.).[1]

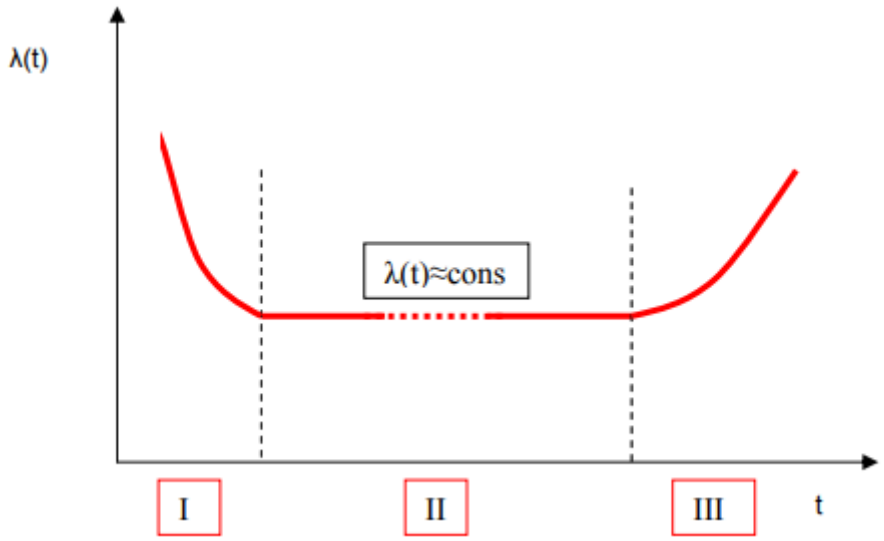
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{dF(t)}{dt}}{R(t)} = \frac{1}{R(t)}\frac{dF(t)}{dt} = -\frac{1}{R(t)}\frac{dR(t)}{dt} \quad (2.10.)$$

Također, intenzitet otkaza moguće je odrediti i statistički, praćenjem elemenata u eksploataciji. Sve je prikazano izrazom (2.11.).

$$\lambda(t) = \frac{\frac{N(\Delta t)}{n*\Delta t}}{\frac{n-N(\Delta t)}{n}} = \frac{N(\Delta t)}{\Delta t[n - N(t)]} = \frac{N(\Delta t)}{n(t) * \Delta t} \quad (2.11.)$$

Intenzitet otkaza λ(t) određuje pouzdanost u svakom trenutku vremena t, a jedinica mjerenja je [s^{-1}]. Mjera intenziteta otkaza može biti i [otkaza/s].[1]

Funkcije intenziteta otkaza različitih elemenata sustava imaju sličan životni vijek. Tipična promjena intenziteta otkaza u vremenu prikazana je na slici 2.4. Ovaj oblik krivulje je poznat pod imenom "krivulja kade".[1]



Slika 2.4. Tipična promjena intenziteta otkaza [1]

Analizom grafa sa slike moguće je razlikovati tri intervala:

- I. interval – razdoblje obilježeno ranim otkazima koji su najčešće posljedica grešaka u proizvodnji ili nesavršenosti materijala. Kako bi se smanjio intenzitet otkaza u ovom intervalu, proizvođači često testiraju određeni broj proizvoda prije isporuke naručitelju. Također, proizvođač nudi garanciju o besplatnom otklanjanju otkaza na određeno vrijeme.
- II. Interval – razdoblje korisnog životnog vijeka koje je najdulje. Otkaze koji se dogode u ovom interval skoro je nemoguće predvidjeti ili izbjeći, a uzroci su različiti: greške u materijalu, proizvodnji, nepravilno korištenje u eksploataciji, nepravilno održavanje itd. Ova faza značajna je po konstantnim intenzitetom otkaza (λ=*const*.).
- III. Interval – razdoblje istrošenosti ili starosti koje je obilježeno otkazima koji nastaju zbog istrošenosti kinematskih parova, zamora materijala, korozije te ostalih procesa izazvanih starenjem. Važno je znati početak ovog razdoblja kako bi se element proaktivno zamijenio i spriječio otkaz sredstva.[1]

3. PROGRAM POUZDANOSTI ZRAKOPLOVA

Program pouzdanosti zrakoplova u eksploataciji i održavanju je program u kojem se prati pouzdanosti zrakoplova i zabilježavaju tehnički podaci vezani za plovidbenost zrakoplova, operacije, planirani i neplanirani popravci zrakoplova, njegovih sustava i komponenata. Takvi podaci mogu poslužiti kao baza za izračunavanje pouzdanosti i poboljšavanje održavanja tako da će ukazati na problem neke komponente zrakoplova koji je potrebno ranije pregledavati ili zamijeniti.[2]

Cilj praćenja parametara u eksploataciji, za koje je odgovoran sam prijevoznik, je procjena uspješnosti zračnog prijevoznika da održi zadanu razinu pouzdanosti zrakoplova. Prema pokazateljima pouzdanosti mogu se brzo i dovoljno precizno utvrditi trendovi i stanje sustava i komponenti na zrakoplovu. Na temelju programa izrađuje se izvješće s pokazateljima praćenja pouzdanosti za određeno vremensko razdoblje (*Reliability Report*), najčešće mjesečno ili tromjesečno.[1]

3.1. Zrakoplovna regulativa koja definira program pouzdanosti

Održavanje zrakoplova jedan je od najvažnijih aspekata sigurnog i redovitog zračnog prometa, stoga je i zakonski reguliran. Cijela zrakoplovna međunarodna zajednica bavi se unapređenjem održavanja i sigurnosti objavljivanjem zrakoplovnih propisa i dokumenata.

Djelatnost je to najveće međunarodne organizacija civilnog zrakoplovstva (*International Civil Aviation Organization – ICAO*). Njenu regulativu s osnovnim standardima, prilagodbom i dodacima preuzimaju FAA (*Federal Aviation Administration*) za SAD i bivši JAR (*Joint Aviation Requirements*), koji je danas EASA (*European Aviation Safety Agency*) za EU.

EASA je europska agencija za sigurnost zračnog prometa koja je odgovorna za sigurnost zračnog prometa, zaštitu okoliša, usklađivanje propisa i certificiranje, donošenje tehničkih pravila, razvijanje jedinstvenog zrakoplovnog tržišta i tako dalje.

Također, na osnovu navedenih, svaka država prema tome regulira svoje nacionalne propise. U Hrvatskoj je to Zakon o zračnom prometu, kojeg je donijelo Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture. Obavezu praćenja pouzdanosti i izradu programa pouzdanosti

pobliže opisuje pravilnik o kontinuiranoj plovidbenosti zrakoplova i aeronautičkih proizvoda, dijelova i uređaja, te o ovlaštenju organizacija i osoblja uključenih u te poslove.[1]

Svaki tip zrakoplova prije uvođenja u eksploataciju mora udovoljiti uvjete EASA-e, kojim se utvrđuje plovidbenost i uvjeti koje mora zadovoljiti zrakoplov. Primjerice, prema Part-u M koji se odnosi na eksploataciju i održavanje zrakoplova, svaki operator zrakoplova dužan je:

- izraditi program pouzdanosti te zabilježavati podatke potrebne za praćenje pouzdanosti,
- utvrditi okolnosti pod kojim će se razviti program praćenja pouzdanosti, svrha programa, dobiveni rezultati, te izračun učinkovitosti zrakoplova na temelji rezultata dobivenih praćenjem,
- implementirati program održavanja, predati sam program i njegove izmjene na provjeru nadležnim vlastima,
- definirati osoblje odgovorno za provjeru pouzdanosti, izdavanje i produljivanje odobrenja, obrazovanje koje osoblje mora steći te iskustvo i znanje koje mora imati,
- regulirati održavanje zrakoplova, puštanje zrakoplova u eksploataciju nakon održavanja, upravljati kontinuiranom plovidbenošću zrakoplova i tako dalje.

Part M, poddio G (*Subpart G*) donosi zahtjeve koje mora ispuniti organizacija koja izdava i produljuje odobrenja za vođenje kontinuirane plovidbenosti, među koje spadaju parametri kojima se proučava pouzdanost. Organizacija koja provodi programe pouzdanosti i zadužena je za njihovo praćenje i analizu također mora biti certificirana za procese kojima se bavi.

CAMO (*Continuing Airworthiness Management Organisation*) je organizacija koja provodi kontinuiranu plovidbenost zrakoplova te mora osigurati priručnik vođenja kontinuirane plovidbenosti CAME (*Continuing Airworthiness Management Exposition*) u kojem je pobliže opisano ispunjavanje zahtjeva Part-a M, a preko njega odgovorna zrakoplovna vlast odobrava program praćenja pouzdanosti.

Implementacijom programa potrebno je osigurati da on sadrži praćenje stanja komponenti zrakoplova (*Condition Monitoring*) te da operator provodi samo održavanje na bazi pouzdanosti, odnosno primjenjuje MSG logiku.[1]

MSG (*Maintenance Steering Group*) logika dokument je koji ima za cilj prikazati metodologiju prema kojoj će intervali i zadaci pri pojedinoj vrsti održavanja biti izvršeni. Također, navedeni dokument mora biti u skladu s državnim zrakoplovnim propisima, a primjenjiv operatoru zrakoplova kao i samom proizvođaču zrakoplova. Glavna zadaća u praćenju pouzdanosti je dobivanje informacija za poduzimanje akcija za poboljšanje sigurnosti i ekonomičnosti. Tijekom povijesti razvijena su tri MSG dokumenta:

- MSG 1 – objavljen 1968. godine kako bi se poboljšala kvaliteta održavanja zrakoplova *Boeing* B747.
- MSG 2 – razvijen sedamdesetih godina prošlog stoljeća u svrhu održavanja zrakoplova kao što su *Lockheed L-1011 TriStar* i DC-10. Novost ovog programa bilo je održavanje prema praćenju stanja komponenti (*Condition monitored maintenance*).
- MSG 3 – donesen 1980. koji je i danas u upotrebi s glavnim ciljem fokusiranja na uzroke kvarova komponenti. Prema ovom dokumentu utvrđeno je sljedeće:
    - Nema poboljšanja u pouzdanosti pretjeranim održavanjem,
    - nepotrebni zadaci mogu uzrokovati ljudsku grešku,
    - mali broj komponenti je istrošeno,
    - praćenje parametara je učinkovitije,
    - održavanje je u nekim slučajevima skuplje od kvara itd.

  Dokument se koristi za zahtjeve održavanja modernih zrakoplova i omogućuje sigurno uvođenje novih tipova zrakoplova u eksploataciju te mu je glavni cilj identifikacija zadaća održavanja tako da zrakoplovi ispune zahtjeve sigurnosti i pouzdanosti.[3]

Komponente zrakoplova prate se prema posebnim specifikacijama održavanja nazvanim ATA-100 (*Air Transport Association*) specifikacija. Ova podjela koristi se u održavanju i zrakoplovnom inženjerstvu te je zajednička za cijeli svijet. Svi sustavi i podsustavi zrakoplova podijeljeni su prema brojevima od 1 do 100. Primjeri nekih od njih navedeni su u tablici 3.1.[4]

Tablica 3.1. Primjeri ATA specifikacije

ATA Specifikacija	Sustav
ATA 21	Klimatizacija
ATA 33	Svjetla
ATA 52	Vrata
ATA 72	Pogonski sustav
ATA 79	Ulje

Izvor: [4]

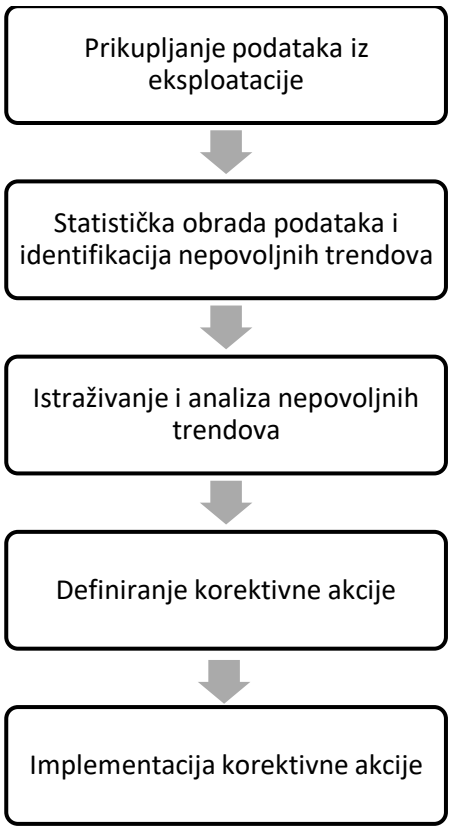
3.2. Odgovornosti i procesi pri izradi i vođenju programa pouzdanosti

Odgovornost za program pouzdanosti preuzima odbor za praćenje pouzdanosti (*Reliability Control Board*). To je tijelo koje čini stručno rukovodno osoblje organizacijskih jedinica održavanja zrakoplova. Glavna zadaća tijela je rukovođenje ukupnim provođenjem programa i osiguravanje da se isti provodi sukladno propisanoj regulativi. Također, odbor je nadležan za odobrenje korektivnih radnji i izmjena u programu održavanja.[5]

Na sastancima odbora, koji se održavaju jednom mjesečno, analizira se provođenje aktualnih korektivnih akcija definiranih u programu praćenja pouzdanosti, izvješća o pouzdanosti za protekli mjesec te utvrđivanje statusa pouzdanosti flote i isticanje negativnih trendova. Svaki sastanak mora biti dokumentiran zapisnikom s navedenim informacijama te zrakoplovna vlast svake države mora imati mogućnost uvida u rad odbora.[5]

Proces programa praćenja pouzdanosti sastoji se od nekoliko koraka prikazanih na dijagramu 3.1.

Prvi korak programa je prikupljanje podataka iz eksploatacije zrakoplova. Da bi statistički podaci koji se obrađuju dali ispravnu sliku pouzdanosti, zračni prijevoznik mora imati više od pet zrakoplova jer u manjoj floti podaci mogu jako varirati te se mogu pojaviti velika odstupanja od očekivanih rezultata. Podatke prikupljaju inženjeri tehničkog sektora.[5]



Grafikon 3.1. Tijek programa praćenja pouzdanosti [5]

Podatke koji se analiziraju unose piloti tijekom leta ili na zemlji i ostalo tehničko stručno osoblje u:

- *Flight Order* (FO),
- *Ground Log Book* (GLB),
- *Technical Log Book* (TLB).[1]

3.2.1. Parametri za praćenje pouzdanosti zrakoplova u eksploataciji

Svaki zračni prijevoznik obvezan je prikupljati određene specifične podatke u eksploataciji zrakoplova, na redovnim i izvanrednim pregledima, kao i očitavati podatke različitih sustava. Raspolaganje različitim flotama zrakoplova u drugačijim uvjetima i vrstama operacija, razlog je zašto svaki prijevoznik mora voditi svoj program pouzdanosti. Specifični podaci koji se na mjesečnoj bazi prikupljaju kako bi se mogla proračunati pouzdanost zrakoplova su sljedeći:

- Nalet zrakoplova (*Flight hours*),
- Broj ciklusa/broj polijetanja (*Flights total*),
- Kašnjenje iz tehničkih razloga veća od nekog zadanog vremena – najčešće između 5 i 15 minuta (*Technical delays*),
- Primjedbe pilota (*Pilot complaints*),
- Primjedbe mehaničara (*Technical staff complaints*),
- broj sati provedenih na pregledu (*Hours at check*),
- otkazi zbog tehničkih razloga (*Technical cancellations*),
- neplanirane zamjene komponenti (*Unscheduled component removals*),
- broj predviđenih otkaza komponenti (*Component removals*),
- broj preventivnog gašenja motora u letu od strane posade (*In-flight engine shut down),*
- broj neplaniranih zamjena motora (*Unscheduled engine removals*),
- broj posjeta motora radionici (*Shop visits*),
- broj zamijenjenih guma,
- broj zamijenjenih kočnica,
- ukupan nalet svih motora.[1]

Prema prikupljenim podacima izračunavaju se sljedeći parametri pouzdanosti sustava u eksploataciji:

- Raspoloživost zrakoplova - prati se prosječan broj raspoloživih zrakoplova flote tijekom nekog promatranog vremena, koje najčešće iznosi mjesec dana. Traženi rezultat je prosječan broj raspoloživih zrakoplova u tom period. Periodi održavanja zrakoplova smanjuju raspoloživost flote.
- Pouzdanost otpreme zrakoplova - je vjerojatnost da će zrakoplov poletjeti u planirano vrijeme te se u obzir uzimaju kašnjenja koja prelaze vremenski period od 5 do 15 minuta. Naravno, kašnjenja koja se promatraju pri ovom pokazatelju su samo nastala zbog tehničkih razloga.
- Pouzdanost sustava zrakoplova - prati se po već navedenim ATA specifikacijama. Za analizu pouzdanosti prate se sve neispravnosti pojedinih sustava zrakoplova, koje često dovode do neplanskih održavanja. U praksi se ovaj pokazatelj naziva stupanj

pouzdanosti sustava, a prikazuje prosječan broj neplaniranih zamjena komponenti zrakoplova na 1000 sati leta. Osim navedenog, definiraju se i pokazatelji pouzdanosti na primjedbi pilota.

- Broj primjedbi pilota i mehaničara – prati se broj prijavljenih primjedbi pilota ili tehničkog osoblja na primjerice 100 letova.
- Pokazatelji pouzdanosti strukture – provodi se ispitivanjem materijala metodama bez razaranja materijala poput vizualne, magnetske, penetrantske, ultrazvučne, radiografske i tako dalje.
- Pokazatelji pouzdanosti zrakoplovnih komponenti – zrakoplovi su opremljeni velikim brojem senzora koje mjere parametre sustava poput tlaka, temperature, vibracije i pomake. Na račun toga može se procijeniti tehničko stanje komponenti i uočiti neispravnost tijekom njihovog rada.
- Granice uzbune – indikator za poduzimanje određenih postupaka u održavanju i planiranju na temelju standardnih devijacija.
- Pokazatelji pouzdanosti pogonskog sustava.[6]

3.2.2. Parametri za praćenje pouzdanosti pogonskog sustava zrakoplova

Za mjerenje pouzdanosti pogonskog sustava koristi se tehnologija koja omogućava da se podaci prikupljeni tijekom leta automatski pohranjuju na prijenosni medij te se analiza vrši u tehničkoj bazi. Daljnji razvoj ovog sustava obrade podataka usmjeren je tako da se određeni podaci šalju u tehničku bazu za vrijeme trajanja leta, kako bi se i prije slijetanja zrakoplova, tehnička služba mogla pripremiti za eventualno poduzimanje akcija održavanja.[6]

Praćenje stanja motora i njegovih sustava vrši se sljedećim metodama:

- Analiza parametara radnog procesa motora – parametri se prikupljaju tijekom rada motora na visini krstarenja u trenutku kada se oni ustale. Posebna računala mjere odstupanje od standardnih vrijednosti parametara te nakon analize daju dijagnostiku i preporuke za potrebne postupke.
- Analiza ulja za podmazivanje i produkata trošenja – promatra se količina metalnih čestica u ulju koje mogu uzrokovati oštećenja i trošenje dijelova motora.

- Analiza potrošnje ulja.
- Metode nedestruktivnog ispitivanja elemenata.
- Vibracijska analiza – praćenje vibracija motora može ukazati na neuravnoteženost rada i nepravilnost određene komponente. Indikator vibracija na instrumentalnoj ploči ukazuje samo na granična područja vibracija, dok stalno praćenje vibracija omogućuje promjenu u vremenu, što je koristan element za ocjenu i predviđanje nekih neispravnosti koje utječu na neuravnoteženost rotirajućih elemenata.
- Vizualni pregled.[1]

Kod pouzdanosti pogonskog sustava u praksi prate se sljedeće pojave:

- gašenje motora u letu (*Inflight Shutdowns*),
- dolasci motora u radionicu (*Shop Visits*),
- neplanirane zamjene motora (*Unscheduled Removals*).

3.2.3. Analiza parametara i obrada podataka pouzdanosti

Sljedeći korak pri izradi programa pouzdanosti je analiza parametara i obrada podataka pouzdanosti. Prikupljeni podaci i izračuni uspoređuju se s očekivanim, unaprijed definiranim rezultatima pouzdanosti koji se dobivaju na bazi iskustvenih podataka svjetske flote i samog operatora zrakoplova.[5]

Nakon prikupljanja podataka, vrši se statistička analiza u koju spada:

- Verifikacija i sortiranje podataka o parametrima,
- Izračunavanje parametara i statističkih vrijednosti (prosječna vrijednost parametra, maksimum i minimum),
- Izračunavanje graničnih vrijednosti (jedanput godišnje).[5]

Za sve navedene parametre potrebno je odrediti donju i gornju graničnu vrijednost koja služi za uočavanje i reagiranje na značajna odstupanja u parametrima pouzdanosti. Granične vrijednosti su statističke veličine, zasnivane na kalkulacijama standardne devijacije, ispod i iznad kojih se ne bi trebali kretati parametri kako bi se sustav ili komponenta smatrali

stabilnim. Njihove vrijednosti određuju se prema vrijednostima pratećih parametara u zadnjih 12 mjeseci.[5]

Granična vrijednosti ne smije biti postavljena previsoko jer tada ne bi signalizirala pojavu trendova, niti nisko, jer bi u tom slučaju svako statističko odstupanje praćenog parametra od srednje vrijednosti normalne distribucije aktiviralo *alert* statuse. Iskakanje parametara iznad *alert* linije predstavlja neočekivano odstupanje od predviđene pouzdanosti te ako se ono ponavlja kroz duži vremenski period, potrebno je poduzeti korektivne mjere.[5]

U mjesečnim izvješćima definira se *alert* status:

- *Clear* - normalni status. Promatrani tekući mjesec kao i prosjek protekla tri mjeseca, parametar je ispod *alert* vrijednosti.
- *Yellow* - status koji se definira kada neki od parametara, dva mjeseca uzastopno, probije *alert* vrijednost, pri čemu je tromjesečni prosjek još uvijek ispod *alert* vrijednosti. Ovaj status također ukazuje na moguću pojavu negativnog trenda.
- *Red* - status kada je *alert* vrijednost probijena tri mjeseca uzastopno te je potvrđen negativni trend.
- *Remains in alert* - ovaj status se javlja kada nema poboljšanja kod kontinuiranog *red* statusa parametra.
- *Watch* - status koji se dodjeljuje parametrima koji pokazuju znakove poboljšanja u mjesecu nakon inicijalnog *red* statusa i parametrima koji nemaju *alert* status, ali ih je zbog određenog razloga bitno spomenuti.[5]

Gornja granična vrijednosti definira se tako da se standardna devijacija iznad srednje vrijednosti pomnoži faktorom vrijednosti između 2 i 3, ovisno o veličini flote, pri čemu manji faktor više odgovara prijevoznicima s velikom flotom, dok je veći faktor pogodniji za manje flote. Izračun gornje granične vrijednosti vrši se svako 12 mjeseci, a eventualno povećanje granice može iznositi maksimalno 10% dok za veća odstupanja odbor mora donijeti odluku.[5]

Gornja (UCL) i donja (LCL) granična vrijednosti izračunavaju se prema izrazima (3.1.) i (3.2.).

$$UCL = \bar{x} + k * \sigma \quad (3.1.)$$

$$LCL = \bar{x} - k * \sigma \quad (3.2.)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- $\bar{x}$ – srednja vrijednost pokazatelja
- k - koeficijent vrijednosti između 1 i 3
- σ – standardna devijacija.

Standardna devijacija σ je statistički pojam koji označava mjeru raspršenosti podataka u skupu, odnosno prosječno odstupanje od prosjeka, a standardna n-1 devijacija dobiva se izrazom (3.3.).

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \quad (3.3.)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- x_i - mjesečna vrijednost parametra u promatranim mjesecima
- n - broj mjeseci za koji se izračunava standardna devijacija.[5]

Gornja granična vrijednost uspostavlja se iskustveno, od jedne godine operacije. Za uvođenje novih zrakoplova u flotu posebno je definirano određivanje gornje granične vrijednosti za period od 0 do 15 mjeseci. Na početku operacija, u periodu do šest mjeseci, praćenje pouzdanosti vrši se bez gornje granične vrijednosti. Nadalje se uspostavljaju privremene granične vrijednosti na bazi prvih šest mjeseci operacija te se nakon jedne godine operacija vrše izračuni stalne gornje granične vrijednosti. Nakon 15 mjeseci, vrši se novi izračun na bazi podataka zabilježenih zadnjih godinu dana.[5]

Poslije prikupljanja svih potrebnih podataka, vrši se analiza te se izrađuje mjesečno izvješće o pouzdanosti (*Monthly Fleet Reliability Report*) u obliku tablica i dijagrama. Podatke publicira inženjer, a oni moraju biti prikazani tako da svi negativni trendovi mjerenih parametara mogu biti uočljivi. Svaki tip zrakoplova u floti dobiva svoje izvješće u kojem se nalaze informacije o tehničkoj pouzdanosti i podloga za daljnju analizu negativnih trendova pouzdanosti te posljedično pokretanje potrebnih korektivnih akcija.[5]

Mjesečno izvješće o pouzdanosti podijeljeno je u dva dijela:

- Uvodni dio – istaknuti su glavni opći pokazatelji pouzdanosti koji uključuju sve alert statuse, tehničke incidente i podaci o operacijama flote.
- Izvješće o performansama flote – detaljno izvješće o svakom zrakoplovu u floti koje u sebi sadrži sljedeće podatke:

- sumirane statističke podatke operacija flote: veličina flote, ukupni sati i ciklusi leta,
- broj primjedbi pilota na 100 slijetanja,
- broj tehničkih kašnjenja iznad 15 minuta i otkazivanja letova na 1000 letova,
- broj zamjena komponenti zrakoplova na 1000 sati rada komponente,
- broj neplaniranih zamjena komponenti na 1000 sati rada komponente,
- broj gašenja motora u leta na 1000 sati rada motora,
- broj neplaniranih zamjena motora na 1000 sati rada motora,
- ponavljajuće primjedbe pilota,
- dugotrajne probleme s neispravnostima (*Service difficulty reports*),
- značajne nalaze tijekom radova redovnog održavanja.[5]

Ako je neki od parametra dosegnuo *alert* status, potrebno je napraviti analizu uzroka pojave negativnog trenda koja je odgovornost stručnjaka u inženjeringu. Tijekom analiza vrše se detaljni uvidi u sve događaje u operacijama i održavanju koji su doprinijeli negativnim trendovima. Neki od razloga negativnih trendova su:

- nedostatno preventivno održavanje,
- manjkavost programa održavanja,
- nedostatak znanja,
- nedovoljno specificirane procedure održavanja,
- nepoštivanje propisanih postupaka održavanja,

- neispravan alat i oprema za održavanje,
- neispravna oprema za opsluživanje zrakoplova,
- nagle promjene u vrsti operacije,
- nepoštivanje pilotskih procedura,
- operacija zrakoplova u necertificiranim uvjetima.[5]

3.2.4. Preporuke i korektivne mjere

Posljednji korak praćenja pouzdanosti su preporuke i korektivne mjere. Osim analize, inženjering predstavlja i preporuku za korektivne mjere ako za to ima potrebe u svrhu vraćanja parametara unutar dozvoljenih granica. Odbor za praćenje pouzdanosti te akcije potvrđuje i definira vremenski rok i odgovorne osobe ili službe koje će biti zadužene za realizaciju mjera.[5]

Također, odbor će pratiti cijeli proces izvršavanja korektivnih akcija te će po potrebi urgirati ako korektivne akcije neopravdano kasne. Korektivne akcije mogu biti:

- promjena intervala u programu održavanja ili promjena sadržaja radova,
- revizija određenih zadataka,
- dodatne inspekcije flote u cilju utvrđivanja stanja određenih kritičnih sustava/komponenti,
- modifikacije flote,
- promjena postupaka održavanja,
- školovanje.[5]

4. KARAKTERISTIKE ZRAKOPLOVA DASH 8 Q400 I ELISNO-MLAZNOG POGONSKOG SUSTAVA

Zračni prijevoznici, osobito regionalni, često imaju potražnju za kraćim rutama te time i za posebnim tipom zrakoplova koji će na takvim rutama imati što manje troškove. Najčešći tipovi zrakoplova korišteni za povezivanje kratkih udaljenosti, zrakoplovi su pogonjeni elisno-mlaznim motorima.

Jedan od najuspješnijih primjera izradio je kanadski proizvođač „*Bombardier Aerospace",* a puni naziv tipa zrakoplova je „*De Havilland Canada DHC-8*" ili poznatiji pod imenom *Dash 8*. Varijanta Q400 je posljednja inačica ovog proizvođača nakon serije 100, 200 i 300.



Slika 4.1. Zrakoplov *Dash 8* Q400 [7]

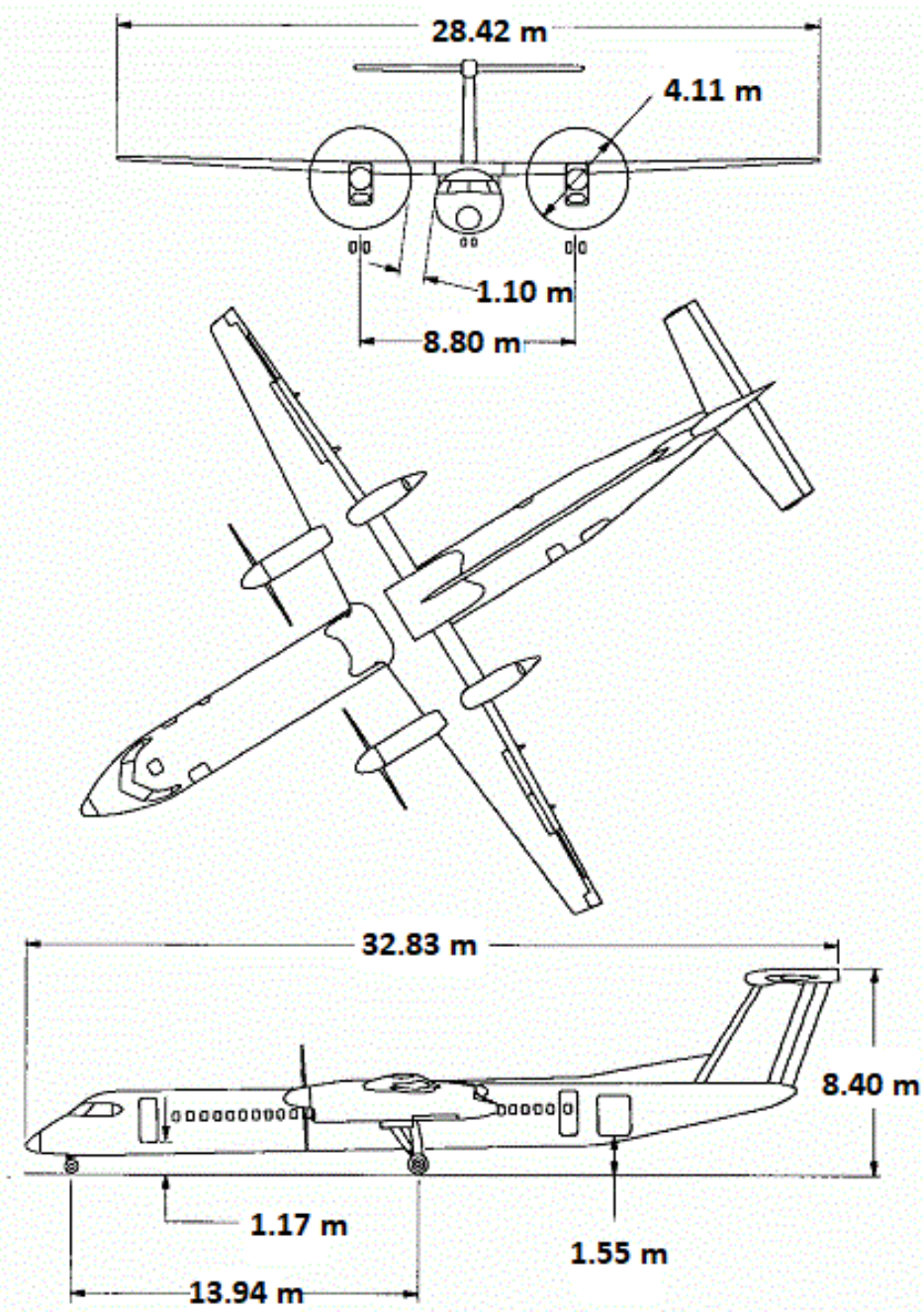
Zrakoplov Dash 8 Q400, prikazan na slici 4.1., razvijen je sredinom devedesetih godina prošlog stoljeća, regionalni je zrakoplov namijenjen za kraće udaljenosti, pogonjen s dva elisno-mlazna motora. Cilj proizvođača kod predstavljanja ove serije zrakoplova bio je povećanje kapaciteta kod elisno-mlaznih zrakoplova, smanjenje potrošnje goriva i smanjenje buke.[8]

4.1. Tehničke i eksploatacijske karakteristike zrakoplova

Zrakoplov je pogodan za zračne prijevoznike zbog nižih operativnih troškova i mogućnosti polijetanja sa zračnih luka s kratkim uzletno-sletnim stazama. Uobičajena

konfiguracija ima kapacitet kabine od 78 sjedala, a već novije varijante ovog zrakoplova mogu imati kapaciteti do 90 sjedala u jednom razredu.[8]

Tehničke karakteristike zrakoplova obuhvaćaju njegov vanjski izgled i njegove strukturalne mase. Ovaj tip uočljiv je po svom T repu koji drži vertikalni stabilizator podalje od vrtložne struje zraka uzrokovane motorom te po glavnom podvozju koje se izvlači iz motora. Dimenzija zrakoplova prikazane su u tablici 4.1. te vizualizirane slikom 4.2.



Slika 4.2. Dimenzije zrakoplova [9]

Tablica 4.1. Dimenzije zrakoplova

Duljina [m]	32.8
Visina [m]	8.4
Širina trupa [m]	2.69
Raspon krila [m]	28.4
Površina krila [m^2]	64

Izvor: [7]

Trup zrakoplova sadrži dvoja putnička vrata, *catering* i prtljažna vrata. Glavni prtljažni prostor nalazi se na zadnjem dijelu trupa i manji dio na prednjem dijelu zrakoplova. Veći prozori omogućuju više prirodnog svjetla, a LED osvjetljenje unutar putničke kabine ugodniju atmosferu.

Maksimalne strukturalne mase koje uključuju gornje granice masa pri polijetanju i slijetanju, maksimalnu količinu goriva koje primaju spremnici, maksimalnu masu plaćenog tereta koji uključuje sav teret zrakoplova koji donosi prihod te maksimalna suha težina, odnosno masa zrakoplova bez goriva, prikazane su u tablici 4.2.[8]

Tablica 4.2. Maksimalne mase zrakoplova

Maksimalna masa pri polijetanju (*Maximum Takeoff Mass - MTOM*) [kg]	30 481
Maksimalni plaćeni teret (*Maximum payload*) [kg]	8 489
Maksimalno goriva (*Maximum fuel*) [L]	6 526
Maksimalna masa pri slijetanju (*Maximum Landing Mass - MLM*) [kg]	29 029
Maksimalna suha masa (*Dry Operating Mass - DOM*) [kg]	27 578

Izvor: [8]

Eksploatacijske značajke obuhvaćaju performanse zrakoplova u letu te na uzletno-sletnoj stazi, kao i ekonomičnost leta. U usporedbi sa svojim konkurentima (ATR-72 i *Fokker* 50), ima veći kapacitet putnika u kabini konfiguracije 2-2, leti brže i dalje, ima veće intervale održavanja što prijevozniku omogućava veću iskorištenost zrakoplova, time i veći profit.

Osim toga, količina ispušnih plinova, primjerice ugljičnog dioksida, može iznositi i do čak 30-40% manje, a razina kabinske buke smanjena je za 10 dB u odnosu na prijašnje serije koje nisu nosile oznaku Q (*quiet*). Performanse zrakoplova prikazane su u tablici 4.3.[8]

Tablica 4.3. Performanse zrakoplova

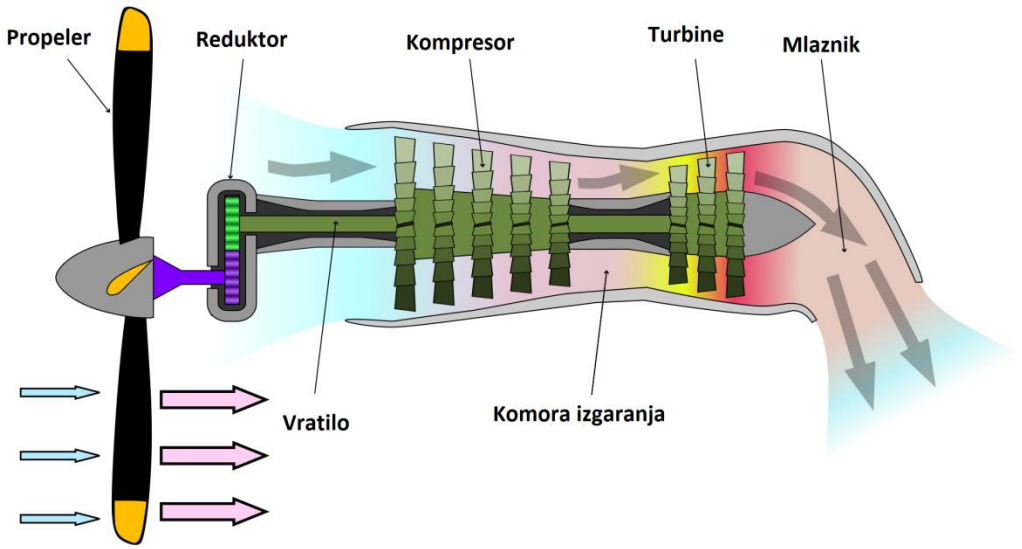
Plafon leta [ft]	27 000
Dolet [km]	2 040
Brzina leta u krstarenju [km/h]	556-667
Duljina potrebna za polijetanje [m]	1 425
Duljina potrebna za slijetanje [m]	1 289

Izvor: [8]

4.2. Sastavni dijelovi elisno-mlaznog pogonskog sustava zrakoplova

Manji komercijalni regionalni zrakoplovi kao svoj pogonski sustav često koriste elisno-mlazni zrakoplovni pogon, koji spadaju pod mlazne motore. Karakteriziraju ih manje brzine, manja potrošnja goriva i bolja efikasnost pri nižim visinama.

Na slici 4.3. prikazana je shema tipičnog elisno-mlaznog motora sa svojim glavnim dijelovima: propeler, reduktor, kompresor, komora izgaranja, turbine i mlaznik.



Slika 4.3. Dijelovi elisno-mlaznog pogonskog sustava [10]

Propeler ili elisa proizvodi najveći dio potiska čija snaga se prenosi sa slobodne turbine ili direktnim pogonom. Sastoji se od rotirajuće glavčine, na koju je pričvršćeno nekoliko aerodinamičkih lopatica tako da se cijeli sklop okreće oko uzdužne osi. Nagib lopatica, ovisno o vrsti propelera, može biti stalan ili promjenjiv. U slučaju gašenja motora, sustav elise se postavlja u korak najmanjeg otpora što omogućava bolje performanse pri jedrenju zrakoplova.[11]

Uvodnik omogućava: dovod struje zraka do kompresora uz što manji gubitak totalnog tlaka. Dizajniran je tako da stvara što manji otpor, da što manje remeti struju zraka i omogući stabilan protok zraka u svim režimima i uvjetima leta, jednoliko dovođenje zraka bez oscilacija uz stvaranje što manje buke. Također, zrak koji dolazi do kompresora mora biti usporen na brzinu manju od brzine zvuka.[12]

Reduktor je dio motora koji spaja propeler i turbine tako da velike brzine okretaja turbine motora smanjuje na manje.[11]

Kompresor je dio koji sabija zrak, a može se podijeliti na radijalni ili centrifugalni i aksijalni. Uveden je kako bi se povećala toplinska iskoristivost tako da povećava tlak zraka u komori izgaranja. Kompresor mora osigurati izvršavanje sljedećih zadaća: kontinuiran dovod zraka u komoru izgaranja, bez oscilacija i prekida, stabilan rad u širem području rada, te u prijelaznim režimima rada koji zahtijevaju uvjeti eksploatacije, uz što veći stupanj iskoristivosti i što je moguće veću pouzdanost u radu uz manju masu, dimenzije i cijenu.[12]

U komori izgaranja miješaju se zrak i gorivo. Smjesa se pri pokretanju motora pali svjećicom, a tijekom rada gorivo se kontinuirano ubrizgava u komoru. Zrak koji dolazi u komoru ima veliku brzinu strujanja te je zbog toga ugrađen difuzor koji usporava zrak. Dodatno usporavanje zraka omogućuje stabilizator plamena iza kojega se formira zona nižeg tlaka i povratno strujanje, odnosno dovođenje topline nadolazećoj smjesi, čime se održava stabilno izgaranje.[12]

Temperatura produkata izgaranja u komori često prelazi 2 000 °C te se ona na izlazu iz komore izgaranja hladi ubacivanjem sekundarnog zraka, čime se smanjuje temperatura produkata na prihvatljive vrijednosti koje su podnošljive za turbine. Zbog toga turbinske lopatice moraju biti izrađene od izdržljivih materijala, koji su najčešće legure na bazi nikla i kobalta s dodatnim termičkim prevlakama.[12]

Turbina je rotirajući disk koji sadrži lopatice aerodinamičkog oblika. Glavna zadaća turbine je da preko vratila pokreće kompresor i propeler. Osim toga, turbina služi i za pogon pomoćnih sustava kao što su pumpa za gorivo, pumpa za ulje i ostalo. Turbina se zbog bolje iskoristivosti također zna ugraditi u dvije izvedbe: turbine visokog i turbine niskog tlaka.[12]

Kod elisno-mlaznih motora samo manji dio potiska se ostvaruju reakcijom mlaza ispušnih plinova, a najveći dio energije se oslobađa na turbine snage koja pokreće elisu koja ostvaruje vučnu silu potrebnu za gibanje zrakoplova.[12]

4.3. Osnovne karakteristike elisno-mlaznog motora PW 150A

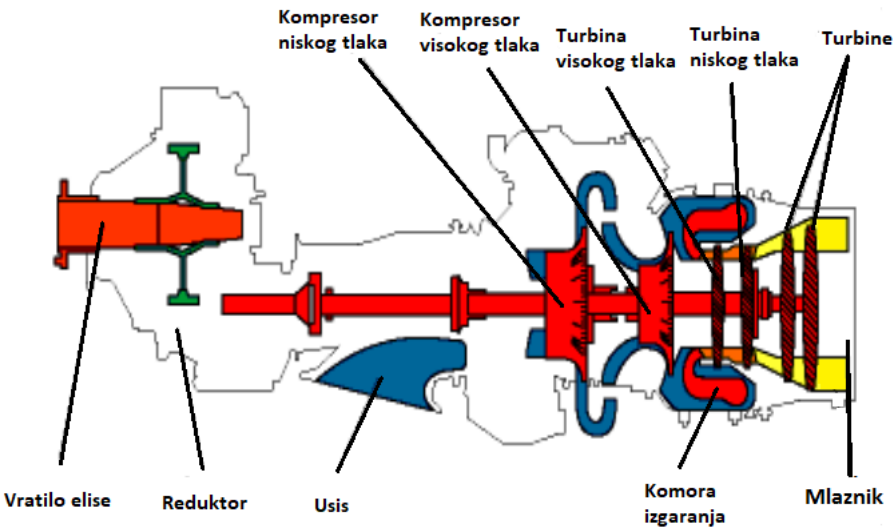
Pogonski sustav zrakoplova *Dash 8 Q400* proizvela je kanadska tvrtka „*Pratt and Whitney Canada"*. Izvedba PW100 je ona koja je ugrađivana na elisno-mlazne zrakoplove te postoji u više varijanti, a ona dizajnirana za ovaj tip nosi naziv PW 150A. U tablici 4.4. prikazane su ostale specifikacije ovog tipa pogonskog sustava. Navedene vrijednosti mjerene su u standardnim uvjetima na razini mora.[13]

Tablica 4.4. Osnovne karakteristike elisno-mlaznog motora PW 150A

Maksimalna snaga motora [SHP]	5071
Maksimalni potisak [lb]	843
Maksimalna brzina vrtnje propelera [RPM]	1 020
Visina [m]	1.117
Širina [m]	0.762
Duljina [m]	2.413

Izvor: [13]

Na slici 4.4. prikazana je shema P&W 150A motora s pripadajućim dijelovima. Kao i mnogi elisno-mlazni motori, za bolju iskoristivost, koristi kompresor visokog tlaka i kompresor niskog tlaka, tako da visokotlačna turbina pogoni visokotlačni kompresor, a nisko tlačna turbine pogoni ili niskotlačni kompresor, ili propeler.



Slika 4.4. Osnovni dijelovi elisno-mlaznog motora PW150A [14]

Propeler navedenog modela je „*Dowty*" R408 koji se sastoji od šest krakova savijenih unatrag, izrađenih od izdržljivih kompozitnih materijala kojima vrijeme u eksploataciji može dosegnuti i do 25 godina. U slučaju oštećenja moguće je zamijeniti svaki krak, a mehanička veza s kabinom ne postoji, što omogućuje jednostavnije održavanje.[13]

Za upravljanje motorom iz kabine koriste se dvije ručice. Prva, ručica snage, kontrolira snagu koju motor razvija putem FADEC (*Full Authority Digital Engine Control*) sustava, dok druga, ručica stanja, postavlja broj okretaja pomoću PEC-a (*Propeller Electronic Controller*). Spomenuti FADEC sustav povezan je s prikaznikom rada motora (*Engine Display*) u kabini te omogućuje konstantno motrenje parametara rada motora.[13]

5. ANALIZA PROGRAMA POUZDANOSTI NA PRIMJERU ODABRANOG ZRAČNOG PRIJEVOZNIKA I USPOREDBA SA SVJETSKOM FLOTOM

Zračni prijevoznici izrađuju izvješća o pouzdanosti flote svojih zrakoplova. Izvješća prate operativnu statistiku kao što je: nalet zrakoplova, broj ciklusa, broj zrakoplova u prometu, dnevnu iskorištenost itd., kao i statistiku za različite sustave zrakoplova. Informacije u bazu podataka upisuje letačko osoblje i sektor održavanja, a tehnički odjel svakog prijevoznika izrađuje mjesečno izvješće o pouzdanosti zrakoplova.

Izvješće se predaje na pregled Odboru za kontrolu pouzdanosti kojeg čine: tehnički direktor, predstavnik pilota, predstavnik regulativnog tijela (u Hrvatskoj predstavnik Agencije za civilno zrakoplovstvo), rukovoditelj tehničkog odjela i tako dalje.[5]

Zračni prijevoznik nakon odobrenja izvješće šalje proizvođaču zrakoplova koji prikuplja podatke svih prijevoznika svijeta za isti tip zrakoplova te ih objavljuje jednom godišnje. Podaci su dio FRACAS (*Failure reporting, analysis, and corrective action system*) programa, koji ima za cilj osiguravanje rada zrakoplova bez tehničkih poteškoća tako da se otkazi prijavljuju, analiziraju te da se zadaju korektivne mjere.[5]

Iz izvješća je također moguće vidjeti koji sustav zrakoplova ima najčešće otkaze i tako dati do znanja na koje sustave treba obratiti više pozornosti kako ne bi došlo do proglašenja zrakoplova neplovidbenim.

Podaci pouzdanosti analizirani su na odabranom zračnom prijevozniku koji u svojoj floti posjeduje šest zrakoplova *Dash 8 Q400*. Zrakoplovi su prosječne starosti 12.5 godina, a prvi ovog tipa, ušao je u flotu 2008. godine.[15]

5.1. Operativna statistika zračnog prijevoznika

Iz baze podataka, programa AMICOS (*Aircraft Maintenance, Inventory Control & Operations System*) uzimaju se sljedeći podaci za operativnu statistiku:

- Ukupni sati leta-nalet zrakoplova,
- Broj polijetanja,

- Broj zrakoplova u floti,
- Ukupan broj sati rada motora.[5]

Podaci na primjeru zračnog prijevoznika prikazani su dijagramom na slici 5.1. Statistika obuhvaća omjer sati naleta i broja polijetanja te usporedbu sa svjetskom flotom. Grafikoni na slici prikazuju ukupne sate naleta flote s brojem polijetanja po mjesecima i usporedbu prosječnog trajanja leta odabranog prijevoznika i svjetske flote.

Iz prvog grafikona vidljivo je da zračni prijevoznik najveći broj naleta, kao i ciklusa vrši u ljetnim mjesecima. Prosječno trajanje leta uglavnom je manje u usporedbi sa svjetskom flotom.

Mjesec	Prosinac	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
Sati naleta	861	1088	1006	1076	831	1205	1393	1427	1453	1358	1222	969	897
Broj polijetanja	903	1096	1016	1109	961	1233	1469	1528	1539	1426	1302	1044	963
Broj zrakoplova	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Sati naleta/broj polijetanja	0.95	0.99	0.99	0.97	0.86	0.98	0.95	0.93	0.94	0.95	0.94	0.93	0.93
Ukupno sati rada motora	252 981	255 158	257 169	259 321	260 983	263 393	266 179	269 034	271 940	274 656	277 099	279 037	280 831
Svjetska flota	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.96

Slika 5.1. Operativna statistika zračnog prijavoznika [15]

Slika 5.2. prikazuje statistiku raspoloživosti zrakoplova. Raspoloživost zrakoplova je prosječan broj raspoloživih zrakoplova u promatranom vremenu koje je najčešće mjesec dana. Ukupni mogući kapacitet jednog tipa zrakoplova iz flote (i_{sk}) prikazan je izrazom (5.1.).

$$i_{sk} = h_m * i_{uk} \quad (5.1.)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- h_m - broj sati u promatranom period
- i_{uk} – ukupan broj zrakoplova u floti.[1]

Zrakoplovi određeni broj sati provedu na pregledu te nisu operativno raspoloživi određeno vrijeme. U statističku obradu ulaze planirani radovi duži od pet sati, dok se kod izvanrednih radova broje i oni kraći.

Ako se na istom zrakoplovu obavi više kraćih radova, a između tih radova zrakoplov nije letio ili nije kraj dana, vremena popravaka se zbrajaju te su dio statističke obrade kao jedan rad. Uzimajući sve ovo u obzir raspoloživost zrakoplova (i_a) računa se izrazom (5.2.)[1]

$$i_a = \frac{h_{uk} - h_s}{h_{uk}} * i_{uk} \quad (5.2.)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

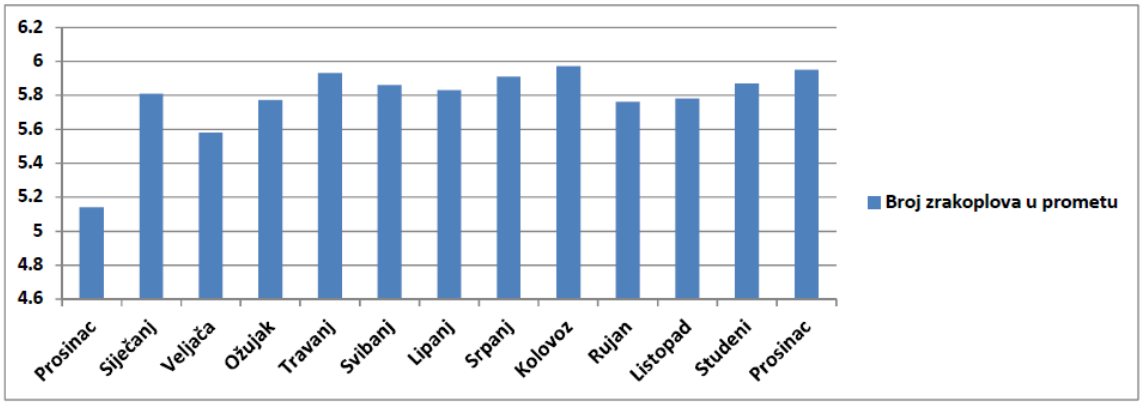
- h_{uk} – ukupni broj sati u mjesecu
- h_s – broj sati provedenih u održavanju.[1]

U izvještaj pouzdanosti upisuju se sljedeći podaci: datum, registracija zrakoplova, vrijeme na pregledu, razlog radova, ATA kod, trajanje radova, polazišna točka zrakoplova.[5]

Iz dijagrama na slici 5.2. vidljivo je da je zračni prijevoznik u prosincu imao najmanju raspoloživost zrakoplova, odnosno zrakoplovi su najviše bili na održavanju.

Broj zrakoplova u prometu

Mjesec	Prosinac	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
Broj sati u mjesecu (huk)	4464	4464	4032	4464	4320	4464	4320	4464	4464	4320	4464	4320	4464
Broj sati na pregledu (hs)	639	142	280	169	54	103	126	68	20	175	166	97	35
(huk) - (hs)	3825	4322	3752	4295	4266	4361	4194	4396	4444	4145	4298	4223	4429
Broj zrakoplova u prometu	5.14	5.81	5.58	5.77	5.93	5.86	5.83	5.91	5.97	5.76	5.78	5.87	5.95



Slika 5.2. Broj zrakoplova u prometu [15]

Na dijagramu na slici 5.3. prikazana je dnevna iskorištenost flote zrakoplova zračnog prijevoznika. Statistika uključuje sate naleta u mjesecu, broj sati u službi u danu, dnevnu iskorištenost i usporedbu iste sa svjetskom flotom.

Prosječna dnevna iskorištenost zrakoplova definirana je kao ukupan broj sati leta zrakoplova u razdoblju od mjesec dana svedeno na dnevnu bazu, a prikazan je izrazom (5.3.)[15]

$$Prosječna\ dnevna\ iskorištenost\ zrakoplova = \frac{Sati\ naleta}{Broj\ dana\ u\ mjesecu * Broj\ zrakoplova} (5.3.)$$

Na dijagramu je moguće vidjeti kako je prosječna dnevna iskoristivost svjetske flote približno jednaka kroz cijelu godinu, dok je kod odabranog prijevoznika vidljiva sezonalnost, odnosno veća dnevna iskorištenost zrakoplova u ljetnim mjesecima.

Dnevna iskorištenost zrakoplova

Mjesec	Prosinac	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
Sati naleta	861	1088	1006	1076	831	1205	1393	1427	1453	1358	1222	969	897
Broj a/c u službi	5.14	5.58	5.58	5.77	5.93	5.86	5.83	5.91	5.97	5.76	5.78	5.87	5.95
Dnevna iskorištenost	5.4	6.43	6.43	6.01	4.68	6.63	7.97	7.79	7.85	7.86	7.86	5.51	4.86
Svjetska flota-dnevna iskorištenost	6.47	5.96	5.96	5.96	6.47	6.47	5.96	6.31	6.31	6.31	6.31	6.31	6.31

Slika 5.3. Dnevna iskorištenost flote [15]

Pouzdanost otpreme zrakoplova (*Technical Dispatch Reliability Rate* - R_D) ili stupanj pouzdanosti u otpremi definira se kao vjerojatnost da će zrakoplov poletjeti u planirano vrijeme. U obzir se uzimaju kašnjenja nastala iz tehničkih razloga, koja su veća od 15 minuta, a ispisuju se pomoću informacijskog sustava *NetLine*10. Pouzdanost otpreme zrakoplova izračunava se izrazom (5.4.).[1]

$$R_D = \left[1 - \frac{n_d + n_c}{n}\right] * 100 \quad (5.4.)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- n_d – broj kašnjenja u promatranom period koja su veća od nekog zadanog vremena zbog tehničkih razloga (u ovom slučaju 15 minuta)
- n_c – broj otkaza leta zbog tehničkih razloga
- n - ukupan broj ciklusa-polijetanja u promatranom period.[1]

Pouzdanost otpreme izražava se u postotcima u odnosu na 100 polijetanja. Svako kašnjenje ima svoje kodove koji su prikazani u tablici 5.1.[16]

Tablica 5.1. Kodovi kašnjenja

Kod kašnjenja	Opis kašnjenja
41	Kvar zrakoplova
42	Redovito održavanje
43	Izvanredno održavanje
44	Dijelovi i oprema održavanja
45	AOG (Aircraft on Ground) dijelovi
46	Zamjena zrakoplova (tehnički razlog)
47	Zrakoplov na čekanju
48	Redovito održavanje kabine/prilagodba

Izvor: [16]

Osim sustava *NetLine*, tehnički sektor izrađuje interno izvješće koje sadržava tehnička kašnjenja i otkaze s razlozima kašnjenja. Takvo interno izvješće uspoređuje se sa sustavom NetLine, a sastavlja djelatnik MCC-a (*Maintenance Control Center*) jednom tjedno. Izvješće

sadrži: datum, registraciju zrakoplova, kod kašnjenja, vrijeme kašnjenja (izraženo u minutama), broj leta, problem na zrakoplovima i promjene stanja (MEL – *Minimum Equipment List*). [16]

MEL je lista koja sadrži podatke o neoperativnosti instrumenata, opreme, sustava i ostalih stavki koje nisu spremne za početak leta. Svaki zrakoplov u floti ima svoju MEL listu koja sadrži procedure odobrene od nadležnog tijela.[16]

Program za održavanje zrakoplova AMICOS također sadrži podatke o kašnjenjima i otkazima. Podaci su upisani u Tehničke knjige zrakoplova TLB od strane mehaničara ili osobe koja se bavi TLB-om. Prema tome se i vrše statističke analize za koje su potrebni sljedeći parametri: datum, kašnjenje/otkaz, registracija zrakoplova, opis događaja, korektivne mjere, ATA kod, trajanje, polazišna točka, kod, bilješke.[16]

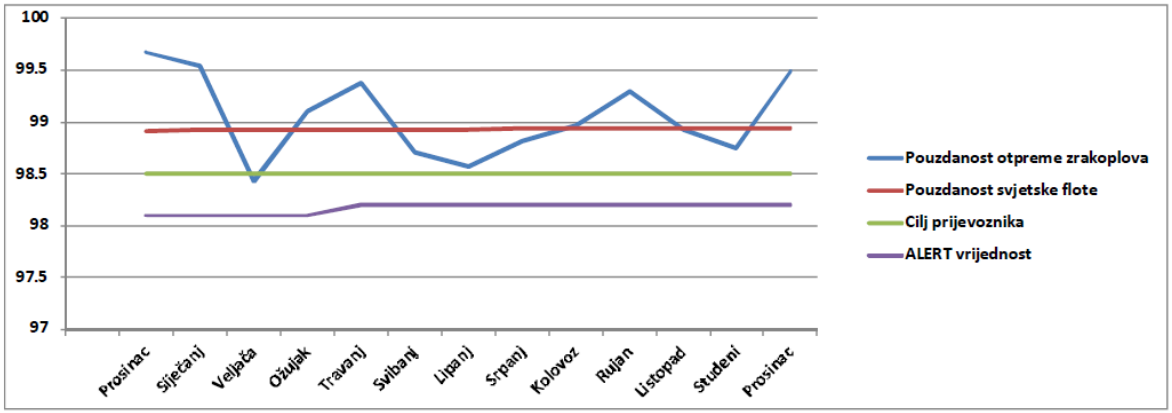
Ako operator ima dva ili više tipova zrakoplova, a kašnjenje jednog tipa uzrokuje kašnjenje drugog, u statističkom izvješću otkaz se pribraja samo tipu uzročniku. Također, ako su otkaz uzrokovali dva sustava, otkaz se pripisuje onome koji je uzrokovao veće kašnjenje.[16]

Graf na slici 5.4. prikazuje pouzdanost otpreme izabranog zračnog prijevoznika, usporedbu sa svjetskom flotom, cilj koji je odabrani prijevoznik postavio te *alert* vrijednosti.

Slika 5.4. Pouzdanost otpreme zrakoplova [15]

Pouzdanost otpreme zrakoplova

Mjesec		Prosinac	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
Kašnjenje > 15 minuta	No	2	5	13	8	5	14	17	18	15	10	13	11	5
	r	0.22	0.46	1.28	0.72	0.52	1.14	1.16	1.18	0.97	0.7	1	1.05	0.52
Otkazivanje	No	1	0	3	2	1	2	4	0	1	0	1	2	0
	r	0.11	0	0.3	0.18	0.1	0.16	0.27	0	0.06	0	0.08	0.19	0
Pouzdanost otpreme zrakoplova		99.67	99.54	98.43	99.1	99.38	98.7	98.57	98.82	98.96	99.3	98.92	98.75	99.48
Pouzdanost svjetske flote		98.91	98.93	98.93	98.93	98.93	98.93	98.93	98.94	98.94	98.94	98.94	98.94	98.94
Cilj prijevoznika		98.5	98.5	98.5	98.5	98.5	98.5	98.5	98.5	98.5	98.5	98.5	98.5	98.5
ALERT vrijednost		98.1	98.1	98.1	98.1	98.2	98.2	98.2	98.2	98.2	98.2	98.2	98.2	98.2



5.2. Analiza pouzdanosti pogonskog sustava

Kao što je već spomenuto u cjelini 3.2.2., za analizu pogonskog sustava prate se sljedeće pojave: gašenje motora u letu, dolasci motora u radionicu i neplanirane zamjene motora.

Kvarovi mogu potaknuti različiti uzroci, što dovodi do operativnih prekida koji mogu biti: prekidi na zemlji i prekidi u zraku. Osim operativnih prekida, postoje i tehnički incidenti koji se definiraju kao događaj uzrokovan tehničkim problemima u svezi s operacijom zrakoplova koji utječe ili bi mogao utjecati na sigurnost zrakoplova, a nije nesreća.[5]

Primjer tehničkog incidenta bio bi gašenje motora, a svaki takav incident zapisuje se u knjigu incidenata TIR – *Technical Incident Report*. Incidente je potrebno prijaviti nadležnom tijelu, tehničkom odjelu, odjelu kvalitete i ako je potrebno proizvođaču tipa zrakoplova.[16]

Za svaku navedenu pojavu postoje indeksi po kojima se izračunava pouzdanost pogonskog sustava. Prvi indeks koji se prati je indeks gašenja motora (i_{SD}) u odnosu na 1000 sati rada motora. Prikazan je izrazom (5.5.).[1]

$$i_{SD} = \frac{n_{SD}}{h_P} * 1000 \quad (5.5.)$$

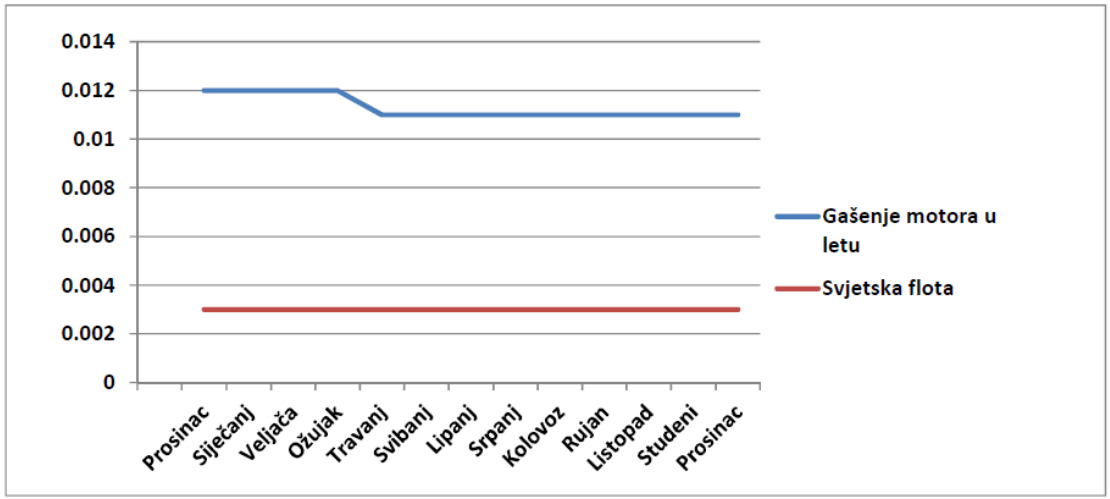
gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- n_{SD} – broj neplaniranih gašenja motora u promatranom periodu
- h_P – ukupan broj sati rada motora za vrijeme promatranog perioda.[1]

Na slici 5.5. prikazana je statistika gašenja motora u letu. U slučaju neplaniranog gašenja motora u letu posada je dužna priložiti detaljno objašnjenje ponašanja motora prije samog otkaza. Odabrani zračni prijevoznik u promatranoj godini nije imao niti jedan slučaj gašenja motora u letu. U izvještaju je također prikazan broj gašenja motora od uvođenja istog u eksploataciju prijevoznika.

Indeks gašenja motora u letu PW150A

Mjesec		Prosinac	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
Gašenje motora u letu	Broj	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ukupno	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	I_{SD}	0.012	0.012	0.012	0.012	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011
Svjetska flota		0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003



Slika 5.5. Indeks gašenja motora u letu [15]

Na dijagramu na slici prikazana je usporedba indeksa gašenja motora odabranog zračnog prijevoznika u usporedbi sa svjetskom flotom. Za izračun se koristio izraz 5.5. gdje je za broj neplaniranih gašenja motora uzet ukupni broj slučajeva koji iznosi tri te ukupan broj rada motora od uvođenja u eksploataciju. Iz dijagrama se može primijetiti da je indeks gašenja odabranog prijevoznika nešto veći od svjetske flote.

Također važan indeks za pouzdanost pogonskog sustava je i indeks neplaniranih zamjena motora (i_{UR}). Pokazuje broj neplaniranih zamjena motora na 1000 sati leta. Indeks je prikazan izrazom (5.6.).[1]

$$i_{UR} = \frac{n_{UR}}{h_P} * 1000 \quad (5.6.)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

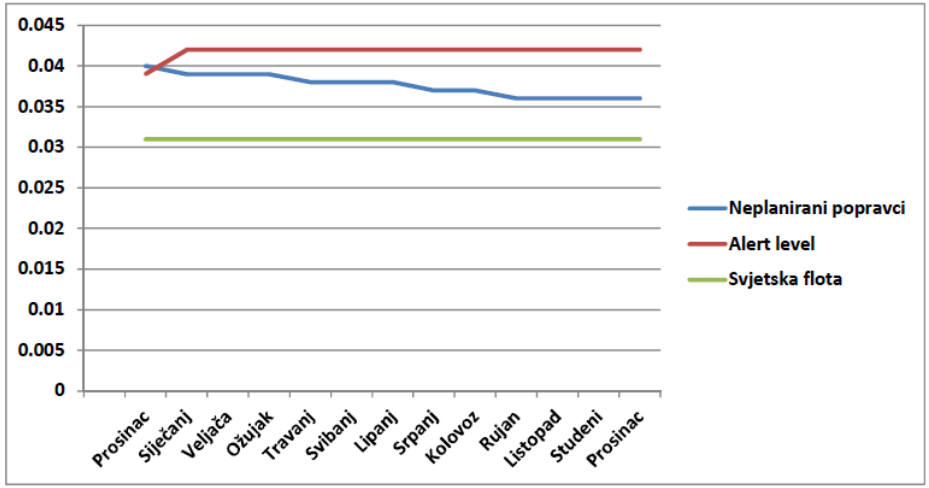
- n_{UR} – broj neplaniranih zamjena motora u promatranom periodu
- h_P – ukupan broj sati rada motora za vrijeme promatranog perioda.[1]

Na slici 5.6. prikazani su podaci i dijagram za broj neplaniranih zamjena motora na 1000 sati koje pruža odjel održavanja. U promatranoj godini nije bilo neplaniranih zamjena motora, ali ukupan broj od uvođenja flote u eksploataciju jednak je 10.

Indeks neplaniranih zamjena motora promatranog prijevoznika nešto je veći kada se usporedi sa svjetskom flotom, ali je ispod granice *alert* vrijednosti. Iznimka je prosinac, kada je indeks prešao granicu *alert* vrijednosti te su se morale poduzeti korektivne mjere.

Indeks neplaniranih zamjena motora PW150A

Mjesec		Prosinac	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
Neplanirani popravci	Broj	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ukupno	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	i_{UR}	0.04	0.039	0.039	0.039	0.038	0.038	0.038	0.037	0.037	0.036	0.036	0.036	0.036
Alert level		0.039	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042
Svjetska flota		0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031



Slika 5.6. Indeks neplaniranih zamjena motora [15]

Sljedeći indeks koji se koristi je indeks dolazaka motora u radionicu (i_{SV}). Pokazuje koliko je bilo dolazaka motora u radionicu zbog otkaza na 1000 sati rada motora. Formulu izračuna definira izraz (5.7.).[1]

$$i_{SV} = \frac{n_{SV}}{h_P} * 1000 \quad (5.7.)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

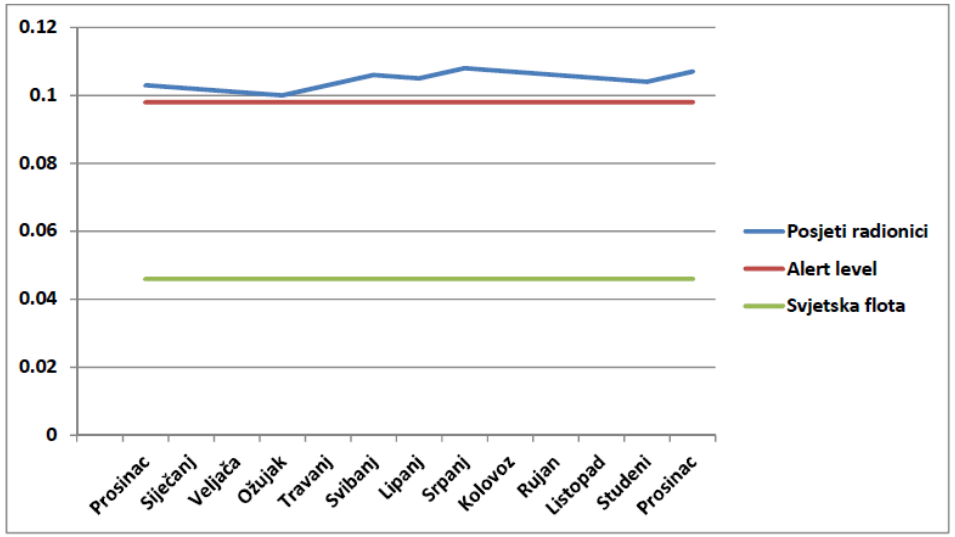
- n_{SV} – broj dolazaka motora u radionicu zbog otkaza u promatranom periodu
- h_P – ukupan broj sati rada motora za vrijeme promatranog perioda.[1]

Na slici 5.7. nalaze se podaci i dijagram dolaska motora u radionicu. U navedene podatke računaju se planirani i neplanirani dolasci motora u radionicu. Osim podataka po mjesecima prikazan je i broj dolaska u radionicu od uvođenja tipa u flotu.

Na dijagramu je moguće primijetiti usporedbu odabranog prijevoznika sa svjetskom flotom, gdje je indeks prijevoznika veći, a blago prelazi i alert vrijednosti.

Indeks dolaska motora u radionicu PW150A

Mjesec		Prosinac	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
Posjeti radionici	Broj	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1
	Ukupno	26	26	26	26	27	28	28	29	29	29	29	29	30
	i_{sv}	0.103	0.102	0.101	0.1	0.103	0.106	0.105	0.108	0.107	0.106	0.105	0.104	0.107
Alert level		0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098
Svjetska flota		0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046



Slika 5.7. Indeks dolaska motora u radionicu [15]

6. ZAKLJUČAK

Program pouzdanosti iznimno je važan za korištenje zrakoplova u eksploataciji i održavanju. Daje podatke koje mogu detektirati problem nekog sustava, stavlja naglasak na komponente nad kojima se mora vršiti češći pregled, komponente koje se moraju ranije zamjenjivati čime se sprječava otkaz dijelova zrakoplovnih sustava, a time povećava sigurnost leta.

Tehničko osoblje pri sastavljanju programa pouzdanosti za pogonski sustav promatra tri najvažnija parametra: gašenje motora u letu, dolazak motora u radionicu i neplanirane zamjene motora. Osoblje također mora objaviti podatke proizvođaču kako bi on usporedio statistiku s drugim prijevoznicima koji lete u različitim regijama i svrhama. Prema dobivenim podacima preporučuje granice *alert* vrijednosti, prema kojima prijevoznik odlučuje treba li poduzeti korektivne mjere ili ne.

Za analizu se promatra *Dash 8 Q400*, regionalni putnički zrakoplov koji se koristi za kraće rute. Pogonski sustav ovog tipa zrakoplova sastoji se od dva elisno mlazna motora PW150A. Sastavni dijelovi motora su elisa, reduktor, vratilo, kompresor, komora izgaranja, turbina i mlaznik. Svaki od dijelova ima svoj poddio u ATA specifikaciji i može uzrokovati kvar pogonskog sustava, time kašnjenje ili otkazivanje leta.

Statistika odabranog prijevoznika vezana za pogonski sustav prikazuje kako je prijevoznik od uvođenja tipa u flotu imao tri gašenja motora u zraku što je više od prosjeka svjetske flote. Kada se govori o neplaniranim popravcima, prijevoznik je također iznad prosjeka svjetske flote, ali u granicama *alert* linije. Osim toga, stupanj posjeta radionici kod prijevoznika bio je veći od svjetskog prosjeka, kao i od *alert* vrijednosti, što ukazuje da je prijevoznik u tom razdoblju imao potrebu za dodatnom analizom kako bi se pronašli uzroci navedenog stanja i eventualno poduzele korekcije u programu održavanja.

LITERATURA

[1] Bazijanac E. Tehnička eksploatacija i održavanje zrakoplova. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 2007.

[2] Exsyn Aviation Solutions: Aircraft Reliability Program. Preuzeto sa: https://www.exsyn.com/wiki/aircraft-reliability-program [Pristupljeno: prosinac, 2020.].

[3] SKYbrary: Maintenance Steering Group-3 (MSG-3). Preuzeto sa: https://www.skybrary.aero/index.php/Maintenance_Steering_Group-3_(MSG-3) [Pristupljeno: siječanj 2021.].

[4] ASAP Aerospace: ATA 100 Specifications. Preuzeto sa: https://www.asap-aerospace.com/ata-chapters/ [Pristupljeno: siječanj 2021.].

[5] Bazijanac E: Program praćenja pouzdanosti, Autorizirana predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2019.

[6] Alić-Kostejić V, Bazijanac E, Domitrović A. Aircraft Reliability Program.Maintworld.2012. Preuzeto sa: https://www.maintworld.com/R-D/Aircraft-Reliability-Programme [Pristupljeno: veljača 2021.].

[7] Preuzeto sa: https://www.whyteflyte.com/2016/10/21/progress/all-white-bombardier-dhc-8-402-q400-illustration/ [Pristupljeno: veljača 2021.].

[8] DeHavilland Aircraft of Canada: Dash 8 Q400. Preuzeto sa: https://dehavilland.com/en/dash-8-400 [Pristupljeno: veljača 2021.].

[9] Preuzeto sa: https://www.planetminecraft.com/project/bombardier-dash-8-q400-3618616/ [Pristupljeno: veljača 2021.].

[10] Preuzeto sa: https://aviation.stackexchange.com/questions/26102/is-it-possible-to-drive-a-prop-directly-from-a-jet-engine-without-a-gearbox [Pristupljeno: veljača 2021.].

[11] Mattingly DJ. Elements of Gas Turbine Propulsion, Singapur: McGraw-Hill Book Co; 1996.

[12] Bazijanac E, Domitrović A: Zrakoplovni pogonski sustavi II, Autorizirana predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2018.

[13] FlyRadius: Bombardier Q400 Engine – PW150. Preuzeto sa: https://www.flyradius.com/bombardier-q400/engine-pw150a [Pristupljeno: veljača 2021.].

[14] Preuzeto sa: https://engineering.purdue.edu/~propulsi/propulsion/jets/tprops/pw100.html [Pristupljeno: veljača 2021.].

[15] Mjesečni izvještaj programa pouzdanosti operatora Dash 8 Q400, svibanj 2017.

[16] Pažin, I: Program pouzdanosti zrakoplova u eksploataciji na primjeru zrakoplova Dash 8 Q400, Diplomski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2011.

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 3.1. Tijek programa praćenja pouzdanosti [5] 14

POPIS ILUSTRACIJA

Slika 2.1. Stanje sredstva [1] 3
Slika 2.2. Odnos pouzdanosti i nepouzdanosti [1] 6
Slika 2.3. Statističko određivanje funkcije gustoće otkaza [1] 7
Slika 2.4. Tipična promjena intenziteta otkaza [1] 9

Slika 4.1. Zrakoplov Dash 8 Q400 [7] 22
Slika 4.2. Dimenzije zrakoplova [9] 23
Slika 4.3. Dijelovi elisno-mlaznog pogonskog sustava [10] 25
Slika 4.4. Osnovni dijelovi elisno-mlaznog motora PW150A [14] 28

Slika 5.1. Operativna statistika zračnog prijavoznika [15] 31
Slika 5.2. Broj zrakoplova u prometu [15] 33
Slika 5.3. Dnevna iskorištenost flote [15] 35
Slika 5.4. Pouzdanost otpreme zrakoplova [15] 38
Slika 5.5. Indeks gašenja motora u letu[15] 40
Slika 5.6. Indeks neplaniranih zamjena motora [15] 42
Slika 5.7. Indeks dolaska motora u radionicu [15] 44

POPIS KRATICA

AMICOS	(Aircraft Maintenance, Inventory Control & Operations System)
ATA	(Air Transport Association)
CAME	(Continuing Airworthiness Management Exposition)
CAMO	(Continuing Airworthiness Management Organisation)
DOM	(Dry Operating Mass) Maksimalnasuha masa
EASA	(European Aviation Safety Agency) Europska agencija za sigurnost u zračnom prometu
FAA	(Federal Aviation Administration)Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo
FADEC	(Full Authority Digital Engine Control)
FO	(Flight Order)
FRACAS	(Failure reporting, analysis, and corrective action system)
GLB	(Ground Log Book)
ICAO	(International Civil Aviation Organization) Međunarodna organizacija za civilno zrakoplovstvo
JAR	(Joint Aviation Requirements)
MEL	(Minimum Equipment List)
MLM	(Maximum Landing Mass) Maksimalna masa za slijetanje
MSG	(Maintenance Steering Group)
MTBF	(Mean Time Between Failure) Srednje vrijeme između otkaza
MTOM	(Maximum Takeoff Mass) Maksimalna masa za uzlijetanje
MTTF	(Mean Time To Failure) Srednje vrijeme do otkaza
MTTR	(Mean Time To Repair) Srednje vrijeme popravke
PEC	(Propeller Electronic Controller)
TIR	(Technical Incident Report)
TLB	(Technical Log Book)

POPIS TABLICA

Tablica 3.1. Primjeri ATA specifikacije 13

Tablica 4.1. Dimenzije zrakoplova 24
Tablica 4.2. Maksimalne mase zrakoplova 24
Tablica 4.3. Performanse zrakoplova 25
Tablica 4.4. Osnovne karakteristike elisno-mlaznog motora PW 150A 27

Tablica 5.1. Kodovi kašnjenja 36

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj diplomski rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu diplomskog rada pod naslovom **Program pouzdanosti motora zrakoplova Dash 8 Q400** na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 8.9.2021

Ivo Dragić

(potpis)