

Preventivno održavanje zrakoplova Dash 8 - Q400 na primjeru komponente

Rubinić, Petra

Master's thesis / Diplomski rad

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:119:627379>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-21**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Petra Rubinić

**PREVENTIVNO ODRŽAVANJE ZRAKOPLOVA DASH 8 –
Q400 NA PRIMJERU KOMPONENTE**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2018.

Zagreb, 5. travnja 2018.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**
Predmet: **Eksploatacija i održavanje zrakoplova**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 4670

Pristupnik: **Petra Rubinić (0135231740)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Zračni promet**

Zadatak: **Preventivno održavanje zrakoplova Dash 8 - Q400 na primjeru komponente**

Opis zadatka:

Opisati zrakoplovne propise kojima je definirano održavanje zrakoplova. Dati primjer održavanja komponente iz Programa održavanja zrakoplova Dash 8 - Q 400. Analizirati metode i modele za određivanje intervala zamjene komponenata zrakoplova prema literaturi i prema primjerima iz prakse. Predložiti interval zamjene komponente iz sustava klimatizacije i proceduru uvrštavanja u Program održavanja zrakoplova

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

doc. dr. sc. Anita Domitrović

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**PREVENTIVNO ODRŽAVANJE ZRAKOPLOVA DASH 8 – Q400 NA
PRIMJERU KOMPONENTE**
**PREVENTIVE MAINTENANCE OF THE DASH 8 – Q400 AIRCRAFT
ON COMPONENT EXAMPLE**

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Anita Domitrović

Student: Petra
Rubinić

JMBAG: 0135231740

Zagreb, rujan 2018.

SAŽETAK

Zračni prijevoznici, za obavljanje osnovnih aktivnosti, moraju osigurati kontinuiranu plovidbenost zrakoplova. Da bi zrakoplov bio plovidben mora biti opremljen svim potrebnim i ispravnim uređajima te mora biti održavan na propisan način. Svako održavanje iziskuje određeni vremenski period, a u tom razdoblju zrakoplov nije operativno raspoloživ. Cilj zračnog prijevoznika je imati što veću raspoloživost zrakoplova u floti. Na raspoloživost sredstva moguće je utjecati promjenama intervala zamjene komponenata. Optimalni interval zamjene komponente može reducirati vrijeme koje zrakoplov provede na održavanju. Izmjenjivač topline iz sustava za klimatizaciju zrakoplova se održava prema određenom intervalu za koji je utvrđeno da je nepovoljan za promatranog zračnog prijevoznika jer dolazi do otkaza komponente prije isteka predviđenog intervala održavanja. Određivanjem novog intervala održavanja želi se smanjiti vrijeme održavanja komponente.

KLJUČNE RIJEČI: izmjenjivač topline, sustav za klimatizaciju, održavanje zrakoplova, preventivno održavanja

SUMMARY

Every airline has to ensure the continuing airworthiness of aircraft for performing basic activities. An aircraft will be airworthy if it is equipped with all the necessary and upstanding devices and if it is maintained properly. Each maintenance requires a certain period of time, and during that period the aircraft is not operationally available. The goal of every airliner is to have the highest possible availability of its aircraft in the fleet. The availability of resources can be affected by changes in component replacement intervals. The optimum component replacement interval can reduce the time which the aircraft spends in maintenance. The heat exchanger is an air condition system component and it maintained at a certain time interval that is unacceptable to the observed airline because the component is failing prior to the scheduled maintenance interval. By choosing a new maintenance interval, it is desirable to reduce the component maintenance time.

KEYWORDS: heat exchanger, air conditioning system, aircraft maintenance, preventive maintenance

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. ZRAKOPLOVNI PROPISI KOJIMA JE DEFINIRANO ODRŽAVANJE ZRAKOPLOVA.....	3
2.1. Propisi koji reguliraju održavanje zrakoplova	4
2.1.1. Part M.....	5
2.1.2. Part 145.....	6
2.1.3. Pregled regulative Republike Hrvatske	6
2.2. Funkcije i odgovornosti organizacija koje sudjeluju u održavanju zrakoplova	7
3. PROGRAM ODRŽAVANJA ZRAKOPLOVA.....	9
3.1. Program održavanja zračnog prijevoznika.....	9
3.2. Izrada početnog programa održavanja	10
3.3. Pregledi koji čine program održavanja.....	13
3.4. Program održavanja flote zrakoplova Dash 8 – Q400 odabranog zračnog prijevoznika	15
3.4.1. Program održavanja	16
3.4.2. Raspored održavanja.....	18
4. ODRŽAVANJE KOMPONENTE SUSTAVA KLIMATIZACIJE ZRAKOPLOVA DASH 8 – Q400	19
4.1. Opće informacije o sustavu klimatizacije zrakoplova.....	20
4.2. Program održavanja sustava klimatizacije	23
4.3. Održavanje komponente izmjenjivač topline	24
4.3.1. Opis komponente izmjenjivač topline	25
4.3.2. Princip i problemi održavanja izmjenjivača topline	26
5. METODE I MODELI ZA ODREĐIVANJE INTERVALA PREVENTIVNE ZAMJENE KOMPONENTE ZRAKOPLOVA	30
5.1. Matematičke metode	32
5.1.1. MTBF, MTTF i MTBUR	33
5.1.2. Distribucijski modeli	34
5.1.2.1. Log-normalna distribucija.....	35
5.1.2.2. Weibull-ova distribucija.....	36
5.1.2.3. Normalna distribucija.....	36
5.2. Simulacijske metode	37
5.3. Grafičke metode	40

5.3.1. Oblici intenziteta otkaza	40
5.3.2. Troškovi održavanja preventivne zamjene komponente	42
6. PRIJEDLOG INTERVALA ZAMJENE IZMJENJIVAČA TOPLINE IZ SUSTAVA ZA KLIMATIZACIJUZRAKOPLOVA	44
6.1. Definiranje oblika intenziteta otkaza izmjenjivača topline	44
6.2. Primjena MTBF-a i MTBUR-a za izračun potencijalnog intervala zamjene izmjenjivača topline	45
6.3. Primjena Weibull-ove distribucije za određivanje potencijalnog intervala zamjene izmjenjivača topline	47
6.4. Odabir „praga“ prve obnove komponente klimatizacije izmjenjivač topline	50
7. ZAKLJUČAK	53
LITERATURA	55
POPIS KRATICA	57
POPIS SLIKA	58
POPIS TABLICA	59
POPIS GRAFIKONA	60

1. UVOD

Uspješnost poslovanja zračnih prijevoznika uvelike ovisi o održavanju zrakoplova, stoga oduvijek postoji potreba za razvojem efikasnijih principa održavanja zrakoplova kako bi se povećala sigurnost leta, olakšalo planiranje održavanja i smanjili troškovi održavanja. Svaki tip zrakoplova mora imati vlastiti program održavanja u kojem su definirani zadaci, intervali održavanja te potrebno osoblje, oprema i alati za održavanje. Odgovornost za provođenje programa održavanja je na zračnom prijevozniku. Program održavanja se mora konstantno analizirati i po potrebi mijenjati i nadopunjavati. Zračni prijevoznik može prilagoditi program održavanja svojih zrakoplova u skladu s eksploatacijom kako bi se postigla što veća iskoristivost zrakoplova, sa što manjim troškovima održavanja uz što veću razinu sigurnosti.

Cilj ovog diplomskog rada orijentiran je na analiziranje podataka o intervalima preventivne zamjene komponente zrakoplova Dash 8 – Q400 na primjeru izmjenjivača topline iz sustava klimatizacije zrakoplova. Također, primjenom različitih metoda i modela za prilagođavanje intervala preventivne zamjene komponentata određeno je najprihvatljivije rješenje za promatrani slučaj. Svrha rada je prijedlog rješenja, odnosno intervala prve obnove za izmjenjivač topline koji bi se mogao primijeniti u procesu održavanja kako bi se povećala pouzdanost zrakoplova uz zadržavanje iste razine sigurnosti. Temeljem analize prikupljenih podataka o otkazima promatrane komponente te istraživanjem metoda i modela za određivanje preventivnog intervala zamjene definirat će se interval zamjene komponente koji će biti prilagođen za predmetnog zračnog prijevoznika.

Rad je podijeljen u 7 poglavlja:

1. Uvod
2. Zrakoplovni propisi kojima je definirano održavanje zrakoplova
3. Program održavanja zrakoplova
4. Održavanje komponente sustava klimatizacije zrakoplova Dash 8 – Q400
5. Metode i modeli za određivanje intervala preventivne zamjene komponente zrakoplova
6. Prijedlog intervala preventivne zamjene komponente izmjenjivač topline
7. Zaključak

U uvodnom poglavlju je definirana svrha i cilj ovog diplomskog rada te je navedena i opisana struktura rada.

U drugom poglavlju je opisana nacionalna i međunarodna regulativa za održavanje zrakoplova koju moraju provoditi zračni prijevoznici i ovlaštene organizacije za održavanje te su navedene organizacije koje sudjeluju u održavanju zrakoplova i njihove funkcije i odgovornosti.

Treće poglavlje je vezano uz izradu programa održavanja, preglede koji čine program održavanja te je opisan program održavanja zrakoplova Dash 8 – Q400.

U četvrtom poglavlju je prikazano održavanje sustava klimatizacije i održavanje komponente izmjenjivač topline za kojeg su definirani problemi koji se javljaju prilikom održavanja-

U petom poglavlju je dan pregled matematičkih, simulacijskih i grafičkih metoda pomoću kojih se može definirati interval zamjene komponente.

U šestom poglavlju su primijenjeni neki modeli za izračun intervala preventivne zamjene za izračun intervala prve obnove komponente klimatizacije izmjenjivač topline.

U zadnjem poglavlju su izneseni konkretni zaključci o postojećem intervalu prve obnove izmjenjivača topline, prijedlogu novog intervala te analize istih.

2. ZRAKOPLOVNI PROPISI KOJIMA JE DEFINIRANO ODRŽAVANJE ZRAKOPLOVA

Eksploatacija sredstava za rad se može tumačiti kao cjelokupan čovjekov rad sa sredstvom za rad kako bi se postigao određeni cilj. Eksploatacija podrazumijeva radnje poput korištenja, održavanja, čuvanja, transportiranja, i slično, odnosno bilo kakvu upotrebu sredstva za rada od trenutka proizvodnje do otpisa. Čovjekov rad sa sredstvom za rad mora biti u skladu s njegovom namjenom, pod određenim uvjetima u zadanom vremenu. U zračnom prometu pojam sredstvo za rad koristi se za zrakoplov, helikopter, opremu za prihvat i otpremu putnika, prtljage, tereta, zrakoplova, itd. [1]

Eksploatacija je jedini produktivni period u životnom vijeku zrakoplova u kojem se mora osigurati povrat ulaganja i sredstva za otpis, a trajanje perioda eksploatacije značajno ovisi o načinu održavanja zrakoplova iz čega proizlazi da su eksploatacija i održavanje nedjeljivo povezani.

Održavanje zrakoplova je skup aktivnosti s ciljem da se sredstvo u eksploataciji održi ispravnim. To je složen proces koji se sastoji od niza aktivnosti održavanja za koje su potrebni alati, osposobljeno i/ili licencirano osoblje za izvršenje aktivnosti te osobe koje nadziru i provjeravaju cjelokupan proces. Proces je definiran zakonskim regulativama i propisima. Obuhvaća nadzor, kontrolu i pregled zrakoplova, sustava, komponenti u svrhu preventivnog održavanja te uklanjanje kvarova kao mjeru korektivnog održavanja, zahtjeva kontinuirano praćenje procesa u svrhu pomnog planiranja i skladištenja rezervnih dijelova, osiguranja adekvatnog osoblja za izvršenje radova. Radovi trebaju biti izvedeni u planiranom roku, pri čemu se moraju zadovoljiti svi propisani standardi u cilju kvalitetnog procesa održavanja.

Svi parametri koji su temelj održavanja zrakoplova moraju biti evidentirani. Svrha prikupljanja i analiziranja podataka o aktivnostima održavanja je dobivanje uvida u prošle aktivnosti, na temelju kojih se mogu planirati buduće aktivnosti. Analiziranjem se utvrđuje učinkovitost održavanja te je moguća optimizacija procesa održavanja.

Zrakoplov je osnovno prijevozno sredstvo zračnog prometa te je održavanje istog ključno za eksploataciju. Regulativa, organizacija i provođenje normativa imaju značajnu ulogu u održavanju i kontinuiranoj plovidbenosti zrakoplova i zrakoplovnih uređaja. Za uspješno obavljanje svih aktivnosti vezanih uz održavanje nužna je suradnja svih sudionika.

2.1. Propisi koji reguliraju održavanje zrakoplova

Održavanje zrakoplova je područje koje je regulirano međunarodnim i nacionalnim propisima. Međunarodne propise vezane uz održavanje propisuje Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva (*International Civil Aviation Organization* - ICAO). Kako je Republika Hrvatska članica Europske unije i potpisnica multilateralnog Sporazuma o europskom zajedničkom zračnom prostoru (*European Common Aviation Agency* - ECAA) u skladu s tim mora poštovati sve pravilnike i standarde koje propisuje Europska agencija za zrakoplovnu sigurnost (*European Aviation Safety Agency* - EASA). Također, moraju se poštivati i nacionalni zrakoplovni propisi koje donosi sabor Republike Hrvatske, a nadležno Ministarstvo pravilnike.

Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva je specijalizirana agencija koja se bavi standardima i preporučenim praksama međunarodnih standarda civilnog zrakoplovstva i politikama koje podupiru siguran, učinkovit, ekonomski i ekološki civilni zrakoplovni sektor. Standardi i preporučene prakse raspodijeljeni su u 19 aneksa, od kojih 2 aneksa reguliraju održavanje zrakoplova:

- Aneks 6 Operacije zrakoplova (poglavlje 8);
- Aneks 8 Kontinuirana plovidbenost.

Europska agencija za zrakoplovnu sigurnost je agencija koja ima posebne regulatorne i izvršne zadatke u oblasti sigurnosti civilnog zrakoplovstva. Europski propisi za održavanje zrakoplova su:

- Part 21- inicijalna plovidbenost;
- Part M - kontinuirana plovidbenost;
- Part 145 - ovlaštena organizacija za održavanje;
- Part 66 - licenciranje tehničkog osoblja;
- Part 147 - ustanove za školovanje tehničkog osoblja;
- Part T - zrakoplov registriran u trećoj zemlji.

Najvažniji propisi su oni koji propisuju procedure i standarde organizacije za održavanja i propisi koji propisuju procedure i standarde za osiguranje kontinuirane plovidbenosti, odnosno Part 145 i Part M.

2.1.1. Part M

Prema Part-u M zrakoplov je plovidben ako je održavan na propisani način tako da tijekom leta bude što manje otkaza zrakoplovnih sustava i uređaja te ako dođe do eventualnih otkaza zrakoplovnih sustava i uređaja oni ne smiju značajno ugroziti sigurnost zrakoplova. Part M se bavi problematikom kontinuirane plovidbenosti svih zrakoplova (velikih i malih, koji se koriste za komercijalne i nekomercijalne svrhe, i sl.). Osnovna načela su određivanje odgovornosti, opisivanje što je sve potrebno kako bi se osigurala kontinuirana plovidbenost zrakoplova, reguliranje održavanje zrakoplova te ponovne upotrebe nakon održavanja, nadziranje procesa provjere plovidbenosti. Sastoji se od 9 pododjeljka: [2]

- A. Općenito;
- B. Odgovornost;
- C. Kontinuirana plovidbenost;
- D. Standardi održavanja;
- E. Komponente;
- F. Organizacija za održavanje
- G. Organizacija za kontinuiranu plovidbenost;
- H. Potvrda o puštanju u rad;
- I. Valjanost potvrde o plovidbenosti.

Odobrena organizacija za vođenje kontinuirane plovidbenosti (*Continuing Airworthiness Management Organization - CAMO*), prema Part-u M, unutar opsega svojih aktivnosti uključuje upravljanje i organizaciju svih dokumenata i publikacija ovlaštenih organizacija za održavanje. Osim toga pohranjuje sve spise o provedenim aktivnostima održavanja. Shodno tome, organizacija mora posjedovati prostoriju za pohranu dokumentacije, urede za upravljanje i organizaciju dokumenata i mora imati Priručnik organizacije za vođenje kontinuirane plovidbenosti zrakoplova (*Continuing Airworthiness Management Exposition – CAME*).

Priručnik CAME opisuje kako organizacija ispunjava zahtjeve Part M standarda, odnosno pododjeljka G (subpart G) kojim je definirano vođenje kontinuirane plovidbenosti i pododjeljka I kojim je definirano izdavanje, to jest produljenje kontinuirane plovidbenosti zrakoplova. [4]

2.1.2. Part 145

Zrakoplov i njegove komponente mogu biti održavane samo od strane ovlaštene organizacije za održavanje (*Approved Maintenance Organization – AMO*), prema Partu 145. Za obavljanje rada AMO mora dobiti ovlaštenje od zrakoplovnih vlasti države. Kako bi organizacija za održavanja dobila Part 145 certifikat mora imati osiguran prostor za provedbu aktivnosti, ispravne alate potrebne za provedbu, licencirano osoblje i Priručnik organizacije za održavanje zrakoplova (*Maintenance Organisation Exposition – MOE*).

Rukovodna struktura, tehnološki i organizacijski procesi te sustav kvalitete prikazuje se unutar priručnika MOE koji odobravaju zrakoplovne vlasti. [1]

Part 145 daje odgovore na pitanja tko, gdje, kada, kako, po kojim procedurama može održavati zrakoplov, tj. popravljati ili mijenjati zrakoplovne komponente, sustave, uređaje i ostalo. Opća struktura Part-a 145 odnosi se na procedure za nadležna tijela, tehničke zahtjeve te postupke nadležnog tijela. Zahtjevi propisa se odnose na organizacije i osoblje koje provodi održavanje zrakoplova, a neki od zahtjeva su zahtjevi za izdavanje ili produljenje važenja ovlaštenja organizacije za održavanje zrakoplova, sustava i komponenti, zahtjevi za izdavanje dozvole za održavanje zrakoplova i njeno važenje, zahtjevi i način izdavanja dozvola za rad radionica. [2]

2.1.3. Pregled regulative Republike Hrvatske

Osim obavezne primjene međunarodne regulative, unutar Hrvatske na snazi su i sljedeći zakoni i pravilnici:

1. Zakon o zračnom prometu;
2. Zakon o obveznim i stvarnopravnim odnosima u zračnom prometu;
3. Pravilnik o stručnoj izobrazbi, stručnoj osposobljenosti i drugim uvjetima koje mora ispunjavati zrakoplovno tehničko osoblje ovlašteno za održavanje komponenti zrakoplova;

4. Pravilnik o uvjetima kojima moraju udovoljavati operatori zrakoplova, osoblje i organizacije uključeni u održavanje i vođenje kontinuirane plovidbenosti EASA zrakoplova tijekom korištenja u državnim aktivnostima.

2.2. Funkcije i odgovornosti organizacija koje sudjeluju u održavanju zrakoplova

Kvalitetno održavanje zrakoplova, njegovih sustava, komponenti i uređaja za sigurno obavljanje letova ne ovisi samo o zračnom prijevozniku i organizaciji za održavanje zrakoplova. Ostali sudionici, direktni i indirektni, u samom procesu održavanja su organizacije za dizajn i proizvodnju zrakoplova, organizacije koje propisuju regulativu, zakone i pravilnike (ICAO i EASA) te nadležna agencija za civilno zrakoplovstvo.

Part 21 regulira zahtjeve organizacije za projektiranje i dizajn zrakoplova te organizacije za proizvodnju zrakoplova. Njihova primarna funkcija je dizajn zrakoplova i sustava, izrada proizvodne dokumentacije, izrada i distribucija operativno tehničke dokumentacije, proizvodnja dijelova zrakoplova, odgovornost za sukladnost te dizajn modifikacija zrakoplova i sustava, uspostava ureda za plovidbenost, kontrola certifikacijskih procedura, izrada i kontrola servisnih pisama i servisnih biltena. Servisno pismo je dokument kojim proizvođač obavještava korisnike i vlasnike zrakoplova o raznim problemima i saznanjima iz prakse. Servisni bilten je dokument kojim proizvođač obavještava o modifikacijama koje doprinose ekonomičnosti, komforu putnika, sigurnosti i smanjenju potrošnje gorive. [3]

Zračni prijevoznik odnosno organizacija za prijevoz putnika, prtljage i tereta zrakoplovom dužna je izraditi program održavanja, provoditi program održavanja, provoditi zrakoplovne naredbe te koristiti zrakoplov sukladno dokumentaciji. Također je dužan kontrolirati standarde prilikom izvođenja operacija i održavanja, kontrola operativnih priručnika i tehničkih procedura, uspostava sustava kvalitete, itd. Zračni prijevoznik je odgovoran za održavanje zrakoplova, mora raspolagati odobrenim priručnicima u skladu s odredbama Zakona o zračnom prometu, propisa koji su donese temeljem Zakona te ostalih međunarodnih ugovora koji ga obvezuju.

Odobrena organizacija za održavanje zrakoplova je zadužena za kontroliranje standarda održavanja, kontrolu programa održavanja i pouzdanosti, izradu i kontrolu organizacijsko tehničkih procedura, kontrolu ovlaštenog i licenciranog osoblja koje je zaduženo za održavanje, evidentiranje i analiziranje informacija o održavanju, puštanje u upotrebu zrakoplova i zrakoplovnih dijelova, provođenje radova sukladno standardima. [3]

Nadležna agencija za civilno zrakoplovstvo u Hrvatskoj CCAA (*Croatian Civil Aviation Agency*) ima funkciju nadzora i izdavanja propisa, pravilnika i zahtjeva, izdavanja/povlačenja certifikata koji potvrđuje registraciju i plovidbenost, izdaje odobrenja za proizvođače zrakoplova i za organizacije za održavanje zrakoplova, odobrava programe održavanja i eventualne modifikacije.

3. PROGRAM ODRŽAVANJA ZRAKOPLOVA

Program održavanja opisuje procese, postupke i načine na koje se pojedini zrakoplov, sustav, komponenta, uređaj i dio održava kako bi se osigurala kontinuirana plovidbenost zrakoplova. Svaki zrakoplov se održava u skladu s programom održavanja koji je odobrila nadležna zrakoplovna vlast, odnosno u Hrvatskoj CCAA.

Program održavanja omogućuje sigurnu, pouzdanu i ekonomičnu izvedbu postupaka održavanja zrakoplova. Svakodnevno se povećava znanje o performansama zrakoplova, a to se potom primjenjuje na program održavanja u obliku novih informacija kao bi se optimizirao proces te osigurala najviša razina sigurnosti i pouzdanosti.

3.1. Program održavanja zračnog prijevoznika

Program održavanja izrađuje se za svaki tip zrakoplova. u njemu su razrađeni svi postupci u održavanju, rokovi i načini obavljanja za zrakoplovne sustave, opremu i komponente. Procesu održavanja koji se obavljaju na zrakoplovu, njegovoj strukturi, sustavima i opremi definirani su programom održavanja i usklađeni sa Zakonom o zračnom prometu, zahtjevima za održavanje odobrenim od nadležnih zrakoplovnih vlasti zemlje proizvođača i tehničkim uputama za održavanje od strane proizvođača.

Program održavanja izrađuje zračni prijevoznik ili vlasnik zrakoplova ili isti angažiraju organizaciju ovlaštenu za izradu. U Hrvatskoj mora biti odobren od CCAA te predstavlja jedan od uvjeta za dobivanje svjedodžbe o sposobnosti organizacije (*Air Operator Certificate - AOC*) i svjedodžbe o plovidbenosti (*Certificate of Airworthiness - C of A*). Nakon što je odobren, program održavanja se kontinuirano prati i analizira s ciljem optimizacije procesa te ažuriranje istog na prijedlog ili zahtjev proizvođača zrakoplova. Održavanje može obavljati sam zračni prijevoznik ili može ugovoriti održavanje s ovlaštenom organizacijom za održavanje, u oba slučaja odgovornost za provedbu programa održavanja je na zračnom prijevozniku.

Najčešće se program održavanja definira kroz dva priručnika, program održavanja i raspored održavanja, a može se definirati samo jednim priručnikom ili kroz više priručnika.

Ciljevi programa održavanja su osigurati da: [3]

- Svi dijelovi zrakoplova obavljaju svoju funkciju;
- Svaki zrakoplov koji je pušten u rad plovidben i održavan za operacije zračnog prijevoza;
- Je održavanje, koje je izvršio zračni prijevoznik, vlasnik zrakoplova ili netko drugi za njega, izvršeno u skladu s tehničkom dokumentacijom;
- Izmjene vrši osposobljeno osoblje s odgovarajućom opremom.

3.2. Izrada početnog programa održavanja

Do 1950-tih održavanje zrakoplova baziralo se na teoriji preventivne zamjene komponenti ili obnove tzv. „hard time“. Jedan od nedostataka takvog održavanja je nepotrebno rasklapanje, ponekad i ispravnih komponenata zbog čega se povećavaju ukupni troškovi eksploatacije. Zbog nedjelotvornosti i neekonomičnosti „hard time“ održavanja težilo se k prihvatljivoj alternativni.

1960-tih uspostavlja se *Maintenance Steering Group – Task Force* (MSG). MSG koncept uspostavlja logična pravila za utvrđivanje slijeda i procesa održavanja. Temeljena su na važnosti komponente i/ili sustava, mogućoj vrsti otkaza, uočljivosti nastanka otkaza, mogućoj korektivnoj akciji. Inicijalni rad pri implementaciji MSG procesa je podijeljen u nekoliko grupa: [3]

- Struktura;
- Sustavi;
- Pogonska grupa;
- Električna/avionika;
- Upravljanje/hidraulika;
- Provjere po zonama zrakoplova.

MSG 1 uvodi tri procesa održavanja, a to su čvrsto vrijeme korištenja (eng. „*hard time*“), prema nađenom stanju (eng. „*on condition*“) i praćenje stanja (eng. „*condition*“).

monitoring“). „*Hard time*“ je preventivno održavanje sredstva s unaprijed određenim resursima, kod takvog principa održavanja aktivnosti se provode planski. Ova metoda je prikladna za mehaničke komponente čije trošenje je u korelaciji s vremenom. „*On condition*“ odnosno održavanje prema stanju je vrsta održavanja u kojem se aktivnosti održavanja poduzimaju ovisno o stanju sredstva, a ne nakon točnog određenog vremenskog perioda kao kod „*hard time-a*“. Za ovakav princip održavanja nužno je imati uvid u stanje komponente, a stanje se opisuje s jednim ili više parametara koji se tada provjeravaju i prate te upućuju na poduzimanje aktivnosti. Razvojem tehnologije senzora omogućeno je stalno praćenje sustava („*condition monitoring*“), parametri kojima se procjenjuje stanje su osnovni čimbenici koji upućuju na akcije održavanja. Tim procesima dodijeljena je struktura i različite komponente. Definicije procesa definirane su kroz MSG 2 logiku. Svrha MSG 3 logike je razvoj inicijalnih planiranih radova i intervala za te radove za nove zrakoplova, odnosno definiranje programa redovitog održavanja koji se sastoji od grupa redovitih zadataka koji trebaju biti izvršeni u navedenim intervalima. MSG-3 ima tzv. „*top down approach*“ gdje se polazi od cjeline zrakoplova, preko zrakoplovnih sustava pa prema nižim razinama do dijelova sustava, pri čemu se vrši analiza grešaka na najvišoj razini zrakoplovnog sustava gdje se greška može uspješno otkloniti, odnosno, spriječiti. Naglasak je na tome da se sve razine sigurnosti i pouzdanosti zrakoplova održe u predviđenim granicama.

Inicijalni zahtjevi za održavanje zadani su:

- U skladu s MSG 3 logikom;
- Kroz dokument za planiranje održavanja MPD (*Maintenance Planning Document*);
- Kroz dokument odbora za ocjenu programa MRB (*Maintenance Review Board*).

MRB i MPD sadrže minimalne zahtjeve za održavanje i osnovne informacije koje operator prevodi i oblikuje u kompanijski program održavanja.

Dakle polazni dokument za izradu programa održavanja novog zrakoplova je Priručnik MSG 3. Nakon toga radna grupa stručnjaka izrađuje prijedlog programa održavanja odnosno MRB dokument, upravni odbor pregledava MRB i dopunjuje prijedlozima te prosljeđuje nadležnoj agenciji za civilno zrakoplovstvo pročišćenu varijantu prijedloga. Agencija pregledava, ispravlja i dopunjuje prijedlog, ovjerava i izdaje kao svoj dokument za izradu programa održavanja u kojem su definirani osnovni i minimalni zahtjevi za početno održavanje strukture, sustava i komponenti zrakoplova. Proizvođač zrakoplova na temelju dokumenta koji izdaje Agencija nastavlja dograđivanje programa održavanja i izrađuje MPD

koji se predaje korisniku zrakoplova koji će ga koristiti pri izradi programa održavanja. Na temelju MPD-a izrađuje se dokument pod nazivom Zahtjevi za održavanje zrakoplova, tzv. MRQ (*Maintenance Requirements*). Izrađuje ga korisnik zrakoplova ili ovlaštena organizacija za izradu programa održavanja, a odobrava ga nadležna agencija zemlje gdje je zrakoplov u registru. U MRQ su uključeni zahtjevi za specifične uvjete eksploatacije, ekonomičnije poslovanje, izgled i čistoća enterijera itd. Nakon usvajanja MRQ izrađuje se početni program održavanja za zrakoplov i njegovu opremu koji se kontinuirano nadopunjuje na temelju: naredbi o plovidbenosti, zahtjeva nadležne agencije zemlje gdje je zrakoplov registriran, servisnih biltena, servisnih pisama, zahtjeva korisnika i modifikacija. [4]

MRB dokument u sebi sadrži: [3]

- Referentni broj pregleda;
- Naziv dijela koji se pregledava;
- Rok izvršenja pregleda dijelova vidljivih izvana;
- Rok izvršenja pregleda dijelova vidljivih iznutra;
- Pregled dijelova vidljivih iznutra i broj zrakoplova koji se pregledavaju;
- I slično.

MPD sadrži sve radne zadatke iz MRB-a koji su prihvaćeni od zrakoplovnih vlasti, kao i dodatne zahtjeve za koje proizvođač smatra da su potrebni. Sadrži zahtjeve za održavanje koji su uslijedili zbog modifikacija zrakoplova i dodatnih komponenti i sustava koji su posebno ugrađivani po specifikacijama kupca zrakoplova. MPD daje korisniku sve potrebne podatke za izradu svog programa održavanja. Svaki korisnik ili vlasnik zrakoplova odlučuje kada, kako i što se radi pri redovnom održavanju zrakoplova pod uvjetom da zadovolji zahtjeve MPD-a. On može dopuniti svoj program održavanja sa zadacima koji omogućuju ekonomičnije poslovanje i/ili kada je održavanje u promijenjenim uvjetima eksploatacije zrakoplova.

Prijevoznikov priručnik programa održavanja zrakoplova (*Maintenance Program Manual* - MPM) mora sadržavati procedure za održavanje priručnika ažurnim, a služi da bi imali standardizirano i dosljedno ispunjenje i administraciju programa održavanja. Pruža upute i procedure za upotrebu i upravljanje programom. Program radova održavanja strukture, komponenti i sustava izrađuje inženjering ovlaštene organizacije za održavanje, a čini ga

tehnološka dokumentacija, koja se priprema za svaki zrakoplov ili opremu. Program se sastoji od: [3]

- MRQ-a;
- Kompletne radne kartice za redovne radove na pregledima;
- Specijalnih radnih kartica;
- Liste kružićih dijelova s načinom održavanja svakog;
- Kartica za zamjenu, postavljanje i ispitivanje kružićih dijelova;
- Liste vaganja zrakoplova (poslije radova obnove, modifikacije, popravka i sl.);
- Liste probnog leta;
- Liste ispitivanja motora i sustava na zemlji;
- Program provođenja metode pouzdanosti;
- Modifikacijski status aviona, motora i komponenti, itd.

3.3. Pregledi koji čine program održavanja

Svaki zrakoplov se održava kroz zadatke propisane programom održavanja pri kojem se pažljivo pregledava struktura zrakoplova, sustav, komponenta ili neki dio, s ciljem utvrđivanja općeg stanja zrakoplova, motora, komponenti, sustava i strukture. Isto tako pregledavaju se spojevi, preklopi, zglobovi, pregled na pukotine, odljepljivanje, eliminaciju, habanje i koroziju, stanje spremnika pod pritiskom, stanje zaštitnih premaza, stanje zakovica i sl.

Nakon utvrđivanja stanja, zadatak tehničke službe je da zrakoplov dovede u ispravno stanje kako bi isti bio sposoban za sigurnu zračnu plovidbu, odnosno da zrakoplov bude plovidben u svakom pogledu.

U program održavanja ubrajaju se pregledi koji su prema opsegu i prirodi posla podijeljeni u 6 glavnih grupa: [4]

1. Servisni pregledi – predpoletni, tranzitni, dnevni pregledi i pregledi namijenjeni obimnijim servisnim i preventivnim radovima (npr. podmazivanje osjetljivih uređaja) te otklanjanje kvarova;

2. Povremeni pregledi – pregledi koji obuhvaćaju radove redovitog održavanja koji se ponavljaju u izvjesnim vremenskim razdobljima, radove preventivnog održavanja koji se uklapaju u ove periode, otklanjanje kvarova i obavljanje manjih modifikacija;
3. Radovi velike obnove/blok pregledi – obuhvaćaju skidanje većine uređaja sa zrakoplova, njihov detaljni pregled i funkcionalno ispitivanje, pregled i ispitivanje njihovih instalacija, pregled i ispitivanje strukture zrakoplova, otklanjanje svih nađenih nedostataka, strukturalne radove većeg obujma, veće modifikacije, otklanjanje korozije sa svih površina, obnavljanje interijera, boje i drugih vidova površinske zaštite, kao i radove preventivnog održavanja. Cijeli program radova obnove zrakoplova se može obaviti odjednom ili pak u etapama;
4. Posebni pregledi - program radova koji se obavljaju na zrakoplovu nakon izvanrednih situacija u kojima se zrakoplov našao, pri čemu je moglo doći do preopterećenja konstrukcije zrakoplova, površinsko oštećenja elemenata zrakoplova uslijed agresivnog djelovanja vanjske sredine ili drugih posljedica koje utječu na plovidbenu sposobnost zrakoplova;
5. Provjere u letu - predstavljaju ispitivanje performansi, funkcioniranja i ponašanja zrakoplova kao cjeline i njegovih uređaja i sustava u tijeku svih faza leta obavljaju se prilikom ispitivanja novosagrađenog serijskog zrakoplova, tehničkih pregleda za utvrđivanje plovidbenosti, nakon većih modifikacija i popravaka koji bi mogli imati za posljedicu promjenu osnovnih performansi zrakoplova, nakon zamjene aerodinamičkih nosećih i komadnih površina, u slučajevima kad se ispitivanja ne mogu uspješno obaviti na zemlji, nakon zamjene jednog motora kod klipnih, odnosno dva ili više motora istodobno kod mlaznih višemotornih zrakoplova, nakon demontaže ili zamjene komandi leta te kad zrakoplovne nadležne vlasti to zahtijevaju u interesu sigurnosti zračnog prometa;
6. Pregledi za utvrđivanje plovidbenosti zrakoplova - predstavljaju preglede kojima se utvrđuje sposobnost zrakoplova za sigurnu zračnu plovidbu, odnosno utvrđuje da li je zrakoplov izrađen i opremljen uređajima i opremom po odredbama Zakona od zračnom prometu i drugih propisa, tehničkih zahtjeva, uvjeta i standarda koji se odnose na izgradnju i opremu zrakoplova.

Održavanje zrakoplova se može podijeliti i na bazno i linijsko održavanje. Linijsko održavanje obuhvaća aktivnosti poput detekcije i otklanjanje kvarova, zamjena komponenti, zamjena motora i propelera, redovni servisni pregledi, manji popravci i modifikacije. Linijski

pregledi su pretpoletni pregled, tranzitni pregled, dnevni pregled, servisni pregled, popravke koji ne zahtijevaju opsežne radnje odnosno pregledi koji se odvijaju prije leta kako bi se osigurao zrakoplov za siguran let. Pregledi baznog održavanja su sljedeći: [4]

- D-check: Glavna provjera, za moderne transportne zrakoplove dolazi u intervalima 15000 do 18000 sati naleta, ili 4-5 god. prosječne eksploatacije. Radovi traju 25-30 dana.
- C-check: Među provjera, komponente koje se ne mogu planirati u glavnu provjeru, planira se svakih 3500 do 4500 sati naleta. Radovi traju 7-10 dana.
- B-check: Servisni pregled, izvodi se u intervalima 800-3000 sati naleta, ili svakih 6 mjeseci, ovisno uvjetima eksploatacije, a radovi traju 2-3 dana.
- A-check: Pregled na platformi, izvodi se svakih 125-500 sati a radovi traju 3-10 sati.

3.4. Program održavanja flote zrakoplova Dash 8 – Q400 odabranog zračnog prijevoznika

Program održavanja za flotu zrakoplova Bombardier Dash 8-Q400, odabranog zračnog prijevoznika koji je ujedno i ovlašten za održavanje zrakoplova, definiran je: [5]

- Programom održavanja Dash 8 - Q400 koji definira koncept sustava za održavanje zrakoplova i pogonske grupe, posebne zahtjeve održavanja i neplanirane inspekcije održavanja;
- Rasporedom održavanja Dash 8 - Q400 koji definira raspored i učestalost zadataka održavanja zrakoplova te ostale obvezne zahtjeve, uz dodatne zadatke održavanja bitne za ekonomsku efikasnost, poboljšanje pouzdanosti te udobnosti putnika.

Program održavanja je u skladu s Priručnikom organizacije za održavanje i Priručnikom organizacije za vođenje kontinuirane plovidbenosti, pozivajući se na Part M.

3.4.1. Program održavanja

Struktura programa održavanja zrakoplova Dash 8 – Q400 je podijeljena u 8 poglavlja. U prvom poglavlju su dane opće informacije programa održavanja. Program održavanja se temelji na prosječnoj godišnjoj stopi iskoristivosti zrakoplova od 2500 sati naleta, no u slučajevima kada nema potrebe za tolikom stopom iskoristivosti ili intervali zamjene i provjere komponenata nisu optimalni moguće je uvesti određene izmjene u program održavanja. Promjene intervala su moguće na temelju spoznaja iz prakse te raznih industrijskih i operativnih standarda.

U sljedećem poglavlju programa održavanja definirana su pravila, akcije, intervali i zadaci održavanja. Intervali zamjene mogu biti određeni: [5]

- Po satima naleta (FH *flight hours*):
 - Zrakoplova (FH) – vrijeme između polijetanja i slijetanja;
 - Pogonske grupe (EHF) – vrijeme rada motora;
 - Za sve zrakoplove Q400 i motore PW150A vrijedi:
 - 1 FH = 1 EFH.
- Po broju ciklusa (CY *cycles*):
 - Npr. jedan ciklus kod motora je interval od pokretanja do gašenja motora;
 - 1 pokretanje motora = 1 CY.
- Po broju slijetanja:
 - Koristi se za stajni trap, zakrilca, životni vijek nadtladne kabine, ...
- Po kalendarskom vremenu:
 - Provjera korozije, gumenih britvi, ulja i slično;
 - Po danima (CA - *Calendar Days*) – 24 sata;
 - Po tjednima (WE - *Calendar Week*) – 7 uzastopnih dana;
 - Po mjesecima (MO - *Month Calendar*) – jedan mjesec ili 1/12 kalendarske godine.

Definirano je planirano održavanje koje je podijeljeno na linijsko i bazno održavanje. Linijsko održavanje obuhvaća manje popravke i modifikacije, otkrivanje kvara te popravke koji ne zahtijevaju opsežne radnje i jednostavni su za obaviti. Bazno održavanje obuhvaća

aktivnosti opsežnih pregleda strukture i komponenti, a radovi se odvijaju u hangaru. Obuhvaća aktivnosti planiranog održavanja (A, B, C, D pregleda) te neplaniranog održavanja; manji popravci konstrukcije, otklanjanje kvarova, primjena i provedba modifikacija i zrakoplovnih naredbi, posebni pregledi, skladištenje, provjera nakon izbacivanja ili upotrebe sustava za opskrbu putničke kabine kisikom u izvanrednim situacijama. [5]

U četvrtom poglavlju programa održavanja se opisuje neplanirano održavanje. Kojim je definirano da se neplanirane provjere moraju izvršiti odmah nakon neuobičajenih situacija ili problema u eksploataciji, također se obavljaju u slučaju vanjskih oštećenja, neobičnih zvukova te problema vezanih za stabilnosti i upravljivost zrakoplova.

Potom su definirana sva bitna ograničenja i intervali održavanja komponenti te periodi unutar kojih bi se trebali obaviti radovi velike obnove i/ili zamjene komponenti.

Šesto poglavlje se odnosi na program pogonske grupe koji je podijeljen na program održavanja propelera i program održavanja motora PW150A, predmetni zrakoplov ima 2 elisno mlazna motora.

Zonski program je sredstvo kojim se cijeli zrakoplov može pregledati prema planu odnosno nekom rasporedu. Osigurava da svi sustavi, komponente, instalacije i struktura imaju adekvatnu provjeru općeg stanja. Provjere čine samo serije zadataka općeg vizualnog pregleda (*General Visual Inspections - GVI*). Zahtjevi zonskih pregleda primjenjivi su samo na zone. Cijeli zrakoplov je podijeljen u glavne zone, glavne podzone i zone koje su definirane prema ATA specifikaciji 100 (*Air Transport Association of America Specification 100 code*).

U zadnjem poglavlju definiran je program strukture. Program strukture grupira sve planirane zadatke izravnih pregleda koji se odnose na strukturu zrakoplova. Životni vijek strukture zrakoplova je 80000 letova. Pojedini zrakoplovi koji imaju velike strukturne popravke mogu zahtijevati dodatne inspekcije ili revizije postojećih inspekcijskih intervala. Održavanje je na principu otpornosti na oštećenja („damage tolerance“). Takav princip se zasniva na nedestruktivnim provjerama noseće konstrukcije kako bi se otkrila mikropukotina prije nego što može uzrokovati otkaz elementa ili sklopa. U ovom pristupu su bitni vremenski intervali provjere koji moraju biti tako odabrani da osiguravaju sigurnost leta i s malim oštećenjem elementa. Tri temeljna oblika oštećenja koja se razmatraju prilikom utvrđivanja

zadataka za Program strukturnih održavanja su posljedica negativnog utjecaja okoliša, slučajna oštećenja te oštećenja nastala zamorom materijala. [5]

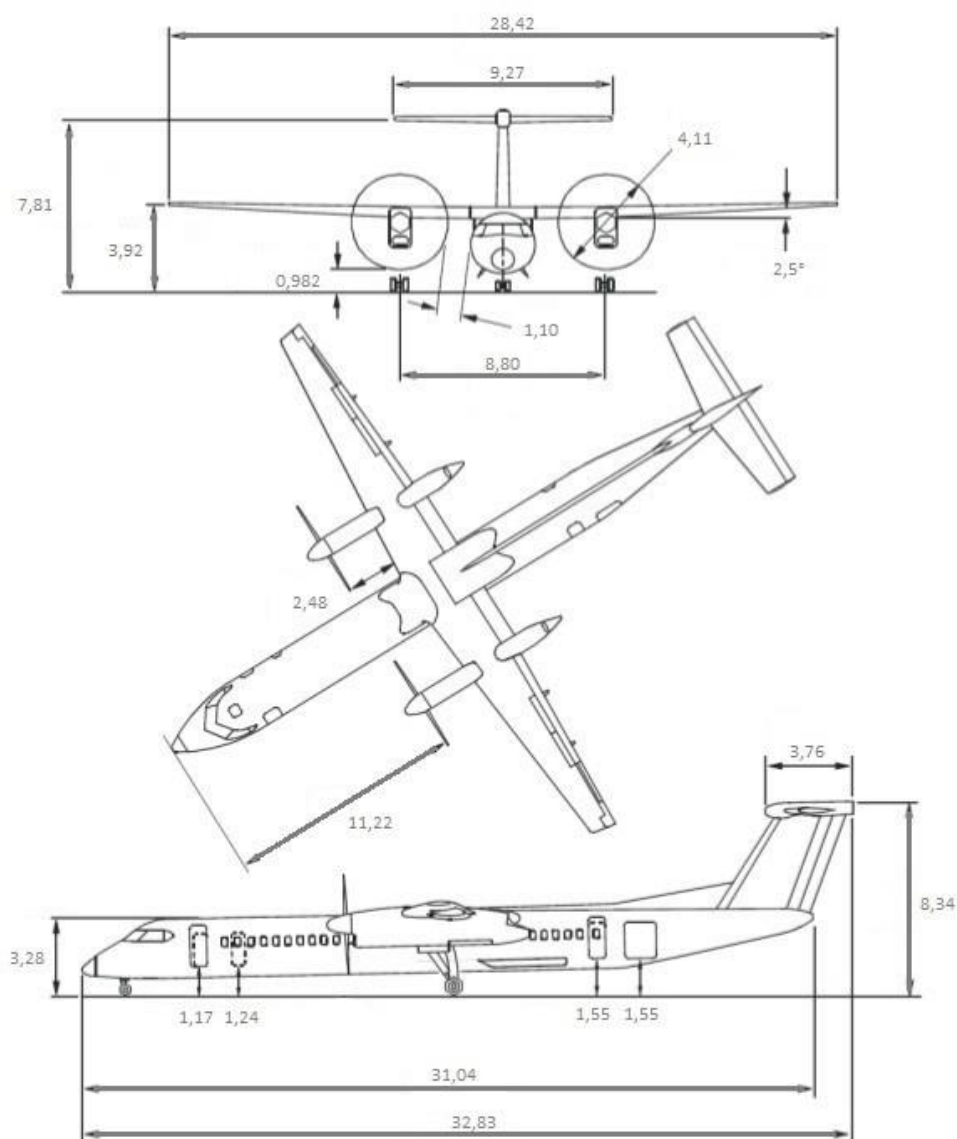
3.4.2. Raspored održavanja

Raspored održavanja zrakoplova Dash 8 – Q400 objedinjuje zadatke i njihove intervale, odnosno učestalosti vezane za sustave, pogonsku grupu i strukturu zrakoplova. Raspored se temelji na MPD dokumentu te ostaloj relevantnoj dokumentaciji. Definirani su zadaci i intervale za planirano održavanje koji su zahtijevani od proizvođača zrakoplova i njegovih komponenta te zrakoplovnih vlasti. Unutar ATA 100, pogonska grupa i zrakoplovni sustavi su jedinstveno označeni. Postoji više načina označavanja, ovisno o nastanku oštećenja, vrsti oštećenja i slično dodjeljuje se određeno slovo (npr. „Z“ za zonski pregled. Također svakom sustavu i pogonskoj grupi je pridružena i kombinacija brojeva.

Pregled raspored održavanja, odnosno zadaci i intervale održavanja komponente izmjenjivač topline iz sustava za klimatizaciju su prikazani u poglavlju 4.3.2. Princip i problemi održavanja komponente izmjenjivač topline.

4. ODRŽAVANJE KOMPONENTE SUSTAVA KLIMATIZACIJE ZRAKOPLOVA DASH 8 – Q400

Dash 8 – Q400 je zrakoplov proizvođača de Havilland Canada Bombardier Aerospace. Pogone ga dva turboprop motora. Ima raspon krila od 28,42 m i trup duljine 32,83 m u kojemu se nalazi kabina duljine 18,8 m koja ima do 78 putničkih mjesta (Slika 1). Najveća dozvoljena masa pri polijetanju je gotovo 30 tona, za koju je potrebno 1402 m uzletno sletne staze. Ima dolet od 2522 km, a maksimalna visina krstarenja je 8230 m. [21]



Slika 1: Tehničke specifikacije zrakoplova Dash 8 - Q400

Izvor: [21]

Podjela prema ATA 100 je u cilju razlaganja zrakoplova na komponente i sustave, svrha podjele je bolja preglednost dijelova zrakoplova. Poglavlja su grupirana u pet cjelina, odnosno na opće informacije o zrakoplovu (ATA 00 – ATA 18), zrakoplovne sustave (ATA 20 – ATA 50), strukturu zrakoplova (ATA 51 – ATA 57), propelere/elise (ATA 60 – ATA 67) te pogonski sustav (ATA 70 – ATA 92). Na slici 2 prikazane su neke od podjela prema ATA 100. [7]



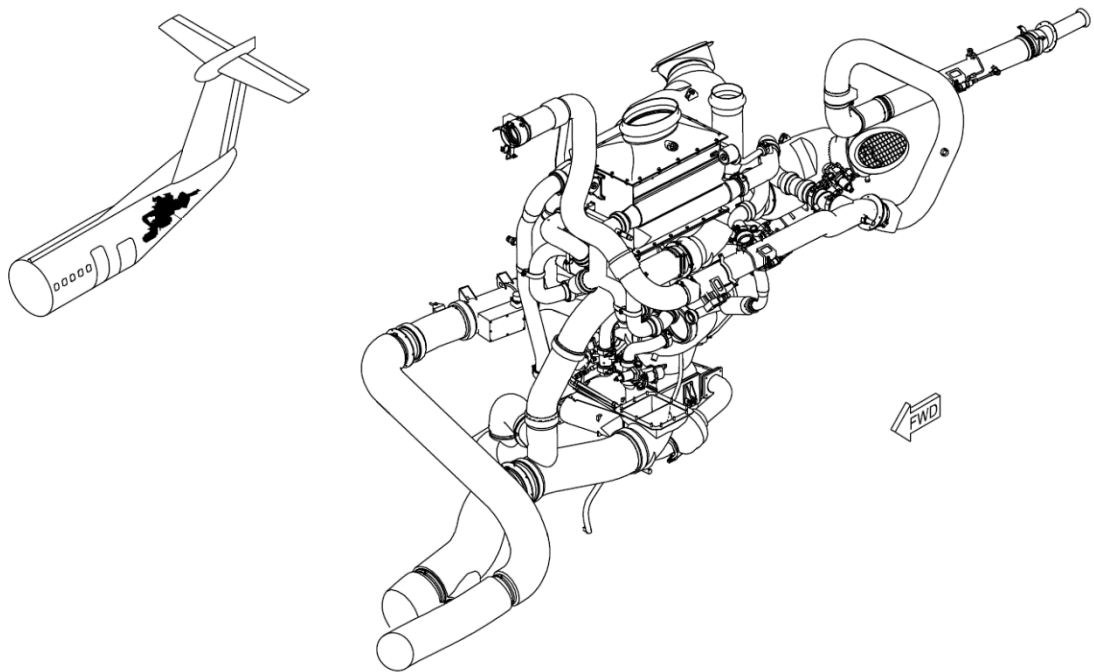
Slika 2: Podjela prema ATA 100
Izvor: [6]

4.1. Opće informacije o sustavu klimatizacije zrakoplova

Sustav klimatizacije je jedan od ključnih sustav u komercijalnim zrakoplovima, izravno je povezan s kokpitom zrakoplova, putničkom kabinom i teretnim prostorom. Onečišćenja poput čestica, prašine i pijeska u atmosferi su identificirani kao primarni uzroci kvarova za sustav klimatizacije zrakoplova koji radi u otežanim atmosferskim uvjetima. Zrakoplov koji radi u otežanim atmosferskim uvjetima obično ima veću stopu otkaza nego što

predvidi proizvođač zrakoplova. Kvarovi sustava klimatizacije su česti razlog za neplanirano održavanje određene vrste flote zrakoplova koji lete uglavnom na domaćim rutama. Otkazi sustava mogu utjecati na sigurnost leta zrakoplova, ali također i na otpremu zrakoplova, uzrokovati kašnjenje letova ili čak otkazivanja, što može rezultirati financijskim gubicima zrakoplovne kompanije.

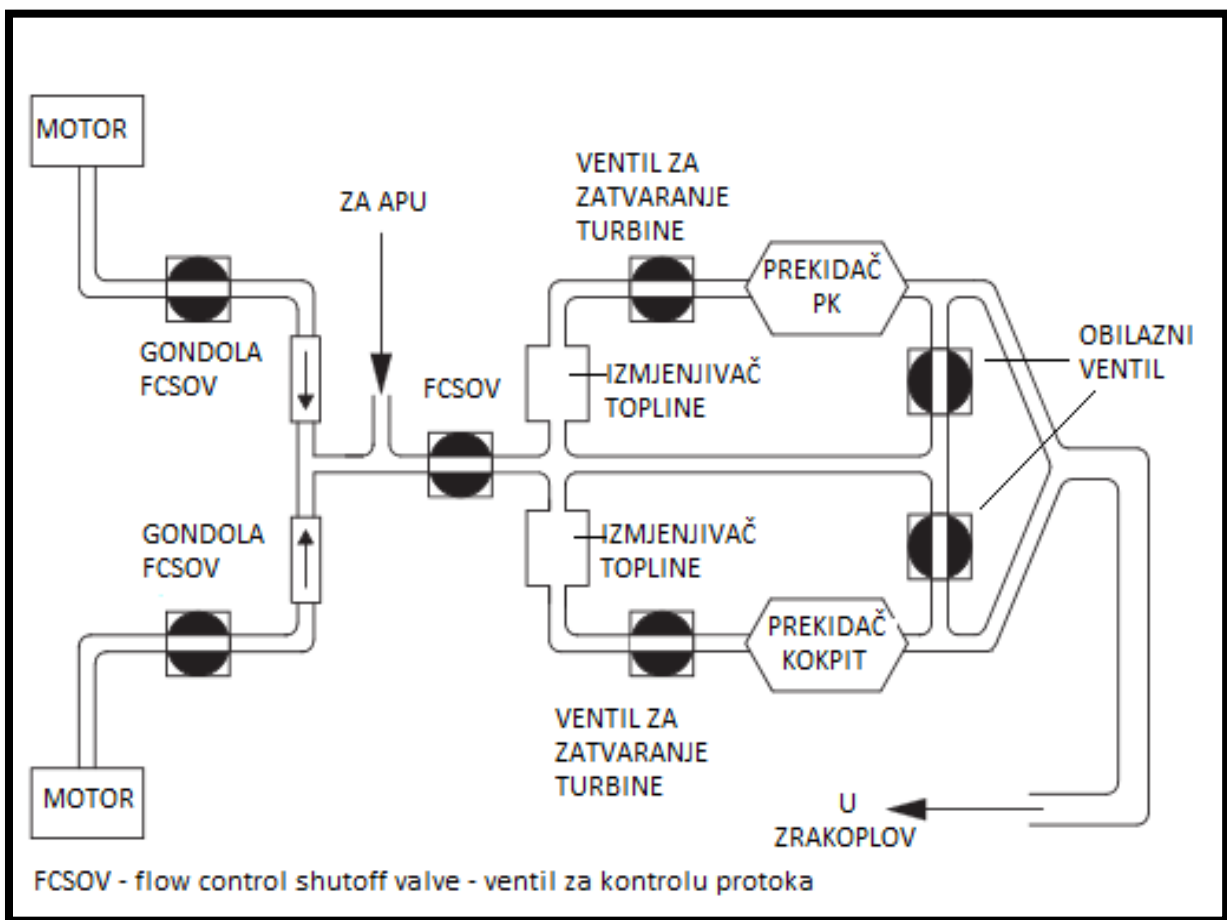
ATA 21 opisuje sustav klimatizacije zrakoplova. Klimatizacijski sustav je smješten u stražnjem dijelu trupa i predstavlja kompleksan sustav sastavljen od velikog broja međuzavisnih komponenata (Slika 3). Sustav se sastoji od brojnih filtera, cijevi, ventila, prekidača, senzora te kompresora zraka, jedinice za zaštitu okoline, ventilatora, izmjenjivača topline, itd. Svaka komponenta se mora održavati na propisan način kako bi funkcionirao cijeli sustav klimatizacije.



Slika 3: Prikaz komponenata sustava klimatizacije i njegovog položaja na zrakoplovu
Izvor: Aircraft Maintenance Manual – System Description, Dash 8 – Q400

Sustav za klimatizaciju ima funkciju upravljanja unutarnjom okolinom zrakoplova za letačku posadu, putnike, teret i opremu. Sustav klimatizacije distribuira klimatizirani zrak kroz pilotsku kabinu i putnički prostor u svrhu grijanja, hlađenja, ventilacije i prešurizacije. Iz toga proizlaze osnovni podsustavi, a to su distribucijski podsustav, podsustav za regulaciju prešurizacije, podsustav za hlađenje opreme, podsustav za reguliranje temperature, grijanje i hlađenje. Uzima zrak od motora ili pomoćne jedinice za napajanje (*Auxiliary Power Unit* –

APU) kako bi se klimatizirani zrak distribuirao u putnički i pilotski prostor. Glavna uloga rashladnog podsustava je kontrolirati količinu zraka koja ulazi u podsustav, ukloniti toplinu iz zraka koja ulazi i kontrolirati izlaznu temperaturu i vlagu. Rashladni sustav koristi ove komponente za hlađenje zraka za ispuštanje: ventil za kontrolu protoka (*Flow Control Shutoff Valve* - FCSOV), primarni izmjenjivač topline, cirkulator zraka, sekundarni izmjenjivač topline i sustav zračnog protoka zraka. Dio za cirkulaciju zraka integriran je s jednim primarnim izmjenjivačem topline i jednim sekundarnim izmjenjivačem topline. Nalazi se u stražnjem trupu i hladi zrak koji dolazi od motora ili APU-a. Slika 4 prikazuje shematski prikaz procesa klimatizacije zraka od motora do upuhivanja u putnički prostor i kokpit. [8]



Slika 4: Shematski prikaz procesa sustava klimatizacije
Izvor: [8]

Protok zraka kroz FCSOV ulazi u primarni izmjenjivač topline, gdje se vrući zrak miješa s hladnim zrakom koji je kontroliran sustavom zračnog protoka zraka. Zatim se zrak ohladi do kompresora gdje se komprimira i temperatura opet raste. Dalje, zrak cirkulira kroz sekundarni izmjenjivač topline za dodatno hlađenje. Obradeni hladni zrak prolazi kroz

separator vode i kondenzator. Kondenzator skuplja i uklanja vlagu iz zraka prije nego što ulazi u distribucijski sustav. Obradeni hladni zrak se zatim kombinira s vrućim zrakom u razdjelniku za miješanje, koji se zatim raspoređuje kroz lijevu i desnu stranu bočnih zidova do putničke kabine i palube letenja. [9]

Složeni zrakoplovni sustavi, poput sustava za klimatizaciju, obično se sastoje od velikog broja komponenti koje su usko povezane jedna s drugom, što otežava praćenje sustava. Ograničen broj senzora na sustavu klimatizacije pruža malo informacija o stanju, što predstavlja vrlo izazovnu zadaću. Prema literaturi [9] izmjenjivač topline je kritična komponenta klimatizacijskog sustava koja izravno određuje njegovu učinkovitost. Stoga je potrebno pronaći rješenje radi smanjenja neplaniranog održavanja zbog kvarova izmjenjivača topline.

4.2. Program održavanja sustava klimatizacije

MPD dokument daje pregled svih zadataka koje je potrebno obaviti na zrakoplovnim sustavima i komponentama te intervale u kojima je potrebno izvršiti zadatke kako bi se osigurala kontinuirana plovidbenost zrakoplova. Program održavanja zrakoplova Dash 8 – Q400 ovog zračnog prijevoznika sadrži zadatke te njihove rasporede i učestalost za sustav klimatizacije definirane MPD-om. Zadaci koji se trebaju obaviti na komponenti mogu biti opća vizualna provjera, detaljna provjera, detaljna vizualna provjera, posebna detaljna provjera, vizualna provjera, funkcionalna provjera, operativna provjera, podmazivanje, servisiranje, obnova ili odbacivanje. Opći vizualni pregled svake zone zrakoplova, definiran je pristupom i područjem, za provjeru sustava, pogonske grupe i strukture u svrhu sigurnosti i općeg stanja. [10]

Za svaku komponentu sustava klimatizacije je opisan zadatak koji se mora izvršiti i u kojem intervalu.

Odbacivanje, odnosno uklanjanje komponente iz sustava nakon određenog perioda je propisano za sve filtere koje sadrži sustav za klimatizaciju. Zadatak za otkrivanje otkaza i utvrđivanje da komponenta ispunjava svoju namjeravanu svrhu je operativna provjera. Operativna provjera se vrši za provjeru jedinice za zaštitu okoline, raznih ventila, ventilatora za hlađenje avionike, provjera prešurizacije kod automatskog i manualnog načina rada. [10]

Opća vizualna provjera je vizualni pregled unutarnjeg ili vanjskog prostora, instalacije ili montaže za otkrivanje očite štete, otkaza ili nepravilnosti. Zrcalo može biti neophodno za poboljšanje vizualnog pristupa svim izloženim površinama u inspekcijskom području. Ta se razina provodi pod uobičajenim uvjetima osvjetljenja kao što su dnevna svjetlost, osvjetljenje hangara, svjetiljka ili svjetlosna lampica i mogu zahtijevati uklanjanje ili otvaranje pristupnih ploča ili vrata. Mogu se zahtijevati stalci, ljestve ili platforme za postizanje blizine područja koja se provjerava. Osnovno čišćenje može biti potrebno kako bi se osigurala prikladna vidljivost. Takav pregled se obavlja za provjeru ispravnosti sustava za hlađenje zraka u zrakoplovu. Funkcionalna provjera je zapravo kvantitativna provjera temeljem koje se utvrđuje ispunjava li komponenta svoje funkcije u određenim okvirima. Funkcionalnom provjerom se provjeravaju sigurnosni ventili za kontrolu prešurizacije, funkcije prekidača temperature, te provjera temperaturnog senzora izlaznog kompresora. Servisiranje za potrebe održavanja svojstava, odnosno čišćenje je predviđeno za komponente poput filtera ventila, ventila i mlaznica. [10]

Izmjenjivač topline je jedina komponenta u sustavu za klimatizaciju koja se mora obnavljati, odnosno, potrebno mu je vratiti ispravnost nakon određenog intervala. Osim obnove, za ovu komponentu je definirana i detaljna provjera koja se može definirati kao intenzivan pregled određene stavke, instalacije ili montaže za otkrivanje oštećenja, neuspjeha ili nepravilnosti, može se zahtijevati čišćenje površine, a potrebna su pomagala kao što su ogledala, povećala, itd.

4.3. Održavanje komponente izmjenjivač topline

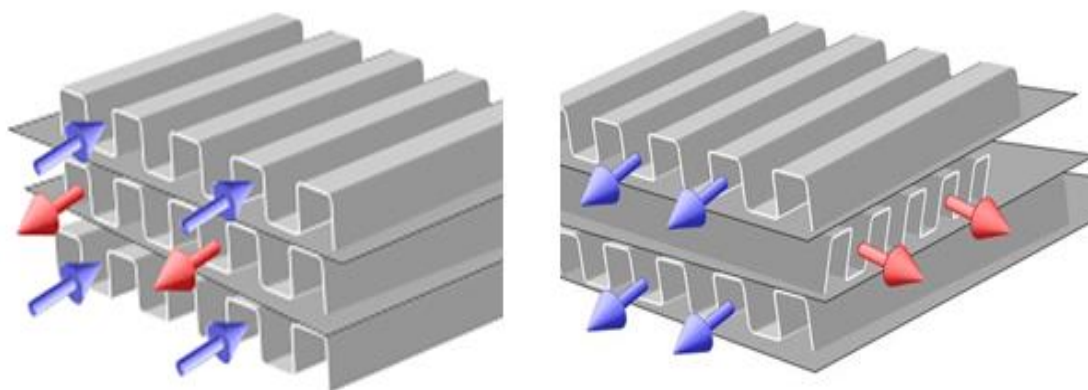
Sustav klimatizacije zrakoplova je kritični sustav koji osigurava odgovarajuće uvjete okoline kako bi se osigurao siguran prijevoz putnika i opreme zrakoplova, a izmjenjivač topline je njegova kritična komponenta, koja ako ima pravovremen interval održavanja smanjit će gubitke nastale zbog neplaniranog održavanja.

Predmetni zračni prijevoznik, koji je ujedno i ovlaštena organizacija za održavanje, ima u svojoj floti 6 zrakoplova Dash 8 – Q400 koji najčešće opslužuju domaće letove. Razlog zbog kojeg su zrakoplovi Dash 8 – Q400 uglavnom na tuzemnim letovima je što imaju kraći dolet od ostalih tipova zrakoplova (Airbus A320 i A319) koje prijevoznik ima u floti. Kao što

je već navedeno, uslijed čestih letova na domaćim rutama dolazi do neplaniranog održavanja zbog kvara na klimatizacijskom sustavu. Uslijed tuzemnih letova se većina operacija zrakoplova vrši u blizini gradova, u gradovima je veća koncentracija onečišćenog zraka koja može prouzročiti kvar sustava. Takvi zrakoplovi imaju veću stopu otkaza sustava nego što je predvidio proizvođač zrakoplova te intervali zamjene dani MPD dokumentom ne odgovaraju odabranom zračnom prijevozniku, odnosno izmjenjivač topline odlazi na održavanje prije nego što bi trebao prema MPD dokumentu. U praksi se izmjenjivač topline kvari prije isteka radnog vijeka te za odabranog zračnog prijevoznika je potrebno prilagoditi program održavanja tako da se održavanje obavlja ranije, tj. da interval bude kraći.

4.3.1. Opis komponente izmjenjivač topline

Tip izmjenjivača topline kakav je implementiran u klimatizacijskom sustavu zrakoplova Dash 8 – Q400 je vrsta izmjenjivača topline koja koristi aluminijske ploče i rebraste komore za prijenos topline između fluida, izrađen je od pričvršćenih prolaza koji su odvojeni ravnim pločama i imaju jedinstven interni uzorak kako bi se povećao prijenos topline. Oni nude najbolji omjer performanse i mase. Osim aluminijske, ostali materijali od kojih se izrađuju izmjenjivači topline su bakar, nehrđajući čelik, legure nikla i ugljični čelik. U klimatizacijskom sustavu su dva izmjenjivača topline, primarni izmjenjivač topline hladi zrak koji ulazi u sustav, a sekundarni hladi zrak iz kompresora za cirkulaciju zraka. Primarni izmjenjivač topline ima unakrsni protok toplog i hladnog zraka, a kod sekundarnog hladni zrak ima suprotni smjer od toplog (Slika 5). Dvostruki izmjenjivač topline montiran je između ulaznog kanala za dovod zraka i kućišta difuzora ulaznog ventila.



Slika 5: Prikaz protoka zraka kod primarnog (desno) i sekundarnog (lijevo) izmjenjivača topline

Izvor: <http://thisisecs.com/blog/2008/11/04/heat-transfer/>, 20.08.2018.

U izmjenjivaču topline koji se koristi u komercijalnom zrakoplovu, dva korištena medija su topli zrak koji dolazi iz motora i hladan zrak koji dolazi izvana. Dva strujanja zraka koja prolaze u odvojenim krugovima kroz okomite i paralelne aluminijske ploče čine središnji dio izmjenjivača topline. Miješanjem adekvatnih proporcija tih protoka zraka moguće je kontrolirati temperaturu zraka kabine te je povećati ili smanjiti na željenu razinu.

4.3.2. Princip i problemi održavanja izmjenjivača topline

Izmjenjivači topline su jednostavni, pasivni uređaji koji prenose toplinu između dva različita fluida. U zrakoplovu se koriste za apsorpciju i uklanjanje topline. Doživljavaju naporne i ekstremne radne uvjete tijekom rada. Zadatak proizvođača je u MPD-u dati procjenu mehaničkog integriteta i trajanja životnog vijeka izmjenjivača topline.

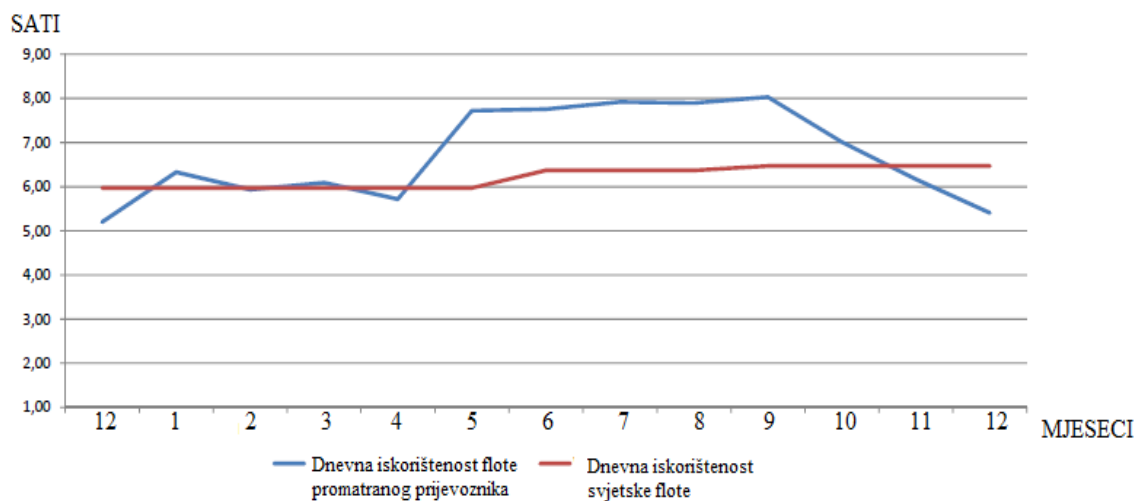
Program održavanja zračnog prijevoznika je temeljen na MPD dokumentu, odnosno zadaci i intervali održavanja su preuzeti iz MPD-a. Za izmjenjivač topline su definirani zadaci obnove i detaljnog pregleda. Bitno je napomenuti da ova komponenta ima „prag“ za prvu obnovu (eng. „*Threshold*“) i interval za ponovne obnove. To znači da ima inicijalno izvršenje određenog zadatka za održavanje izraženo u satima leta i / ili mjesečno i ima interval između uzastopnih odrađenih zadatka za održavanje izraženih u satima leta i / ili mjesečno.

Prema MPD-u [10] zadaci i intervali za izmjenjivač topline su:

- „Prag“ za prvu obnovu: 18000 FH ili 180 MO;
- Interval ponovne obnove: 6000 FH ili 60 MO;
- Detaljna provjera indikacije kvara kod „praga“ za prvu provjeru: 12000 FH ili 120 MO;
- Interval ponovne detaljne provjere: 3000 FH ili 30 MO.

Prema programu održavanja promatranog zračnog prijevoznika zadaci i intervali održavanja za komponentu izmjenjivač topline su jednaki kao i oni definirani MPD-om.

Intervali održavanja za tu komponentu su dani u FH i MO jedinicama, međutim promatrani operater nema jednaku iskorištenost zrakoplova po FH jedinicama kao i operater iz zadanog MPD-a te nemaju jednak omjer FH/MO, stoga će u nastavku biti intervali izraženi samo u FH jedinicama. Promatrani zračni prijevoznik ima prosječnu godišnju stopu iskorištenosti zrakoplova od 2400 FH. Prosječna dnevna iskorištenost zrakoplova definira se kao ukupan broj sati leta zrakoplova u razdoblju od jednog mjeseca svedeno na dnevnu bazu. Grafikon 1 prikazuje prosječnu dnevnu iskorištenost flote zrakoplova promatranog zračnog prijevoznika u odnosu na dnevnu iskorištenost svjetske flote. Vidljiv je utjecaj sezonalnosti, odnosno značajan porast prosječne iskorištenosti zrakoplova u odnosu na ostale mjesece te u tom periodu ima veću prosječnu iskorištenost zrakoplova u odnosu na prosječnu svjetsku iskorištenost zrakoplova. Podaci se odnose na razdoblje od 1. prosinca 2017. do 31. prosinca 2018.



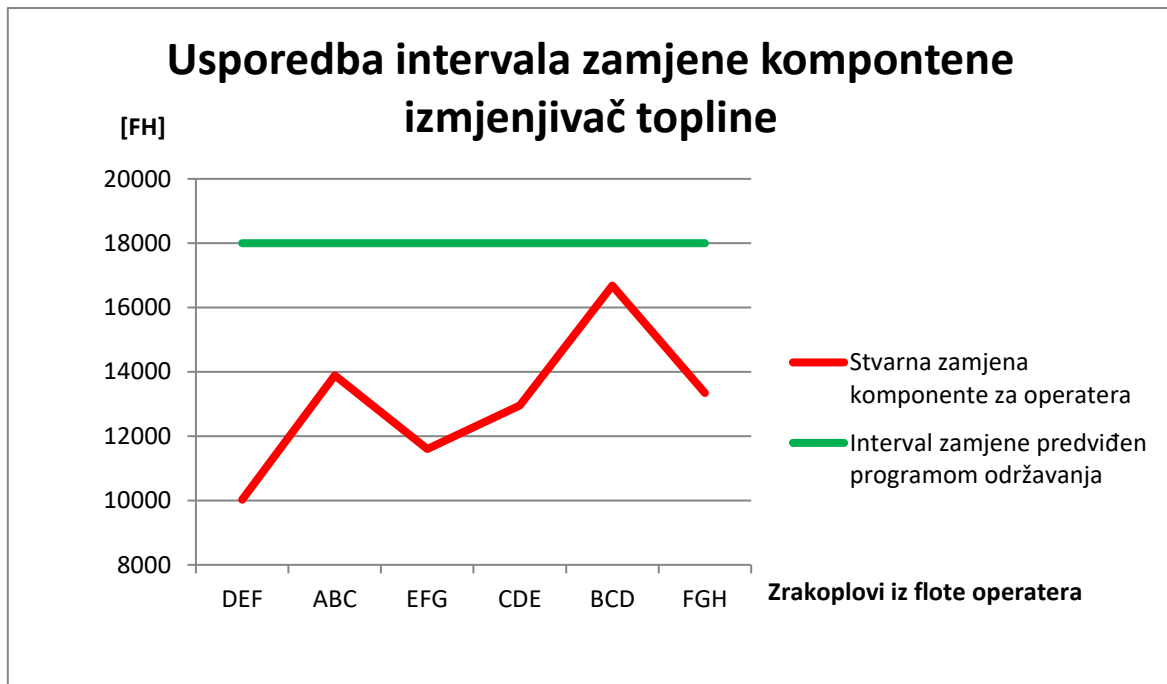
Grafikon 1: Prosječna dnevna iskorištenost flote zračnog prijevoznika i svjetske flote

Izvor: [11]

Stvarni podaci o zamjenama izmjenjivača topline dobiveni od promatranog zračnog prijevoznika za flotu zrakoplova Dash 8 – Q400 dani su u tablici 1, a grafički prikaz podataka zamjene vidljiv je grafikonom 2. Svakom zrakoplovu iz flote je dodijeljen kod (A, B, C, D, E, F). Prema podacima prikazanim u tablici vidljivo je da zrakoplovi iz flote odabranog prijevoznika obavljaju prvu zamjenu komponente prije nego što je to definirano MPD-om, odnosno programom održavanja, zbog čega dolazi do neplaniranog održavanja te komponente. U nastavku rada fokus će biti na pronalaženju boljeg intervala za prvu zamjenu komponente, jer je iz prikazanih podataka je vidljivo da je za odabranog zračnog prijevoznika potreban kraći interval za prvu obnovu komponente.

Tablica 1: Usporedba podataka „Thresholda“ od odabranog prijevoznika i iz MPD-a

Zrakoplovi iz flote operatera	„Threshold“	
	Podaci od odabranog operatera	Prema MPD-u
D	10026 FH	18000 FH
A	13889 FH	18000 FH
E	11607 FH	18000 FH
C	12957 FH	18000 FH
B	16683 FH	18000 FH
F	13341 FH	18000 FH

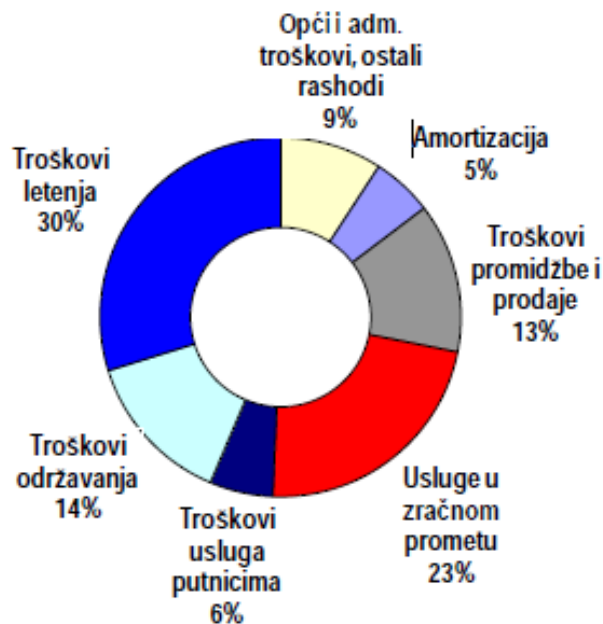


Grafikon 2: Usporedba predviđenog i stvarnog intervala zamjene komponente izmjenjivač topline

„Prag“ za prvu obnovu definiran u MPD-u vrijedi za program održavanja određenog regionalnog operatera. Planirane zadaće u MPD-u ne treba smatrati sveobuhvatnim. Svaki zračni prijevoznik ima konačnu odgovornost za sadržaj svog planiranog programa održavanja te mora pratiti učinkovitost programa održavanja zrakoplova. Program održavanja odražava uvjete operacija zrakoplova. Zadaci i intervali mogu se promijeniti na temelju zadovoljavajućeg dokazivanja zračnog prijevoznika te pregled i odobrenje od strane nadležnog regulatornog tijela ili u skladu s odobrenim programom pouzdanosti zračnog prijevoznika. [10] Kako program održavanja odražava uvjete operacija zrakoplova, svi zadaci i intervali zadani MPD-om ne mogu biti primjenjivi na sve zrakoplove. Zbog različitih uvjeta operacija zrakoplova došlo je do odstupanja od „praga“ za prvu obnovu definiranog MPD-om i stvarnih podataka o prvoj obnovi komponente izmjenjivač topline promatranog zračnog prijevoznika. Uvjeti koji mogu utjecati na klimatizacijski sustav zrakoplova, pa time i na komponente klimatizacijskog sustava su meteorološke prilike, visina krstarenja, temperatura i gustoća zraka, duljina leta, onečišćenost zraka (npr. čestice, smog, prašina u atmosferi), i slično.

5. METODE I MODELI ZA ODREĐIVANJE INTERVALA PREVENTIVNE ZAMJENE KOMPONENTE ZRAKOPLOVA

Intervali održavanja su parametri postavljeni prema različitim kriterijima, a uglavnom ovise o predvidivosti otkaza i otkrivanju oštećenja. Stoga se komponente zrakoplova održavaju prema zatečenom stanju ili po određenom fiksnom intervalu. Zadaci održavanja i popravka bez kvalitetnog planiranja mogu biti skupi i dovesti do produženog vremena održavanja, smanjene dostupnosti i eventualnog otkaza ili kašnjenja leta. Kašnjenja, a pogotovu ako su povezana s kvarovima, negativno utječu i na zračne prijevoznike i na putnike. Prijevoznici održavanje gledaju kao nametnuti trošak koji bi trebao biti minimiziran. Održavanje je i jedan od alata za osiguravanje zadovoljavajuće pouzdanosti sustava, odnosno važan je dio rada bilo kojeg sustava, a troškovi održavanja zauzimaju značajan udio u ukupnim operativnim troškovima. Kod promatranog prijevoznika za cjelokupnu flotu zrakoplova, troškovi održavanja čine 14% od ukupnih operativnih troškova. Veći udio u ukupnim troškovima imaju troškovi letenja (30%) i usluge u zračnom prometu (23%), struktura troškova detaljnije je prikaza slikom 6.



Slika 6: Struktura operativnih troškova promatranog zračnog prijevoznika
Izvor: Godišnje izvješće predmetnog zračnog prijevoznika za 2017. godinu

Optimalni intervali održavanja zrakoplova mogu utjecati na razinu troškova održavanja. Ako su Programom održavanja definirani pravovremeni intervali, neplanirano održavanje se svodi na minimum (izuzetak su izvanredni događaji na koje je nemoguće utjecati), što dovodi do reduciranja troškova održavanja. Za prilagođavanje intervala preventivne zamjene stvarnim događajima u praksi potrebno je prikupljanje i analiziranje relevantnih podataka, a zatim pomoću odgovarajućih metoda i modela se procjenjuju buduće ponašanje komponenti ili sustava, na temelju kojih se donosi zaključak.

Komponenta sustava za klimatizaciju koja se promatra u radu, tj. izmjenjivač topline, se održava prema unaprijed definiranom fiksnom intervalu koji je definiran u Programu održavanja. Fiksni interval održavanja znači da se radi o preventivnom načinu održavanja kod kojeg se unaprijed određuje interval obavljanja zadataka na temelju statistike i/ili poznavanja povijesnih podataka. Preventivno održavanje se temelji na broju sati rada, odnosno vezano je uz broj sati naleta, broj ciklusa, broj slijetanja ili kalendarski (dnevno, tjedno, mjesečno,...). Općenito se može definirati kao radnje izvršene u određenim intervalima koje sprječavaju degradaciju komponente ili opreme s ciljem produljenja korisnog životnog vijeka sustava. Obavljanjem preventivnog održavanja produžuje se vijek trajanja komponenti i sustava. Međutim, preventivno održavanje može biti skupo ako se otkaz dogodi prije definiranog intervala za održavanje.

Jedna od glavnih metoda rješavanja problema je eksperimentiranje. Međutim, kada je to neizvedivo, moraju se rješavati na neki drugi način. Jedno rješenje za proučavanje takvog problema temeljito je podijeliti na manje probleme i stvoriti izvedive modele koji mogu omogućiti rješenje i analizu. Svaki objekt ili proces je potrebno proučiti kako bi se stvorila pretpostavka o funkcioniranju objekta ili procesa. Te pretpostavke, koje obično imaju oblik matematičke ili logičke veze, predstavljaju model koji se koristi za dobivanje uzorka o ponašanju objekta ili procesa. Ako su uzorci dovoljno jednostavni, moguće je koristiti matematičke, statističke i grafičke metode za rješavanje određenih problema. Za složene uzorke potrebna je detaljnija analiza i simulacija kako bi se došlo do zaključka. Kao tehnika, simulacija je jedna od najčešće korištenih u istraživanju operacija i znanosti. [12]

5.1. Matematičke metode

Kao i svaka metoda, i matematičke metode predstavljaju pojednostavljenu sliku promatranog realnog sustava. Može se reći da je matematička metoda skup matematičkih relacija kojima su opisane veze između pojedinih fizičkih veličina u promatranom sustavu.

U tijeku eksploatacije javljaju se dva stanja sredstva, a to su „u radu“ i „u otkazu“. Za vrijeme stanja „u otkazu“ sredstva, odnosno bilo koje komponente ili sustava, adekvatno osoblje popravlja sredstvo kako bi se vratilo u stanje „u radu“, ovakav princip vrijedi za sredstva koja su popravljiva. Za nepopravljiva sredstva se u slučaju otkaza sredstvo zamjenjuje novim. Otkaz predstavlja događaj poslije kojeg sredstvo ne može izvršavati svoju funkciju, odnosno poslije kojega ne može na propisan način izvršavati svoju funkciju. To znači da otkaz ne mora značiti potpuni kvar, koji onemogućava rad sredstva, već i svaki događaj koji dovodi do nepropisnog, odnosno nekvalitetnog ili nesigurnog rada, izvan nekih postavljenih ili propisanih granica. Vjerojatnost da će sredstvo izvršiti zadanu funkciju u zadanim uvjetima i tijekom zadanog vremena je pouzdanost $R(t)$ sredstva. Komplementarna funkcija pouzdanosti je nepouzdanost $F(t)$, odnosno vjerojatnost otkaza sredstva.[1]

Glavni cilj izvješća o pouzdanosti je pružiti dovoljno argumenata za pregled i poboljšanje dijelova programa održavanja zrakoplova bez ugrožavanja sigurnosti. Izvješća mogu biti u raznim oblicima, ali obvezni sadržaj je standardiziran. Prema EASA-i izvješća za razvoj i optimizaciju intervala održavanja trebala bi uključivati: [13]

- Starost zrakoplova;
- Primijenjeni interval zadatka;
- Analiza stvarnog intervala zadatka;
- Podaci o komponentama (uspješno i neuspješno popravljanje komponente);
- Procjena iskorištenosti zrakoplova;
- Analiza planiranog održavanja;
- Analiza neplaniranog održavanja;
- Četveroznamenasti ATA kod;
- Serijski broj zrakoplova.

5.1.1. MTBF, MTTF i MTBUR

Izrazi koji se najčešće koriste u optimiranju intervala održavanja su srednje vrijeme između otkaza (*Mean Time Between Failure* - MTBF), srednje vrijeme do otkaza (*Mean Time To Failure* – MTTF) i srednje vrijeme između neplaniranih zamjena (*Mean Time Between Unscheduled Removals* – MTBUR). Sva tri izraza se računaju temeljem podataka prikupljenih operativnim mjerenjem. Najčešće se koriste jer su relativno jednostavni izrazi koji ne zahtijevaju veliku količinu podataka, već su potrebni podaci samo o otkazima, a ti podaci su obično dostupni. MTTF i MTBF govore u kojem periodu će se dogoditi značajan broj otkaza, a MTBUR ukazuje na periode u kojima dolazi do neplaniranih zamjena što može biti korisno prilikom utvrđivanja preventivnog intervala zamjene komponenti. [16]

MTBF je izraz koji se najčešće koristi za izračun intervala kod elemenata koji se mogu popravljati. MTBF se računa kao omjer ukupnog broja sati leta za sve zrakoplove istog tipa (Tri) i ukupnog broja neuspjeha (n).

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

MTTF je izraz koji definira srednje vrijeme do otkaza, odnosno koristi se za sredstva koja se ne popravljaju. Statistička vrijednost MTTF-a se može dobiti formulom:

$$(2) \quad MTTF = \frac{\sum_{i=1}^n Tri}{n}$$

gdje je:

n – broj sredstva koji se promatra,

Tri – vrijeme rada do otkaza i -tog sredstva.

MTBUR je podatak koji pokazuje srednju vrijednost komponenta koje su otkazale prije očekivanog perioda. MTBUR se dobije omjerom ukupnih radnih sati (Tri) i broja neplaniranih otkaza tijekom tog razdoblja (n). Ako su sve zamjene zbog neplaniranog otkaza komponente, MTBUR je jednak MTBF-u, što u praksi ne bi trebao biti slučaj.

Pouzdanost se u praksi najviše opisuje preko intenziteta otkaza $\lambda(t)$. $\lambda(t)$ je gustoća vjerojatnosti otkaza elementa u trenutku t , pod uvjetom da do toga trenutka element nije

otkazao ili drugačije rečeno: to je uvjetna gustoća vjerojatnosti da će element koji se nije nalazio u stanju "u otkazu" do trenutka t , otkazati u narednom periodu. Intenzitet otkaza se najjednostavnije može izračunati kao omjer broja otkaza i ukupnog vremena sredstva u radu. [1]

Intenzitet otkaza se može statistički odrediti praćenjem elemenata u eksploataciji prema formuli:

$$(3) \quad \lambda(t) = \frac{N(\Delta t)}{n(t) \cdot \Delta t}$$

gdje je:

$N(\Delta t)$ – broj otkazanih elemenata u intervalu Δt ,

$n(t)$ – broj ispravnih elemenata do trenutka t ,

Δt – trajanje vremenskog intervala.

Funkcija intenziteta otkaza govori o vjerojatnosti otkaza elementa u narednom razdoblju Δt , pod uvjetom da je element bio u stanju "u radu" do početka promatranog razdoblja. Intenzitet otkaza se može računati i kao prosječna vrijednost za duži period rada sredstva prema sljedećem: [1]

$$(4) \quad \lambda = \frac{\text{broj otkaza}}{\text{ukupno vrijeme u radu}}$$

Iz toga proizlazi:

$$(5) \quad MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

Ako je $\lambda = \text{const.}$, funkcija pouzdanosti $R(t)$ se računa:

$$(6) \quad R(t) = e^{-\lambda t}$$

5.1.2. Distribucijski modeli

Proces određivanje fiksnog intervala održavanja za određenu komponentu ili sustav započinje prikupljanjem podataka o otkazima. Analizom tih podataka dobivaju se karakteristike otkaza komponente ili sustava. U početnoj fazi je također potrebno odrediti

MTTF i intenzitet otkaza komponente ili sustava. Sljedeći korak ovisi o intenzitetu otkaza komponente ili sustava, u slučaju ako komponenta ili sustav imaju povećanje intenziteta otkaza proces se nastavlja. Zatim, potrebno je utvrditi politiku održavanja koje će pronaći optimum između raspoloživosti i sigurnosti komponente, a time i cijelog zrakoplova, uzimajući u obzir troškove održavanja. Drugim riječima, za pronalaženje optimalnog intervala preventivnog održavanja komponente potrebno je pronaći optimalan omjer raspoloživosti, sigurnosti i troškova. Raspoloživost je vjerojatnost da sredstvo može započeti s izvršavanjem zadaće u trenutku kada zatreba. Na raspoloživost sredstva utječe pouzdanost i pogodnost za održavanje. Kako se prikupljeni podaci odnose isključivo na otkaze komponenti, u nastavku će se razmatrati samo pouzdanost sredstva kao komponenta raspoloživosti.

Distribucijski modeli koji se mogu koristiti obično transformiraju vrijednosti pomoću odgovarajuće funkcije, tako da transformirane vrijednosti odgovaraju poznatim distribucijskim modelima, najčešće normalnoj razdiobi.

Poznati distribucijski modeli koji se mogu koristiti za izračunavanje preventivnog intervala održavanja su: [17]

- Log-normalna distribucija;
- Weibull-ova distribucija;
- Normalna distribucija.

5.1.2.1. Log-normalna distribucija

Ovaj distribucijski model se najčešće koristi zbog jednostavne uporabe za ručne procjene. Mjerni rezultati se mogu premještati gore – dolje i/ili zrcalno reflektirati, log-normalna distribucija se koristi za funkcije ukošene lijevo ili desno. Drugim riječima, ovaj je model moguće primijeniti za opis distribucija s minimalnom ili maksimalnom granicom. Uobičajeni primjeri korištenja su mjerenja oblika i pozicija te u nekim slučajevima, debljina i tvrdoća. [18]

5.1.2.2. Weibull-ova distribucija

Weibull-ova distribucija je univerzalni model sa širokom lepezom aplikacija i to zahvaljujući matematičkim karakteristikama, kojima se prilagođava svim distribucijskim funkcijama. Glavna uporaba je za procjenu pouzdanosti i probleme u procjeni vijeka trajanja. U praksi se često koristi Weibull-ova funkcija raspodjele intenziteta otkaza. [15] Postoji troparametarska i dvoparametarska Weibull-ova raspodjela. Kod troparametarske Weibull-ove raspodjele intenziteta otkaza se računa prema: [1]

$$(7) \quad \lambda(t) = \frac{\beta}{\alpha} * (t - \gamma)^{\beta-1}$$

gdje je:

α - faktor skale,

β - faktor oblika,

γ - parametar zavisian od prvog otkaza.

Pouzdanost za troparametarsku raspodjelu je jednaka:

$$(8) \quad R(t) = e^{-\frac{(t-\gamma)^\beta}{\alpha}}$$

Pouzdanost dvoparametarske raspodjele se računa prema sljedećoj formuli:

$$(9) \quad R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$$

5.1.2.3. Normalna distribucija

Kako bi se dobila normalna distribucija moraju biti ispunjeni neki uvjeti kao što su postojanje velikog broja rezultata (kod malog broja mjerenja se u nekim slučajevima ne može dobiti normalna razdioba), sva mjerenja moraju biti provedena na isti način, skupina na kojoj se vrše mjerenja morala bi biti homogena po ostalim svojstvima, a heterogena po svojstvu

koje se mjeri. Matematički je definirana s dva parametra, odnosno s aritmetičkom sredinom i standardnom devijacijom. Potpuno je simetrična distribucija koja ima zvonolik oblik. [19]

5.2. Simulacijske metode

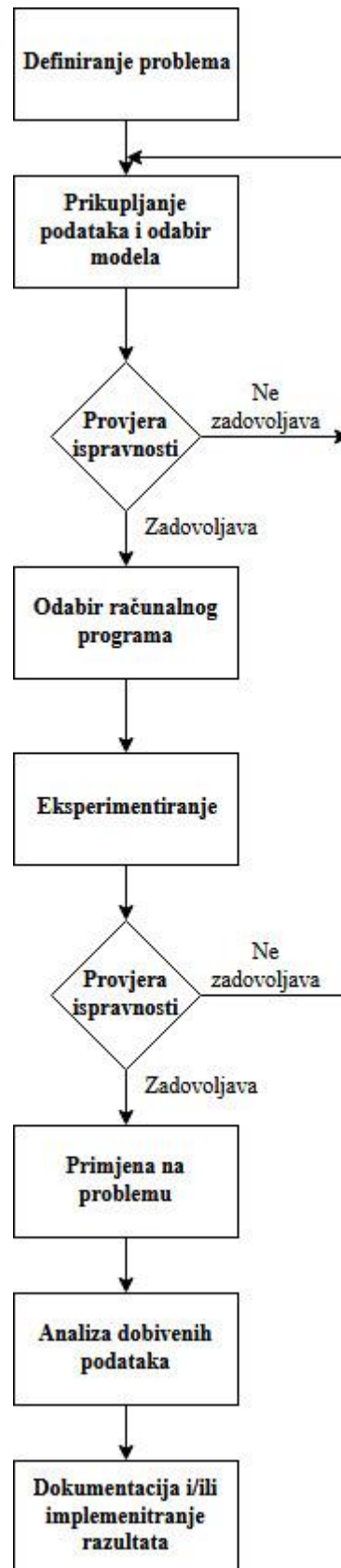
Svako istraživanje mora imati definirane opće ciljeve i specifična pitanja koja se trebaju riješiti, odnosno studija mora biti pomno isplanirana, a problem dobro formuliran. Slika 7 daje pregled koraka u simulacijskom modelu. U prvom koraku se definiraju problemi i određuju ciljevi simulacije te odabiru kriteriji za procjenu učinkovitosti. Prikupljanje što više informacija o predmetu interesa za određivanje operativnih postupaka i odabiranje modela raspodjele. Provjere i ocjene bi trebalo raditi nakon svakog koraka tijekom cijele simulacije, no ako to nije moguće, obavezna je nakon odabira modela te nakon eksperimentiranja. U fazi eksperimentiranja se analizira osjetljivost izlaznih podataka na manje promjene ulaznih parametara. Ako se potvrde sličnosti sustava iz prakse i eksperimentalnog sustava moguća je usporedba podataka, odnosno praćenje promjena prilikom uvrštavanja raznih ulaznih parametara. Ako se ustanovi da ne postoje sličnosti, proces se vraća na drugi korak, odnosno potrebno je prikupiti još podataka o sustavu ili odabrati neki drugi model. Prije koraka eksperimentiranja potrebno je odlučiti u kojem će se programskom jeziku raditi. U sedmom koraku se izvodi primjena na odabranom sustavu radi dobivanja podataka o izvedbi. Dobiveni podaci se analiziraju kako bi se ustvrdilo da je definirani problem na početku procesa uspješno riješen. Po završetku procesa, simulacija se dokumentira, odnosno dokumentiraju se ulazni parametri, korišteni računalni programi, modeli i doneseni zaključci. Rezultati simulacija koji se ne implementiraju vjerojatno nisu zadovoljili definirane kriterije s početka procesa, vrijedi i obrnuto. [12]

Vrste simulacija koje se koriste za rješavanje određenih problema, odnosno analiziranje sustava na temelju ulaznih parametara i reakcije sustava prilikom promjena parametara su: [12]

- Simulacija diskretnih događaja odnosi se na modeliranje sustava koji se tijekom vremena razvija prikazom u kojem se varijable trenutno mijenjaju u zasebnim vremenskim točkama. Vremenske točke su one na kojima dolazi do nekog događaja, gdje je događaj definiran kao trenutna pojava koja može

promijeniti stanje sustava. Iako se simulacija diskretnih događaja može konceptualno raditi ručnim izračunima, količina podataka koja se mora pohraniti i manipulirati za većinu sustava u stvarnom sustavu zahtijeva simulaciju diskretnih događaja na digitalnom računalu.

- Kontinuirana simulacija odnosi se na modeliranje sustava tijekom vremena prikazujući kontinuirane promjene varijabli u odnosu na vrijeme. Tipično, kontinuirani simulacijski modeli uključuju diferencijalne jednadžbe koje daju odnose za stope promjene stanja, varijable s vremenom. Ako su diferencijalne jednadžbe posebno jednostavne, mogu se riješiti analitički kako bi se dobile vrijednosti varijabli za sve vremenske vrijednosti kao funkciju vrijednosti varijabli u vremenu. Za većinu kontinuiranih modela analitička rješenja nisu moguća.
- Kombinirana diskretna kontinuirana simulacija se koristi kada je sustav nemoguće opisati samo kao diskretni ili samo kao kontinuirani. U tom slučaju se može pojaviti potreba za izgradnjom modela s aspektima oba simulacijska modela.
- Monte Carlo simulacija koristi slučajne brojeve, odnosno slučajne varijable za rješavanje određenih stohastičkih ili determinističkih problema u kojima vrijeme nema značajnu ulogu. Dakle, takve simulacije su statičke, a ne dinamičke.



Slika 7: Koraci u procesu simulacijskog modela
Izvor: [12]

5.3. Grafičke metode

Grafički je moguće prikazati samo funkcije koje su ovisne samo o jednoj ili o dvije varijable. U funkcijama s više od dvije varijable problem koji se ponekad javlja je postojanje više lokalnih optimuma kod nekih funkcija. Grafičke metode pogodne su za rješavanje problema s jednom varijablom. [20] U nastavku poglavlja će biti prikazan princip određivanja intervala temeljem oblika intenziteta otkaza te temeljem grafičkog prikaza usporedbe troškova održavanja.

5.3.1. Oblici intenziteta otkaza

Za rješavanje praktičnih problema najčešće se upotrebljava šest oblika promjene intenziteta otkaza (Slika 8). Preko intenziteta otkaza se može izračunati pouzdanost sustava i komponente te tako odrediti interval preventive zamjene. Također, važno je precizno definiranje korisnog životnog vijeka sredstva kako bi se mogao procijeniti interval zamjene komponente u svrhu prevencije većeg broja otkaza. [1]

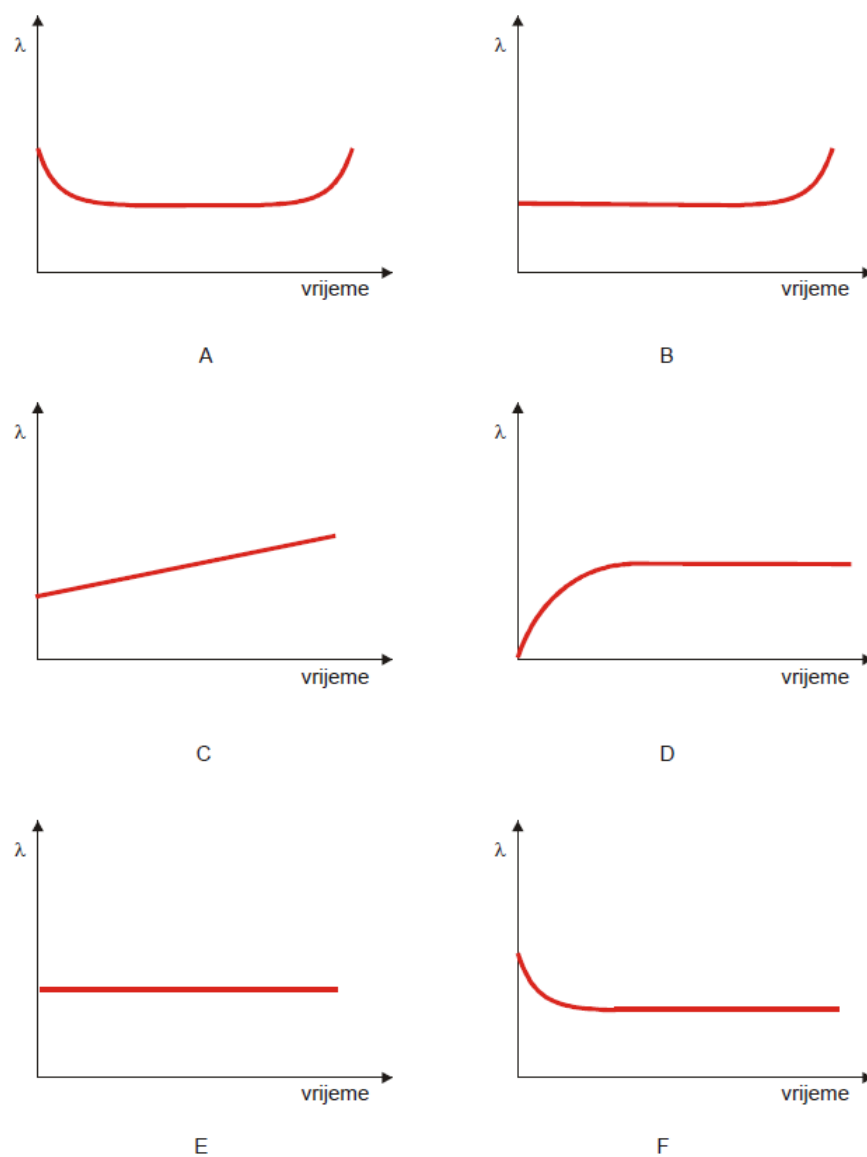
Kod A oblika je izražen veći broj otkaza u samim počecima rada te nakon određenog vremenskog perioda zbog starosti i istrošenosti materijala. Dakle ovaj oblik ima tri karakteristične faze. U prvoj fazi koja je razdoblje uhodavanja, otkazi se javljaju zbog grešaka u proizvodnji. Druga faza je korisni životni vijek sredstva, ponekad u ovoj fazi dolazi do slučajnih otkaza koje je teško izbjeći. U zadnjoj fazi do pojave otkaze dolazi zbog istrošenosti, zamora materijala, zbog gubitka svojstva materijala tijekom vremena i slično.

Razlika između A i B oblika je ta što kod B oblika nema pojave ranih otkaza zbog grešaka u proizvodnji. Ovakav oblik je okarakteriziran korisnim životnim vijekom sredstva (koje je najduži period) te otkazima koji se javljaju nakon izvjesnog vremena zbog istrošenosti i starosti materijala.

Za oblik C je karakteristično konstantno povećanje intenziteta otkaza. Sredstva koja su podložna zamoru materijala i zamor materijala im je glavni uzrok otkaza, poprimaju C oblik intenziteta otkaza.

Za oblike D i F su izražene promjene intenziteta otkaza u počecima eksploatacije sredstva, nakon toga intenzitet otkaza je konstantan. F oblik ima veći intenzitet otkaza na početku eksploatacije, a s vremenom se intenzitet smanjuje i postaje konstantan. D oblik ima značajan rast intenziteta otkaza u počecima rada te nakon dostizanje određene vrijednosti postaje konstantan, a daljnji otkazi su slučajni i teško predvidivi.

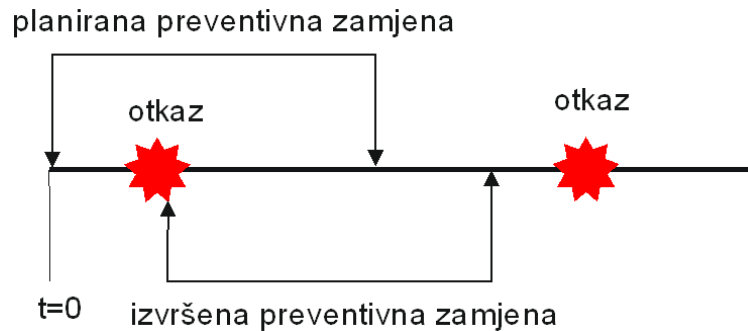
Oblik E ima konstantan intenzitet otkaza. Za ovaj slučaj je teško procijeniti trajanje nekog sredstva, odnosno pojavu otkaza. Kod sredstava čiji intenzitet otkaza poprimi ovakav oblik moguće je definirani MTBF, ali na temelju tog pokazatelja moguće je uspoređivati pouzdanosti dva sredstva sličnih svojstva.



Slika 8: Oblici intenziteta otkaza
Izvor: [1]

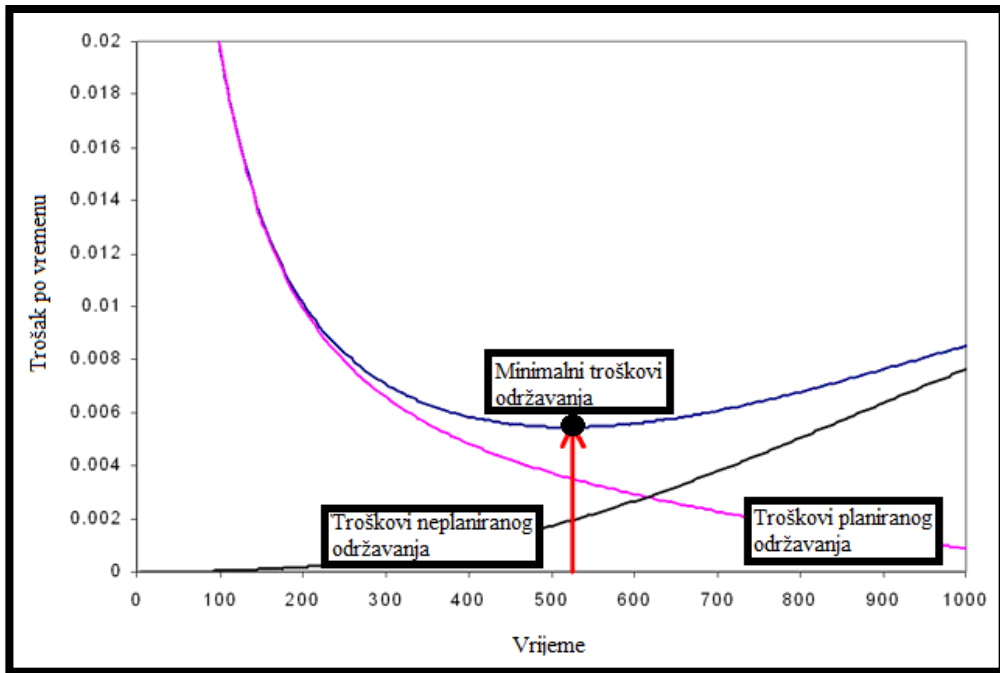
5.3.2. Troškovi održavanja preventivne zamjene komponente

Preventivno održavanje može imati značajan utjecaj na ukupne troškove održavanja. Ako je definirani interval održavanja komponente prekratak, troškovi održavanja mogu biti previsoki. Također, ako je definirani interval održavanja predug, odnosno ako se otkaz komponente događa prije definiranog intervala (Slika 9), troškovi održavanja su previsoki.



Slika 9: Primjer planirane zamjene i stvarne situacije
Izvor: [4]

Kako bi bilo isplativo provoditi preventivno održavanje komponente, stopa otkaza mora se povećavati tijekom vremena, a trošak planiranog održavanja mora biti manji od troškova neplaniranog održavanja. [14] Vremenski interval za obavljanje preventivnog održavanja trebao bi biti takav da se ukupni troškovi održavanja minimiziraju, kao što je prikazano na slici 10. Da bi se to postiglo, mora se pronaći vremenski interval koji minimizira funkciju troškova održavanja. Za minimiziranje troškova zamjene bitno je pronaći minimum funkcije ukupnih troškova zamjene, što znači pronaći točku u kojoj su troškovi planirane zamjene i troškovi neplanirane zamjene najmanji.



Slika 10: Trošak održavanja po jedinici vremena
Izvor: [14]

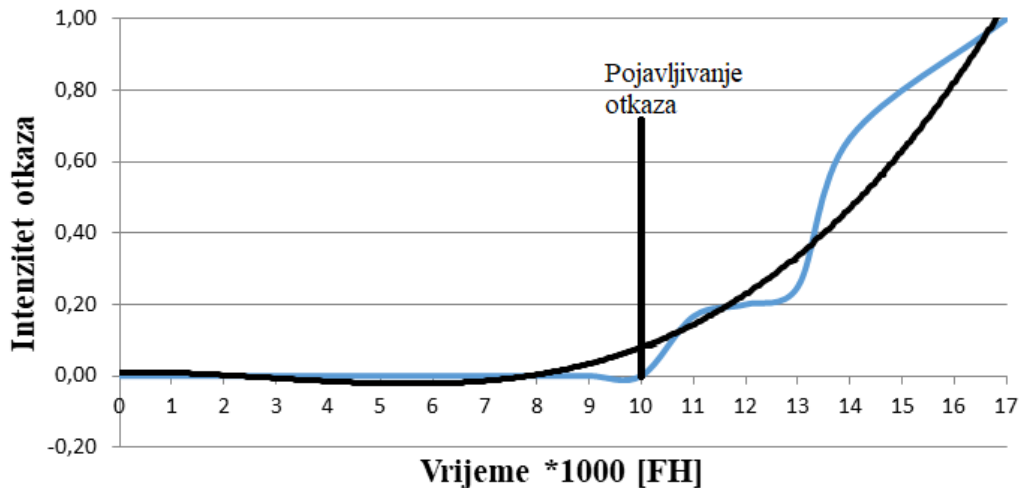
6. PRIJEDLOG INTERVALA ZAMJENE IZMJENJIVAČA TOPLINE IZ SUSTAVA ZA KLIMATIZACIJU ZRAKOPLOVA

Iz sustava za klimatizaciju zrakoplova komponenta izmjenjivač topline se održava prema unaprijed definiranom intervalu [5]. Kod takvog održavanja se nakon određenog perioda popravljaju ili zamjenjuju komponente kako bi se spriječila ili smanjila vjerojatnost funkcionalnog otkaza. Za takav princip preventivnog održavanja mora postojati jasno definiran vijek trajanja u kojem se vjerojatnost kvara brzo povećava. Za promatranu komponentu cilj je pronaći interval u kojem će se smanjiti broj neplaniranih otkaza.

Podaci o otkazima komponente prikazani tablicom 1. će se primijeniti na neke od prethodno definiranih metoda kako bi se izračunali potencijalni intervali „praga“ prve obnove. Temeljem toga moguće je definirati novi interval „praga“ prvog održavanja izmjenjivača topline za predmetnog zračnog prijevoznika.

6.1. Definiranje oblika intenziteta otkaza izmjenjivača topline

Grafički prikaz intenziteta otkaza izmjenjivača topline projicira promjenu intenziteta otkaza u promatranom vremenu. Prema podacima dobivenim od predmetnog zračnog prijevoznika prikazan je intenzitet otkaza komponente (plava boja) i trend intenziteta otkaza (crna boja) na grafikonu 3. Usporedivši izračunati oblik intenziteta otkaza temeljem prikupljenih podataka s oblicima intenziteta otkaza sa slike 8, vidi se da izračunati oblik odgovara B obliku. Pojava prvih otkaza javlja se na 10000 [FH], što se ujedno može nazvati i korisni životni vijek komponente. Ako se žele eliminirati gotovo svi neplanirani otkazi komponente, onda interval zamjene treba biti kraj korisnog životnog vijeka komponente. Za konkretan slučaj, „prag“ prve obnove komponente treba biti 10000 [FH]. Kod ovakvih otkaza moguće je odrediti sigurni životni vijek komponente, u tom periodu intenzitet otkaza je jednak nuli, a može se izračunati tako da se korisni životni vijek podijeli faktorom 3 ili 4.



Grafikon 3: Oblik intenziteta otkaza komponente izmjenjivač topline

6.2. Primjena MTBF-a i MTBUR-a za izračun potencijalnog intervala zamjene izmjenjivača topline

Ograničenje prve obnove se razmatra kao popravljivo sredstvo, iako nakon prve obnove sredstva dolazi do promjene intervala. Odnosno „threshold“ izmjenjivača topline će se računati MTBF metodom iako nakon tog intervala, svaki sljedeći je interval ponovne obnove koji je različit od „thresholda“. Kod predmetnog zračnog prijevoznika promatra se flota od šest zrakoplova istog tipa i otkaze komponente klimatizacije kod svakog zrakoplova. Uvrštavajući podatke u formulu (2) dobije se sljedeće:

$$MTBF = \frac{11607 + 13889 + 13341 + 10026 + 12957 + 16683}{6}$$

$$MTBF = \frac{78503}{6}$$

$$MTBF = 13083,83 \text{ FH} \approx 13084 \text{ [FH]}$$

U brojnik je uvršteno vrijeme rada do otkaza komponente svakog zrakoplova, a u nazivniku je broj otkaza. Prosječno vrijeme između otkaza izmjenjivača topline za cijelu flotu zrakoplova iznosi 13083,83 FH, to je vrijeme u kojem se pretpostavlja da će doći do značajnog broja otkaza. Nadalje, ako se želi spriječiti veći broj otkaza, zamjena se mora

obaviti prije izračunatog MTBF-a. Drugim riječima, moguća je pretpostavka da interval preventivnog održavanja treba biti manji od izračunatog MTBF-a. Kada se intenzitet otkaza opisuje oblikom B, a pouzdanost komponente utječe na sigurnost leta, utvrđivanje preventivne zamjene temeljem MTBF-a ne obećava visoku razinu sigurnosti. Za izračunavanje pouzdanosti komponente potrebno je znati MTBF ili intenzitet otkaza komponente. Intenzitet otkaza je recipročna vrijednost od MTBF-a. Kako bi dobili pouzdanost komponente s trenutnim intervalom zamjene koristit će se formula (6). Recipročna vrijednost MTBF-a uvrštena u formulu (6) rezultira pouzdanosti komponente izmjenjivača topline $R(18000)=0,25265$.

Ako se omjerom ukupnih radnih sati i broja neplaniranih otkaza tijekom tog razdoblja (MTBUR) dobije broj jednak izračunatom MTBF-u, znači da su sve zamjene bile obavljene prije predviđenog intervala. Za određivanje novog intervala može se zadati MTBUR koji se želi postići. Tablicom 2 je prikazan utjecaj „thresholda“ na broj neplaniranih zamjena te izračunati MTBUR za svaki potencijalni „prag“ prve obnove. Određivanjem prihvatljivog MTBUR-a može se definirati interval preventivne zamjene. Na primjer, ako je cilj intervala preventivnog održavanja osigurati MTBUR od 39000 onda interval zamjene mora biti svakih 12000 [FH].

Tablica 2: Utjecaj promjene "threshold-a" na MTBUR

"Threshold" [FH]	Neplanirani otkazi	MTBUR [FH]
10000	0	
11500	1	78503
12000	2	39252
13000	3	26168
14000	5	15701
18000	6	13084

6.3. Primjena Weibull-ove distribucije za određivanje potencijalnog intervala zamjene izmjenjivača topline

Od obrađenih distribucijskih modela u poglavlju 5.1.2., za izračun potencijalnog „praga“ prve obnove izmjenjivača topline primijenit će se Weibull-ova distribucija. Razlog odabira te distribucije je njena glavna primjena za procjene pouzdanosti i vijeka trajanja. Cilj je pronaći kvalitetan interval preventivnog održavanja temeljem podataka o prijašnjim otkazima. Weibull-ova raspodjela pomoću faktora skale i faktora oblika koji se mogu izračunati temeljem podataka o otkazima procjenjuje pouzdanost sustava za određeni interval održavanja.

Postupak za dobivanje faktora skale i faktora oblika temeljem prikupljenih podataka je temeljem sljedećih koraka [15]:

- Potrebno je posložiti podatke po veličini, od najmanjeg do najvećeg ili obrnuto, takvi podaci se zovu uređena statistika.
 - npr. 18, 21, 22, 25 ili 25, 22, 21, 18
- Zatim svakom podatku pridružiti rang, gdje najmanji podatak ima pridruženi rang 1, sljedeći 2, itd.
 - npr.

Podatak	Rang
18	1
21	2
22	3
25	4

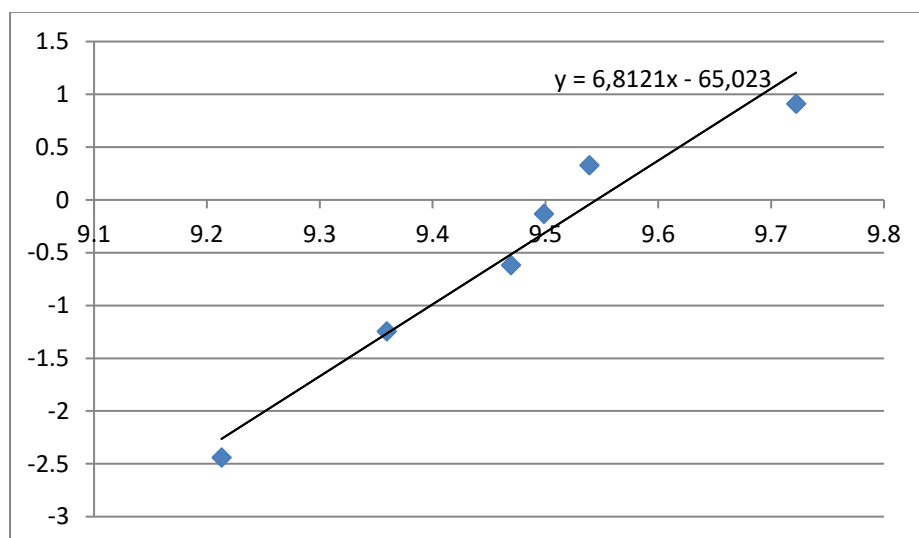
- Sljedeće je potrebno svakom rangju dodijeliti vjerojatnost. Najjednostavnije je vjerojatnost izračunati prema formuli:
 - $P = \frac{i-0,5}{n}$
 - gdje je i rang, a n ukupan broj podataka
 - npr. $P = (1 - 0,5)/4$; $P = 0,125$
- Izračunati prirodni logaritam od podatka ($\ln(18)$), ($\ln(21)$), ...
- Izračunati $\ln(-\ln(1-P))$ za svaki podatak, P su vjerojatnosti izračunate u 3. koraku

- Rezultati dobiveni u 4. koraku su x koordinate, a rezultati dobiveni u 5. koraku su y koordinate. Te točke je potrebno ucrtati i dobiti pravac linearne regresije ili pomoću programa za tablično računanje (Microsoft Office Excel) nacrtati graf i uključiti opciju trend.
- Nagib dobivenog pravca je faktor oblika, a odsječak pravca na osi y je negativan umnožak faktora oblika i prirodnog logaritma faktora skale.

Uvrštavanje podataka o otkazima izmjenjivača topline u postupak za određivanje faktora skale i faktora oblika prikazani su tablicom 3. Pomoću Excel-a ucrtane su točke na grafu te uključena opcija trenda. Jednadžba trenda te ucrtane x i y koordinate su prikazane na grafikonu X.

Tablica 3: Podaci za određivanje faktora skale i faktora oblika

Kod zrakoplova	Otkaz [FH]	Rang	P	x	y
F	16683	6	0,916667	9,722146	0,910235
B	13889	5	0,750000	9,538852	0,326634
C	13341	4	0,583333	9,498597	-0,133000
E	12957	3	0,416667	9,469391	-0,618050
A	11607	2	0,250000	9,359364	-1,245900
D	10026	1	0,083333	9,212937	-2,441720



Grafikon 4: Pravac trenda za određivanje faktora skale i faktora oblika

Jednadžba dobivenog pravca glasi:

$$y = 6,8121x - 65,023$$

Iz jednadžbe je odmah vidljivo da je faktor oblika

$$\beta = 6,8121 \approx 7$$

Faktor skale se izračunava na sljedeći način:

$$-65,023 = -6,8121 * \ln(\alpha)$$

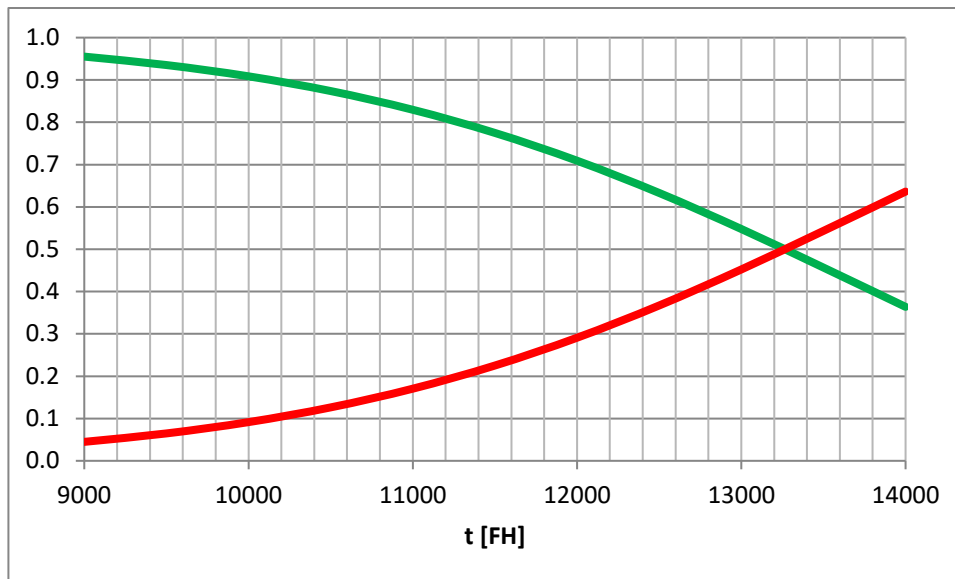
$$\alpha = 13977,7352 [FH] \approx 13978 [FH]$$

Za izračunavanje pouzdanosti komponente koristit će se formula (9). Pouzdanost komponente izmjenjivač topline prema sadašnjem intervalu zamjene izračunata Weibull-ovom raspodjelom iznosi $R(18000)=0,00282$.

Za odabir novog „praga“ prve obnove, dat će se pregled mogućih „threshold-a“ i pripadajućih pouzdanosti i nepouzdanosti komponente izmjenjivač topline, ti podaci su prikazani tablicom 4. Iz tablice 4 se vidi da kraći interval preventivne zamjene komponente izmjenjivač topline znači veću pouzdanost i obrnuto. Funkcija pouzdanosti i nepouzdanosti za zadanu komponentu je prikazana grafikonom 5. Na grafikonu se vidi da je pouzdanost komponente 50% za „threshold“ 13200.

Tablica 4: Utjecaj promjene „threshold-a“ na pouzdanost

"Threshold" t	R(t)	F(t)
9000	0,95516	0,04484
9500	0,93521	0,06479
10000	0,90854	0,09146
10500	0,87375	0,12625
11000	0,82952	0,17048
11500	0,77481	0,22519
12000	0,70916	0,29084
12500	0,63295	0,36705
13000	0,54780	0,45220
13500	0,45665	0,54335
14000	0,36383	0,63617



Grafikon 5: Prikaz promjene funkcija pouzdanosti i nepouzdanosti tijekom vremena

6.4. Odabir „praga“ prve obnove komponente klimatizacije izmjenjivač topline

Prilikom određivanja i računanja pouzdanosti velik dio literature koristi samo iskustveni pristup ili se rezultati preispituju znanjima mehaničara /inženjera. To je naravno najprikladnija metoda jer sve organizacije za održavanje zrakoplova imaju baze podataka s informacijama o održavanju i otkazima. Precizne metode računanja pouzdanosti su u pristupima temeljenim na matematičkim, grafičkim i simulacijskim modelima. Za određivanje preventivnog intervala komponente bitno je procijeniti kritičnost komponente kako bi se mogli reducirati troškovi održavanja komponente. Procjena kritičnosti komponente ovisi o mogućnosti otkaza tijekom leta i tijekom provjera te o tome kako je komponenta povezana sa sigurnošću.

Promjena intervala preventivne zamjene treba biti izvediva, promjena ne bi smjela uzrokovati dodatne otkaze komponente, odnosno broj otkaza komponente u određenom periodu mora biti prihvatljiv od strane zračnog prijevoznika. Odbor za ocjenu programa (*Maintenance Review Board* - MRB) održavanja može odobriti predložene promjene u programu održavanja, a promjene bi trebale pridonijeti ekonomičnijem i sigurnijem održavanju za zračnog prijevoznika.

Kombinacija prikupljanje podataka, analiza otkaza komponente, analiza kritičnosti komponente i izračun pouzdanosti definiraju dio koji je potreban da bi se procijenila optimalnost postojećih pravila i intervala održavanja i izračunali utjecaji predloženih promjena. Takav pristup je dovoljno specifičan za točnu analizu, ali i dovoljno općenit da se primjeni na gotovo sve dijelove zrakoplova.

U poglavlju 6.3. su prikupljeni podaci o komponenti izmjenjivač topline primijenjeni na odabrane modele pomoću kojih je dobiven uvid u trenutno stanje te procjene što bi se dogodilo uslijed promjene intervala preventivne zamjene. U nastavku će se prikazati svi dobiveni podaci primjenom različitih modela za određivanje preventivnog intervala (Tablica 5). Prema tome, prikazat će se kako potencijalni intervali zamjene komponente utječu na određene parametre kao što su pouzdanost sustava (pouzdanost je izračunata pomoću Weibull-ove distribucije), MTBF i MTBUR te broj komponenti koje će otkazati do tog trenutka i broj komponenti kod kojih će biti izvršena preventivna zamjena.

Tablica 5: Utjecaj promjene „threshold-a“ na određene parametre

"Threshold" [FH]	Neplanirani otkazi	Preventivna zamjena	MTBUR [FH]	MTBF [FH]	t="threshold"	
					R(t)	F(t)
9000	0	6		13084	0,95516	0,04484
9500	0	6		13084	0,93521	0,06479
10000	0	6		13084	0,90854	0,09146
10500	1	5	78503	13084	0,87375	0,12625
11000	1	5	78503	13084	0,82952	0,17048
11500	1	5	78503	13084	0,77481	0,22519
12000	2	4	39252	13084	0,70916	0,29084
12500	2	4	39252	13084	0,63295	0,36705
13000	3	3	26168	13084	0,54780	0,45220
13500	4	2	19626	13084	0,45665	0,54335
14000	5	1	15701	13084	0,36383	0,63617

Stručnjaci iz ovlaštene organizacije za održavanje koji održavaju predmetnu flotu zrakoplova Dash 8 – Q400 su dali smjernice kako odabrati odgovarajući preventivni interval zamjene komponente. Izmjenjivač topline nije komponenta zbog koje će se otkazati let zrakoplova, već kvar iste uzrokuje probleme klimatizacije koje ne ugrožavaju sigurnost. Kvar izmjenjivača topline onemogućava regulaciju temperature u zrakoplovu, što je povezano s udobnošću. Zbog toga stručnjaci iz organizacije za održavanje predlažu traženje optimuma

između neplaniranih otkaza i preventivne zamjene komponente. Prema tome, za odabir novog intervala zamjene će se tražiti vrijednost za koju će se tražiti minimalan broj neplaniranih otkaza uz najmanji broj preventivnih zamjena. Prema tablici 5 vidi se da su neplanirani otkazi i preventivna zamjena komplementarne funkcije što znači da veći broj otkaza podrazumijeva manje preventivnih zamjena i obrnuto. Točka presijecanja tih funkcija je njihov optimum. Analizirajući tablicu 5 za konkretan slučaj vidljivo je da minimalan broj neplaniranih otkaza uz najmanji broj preventivnih zamjena je ako postoje tri neplanirana otkaza i tri preventivne zamjene.

Ako se definira „prag“ prve obnove na 13000 [FH], zadovoljit će se traženi uvjeti od ovlaštene organizacije za održavanje. Stoga je taj interval prijedlog za uvrštavanje u Program održavanja predmetnog zračnog prijevoznika.

Za odabrani interval „praga“ prve obnove komponente izmjenjivač topline pouzdanost je 0,5478 i MTBUR iznosi 26168 [FH]. U usporedbi s trenutnim intervalom vidljivo je značajno povećanje pouzdanosti komponente te povećanje srednjeg vremena između neplaniranih otkaza komponente. Detaljnija usporedba trenutnog i predloženog intervala zamjene dana je u tablici 6.

Tablica 6: Usporedba trenutnog i predloženog „praga“ prve obnove izmjenjivača topline

"Threshold" [FH]	Neplanirani otkazi	Preventivna zamjena	MTBUR [FH]	t="threshold"	
				R(t)	F(t)
Trenutni 18000	6	0	13084	0,00282	0,99718
Prijedlog 13000	3	3	26168	0,54780	0,45220

Usporedbom trenutnog intervala „praga“ prve obnove izmjenjivača topline s predloženim su vidljive značajne razlike, a pogotovo u pouzdanosti komponente. Kod trenutnog „praga“ prve obnove od 18000 [FH] pouzdanost iznosi manje od 1%, a primjenom predloženog intervala od 13000 [FH] pouzdanost izmjenjivača topline bi bila oko 55%. Povećanje pouzdanosti uzrokuje i povećanje raspoloživosti koja je bitna za zračne prijevoznike. Također, primjenom predloženog intervala MTBUR bi se dvostruko povećao u odnosu na trenutni MTBUR zato što bi se broj neplaniranih zamjena komponenti dvostruko smanjio, što smanjuje troškove održavanja i povećava raspoloživost zrakoplova.

7. ZAKLJUČAK

Održavanjem zrakoplova se osigurava kontinuirana plovidbenost koja je nužna za obavljanje osnovnih aktivnosti svakog zračnog prijevoznika. Kako bi se osigurala određena razina sigurnosti zrakoplova, održavanje je regulirano međunarodnim i nacionalnim propisima. Svaki zračni prijevoznik je odgovaran za izradu i provedbu programa održavanja koji mora biti napravljen za svaki tip zrakoplova koji posjeduje. Svi postupci održavanja koji se obavljaju na zrakoplovu, njegovoj strukturi, pogonskom sustavu, zrakoplovnim sustavima i opremi zrakoplova definirani su u programu održavanja. Sukladno tome, zračni prijevoznik dužan je analizirati program održavanja svakog zrakoplova kako bi poboljšao učinkovitost održavanja, a time povećao pouzdanost zrakoplova, sigurnost leta, olakšao planiranje održavanja i smanjio troškove održavanja.

Troškovi održavanja zrakoplova ovise o velikom broju elemenata. Stoga ih je potrebno dobro proučiti kako bi se mogli predvidjeti i planirati jer po podacima od promatranog zračnog prijevoznika za zrakoplov Dash 8 – Q400 iznose 14%. Preventivno održavanje može imati značajan utjecaj na ukupne troškove održavanja. Ako je definirani interval održavanja komponente prekratak, troškovi mogu biti previsoki i obrnuto.

Analizom podataka o komponenti izmjenjivač topline iz flote zrakoplova Dash 8 – Q400 može se zaključiti da trenutni interval preventivnog održavanja iz programa održavanja ne odgovara promatranom zračnom prijevozniku. Odnosno potrebno je definirati novi interval preventivne zamjene koji će se uvrstiti u program održavanja kako bi se poboljšala učinkovitost. Za izračun potencijalnih intervala preventivne zamjene su se primjenjivale matematičke i grafičke metode te modeli, a za konačan odabir intervala su uzete u obzir primjedbe stručnjaka iz ovlaštene organizacije za održavanje te flote zrakoplova i operatera zrakoplova. Temeljem literature i iskustva iz prakse donesen je prijedlog da se „prag“ prve obnove za komponentu klimatizacije izmjenjivač topline obavlja svakih 13000 [FH]. Novim „pragom“ prve obnove izmjenjivača topline pouzdanost komponente se drastično povećala, dvostruko se povećalo srednje vrijeme između neplaniranih zamjena, što znači da se smanjio broj neplaniranih zamjena te je efikasnije planiranje sljedećih zamjena. Za uvrštavanje prijedloga „praga“ prve obnove izmjenjivača topline u program održavanja zračnog prijevoznika potrebno je odobrenje MRB-a.

Za određivanje optimalnog intervala preventivne zamjene komponente klimatizacije izmjenjivač topline potrebna je detaljna analiza s puno više informacija o samom održavanju te informacije o troškovima korektivnog i preventivnog održavanja.

Kako je cilj svakog zračnog prijevoznika imati što veću pouzdanost i raspoloživost zrakoplova, sa što većim profitom i minimalnim troškovima bez narušavanja sigurnosti tijekom leta potrebno je konstantno analizirati program održavanja i optimizirati zadatke i intervale. Optimalni intervali zamjene reduciraju vrijeme provedeno na održavanju i omogućuju planiranje radova održavanja. Kvalitetnim programom održavanja, prilagođenim eksploataciji flote zrakoplova Dash 8 – Q400 predmetnom zračnom prijevozniku, unaprijedit će se proces održavanja.

LITERATURA

- [1] Bazijanac E.: Tehnička eksploatacija i održavanje zrakoplova, Sveučilište u Zagrebu Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2007.
- [2] <https://www.easa.europa.eu/regulations>, kolovoz 2018.
- [3] Obad S.: Održavanje u zrakoplovstvu, Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2011.
- [4] Domitrović, A.: Eksploatacija i održavanje zrakoplova, Autorizirana predavanja, Fakultet prometnih znanosti, 2017.
- [5] Maintenance program Q400, Revision 13, 2017.
- [6] Grdić, I. CMMS sustavi u održavanju zrakoplova, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2016.
- [7] https://en.wikipedia.org/wiki/ATA_100, kolovoz 2018.
- [8] [http://www.smartcockpit.com/docs/Q400-Air Cond and Press.pdf](http://www.smartcockpit.com/docs/Q400-Air_Cond_and_Press.pdf), kolovoz 2018.
- [9] Sun, J., Li, C., Liu, C., Gong, Z., Wang R.: A data-driven health indicator extraction method for aircraft air conditioning system health monitoring, Chinese Journal of Aeronautics. Kina, 2017.
- [10] Maintenance Planning Document, Q400, Bombardier
- [11] Mjesečni izvještaj programa pouzdanosti operatora Dash 8 – Q400, konzultacije sa tehničkim odjelom zrakoplovne kompanije
- [12] Law A. M., Kelton W. D., Simulation Modeling i Analysis, McGraw•Hill, InC. United States of America
- [13] EASA IP44: Evolution / Optimization Guidelines. International Procedure, European Aviation Safety Association, 2011.
- [14] <https://www.weibull.com/hotwire/issue113/hottopics113.htm>, rujan 2018.
- [15] Marković, D.: Problem procjene parametara u Weibullovom modelu, Disertacija, Prirodoslovno – matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2009.
- [16] British Ministry of Defense: Guide to developing and sustaining preventive maintenance programmes. Technical report, British Ministry of Defense, 2012.
- [17] Fornlof, V.: Improved remaining useful life estimations for On-Condition parts in air-craft engines, Licentiate Dissertation, University of Skövde, Sweden, 2012.

- [18] S. Asmussen, J.L. Jensen, L. Rojas-Nandayapa: On the Laplace transform of the Lognormal distribution, Springer Science+Business Media New York, 2014.
- [19] http://www.unizd.hr/Portals/13/NASTAVNI_MATERIJALI/04%20-%20Distribucije.pdf, rujan 2018.
- [20] Šimić, I.: Sistematizacija metoda nelinearnog programiranja, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2010.
- [21] Dash 8 Q400 Manual, pdf, 2011

POPIS KRATICA

AMO	Ovlaštena organizacije za održavanje	Approved Maintenance Organization
AOC	Svjedodžba o sposobnosti organizacije	Air Operator Certificate
APU	Pomoćna jedinica za napajanje	Auxiliary Power Unit
ATA 100	Specifikacija 100 američkog udruženja za zračni promet	Air Transport Association of America Specification 100 code
C of A	Svjedodžba o plovidbenosti	Certificate of Airworthiness
CA	Dani	Calendar Days
CAME	Priručnik organizacije za vođenje kontinuirane plovidbenosti zrakoplova	Continuing Airworthiness Management Exposition
CAMO	Odobrena organizacija za vođenje kontinuirane plovidbenosti	Continuing Airworthiness Management Organization
CCAA	Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo	Croatian Civil Aviation Agency
CY	Ciklusi	Cycles
EASA	Europska agencija za zrakoplovnu sigurnost	European Aviation Safety Agency
ECAA	Sporazuma o europskom zajedničkom zračnom prostoru	European Common Aviation Area
FCSOV	Ventil za kontrolu protoka	Flow Control Shutoff Valve
FH	Sati leta	Flight Hours
GVI	Općeg vizualnog pregleda	General Visual Inspections
ICAO	Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva	International Civil Aviation Organization
MO	Mjeseci	Month Calendar
MOE	Priručnik organizacije za održavanje zrakoplova	Maintenance Organisation Exposition
MPD	Dokument za planiranje održavanja	Maintenance Planning Document
MPM	Prijevoznikov priručnik programa održavanja zrakoplova	Maintenance Program Manual
MRB	Odbor za ocjenu programa	Maintenance Review Board
MRQ	Zahtjevi za održavanje zrakoplova	Maintenance Requirements
MSG	Maintenance steering group	
MTBF	Srednje vrijeme između otkaza	Mean Time Between Failure
MTBUR	Srednje vrijeme između neplaniranih zamjena	Mean Time Between Unscheduled Removals
MTTF	Srednje vrijeme do otkaza	Mean Time To Failure
WE	Tjedni	Calendar Week

POPIS SLIKA

Slika 1: Tehničke specifikacije zrakoplova Dash 8 - Q400	19
Slika 2: Podjela prema ATA 100	20
Slika 3: Prikaz komponenata sustava klimatizacije i njegovog položaja na zrakoplovu	21
Slika 4: Shematski prikaz procesa sustava klimatizacije	22
Slika 5: Prikaz protoka zraka kod primarnog (desno) i sekundarnog (lijevo) izmjenjivača topline.....	26
Slika 6: Struktura operativnih troškova promatranog zračnog prijevoznika.....	30
Slika 7: Koraci u procesu simulacijskog modela	39
Slika 8: Oblici intenziteta otkaza.....	41
Slika 9: Primjer planirane zamjene i stvarne situacije	42
Slika 10: Trošak održavanja po jedinici vremena	43

POPIS TABLICA

Tablica 1: Usporedba podataka „Thresholda“ od odabranog prijevoznika i iz MPD-a.....	28
Tablica 2: Utjecaj promjene "threshold-a" na MTBUR.....	46
Tablica 3: Podaci za određivanje faktora skale i faktora oblika.....	48
Tablica 4: Utjecaj promjene „threshold-a“ na pouzdanost.....	49
Tablica 5: Utjecaj promjene „threshold-a“ na određene parametre	51
Tablica 6: Usporedba trenutnog i predloženog „praga“ prve obnove izmjenjivača topline	52

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1: Prosječna dnevna iskorištenost flote zračnog prijevoznika i svjetske flote.....	27
Grafikon 2: Usporedba predviđenog i stvarnog intervala zamjene komponente izmjenjivač topline.....	29
Grafikon 3: Oblik intenziteta otkaza komponente izmjenjivač topline.....	45
Grafikon 4: Pravac trenda za određivanje faktora skale i faktora oblika	48
Grafikon 5: Prikaz promjene funkcija pouzdanosti i nepouzdanosti tijekom vremena	50



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 **Preventivno održavanje zrakoplova Dash 8 - Q400 na primjeru**
komponente

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, _____ 17.9.2018 _____

Student/ica:

Pušinić

(potpis)