

Obrada podataka praćenja performansi tijekom radnog vijeka aviona

Mandarić, Dunja

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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:119:223949>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-05**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Dunja Mandarić

**OBRADA PODATAKA PRAĆENJA
PERFORMANSI TIJEKOM RADNOG
VIJEKA AVIONA**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2022.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**OBRADA PODATAKA PRAĆENJA PERFORMANSI
TIJEKOM RADNOG VIJEKA AVIONA**

**PROCESSING OF PERFORMANCE MONITORING
DATA DURING THE AEROPLANE
OPERATING LIFE**

Mentor: mr. sc. Davor Franjković, v. pred.

Student: Dunja Mandarić

JMBAG: 0135255377

Zagreb, svibanj 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 4. travnja 2022.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**
Predmet: **Planiranje letenja i performanse I**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 6790

Pristupnik: **Dunja Mandarić (0135255377)**
Studij: **Aeronautika**
Smjer: **Pilot**
Usmjerenje: **Civilni pilot**

Zadatak: **Obrada podataka praćenja performansi tijekom radnog vijeka aviona**

Opis zadatka:

Objasniti svrhu i smisao praćenja performansi aviona tijekom njegovog operativnog vijeka. Opisati metode za praćenje i prikupljanje podataka o performansama. Nabrojati i objasniti operativne podatke korisne za praćenje performansi u različitim režimima leta aviona.

Prikupiti podatke o praćenju performansi aviona ili flote aviona, statistički ih obraditi, te na odgovarajući način prikazati i komentirati rezultate.

Izvesti zaključke.

Mentor:



mr. sc. Davor Franjković, v. pred.

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

SAŽETAK

Praćenje performansi zrakoplova ključno je za prepoznavanje zrakoplova degradiranih performansi unutar flote. Podatci o performansama mogu se prikupljati ručno ili automatski, no Airbus promiče automatsko prikupljanje podataka za rutinsko praćenje performansi zrakoplova. U završnom radu podatci su prikupljeni putem sustava ACARS – SITA i obrađeni putem programa APM u sustavu PEP. Podatci predstavljaju izvješće o performansama u krstarenju flote zrakoplova A319-112 Croatia Airlines za period od 1. 1. 2022. do 31. 3. 2022. Rezultati analize APM su faktor performansi i faktor goriva. APM izračunava odstupanje izmjerenih parametara od nominalnih vrijednosti koje su dane u knjizi proizvođača. Krajnji rezultat je razlika u specifičnom doletu koja predstavlja faktor goriva koji je ključan u politici planiranja goriva. To je kritični ulazni podatak u sustav FMS-a i planiranja leta. Pored faktora goriva, analizom se dobiva i faktor performansi kojeg piloti unose u jedinicu za kontrolu i prikaz.

KLJUČNE RIJEČI: praćenje performansi, APM, flota A319-112, specifični dolet, faktor goriva

SUMMARY

The monitoring of aircraft performance is essential for the identification of aircraft with degraded performance within the fleet. Performance data may be collected manually or automatically, but Airbus promotes automatic data collection for routine performance monitoring of aircraft. In the final paper, data were collected through the ACARS – SITA system and processed through the APM program within PEP system. The data presents a report on the fleet cruising performance of A319-112 Croatia Airlines for the period from 1. 1. 2022. to 31. 3. 2022. The results of the APM analysis are the performance factor and fuel factor. APM calculates the deviation of measured parameters from the nominal values given in the manufacturer's book. The final result is the difference in the specific range, which is a fuel factor that is essential in fuel planning policy. It is a critical input into the FMS system and flight planning. In addition to fuel factors, the analysis also produces the performance factor which pilots enter in to a control and display unit.

KEY WORDS: performance monitoring, APM, A319-112 fleet, specific range, fuel factor

Sadržaj

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | Uvod..... | 1 |
| 2. | Cilj praćenja performansi aviona | 3 |
| 2.1. | Definicija praćenja performansi..... | 3 |
| 2.2. | Usporedba stvarne razine performansi i razine dane u knjizi proizvođača | 3 |
| 2.3. | Primjena rezultata praćenja performansi | 4 |
| 3. | Načini prikupljanja podataka praćenja performansi | 6 |
| 3.1. | Opcije pri prikupljanju podataka | 6 |
| 3.2. | Promatrani podatci | 6 |
| 3.3. | Ručno bilježenje podataka | 7 |
| 3.3.1. | Postupci mjerenja i mjere opreza | 7 |
| 3.3.2. | Snimanje podataka | 7 |
| 3.3.3. | Postupak analize podataka..... | 8 |
| 3.4. | Automatsko bilježenje podataka | 8 |
| 3.4.1. | Integrirani sustav podataka zrakoplova (AIDS)..... | 9 |
| 3.4.2. | Izvešće o performansama u krstarenju | 11 |
| 3.4.3. | Postupak analize podataka..... | 12 |
| 4. | Obrada podatka performansi krstarenja..... | 13 |
| 4.1. | Model APM | 13 |
| 4.2. | Analiza CPR02 A319-112 u programu PEP APM | 14 |
| 5. | Procjena rezultata | 22 |
| 5.1. | Izlazni podatci analize APM | 22 |
| 5.2. | Rezultati performansi flote A319-112 Croatia Airlines..... | 24 |
| 5.2.1. | Rezultati analize APM za siječanj 2022. | 27 |
| 5.2.2. | Rezultati analize APM za veljaču 2022. | 29 |
| 5.2.3. | Rezultati analize APM za ožujak 2022. | 31 |
| 5.3. | Grafički rezultati analize APM flote A319-112 | 32 |
| 6. | Značaj faktora goriva u obradi podataka praćenja performansi..... | 36 |
| 6.1. | Apliciranje faktora performansi..... | 37 |
| 6.2. | Apliciranje faktora goriva | 38 |
| 6.3. | Sustav upravljanja letom (FMS) | 42 |
| 7. | Zaključak | 46 |
| | Literatura | 47 |
| | Popis slika, tablica i priloga | 48 |

1. Uvod

Performanse svakog zrakoplova variraju kroz vrijeme. Njihovim praćenjem omogućuje se analiziranje stvarnih performansi u odnosu na razinu danu u knjizi proizvođača te se tako može uočiti degradacija sustava u zrakoplovu. Performanse se prate i dokumentiraju ručno ili automatski, no većina zrakoplovnih prijevoznika preferira automatsko bilježenje za rutinsko praćenje jer je brže i nije zamorno kao ručno bilježenje. Postoji razrađen i definiran standardni format izvješća koji su proizveli zrakoplovni sustavi i alat za analizu koji se može nositi s izvješćem bez dodatnih ručnih djelovanja. Airbus je proveo posebnu rutinu koja omogućuje automatsko učitavanje izvješća u digitalnom obliku, a analiza dobivenih podataka se provodi alatom specifičnim za Airbus imena Program za praćenje performansi zrakoplova na temelju metode specifičnog doleta. Program izračunava odstupanje od nominalnih vrijednosti gdje krajnji rezultat predstavlja razliku u specifičnom doletu. Razlika u specifičnom doletu zapravo predstavlja faktor goriva koji je ključan u politici planiranja goriva.

Cilj završnog rada je prikazati značaj praćenja i obrade podataka o performansama zrakoplova na stvarnom primjeru flote zrakoplova tipa A319-112 Croatia Airlines.

Podatci na kojima se rad temelji prikupljeni su putem sustava ACARS – SITA transmitirani iz flote zrakoplova A319-112 Croatia Airlines u letu. To je izvješće o performansama u krstarenju za flotu zrakoplova A319-112 za period od 1. 1. 2022. do 31. 3. 2022.

Obrada podataka urađena je u Airbus-ovom Programu za praćenje performansi zrakoplova u sklopu programa PEP.

Naslov završnog rada je Obrada podataka praćenja performansi tijekom radnog vijeka aviona. Rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Cilj praćenja performansi
3. Načini prikupljanja podataka praćenja performansi
4. Obrada podataka performansi krstarenja
5. Procjena rezultata
6. Značaj faktora goriva u obradi podataka praćenja performansi
7. Zaključak

Drugo poglavlje bavi se definicijom i ciljem praćenja performansi.

Treće poglavlje detaljno objašnjava načine prikupljanja podataka praćenja performansi i nabraja podatke koji se prikupljaju.

U četvrtom poglavlju urađena je analiza stvarnih podataka iz izvješća o performansama u krstarenju flote zrakoplova A319-112 Croatia Airlines.

Peto poglavlje obuhvaća procjenu rezultata analize izvješća performansi u krstarenju.

U šestom poglavlju se opisuje značaj faktora performansi i faktora goriva kao rezultata analize u planiranju letenja.

2. Cilj praćenja performansi aviona

2.1. Definicija praćenja performansi

Praćenje performansi zrakoplova je postupak pri kojem se prikupljaju podatci o performansama zrakoplova kako bi se utvrdila stvarna razina performansi pojedinog zrakoplova u floti u odnosu na razinu performansi danu u knjizi proizvođača. Provođa se radi procjene otpora zrakoplova i očuvanja goriva. Razina performansi u knjizi proizvođača je utvrđena od strane proizvođača prije proizvodnje i predstavlja prosjek flote zrakoplova s novim motorima i konstrukcijom. Ta se razina utvrđuje prije proizvodnje i izvedena je iz ispitivanja leta. S obzirom na činjenicu da je isti model zrakoplova proizveden u više primjeraka i distribuiran u različitim kompanijama dolazi do pojedinačnih performansi iznad i ispod razine performansi dane u knjizi proizvođača. [1]

Za modele zrakoplova Airbus razina performansi iz knjige proizvođača se odnosi na podatke o performansama u Airbusovoj službenoj dokumentaciji tj. Priručniku za rad letačke posade (*Flight Crew Operations Manual – FCOM*).

Pogoršanje performansi ima dva glavna izvora: degradacija u performansama motora (povećanje potrošnje goriva za zadani potisak) ili pogoršanja na opstrujanim površinama (oštećenje na vratima, zakrilcima, kormilu smjera itd.). Praćenjem performansi naznaka promjene je na raspolaganju za provođenje korektivnih mjera održavanja zadovoljavajućeg stanja zrakoplova. [2]

2.2. Usporedba stvarne razine performansi i razine dane u knjizi proizvođača

Pri provjeri stvarne razine performansi zrakoplova mnogi čimbenici mogu utjecati na analizu. Iako se korekcije mogu izračunati za svaki pojedini čimbenik, otežavaju rutinsko provođenje postupka. Ukupno su dostupne tri osnovne metode za provjeru stvarne razine performansi zrakoplova u odnosu na razinu u knjizi:

(1) Metoda upotrijebljenog goriva (*Fuel used method*)

Temelji se na mjerenju potrošenog goriva u horizontalnom letu tijekom značajno dugotrajne dionice i uspoređivanja te vrijednosti s pretpostavljenom vrijednosti u FCOM-u u sekcijama Planiranje letenja ili vrijednostima dobivenim preko Programa za izračun performansi tijekom leta (*The In-Flight Performance Calculation Program – IFP*).

Metoda upotrijebljenog goriva je manje ograničavajuća u aspektima stabilnosti i prikupljanja podataka od metode specifičnog doleta, ali je zato manje točna zbog nedostatka provjere stabilnosti uočenih podataka i pruža manje informacija.

(2) Metoda izgorjelog goriva (*Fuel burn off method*)

Analiza izgaranja goriva u letu uspoređuje stvarne podatke o performansama zrakoplova za cijeli let s predviđenim računalnim planiranjem leta. Stvarne

performanse zrakoplova trebalo bi korigirati ovisno o razlikama između stvarnog profila leta i predviđenog.

(3) Metoda specifičnog doleta (*Specific range method*)

Podaci uočeni u letu predstavljaju trenutačnu sposobnost upravljanja zrakoplovom u kontekstu strukture i motora i koriste se za izračun specifičnog doleta (*Specific Range – SR*) koji predstavlja realnu udaljenost koju zrakoplov može prijeći s gorivom u spremnicima izraženu u NM/kg ili NM/lb goriva. Specifični dolet predstavlja razinu performansi zrakoplova i motora u stabiliziranim uvjetima i stoga predstavlja glavni referentni kriterij. Ne smije biti reprezentativan za stvarnu potrošnju goriva zrakoplova tijekom cijelog leta. [3]

Svaka metoda daje prividnu razinu performansi zrakoplova, što je kombinacija stvarne razine performansi zrakoplova i utjecajnih faktora. Metoda specifičnog doleta korištena je u obradi podataka performansi u ovome radu, a detaljnije objašnjenje metode se nalazi u poglavlju 5. Procjena rezultata u potpoglavlju 5.1. Izlazni podatci analize APM.

2.3. Primjena rezultata praćenja performansi

Rezultati praćenja performansi zrakoplova koriste se za:

- prilagodbu faktora učinkovitosti za računalni plan leta i predviđanja Sustava upravljanja letom (*Flight Management System – FMS*),
- periodičko praćenje stanja zrakoplova radi analize,
- prepoznavanje zrakoplova degradiranih performansi unutar flote i provođenje potrebnih korektivnih radnji npr. radnje u sklopu održavanja zrakoplova, restrikcije na ruti, operativne preporuke i sl.,
- regulatorni zahtjev tijela za planiranje leta, operacije produljenog doleta (*Extended Range Twin Operations – ETOPS*) i operacije smanjenih rezervi,
- izradu statističkih podataka o potrošnji goriva čime pripomažu definiranje politike goriva operatora. [2]

Europska agencija za sigurnost zrakoplovstva (*European Aviation Safety Agency – EASA*) propisuje regulativu (EU) No 965/2012 u kojoj se nalaze zahtjevi pri planiranju goriva. Uredba se službeno naziva Implementiranje pravila - Operacije (*Implementing Rules - Operations – IR-OPS*), a paragraf koji se bavi politikom goriva je CAT.OP.MPA. 150 Politika planiranja goriva (*Fuel policy*) i glasi:

- (a) Operator mora utvrditi politiku planiranja goriva u svrhu planiranja letenja i ponovnog planiranja u letu kako bi se osiguralo da svaki let sadrži dovoljnu količinu goriva za planiranu operaciju i dovoljne rezerve u slučaju devijacija od planirane operacije. Politika planiranja goriva i sve njezine promjene zahtijevaju prethodno odobrenje nadležnog tijela.
- (b) Operator mora osigurati da se planiranje letenja temelji barem na:
 - (1) procedurama sadržanima u operativnom priručniku i:

- (i) podacima koji su osigurani od strane proizvođača zrakoplova; ili
- (ii) trenutnim specifičnim zrakoplovnim podacima dobivenim iz sustava praćenja potrošnje goriva;

i

(2) operativnim uvjetima u kojim će se odvijati let uključujući:

- (i) podatke o potrošnji goriva zrakoplova;
- (ii) očekivane mase;
- (iii) očekivane meteorološke uvjete; i
- (iv) procedure i ograničenja pružatelja usluga u zračnoj plovidbi.

(c) Operator mora osigurati da prijeletni izračun iskoristivog goriva potrebnog za let uključuje:

- (1) gorivo za taksiranje;
- (2) putno gorivo;
- (3) rezervno gorivo koje sadrži:
 - (i) gorivo za nepredviđene situacije;
 - (ii) gorivo za let do alternativnog aerodroma, ako je potreban destinacijski alternativni aerodrom;
 - (iii) završno rezervno gorivo; i
 - (iv) dodatno gorivo, ako se zahtjeva vrstom operacije;

i

(4) ekstra gorivo ako to zahtjeva zapovjednik.

(d) Operator mora osigurati da postupci ponovnog planiranja u letu za izračun iskoristivog goriva potrebni kad se let mora nastaviti duž rute ili do odredišnog aerodroma koji nije prvotno planiran uključuju:

- (1) putno gorivo za ostatak leta; i
- (2) rezervno gorivo koje sadrži:
 - (i) gorivo za nepredviđene situacije;
 - (ii) gorivo za let do alternativnog aerodroma, ako je potreban destinacijski alternativni aerodrom;
 - (iii) završno rezervno gorivo; i
 - (iv) dodatno gorivo, ako se zahtjeva vrstom operacije;

i

(3) ekstra gorivo ako to zahtjeva zapovjednik. [4]

3. Načini prikupljanja podataka praćenja performansi

3.1. Opcije pri prikupljanju podataka

Prikupljanje podataka ključno je za praćenje performansi zrakoplova. Pouzdanost praćenja performansi ovisi o kvaliteti i kvantiteti zapisa. Dva su najčešća postupka za dohvat podataka iz zrakoplova:

1. ručno bilježenje podataka tijekom leta temeljeno na praćenju performansi u krstarenju,

2. automatsko bilježenje podataka tijekom leta temeljeno na upotrebi uređaja za pohranu podataka o parametrima leta.

Ti su postupci razvijeni radi praćenja performansi u krstarenju tijekom stabilnih uvjeta leta. [1]

3.2. Promatrani podatci

Podatci potrebni za daljnju analizu prikazani su u tablici 1. u nastavku. Analiza zahtijeva mnogo parametara za jedan zapis podataka o letu. Svaki promatrani skup podataka je kao snimka stanja zrakoplova. Potrebno je prikupiti što više zapisa kako bi se povećala statistička uspješnost analize.

Tablica 1. Potrebni promatrani podatci

| Parametar | Jedinica | Komentari |
|---|--------------|--|
| Pozivni znak zrakoplova | (-) | |
| Datum | GGMMDD | |
| Broj leta | (-) | |
| Serijski brojevi motora | (-) | |
| Visina | (ft) | |
| Machov broj | (-) | |
| Ukupna temperatura zraka | (°C) | (<i>Total Air Temperature – TAT</i>) |
| Masa zrakoplova | (kg ili lb) | |
| Težište | (%) | (<i>Centre of Gravity – CG</i>) |
| Ubrzanje putanje leta | (g) | |
| Vertikalna brzina | (ft/min) | |
| Pravi pravac leta | (°) | |
| Zemljopisna širina | (°) | |
| Brzina vjetra | (kn) | |
| Smjer vjetra | (°) | |
| Prosječna temperatura goriva | (°C) | |
| Prosječna gustoća goriva | (l/kg) | |
| Brzina vrtnje ventilatora | (%) | (<i>Fan Rotation Speed – N1</i>) |
| Odnos totalnih tlakova na ispuhu i uvodniku | (-) | (<i>Engine Pressure Ratio – EPR</i>) |
| Stvarna potrošnja goriva | (kg/h, lb/h) | (<i>Actual Fuel Flow – FFA</i>) Za svaki motor (<i>FFA1, FFA2...</i>) |

| | | |
|----------------------------------|----------------|---|
| Temperatura ispušnih plinova | (°C) | (<i>Exhaust gas temperature – EGT</i>) Za svaki motor (<i>EGT1, EGT2...</i>) |
| Niža ogrijevna vrijednost goriva | (btu/lb) | (<i>Fuel Lower Heating Value – FLHV</i>) |
| Protok iz motora (lijevi) | (kg/s or lb/s) | Protok motora broj 1 (dvomotorac) ili suma motora broj 1 i motora broj 2 (četveromotorac) |
| Protok iz motora (desni) | (kg/s or lb/s) | Protok motora broj 2 (dvomotorac) ili suma motora 3 i 4 (četveromotorac) |

Izvor: [1]

3.3. Ručno bilježenje podataka

Ručna očitavanja moraju se provesti kada zrakoplov nije opremljen odgovarajućom opremom potrebnom za automatsko bilježenje podataka i zahtijevaju poštivanje strogih pravila i propisanih postupaka analize.

3.3.1. Postupci mjerenja i mjere opreza

Praćenje performansi se mora odvijati u odnosu na preporučene postupke i procedure te mjere opreza:

1. Pri letenju na dugim relacijama preporučuje se prikupljati podatke pri različitim kombinacijama ukupne mase aviona i nadmorske visine (velika ukupna masa i mala visina na početku leta, niska ukupna masa i velika visina na kraju leta),

2. Vizualni pregled krilaca, zakrilaca i ostalih površina može se obaviti tijekom krstarenja kako bi se otkrio svaki mogući aerodinamički poremećaj koji bi mogao povećati prividni otpor zrakoplova.

3. Preporučuje se da se snimanje ne započne prije 15 minuta od vrhunca penjanja (*top of climb - TOC*). [1]

3.3.2. Snimanje podataka

Prilikom ručnog prikupljanja podataka u pilotskoj kabini određeni broj podataka mora se zapisati u kratkom vremenskom razdoblju, stoga postoji unaprijed oblikovani obrazac za pravilno ručno prikupljanje podataka. Snimanje podataka vrši se tijekom najmanje 6 minuta, a parametri se bilježe u definiranim intervalima od 60 sekundi i moraju ulaziti u kriterije stabilnosti:

- razlika u visini po tlaku (*Pressure Altitude – PA*) $\leq \pm 20$ ft,
- razlika u statičkoj temperaturi zraka (*Static Air Temperature – SAT*) $\leq \pm 1$ °C,
- omjer razlike u putnoj brzini (*Ground Speed – GS*) i razlike u vremenu ≤ 1 kn/min,
- razlika u Machovom broju (*Mach Number – Ma*) $\leq \pm 0,003$,
- kut zanosa (*Drift Angle – DA*) $< 5^\circ$. [1]

3.3.3. Postupak analize podataka

Stabilnost zrakoplova se procjenjuje na temelju GS. Odabire se najreprezentativniji snimak ili više njih uzimajući u obzir kriterije stabilnosti. Ulazni podaci analiziraju se u skladu sa sljedećim pravilima:

- računaju se *PA*, *Ma*, *TAT*, *N1* (ili *EPR*) i *FF*,
- ukupna masa zrakoplova temelji se na razlici između masa aviona pri taksiranju i goriva upotrijebljenog u središnjoj točki intervala od 6 minuta,
- CG se izračunava iz CG-a pri polijetanju i rasporeda goriva,
- ubrzanje zrakoplova uzduž putanje leta bit će nagib GS tijekom razdoblja od 3 minute. [1]

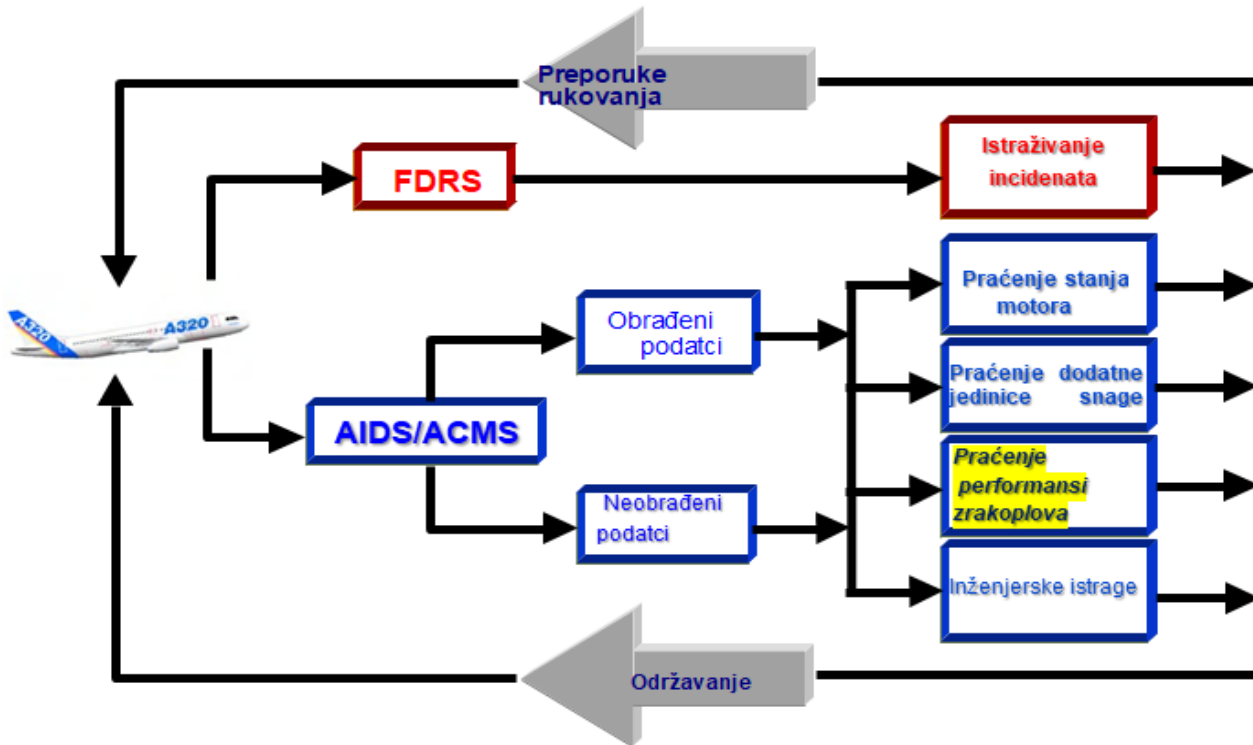
3.4. Automatsko bilježenje podataka

Ručno bilježenje podataka se ne može primijeniti u slučaju rutinskog praćenja performansi zrakoplova, stoga je Airbus osmislio proces koji minimalizira potrebu za ručnim djelovanjem, a temelji se na upotrebi sustava za prikupljanje podataka. Automatsko bilježenje znači konfiguriranje zrakoplovnih sustava kako bi se dobili podaci o letu koje IFP ili Program za praćenje performansi zrakoplova (*Aircraft Performance Monitoring – APM*) automatski bilježi za daljnju analizu. Dugoročno praćenje trendova performansi zrakoplova provodi se u okviru održavanja i komplementarno je svim drugim radnjama praćenja na motorima ili pomoćnoj jedinici snage (*Auxilliary Power Unit – APU*).

Sustavi za bilježenje i praćenje zrakoplova podijeljeni su u tri kategorije:

1. Centralizirani sustav prikaza pogrešaka (*Centralized Fault Display System - CFDS*),
2. Sustav za bilježenje podataka o letu (*Flight Data Recording System - FDRS*),
3. Integrirani sustav podataka zrakoplova (*Aircraft Integrated Data System - AIDS*) za zrakoplove tipa A319/A320 ili Sustav praćenja stanja zrakoplova (*Aircraft Condition Monitoring System - ACMS*) za zrakoplove A330/A340 koji su odgovarajući sustavi prikupljanja podataka za automatsku obradu zahvaljujući APM programu.

FDRS i AIDS/ACMS namijenjeni su prikupljanju određenih parametara zrakoplova. Cilj FDRS je pomoći operatorima u slučaju nezgoda, a cilj AIDS/ACMS je preventivne prirode. U oba slučaja povratne informacije iz zrakoplova omogućuju operaterima poduzimanje odgovarajućih radnji. Na slici 3.1. prikazano je zbrajanje funkcija obaju sustava. [1]



Slika 3.1 Funkcije FDRS i AIDS/ACMS, [1]

Postupak bilježenja podataka ovisi o tipu zrakoplova te se u ovom radu fokus stavlja na automatsko bilježenje podataka zrakoplova tipa A319 tj. na sustav AIDS. Podatci korišteni pri obradi i procjeni podataka u poglavljima 4. i 5. Prikupljeni su automatski iz flote zrakoplova A319-112 Croatia Airlinesa Sustavom za prilagodbu i izvješćivanje o obavijestima o zrakoplovima (*Aircraft Communication Addressing and Reporting System – ACARS*) u sklopu jedinice za upravljanje podacima (*Data Management Unit – DMU*) koja je povezana s AIDS-om.

Prikupljeni podatci poslani su u program Menadžer za poštu SITATEX (*SITATEX Mail Manager*) Međunarodne tvrtke za zrakoplovne telekomunikacije (*Société Internationale de Télécommunications Aéronautiques – SITA*) iz kojeg su se dobavili i obradili u programu APM.

APM je modul sustava Paket inženjera performansi (*Performance Engineers' Package – PEP*). PEP je softver koji se koristi za inženjering i/ili letačke operacije zračnih prijevoznika. Za otpremu i održavanje ovog softvera odgovoran je Airbusov odjel za letačke operacije i pomoć na liniji (*Airbus Flight Operations & Line Assistance Department*).

3.4.1. Integrirani sustav podataka zrakoplova (AIDS)

3.4.1.1 Funkcija

Glavne funkcije sustava AIDS su praćenje stanja motora, stanja APU-a i performansi zrakoplova te pružanje pomoći pri detektiranju problema. [1] Sve funkcije sustava AIDS navedene su na slici 3.2. u nastavku:



Slika 3.2 Funkcije sustava AIDS, [1]

3.4.1.2 *Provođenje*

DMU središnji je dio sustava AIDS. Putem DMU prikuplja se velik broj parametara, obrađuju se ulazni podaci radi utvrđivanja stabilnih uvjeta okvira i praćenja graničnih prekoračenja i generiraju se izvješća prema unaprijed programiranim uvjetima. Ključni uređaji u sučelju su:

- Višenamjenska jedinica za kontrolu i prikaz (*Multipurpose Control and Display Unit - MCDU*)

Njen cilj je prikazati i ispisati AIDS podatke u realnom vremenu, ručno aktivirati izvješća i snimke, distribuirati izvješća na više izlaznih uređaja, privremeno reprogramirati neke DMU parametre, kontrolirati digitalni snimač AIDS (*Digital AIDS Recorder – DAR*) i snimač pametnog pristupa (*Smart Access Recorder – SAR*). Putem MCDU-a operator ima mogućnost prikaza svih digitalnih podataka o zrakoplovu koji su dostupni.

- SAR

Sastavni dio DMU. Koristi se za pohranu podataka o letu. Osigurava učinkovito korištenje ograničene memorije DMU. Pri dobavljanju podataka, operater može koristiti disketu putem jedinice višeznačnog diskovnog pogona (*Multipurpose Disk Drive Unit – MDDU*) ili karticu Međunarodnog udruženja memorijske kartice osobnog računala (*Personal Computer Memory Card International Association – PCMCIA*) preko sučelja PCMCIA. Izvješća se mogu dohvatiti preko učitavača podataka ili ručno pritiskom na dugme u pilotskoj kabini.

- Neobavezni komunikacijski i izvještajni sustav zrakoplova (*Aircraft communication and reporting system – ATSU*) – funkcija ACARS

Zrakoplovi opremljeni s ATSU mogu izravno poslati izvješća AIDS. Format izvješća razlikuje se od onog koji se može dobiti izravno iz DMU. Ovaj je sustav neophodan za praćenje motora i zrakoplova važnih flota. Omogućuje prijenos velike količine podataka i njihovo automatsko postupanje. Izvješća AIDS i/ili DMU mogu se preuzeti ručno na zemlji ili u letu. [1]

3.4.2. Izvješće o performansama u krstarenju

Jedna od funkcija DMU je izrada izvješća o zrakoplovima i motorima. Izvješća Airbus standarda su skup unaprijed programiranih izvješća AIDS, koja su operativna pri isporuci DMU. Izvješće o performansama u krstarenju (*Cruise Performance Report - CPR02*) ili DMU izvješće broj 02 jedino je od interesa za praćenje performansi zrakoplova. DMU izrađuje jedno izvješće na sat.

CPR02 sadržava podatke o zrakoplovima i motorima zabilježene na stabiliziranom krstarenju. Neki uvjeti stabilnosti i uvjeti aktiviranja obvezni su tako da DMU može pohraniti podatke u izvješće. CPR02 se može dobiti na komadu papira preko ispisa na pisaču kokpita, u digitalnom obliku, na disketama na optičkom disku DAR (A330/A340), na kartici PCMCIA (A319/A320) ili putem prijena ACARS-om. Daje podatke o zrakoplovima i motoru zabilježene na krstarenju za analizu APM. Pri automatskom bilježenju podataka podaci potrebni za analizu performansi u krstarenju pohranjuju se u format CPR02, a to izvješće se može koristiti bez dodatnih rukovanja.

Postoje dva različita formata datoteka CPR02 ovisno o sučelju DMU koje se koristi za dohvat izvještaja:

- (1) tiskano izvješće, disketna izvješća ili izvješća PCMCIA,
- (2) izvješća transmitirana putem sustava ACARS.

Budući da su prijenosi kroz ACARS skupi, kada se CPR02 odašilje do zemlje, format zaprimljene datoteke je nešto drugačiji kako bi se smanjila duljina i veličina datoteke. Ovakav tip izvješća, dobiven preko ACARS-a je obrađen u programu APM u sklopu PEP-a za svrhu ovog rada.

AIDS CPR02 generira se kada DMU otkrije da su ispunjeni uvjeti koji određuju stabilno krstarenje. Kada se dosegne faza krstarenja, pretraživanje stabilnosti provodi se praćenjem nekih parametara zrakoplova. Kada su varijacije svih tih parametara unutar raspona određenog za svaki od njih tijekom prilagođenog razdoblja, tada su ispunjeni stabilni uvjeti krstarenja i generira se izvješće. Ako uvjeti nisu ispunjeni, izvješće 02 se neće generirati. Operater ne smije mijenjati nijednu graničnu vrijednost parametara.

U zrakoplovu tipa A319 DMU generira CPR02 na temelju sati leta ili dionice leta. DMU u fazi krstarenja traži generiranje izvještaja sa stabilnim kriterijima aktiviranja. Izvješće se zatim pohranjuje u međuspremnik.

Osnovna konfiguracija DMU zrakoplova A319 je:

1. Pretraživanje vremenskog okvira: 1 sat,
2. Promatrani podaci tijekom pet intervala od 20 sekundi. Interval koji pokazuje najbolje rezultate se pohranjuje u međuspremnik,
3. Kriterij stabilnosti koji se mora zadovoljiti. [1]

3.4.3. **Postupak analize podataka**

Postupak analize podataka kod automatskog bilježenja podataka znatno je jednostavniji nego kod ručnog bilježenja podataka jer je DMU već provjerio kriterije stabilnosti prije snimanja parametara. Zbog toga nije potrebna daljnja procjena stabilnosti parametara.

Ulazni podaci pohranjeni su u izvješću CPR02. Airbus je proveo posebnu rutinu koja omogućuje automatsko učitavanje izvješća CPR02 kada je u digitalnom obliku. Analiza dobivenih podataka može se provesti alatom specifičnim za Airbus, na temelju metode specifičnog doleta: program APM. [1] Na taj su način obrađeni podatci iz CPR02 za A319-112 flote Croatia Airlinesa u ovome radu što je prikazano u poglavlju 4. Obrada podataka performansi krstarenja.

4. Obrada podatka performansi krstarenja

Dostupno je nekoliko Airbusovih alata za analizu performansi u krstarenju. Program APM je na prvom mjestu za rutinsko praćenje performansi zrakoplova zbog količine podataka koji se obrađuju. Posvećen je brzom analizi performansi. Omogućuje usporedbu razine performansi krstarenja zrakoplova (potrošnja goriva, parametri motora, specifični dolet) kako je zabilježeno tijekom leta s razinom performansi u knjizi proizvođača. Sadrži funkciju učitavanja izvještaja DMU te se tako gubi potreba za ručnim učitavanjem izvješća.

Kao podsjetnik, proizvođač utvrđuje razinu performansi u knjizi proizvođača prije proizvodnje i ona predstavlja prosjek flote zrakoplova s novim motorima i konstrukcijom. Distribucija zrakoplova u različitim kompanijama rezultira pojedinačnim performansama iznad i ispod razine performansi dane u knjizi proizvođača. Podatci u FCOM-u predstavljaju razinu performansi iz knjige proizvođača i nalaze se u bazama podataka koje koriste softveri PEP: APM, IFP, Program priručnik leta (*Flight Manual – FM*), Program optimizacije polijetanja i slijetanja (*Take-off and Landing Optimization – TLO*), Program planiranja letenja (*Flight planning – FLIP*), Program operativne putanje leta (*Operating Flight Path – OFP*) i Program proračuna razine buke (*Noise Level Computation – NLC*). Izbor alata je odluka zračnog prijevoznika ovisno o potrebama.

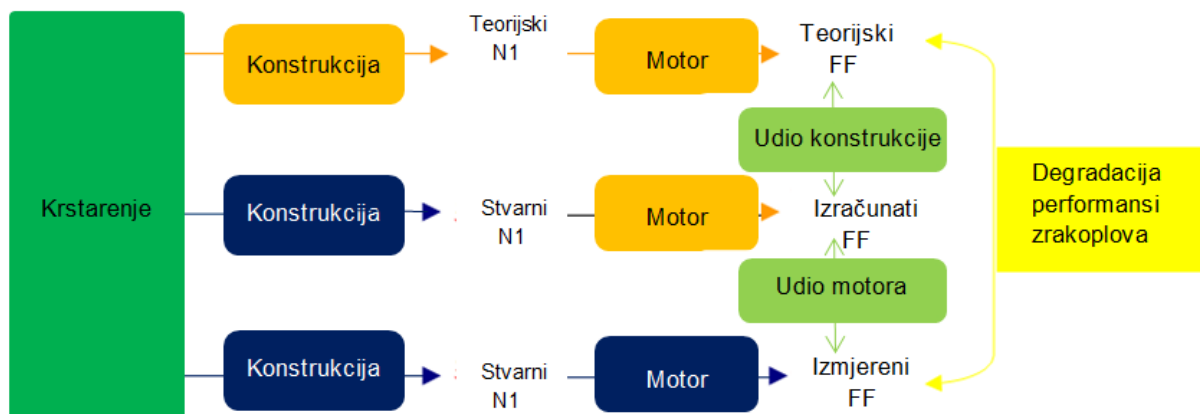
Analiza izvedena s Airbusovim alatima temelji se na zrakoplovnim bazama podataka IFP koje vrijede za analizu krstarenja u očekivanim uobičajenim operativnim uvjetima. Model performansi zrakoplova IFP izgrađen je na temelju rezultata ispitivanja ponašanja u letu. Većina računalnih sustava plana leta te objavljenih tablica performansi u FCOM-u i u Priručniku za brze reference (*Quick Reference Handbook*) koriste model IFP. [1]

4.1. Model APM

APM izračunava odstupanje parametara leta kao što su *FF* i parametara motora *N1/EPR* od nominalnih vrijednosti. Krajnji rezultat je razlika u specifičnom doletu što odražava koliko je daleko zrakoplov vrijednosti koje su dane u knjizi proizvođača. Specifični dolet može biti lošiji ili bolji od razine performansi u knjizi proizvođača jer ona predstavlja prosječnu razinu performansi u odnosu na niz kombinacija potpuno novih zrakoplova i motora. Razlika u specifičnom doletu je nadzirani faktor goriva koji će operateru omogućiti podešavanje plana leta sustava FMS u zrakoplovu, računalno planiranje leta i sva istraživanja povezana s performansama u servisiranju i inženjeringu.

Program izračunava performanse krstarenja zrakoplova primjenom matematičkih metoda iz područja vjerojatnosti, optimalne procjene i tehnika filtriranja te poznatim jednadžbama uzgona, otpora i potiska motora u stabiliziranim uvjetima krstarenja. Analiza se naziva metoda specifičnog doleta. Za svaki let, podatci

zabilježeni u letu se koriste za mjerenje specifičnog doleta koji predstavlja prijedenu udaljenost po jedinici goriva. Rezultati se zatim uspoređuju sa specifičnim doletom koji je predviđen za dane uvjete leta (masa, nadmorska visina, *TAT*, *Ma*) nakon čega program određuje odstupanje u specifičnom doletu. Program omogućuje i razlikovanje između utjecaja konstrukcije zrakoplova i utjecaja motora. Uspoređujući vrijednosti dane u knjizi proizvođača i izmjerene vrijednosti postavki snage motora, protoka goriva i temperature ispušnih plinova, izračunava se skup parametara odstupanja. Shematski način rada APM-a prikazan je na slici 4.1. Narančasti okviri predstavljaju teorijski model, plavi okviri predstavljaju stvarne podatke.



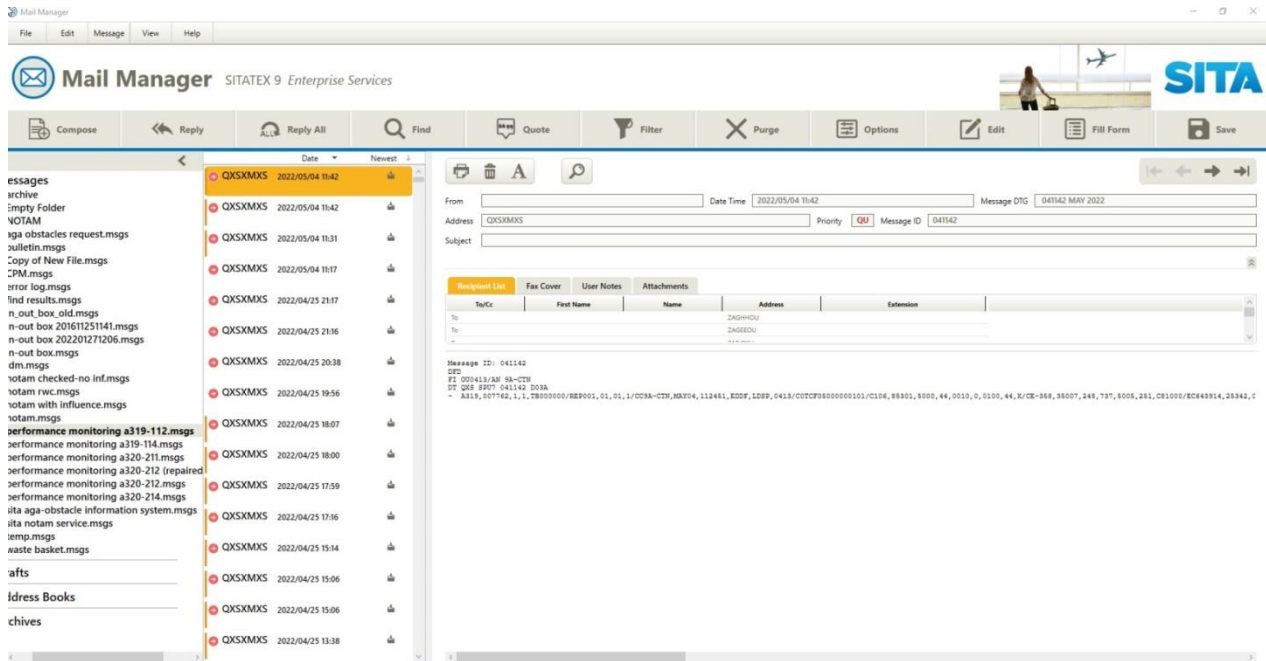
Slika 4.1 Shematski prikaz procesa APM, [1]

Ulazni podatci (informacije o *Ma*, nadmorskoj visini, *TAT*-u, ukupnoj masi zrakoplova i lokaciji CG-a) dobiveni mjerenjem i izlazni podatci dobiveni analizom mogu se pohraniti u biblioteke za dugoročno praćenje trendova. Ova značajka omogućuje praćenje trenda degradacije zrakoplova s vremenom, kako bi se utvrdile sve korektivne mjere koje treba poduzeti. Omogućuje i dobivanje prosječnih rezultata svih zrakoplova flote. [1]

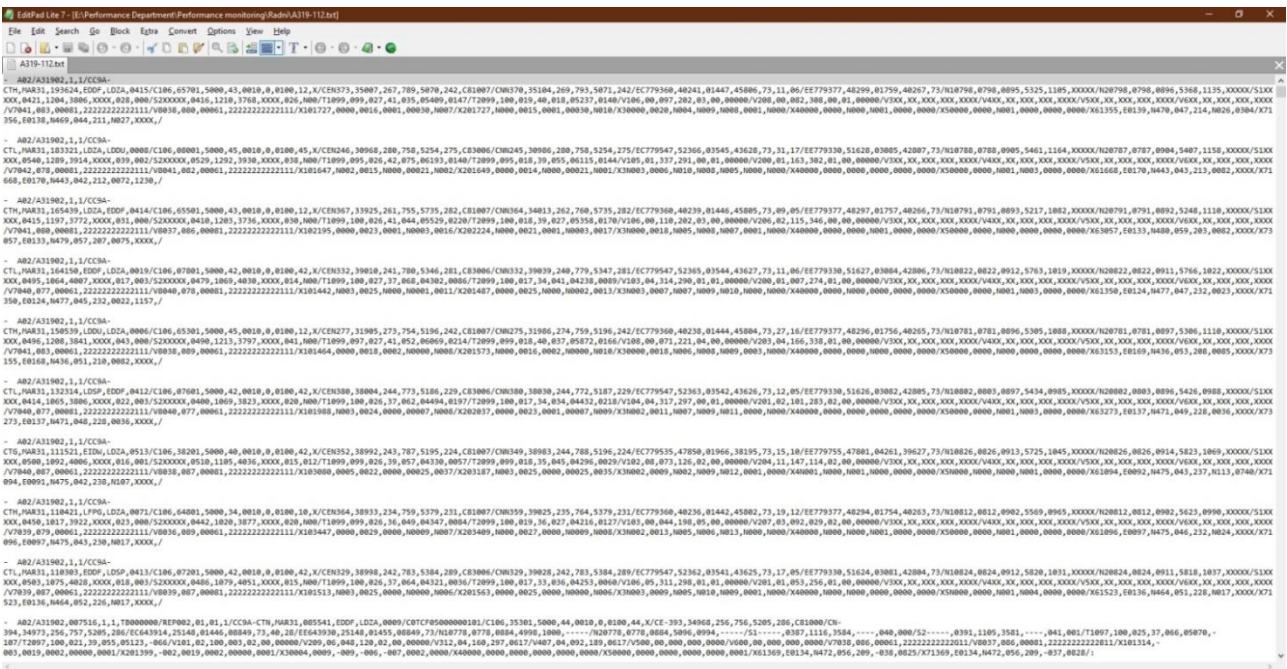
4.2. Analiza CPR02 A319-112 u programu PEP APM

U ovom poglavlju prikazana je detaljna obrada podataka praćenja performansi iz izvješća CPR02 prikupljenog putem ACARS-a (sustav ACARS – SITA) u programu PEP APM na primjeru flote zrakoplova A319-112 Croatia Airlinesa. Analiza se vrši svakih 3 do 6 mjeseci, a podatci koji se obrađuju za svrhu ovog rada su prikupljeni u vremenskom periodu od 1. 1. 2022. do 31. 3. 2022.

Prvi korak (slika 4.2.) je dobavljanje izvješća CPR02 koje je transmitirano od ACARS-a i dostavljeno u Menadžer za poštu SITATEX putem sustava ACARS – SITA. Iz svake mape SITA selektiraju se sva izvješća i šalju na ispis. Za pisac se izabire generički tekstualni pisac. Na slici 4.3. prikazana su ispisana izvješća ACARS – SITA za period od 1. 1. 2022. do 31. 3. 2022. za flotu zrakoplova A319-112 Croatia Airlinesa (9A-CTH, 9A-CTL, 9A-CTG, 9A-CTN, 9A-CTI) u formatu tekstualne datoteke (*Text File – txt*).



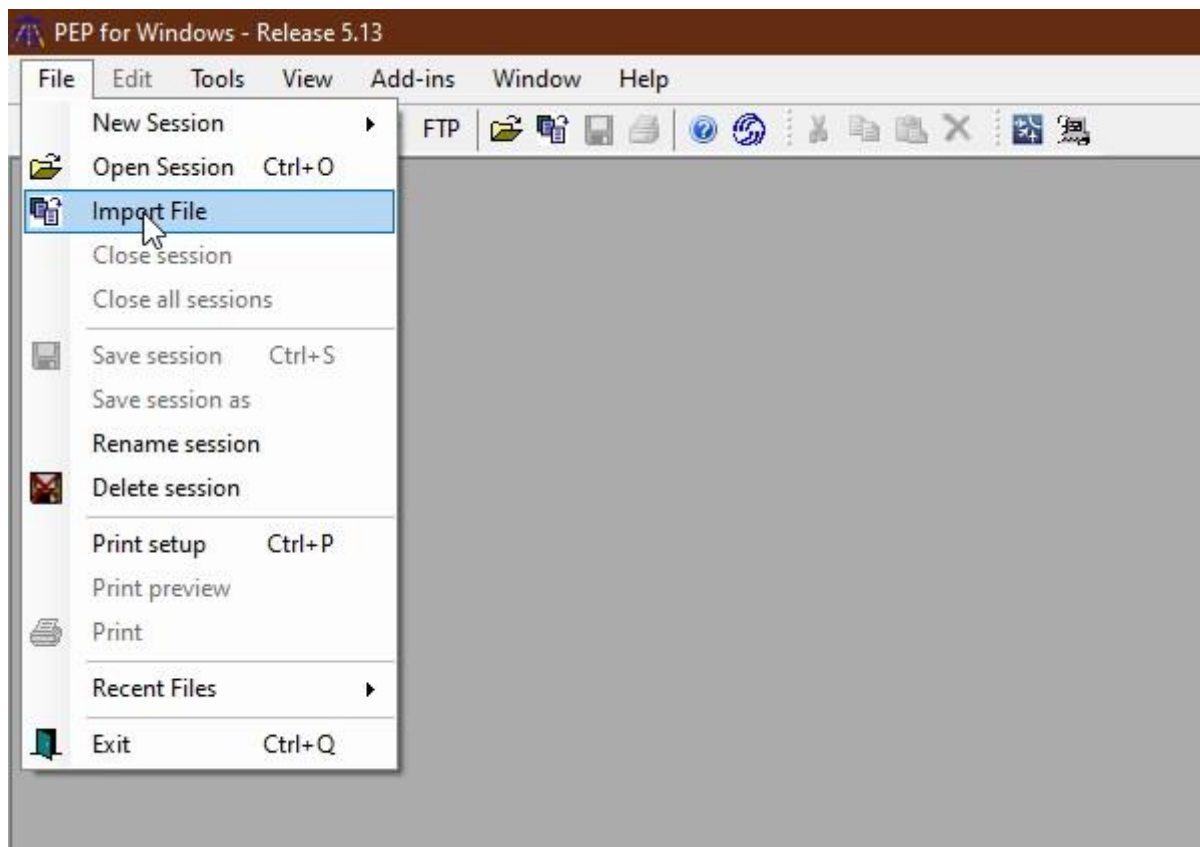
Slika 4.2 Menadžer za poštu SITATEX



Slika 4.3 Ispisana izvješća za tri mjeseca od 1. 1. 2022. do 31. 3. 2022.

U Croatia Airlinesu se filtriranje podataka APM ACARS vrši programom Filtriranje podataka APM ACARS.exe čime se *txt* datoteka prebacuje u *ftl* format koji se zatim učitava u PEP.

Sljedeći korak (slika 4.4.) je importiranje izvješća u PEP. Odabire se tipka Dokument (*File*), zatim Učitaj dokument (*Import file*) i onda se selektira datoteka prethodno obrađena programom za filtriranje podataka APM ACARS i klikne se Otvori (*Open*) čime se izvješće učitava u PEP.



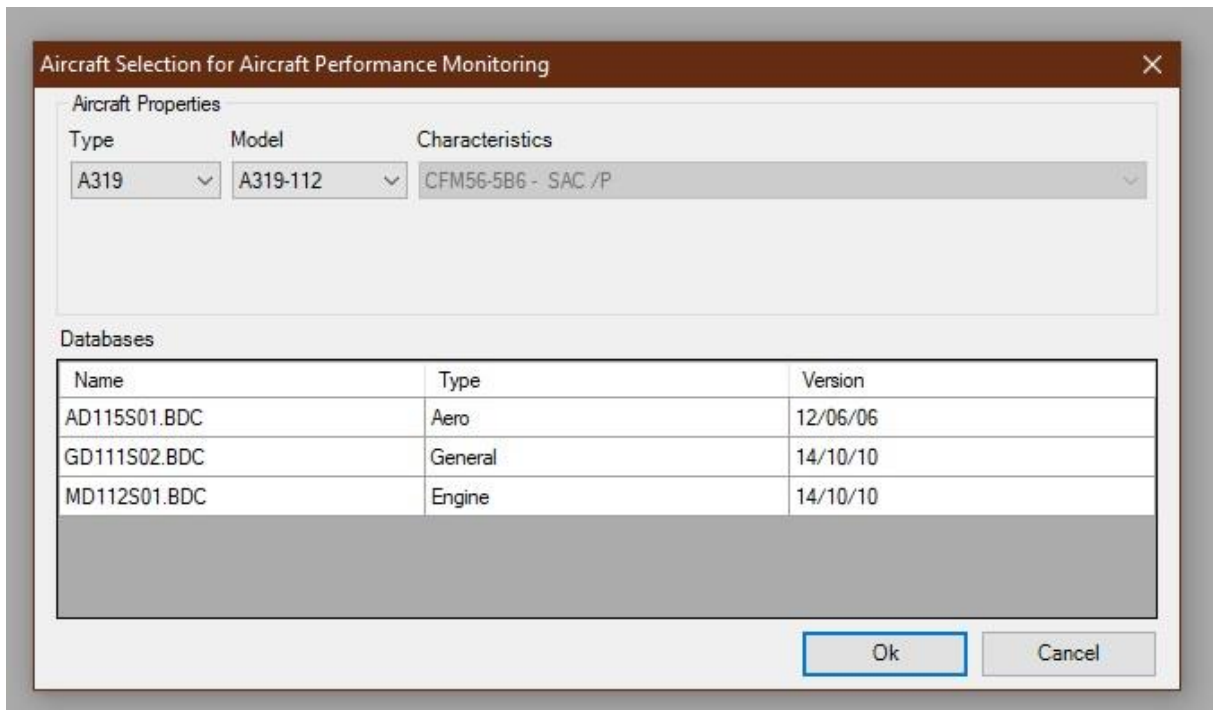
Slika 4.4 Učitavanje izvješća u PEP

Nakon učitavanja izvješća potrebno je odabrati zrakoplov čije se izvješće o performansama u krstarenju želi analizirati što je prikazano na slici 4.5. Za svrhu ovog rada su odabrana izvješća za flotu zrakoplova A319-112.

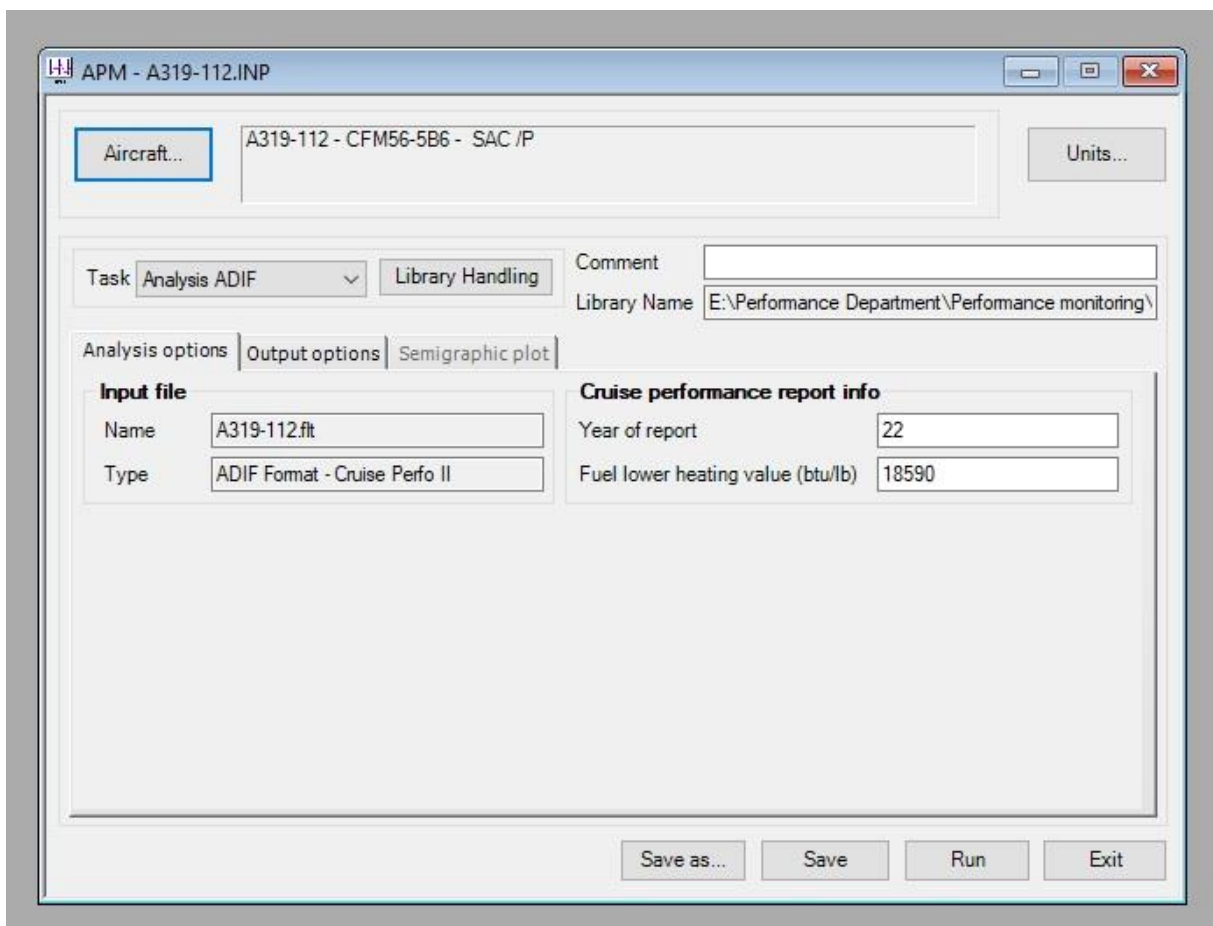
Po odabiru opcije U redu (OK) otvara se prozor sa ulaznim podacima (slika 4.6). Ulazni podatci daju informacije o:

- zadatku (*Task*) što je ovdje analiza ulazne datoteke zrakoplovnih podataka (*Aircraft Data Input File – ADIF*),
- imenu knjižnice u koju se dokument sprema,
- nazivu dokumenta koji je učitao tj. izvješće CPR02 za odabrani zrakoplov (ovdje flota A319-112) za željeni vremenski period (ovdje period od 1. 1. 2022. do 31. 3. 2022.) u *ftl* formatu,
- tipu formata (u ovom slučaju ADIF),
- godini izvješća (u ovome radu 2022.),
- nižoj ogrijevnoj vrijednosti goriva (*Fuel Lower Heating Value – FLHV*) koja iznosi 18590 btu/lb.

Po odabiru tipke Spremi kao (Save as) čime se sesija obrade sprema i tako može arhivirati, odabire se tipka Rukovanje knjižnicom (*Library Handling*).

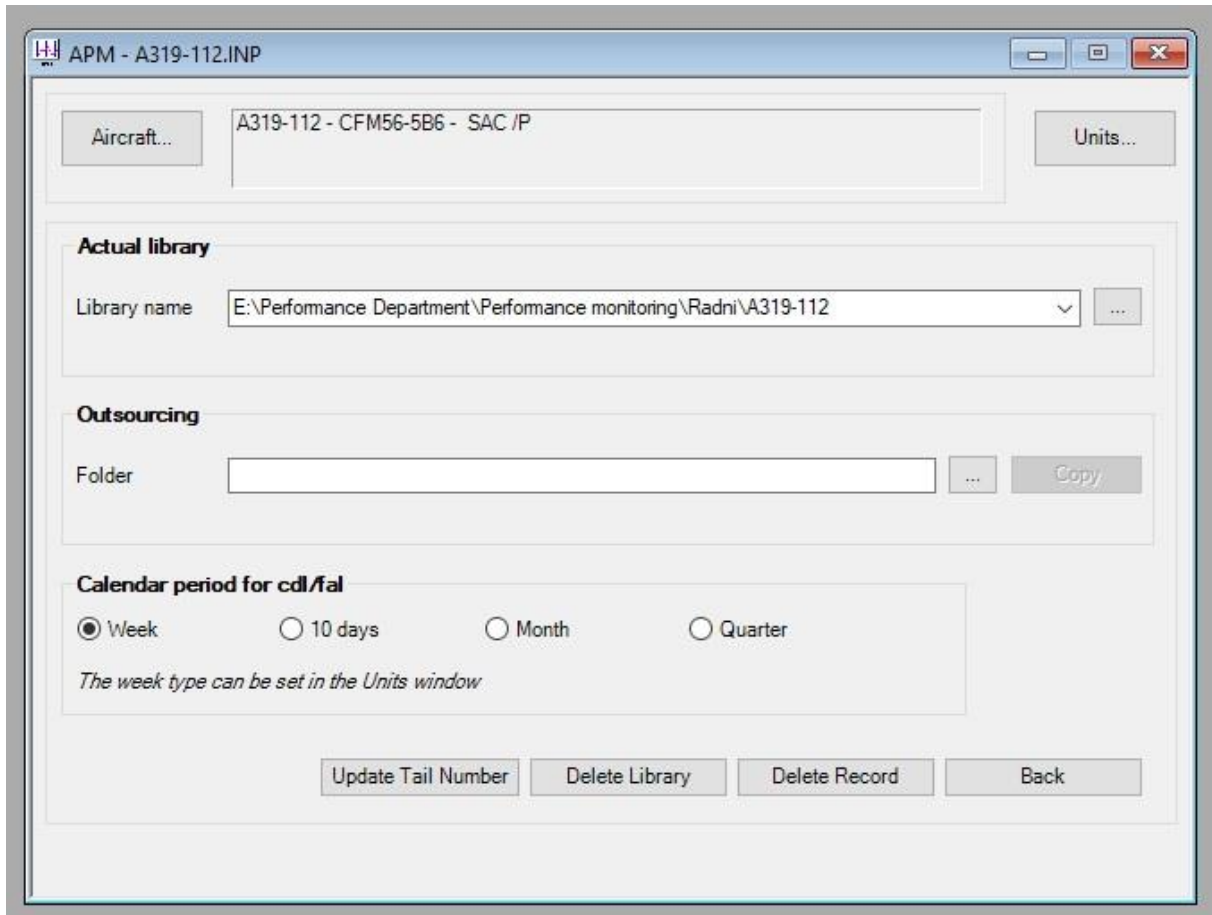


Slika 4.5 Biranje aviona za analizu izvješća



Slika 4.6 Ulazni podatci

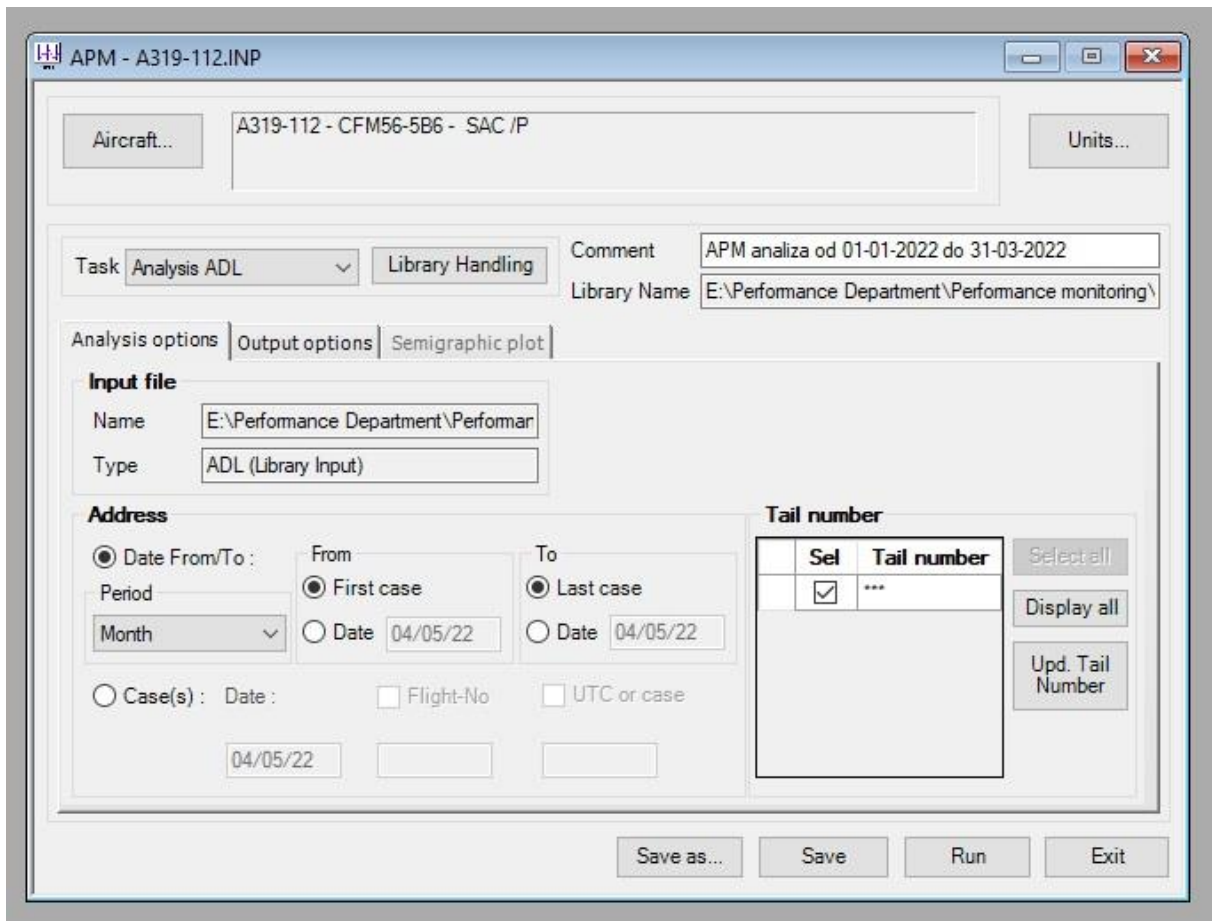
Odabirom tipke Rukovanje knjižnicom otvara se prozor prikazan na slici 4.7. koji prikazuje putanju za knjižnicu APM (*APM library*) gdje se odabire mjesto tj. takozvana knjižnica gdje se analiza izvješća pohranjuje. U Rukovanju knjižnicom također se odabire kalendarski period za Popis odstupanja konfiguracije (*Configuration Deviation List – CDL*) i za Liniju konačnog sklopa (*Final Assembly Line - FAL*). U ovom radu odabran je tjedni kalendarski period.



Slika 4.7 Putanja za knjižnicu APM

Nakon odabira knjižnice i kalendarskog perioda, odabire se opcija Natrag (*Back*), čime se korisnik vraća na prozor ulaznih podataka (slika 4.8.) gdje na mjesto komentara upisuje „Analiza APM od datuma kojim je započelo prikupljanje podataka do datuma kojim je završilo“. U slučaju ovog rada, komentar je glasio „Analiza APM od 01-01-2022 do 31-03-2022“.

Nakon upisivanja komentara, u opciji Zadatak (*Task*) odabire se prienos ADIF-a u biblioteku podataka o zrakoplovima (*Aircraft Data Library – ADL*) te se zatim vrijednost *FLHV* mijenja u 18400 btu/lb. Razlog promjene niže ogrijevne vrijednosti goriva detaljno je pojašnjen u poglavlju 6. Značaj faktora goriva u obradi podataka praćenja performansi. Nakon promjene *FLHV* odabire se opcija Pokreni (*Run*) čime započinje transfer ADIF-a u ADL.



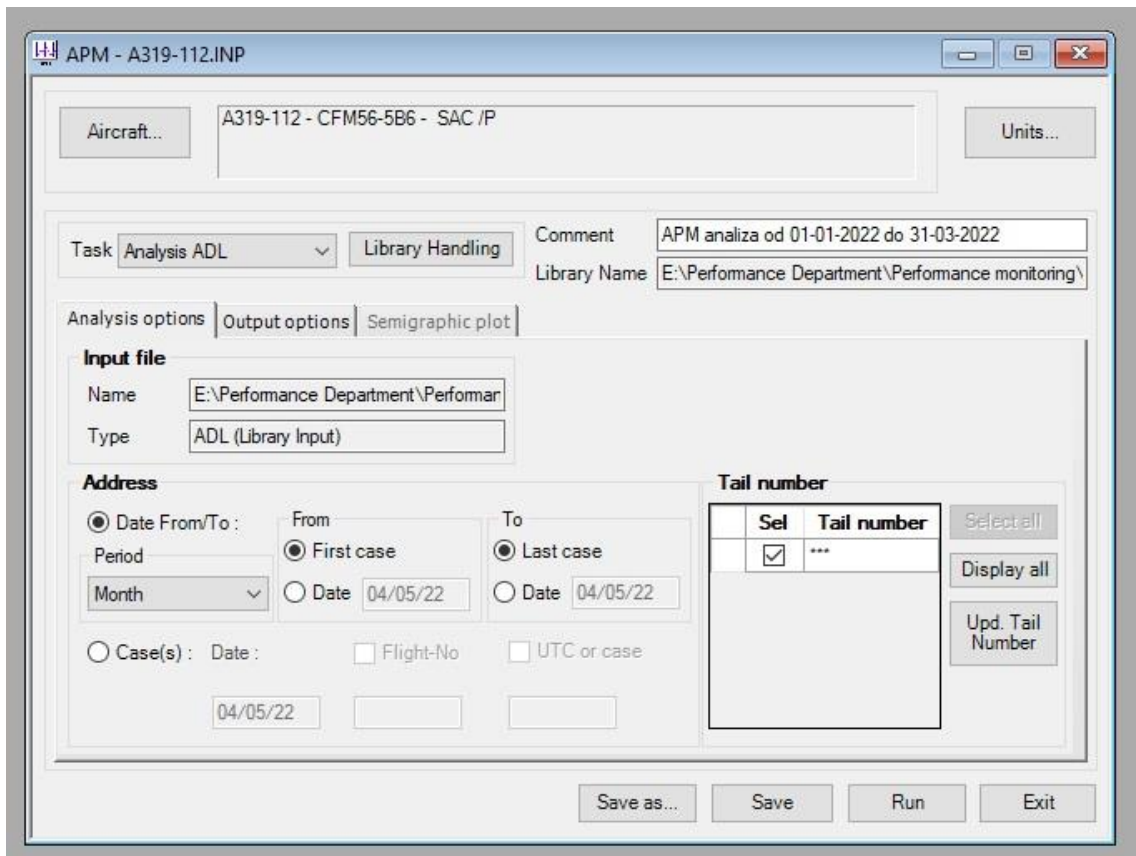
Slika 4.8 Promjena ADIF-a u ADL i druga vrijednost FLHV

Po završetku transfera ADIF-a u ADL, u zadatku se odabire Analiza ADL (*Analysis ADL*) čime se otvara prozor opcije analize ADL prikazan na slici 4.9. U tom prozoru je potrebno podesiti sljedeće opcije:

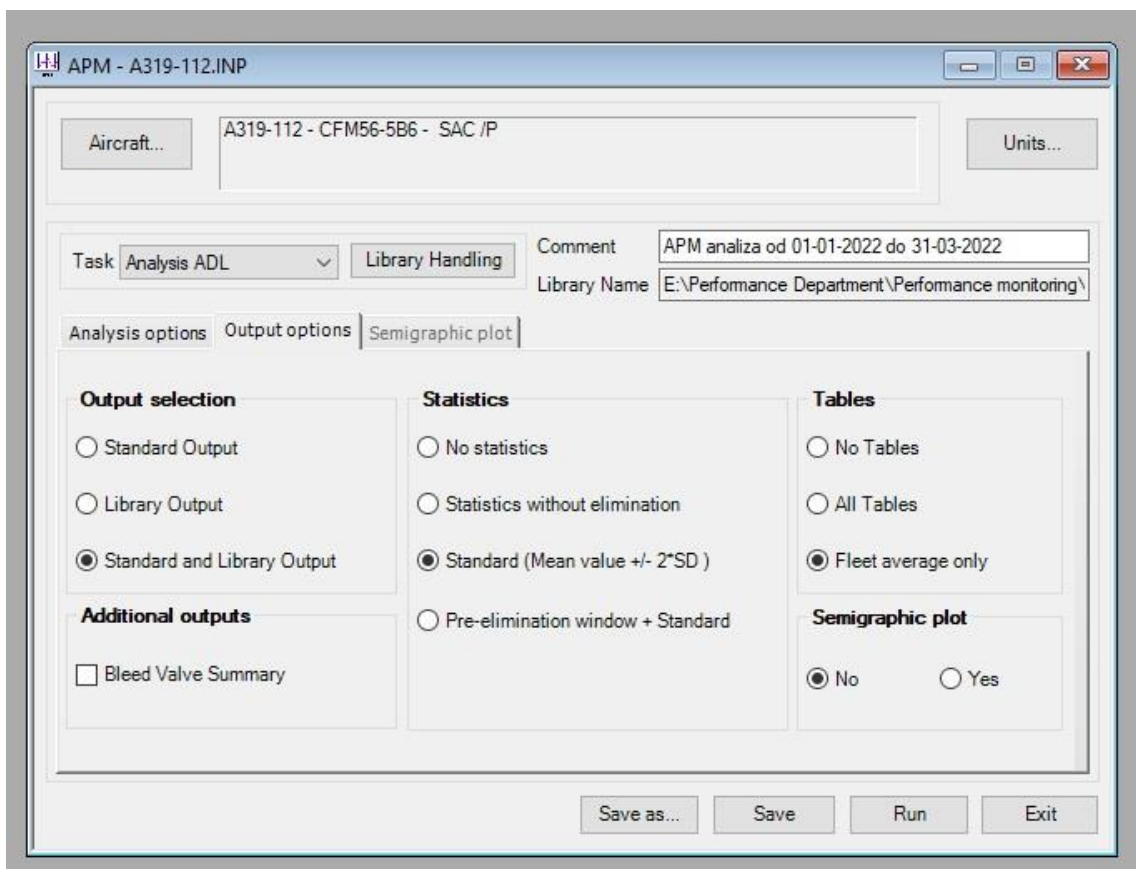
- period (*Period*) na mjesec (*Month*),
- od (*From*) na prvi slučaj (*First Case*),
- do (*To*) na zadnji slučaj (*Last Case*),
- broj na repu (*Tail number*) na ***.

U ovom je radu za prvi i zadnji slučaj postavljen datum 4. 5. 2022. jer je to datum izrade analize.

Nakon što su se odabrale i upisale željene opcije u sljedećem koraku odabire se tipka Izlazne mogućnosti (*Output options*) koja otvara prozor prikazan na slici 4.10.



Slika 4.9 Opcije analize ADL



Slika 4.10 Izlazne mogućnosti ADL

U izlaznim mogućnostima je potrebno Odabir izlaza (*Output selection*) postaviti na Standardni i knjižnični izlaz (*Standard and Library Output*), Statistike (*Statistics*) postaviti na Standardne (*Standard - SD*) koje iznose prosječna vrijednost (*Mean value*) uvećana ili umanjena za dvostruku vrijednost standardne devijacije (*Mean value +/- 2*SD*), Tablice (*Tables*) postaviti na Samo prosjek flote (*Fleet average only*) i Semigrafičko iscrtavanje (*Semigraphic plot*) postaviti na Ne (*No*).

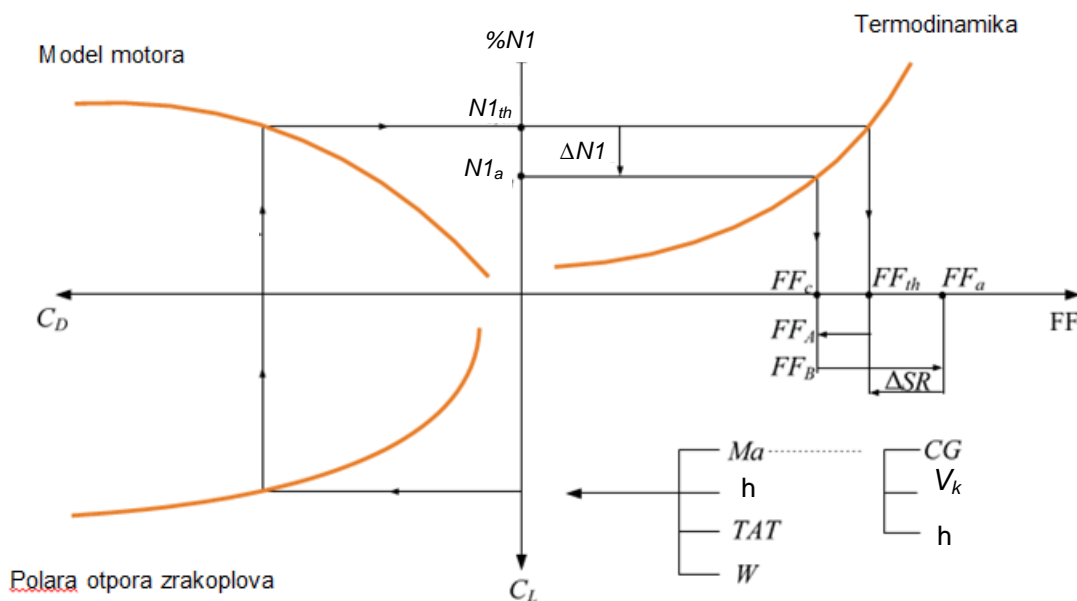
Nakon postavljanja izlaznih mogućnosti, odabire se tipka Pokreni (*Run*) čime se dobiva rezultat APM analize izvješća o performansama u krstarenju za flotu zrakoplova A319-112 Croatia Airlinesa za vremenski period od 1. 1. 2022. do 31. 3. 2022. Detaljno objašnjenje, prikaz i procjena rezultata kompletne analize nalaze se u poglavlju 5. Procjena rezultata.

5. Procjena rezultata

5.1. Izlazni podatci analize APM

Slika 5.1 prikazuje princip računanja Airbusovog programa APM. Na temelju jednadžbi mehanike leta zahvaljujući parametrima zabilježenim tijekom leta, moguće je odrediti veličinu koeficijenta uzgona (*Lift coefficient* - C_L). Aerodinamička svojstva zrakoplova poznata su iz modela IFP. Odnos otpora i uzgona i izračunati uzgon omogućuju dobivanje koeficijenta otpora (*Drag coefficient* - C_D). U jednadžbi mehanike leta, za održavanje horizontalnog leta, potisak treba biti jednak otporu.

Potisak na $N1$ izvodi se iz modela motora IFP i daje nam $N1$ prema razini performansi u knjizi ili teorijskom $N1$ (*Theoretic $N1$* - $N1_{th}$). Na određenom $N1$, model IFP omogućuje nam da odredimo koliko iznosi potrošnja goriva. Potrošnja goriva koja odgovara izmjerenom $N1$ ($N1_a$) zove se izračunata potrošnja goriva (*Calculated Fuel Flow* - FF_c), a potrošnja goriva koja odgovara teorijskom $N1$ ($N1_{th}$) zove se teorijska potrošnja goriva (*Theoretical Fuel Flow* - FF_{th}). [1]



Slika 5.1 Princip računanja programa APM, [1]

Najvažniji podatci dobiveni analizom izvješća CPR02 su devijacija potrošnje goriva zbog „očite” degradacije na konstrukciji zrakoplova (*Deviation fuel flow due to "apparent" airframe deterioration* – DFFA), devijacija potrošnje goriva zbog degradacije motora (*Deviation of fuel flow due to engine deterioration* – DFFB) i globalna degradacija performansi zrakoplova (u %) u smislu degradacije specifičnog doleta (*Specific Range Deviation* – DSR).

DFFB i DFFA su vrlo važni parametri za praćenje trendova performansi zrakoplova, ali ne predstavljaju stvarni omjer degradacije zbog motora i degradacije zbog konstrukcije. DSR je glavni izlazni parametar programa APM. To je vrijednost koja se koristi za faktor performansi (*Performance factor* – PF). Njegova apsolutna vrijednost i trend su od primarne važnosti. [2]

DFFA je povezan s uvjetima leta. Uvjeti letenja glavni su izvor pogreške, posebno netočna ukupna masa zrakoplova (plaćeni teret izračunat na temelju standardnih masa). Stoga vrijednost DFFA treba tumačiti s velikim mjerama predostrožnosti tj. visoka vrijednost DFFA ne ukazuje nužno na visoko aerodinamičko pogoršanje konstrukcije. Izmijenjeni odnos EPR /potisak u odnosu na referentni motor može biti odgovoran za dio odstupanja. [1]

Razlika između vrijednosti izračunate i teorijske potrošnje goriva predstavlja devijaciju potrošnje goriva zbog očitog pogoršanja konstrukcije, a izračunava se preko formule (1) [5]:

$$DFFA = \frac{FF_c - FF_{th}}{FF_{th}} \times 100[\%] \quad (1)$$

DFFB je povezan samo s zapisima $N1/EPR$ i FF te je neovisan o odnosu potiska i EPR i pridruženom modelu motora. To znači da se visoka razina povjerenja može dati vrijednosti DFFB. Također je povezan s nižom ogrijevnom vrijednosti goriva ($FLHV$) koja se koristi za izračun teorijskih parametara kao što su potrošnja goriva (FF_{th}) i $N1/EPR$ ($N1_{th}/EPR_{th}$), a čija nominalna vrijednost za Airbus iznosi 18590 btu/lb.

DFFB je također povezan s umjeravanjem mjerača potrošnje goriva motora. Rezultati DFFB mogu se potvrditi zasebnom EGT od strane stručnjaka za održavanje motora u zrakoplovnoj kompaniji. [1]

Ako su performanse motora također degradirane, izračunata potrošnja goriva za $N1_a$ će se razlikovati od stvarne (izmjerene) potrošnje goriva FF_a . Razlika između FF_a i FF_c dat će devijaciju potrošnje goriva zbog degradacije performansi motora. Jednadžba kojom se računa dana je u nastavku (2) [5]:

$$DFFB = \frac{FF_a - FF_c}{FF_c} \times 100[\%] \quad (2)$$

Razlika između stvarnog specifičnog doleta SR_a , (uzimajući u obzir FF_a) i teorijskog SR_{th} (uzimajući u obzir FF_{th}) u jednakim uvjetima leta (visina, masa, TAT , Ma itd.) navedena je kao devijacija specifičnog doleta DSR , izražena jednadžbama (3) i (4):

$$DSR = \frac{SR_a - SR_{th}}{SR_{th}} \times 100[\%] \quad (3)$$

$$DSR = \frac{FF_{th} - FF_a}{FF_a} \times 100[\%] \quad (4)$$

Ukupna devijacija specifičnog doleta jednaka je zbroju devijacije specifičnog doleta zbog degradacije performansi motora i devijacije specifičnog doleta zbog degradacije konstrukcije zrakoplova. [5] U tablici 3. prikazani su ostali važni ulazni podatci za metodu specifičnog doleta u programu APM.

Tablica 2. Najvažniji ulazni podatci za metodu specifičnog doleta

| Varijabla | Opis |
|----------------------------------|--|
| Ma | Machov broj iz računala aerodinamičkih podataka (<i>Air Data Computer – ADC</i>) |
| h | Visina po tlaku iz ADC (ft) |
| TAT | Ukupna temeprtura zraka iz ADC (°C) |
| Masa zrakoplova | Masa zrakoplova iz <i>load and trim</i> lista i potrošnje goriva (lb) |
| CG | Težište u % aerodinamičke tetive (<i>Mean aerodynamic chord - MAC</i>) |
| V_K | Horizontalna akceleracija zrakoplova duž putanje leta izražena u g-ima |
| h' | Brzina penjanja (<i>Rate of climb – ROC</i>) (ft/min) |
| N_1 | Brzina vrtnje ventilatora (%) |
| EPR | Odnos totalnih tlakova na ispuhu i uvodniku |
| FF_n | Prava potrošnja goriva za motor n (kg/h) |
| EGT | Temperatura ispušnih plinova |
| $(N_a)_n$ | Protok mase zraka kroz motor n (kg/h) |
| $FLHV$ | Niža ogrijevna vrijednost goriva (J/kg) |
| Zemljopisna širina i pravac leta | Za moguće Coriolis/centrifugalne i lokalne gravitacijske akceleracije |

Izvor: [5]

Na temelju rezultata metode specifičnog doleta operator zrakoplova može poduzeti potrebne mjere kao što su popravak konstrukcije, prilagodba postavki motora ili ispravak faktora performansi (PF). PF je broj koji se upotrebljava za korekciju stvarne potrošnje goriva. Koristi se za sinkronizaciju teorijske baze podataka s stvarnom situacijom unutar Sustava za upravljanje letom (FMS). Airbus preporučuje korekciju faktora performansi kada su odstupanja potrošnje goriva najmanje $\pm 0,5\%$.

Nedostaci Airbus metode specifičnog doleta:

- zahtijeva najmanje petnaest minuta stacionarnog krstarenja,
- nije prilagođeno za odredišta kratkih letova,
- nije moguće procijeniti odstupanje specifičnih fizičkih čimbenika od njihovih teorijskih (početnih) vrijednosti,
- ne uzima u obzir sve parametre motora pri izračunu sile potiska. [5]

Sve rezultate APM-a treba usporediti s rezultatima ispitivanja performansi provedenih tijekom prvog leta zrakoplova. To vrijedi pod uvjetom da su motori ostali isti. Neke se razlike mogu očekivati jer je prvi let zrakoplova izvan normalnih operativnih ograničenja. [2]

5.2. Rezultati performansi flote A319-112 Croatia Airlines

U nastavku se nalaze rezultati analize CPR02 u programu PEP APM za flotu zrakoplova A319-112 Croatia Airlinesa za vremenski period od 1. 1. 2022. do 31. 3. 2022.

Na prvoj stranici analize (slika 5.2.) prikazane su osnovne informacije koje prikazuju odabrane opcije prilikom obrade podataka. Ključne prikazane informacije su:

- operativni sustav: PEP,
- izvršenje: analiza performansi u krstarenju,
- tip zrakoplova: A319-112,
- tip motora: CFM56-5B6,
- informacija o zadatku: analiza APM od 01-01-2022 do 31-03-2022.

```

AIRCRAFT PERFORMANCE MONITORING
*****
A P M - Version 5.4.0 - May 2020
*****
(C) AIRBUS 2016

JOB DESCRIPTION                               Operating System: WIN-PEP
*****
EXECUTION ....: CRUISE PERFORMANCE ANALYSIS
TYPES .....: Aircraft ....: A319-112
              Engine .....: CFM56-5B6
DATABASES ....: Aerodynamic  : AD118801.BDC
              Engine .....: MD112801.BDC
              General .....: GD111802.BDC
INPUT (ADL) ...: File .....: A319-112.ADL
  Address ...: A/C Ident.  : All TAIL-Numbers
              Date from-to: 1st Date  Last Date
              Flight-No...: all
              UTC(case)  : all
              Period Type: Month
STATISTICS ....: Yes - with Data Windows
OUTPUT .....: Tables .....: Aircraft/Fleet Average
              Plots .....: No
LIBRARIES ....: Storing in ODL - Update of CDL/FAL
INFO .....: APM analiza od 01-01-2022 do 31-03-2022
*****

* AIRBUS CRUISE PERFORMANCE * AIRCRAFT PERFORMANCE MONITORING *
*-----*
*          *** PROGRAM: A P M - Version 5.4.0 - May 2020 ***          *
*-----*
* AIRCRAFT TYPE:   A319-112           ENGINE TYPE:   CFM56-5B6           *
*-----*
* DATABASES:  AERODYN.  : AD118801.BDC           DATE: 12/06/06   -----*
*             ENGINE   : MD112801.BDC           DATE: 14/10/10   -----*
*             GENERAL  : GD111802.BDC           DATE: 14/10/10   -----*
*-----*
* JOB-INFORMATION: APM analiza od 01-01-2022 do 31-03-2022           *
*-----*
FLEET 1                               DIRECT ANALYSIS OUTPUT (INPUT BY ADL)

```

Slika 5.2 Osnovne informacije u analizi APM flote A319-112

Na narednim stranicama analize nalaze se podatci o motoru (*N11*, *N12*, *N1M*, *EGT1*, *EGT2*, *EGTM*) i rezultati performansi (*DFFA1*, *DFFA2*, *DFFAM*, *DFFB1*, *DFFB2*, *DFFBM*, *DSR*) za svaki zrakoplov iz flote za siječanj (slika 5.3), veljaču (slika 5.4) i ožujak (slika 5.5) pri čemu sufiks „1“ označava podatak za prvi motor, sufiks „2“ označava podatak za drugi motor, a sufiks „M“ označava prosjek za 2 motora.

Svaki podatak se razmatra kroz tri čimbenika:

1. Srednju vrijednost (*Mean Value – MV*),
2. Standardnu devijaciju (*Standard Deviation – SD*) tj. raspršenost rezultata,
3. Broj podataka (*Number of Points – NR*).

Pri procjeni rezultata, fokus se stavlja na srednju vrijednost. Cjelokupna procjena bazira se na zaključcima dobivenim na temelju principa računanja programa APM (slika 5.1) gdje je dokazano da pozitivna devijacija *N1/EPR* rezultira pozitivnom *DFFA*. Pomoću toga moguće je interpretirati *DFFA*, *DFFB* i *DSR*.

1) Interpretacija *DFFA*:

- a) $DN11$ i $DN12 > 0$ stoga su $DFFA1$ i $DFFA2 > 0$ stoga veći otpor ili niži potisak pri *N1* nego u knjizi proizvođača,

- b) DN_{11} i $DN_{12} < 0$ stoga su $DFFA_1$ i $DFFA_2 < 0$ stoga manji otpor ili viši potisak pri N_1 nego u knjizi proizvođača.

2) Interpretacija DFFB:

- a) $DFFB_1$ i/ili $DFFB_2 > 0$ stoga veća potrošnja goriva nego u knjizi proizvođača,
b) $DFFB_1$ i/ili $DFFB_2 < 0$ stoga niža potrošnja goriva nego u knjizi proizvođača,
c) $DFFB_1 > 0$ i $DFFB_2 < 0$,
i) $|DFFB_1| > |DFFB_2| \rightarrow DFFB > 0$ stoga veća potrošnja goriva,
ii) $|DFFB_1| < |DFFB_2| \rightarrow DFFB < 0$ stoga niža potrošnja goriva,
d) $DFFB_1 < 0$ i $DFFB_2 > 0$,
i) $|DFFB_1| > |DFFB_2| \rightarrow DFFB < 0$ stoga niža potrošnja goriva,
ii) $|DFFB_1| < |DFFB_2| \rightarrow DFFB > 0$ stoga viša potrošnja goriva.

3) Interpretacija DSR:

- a) $DFFA > 0$ i $DFFB > 0 \rightarrow DSR < 0$,

Učinak $DFFA$ (veći otpor tj. lošiji aerodinamički uvjet nego u knjizi proizvođača) i $DFFB$ (veća potrošnja goriva nego u knjizi proizvođača) se spoje i rezultiraju devijacijom specifičnog doleta gdje je SR lošiji u odnosu na SR knjizi proizvođača.

- b) $DFFA < 0$ i $DFFB > 0$,
i) $|DFFA| > |DFFB| \rightarrow DSR > 0$,

Veća potrošnja goriva nego u knjizi proizvođača je kompenzirana boljim aerodinamičkim uvjetom nego u knjizi proizvođača što rezultira boljim SR u odnosu na SR u knjizi proizvođača.

- ii) $|DFFA| < |DFFB| \rightarrow DSR < 0$,

Manja potrošnja goriva nego u knjizi proizvođača nije dovoljna za kompenzaciju lošijeg aerodinamičkog uvjeta nego u knjizi proizvođača što rezultira lošijim SR u odnosu na SR u knjizi proizvođača.

- c) $DFFA > 0$ i $DFFB < 0$,
i) $|DFFA| < |DFFB| \rightarrow DSR < 0$,

Manja potrošnja goriva nego u knjizi proizvođača nije dovoljna za kompenzaciju lošijeg aerodinamičkog uvjeta nego u knjizi proizvođača što rezultira lošijim SR u odnosu na SR u knjizi proizvođača.

- ii) $|DFFA| < |DFFB| \rightarrow DSR > 0$,

Lošiji aerodinamički uvjet nego u knjizi proizvođača kompenziran je manjom potrošnjom goriva nego u knjizi proizvođača što rezultira boljim SR u odnosu na SR u knjizi proizvođača.

- d) $DFFA < 0$ i $DFFB < 0 \rightarrow DSR > 0$,

Učinak $DFFA$ (manji otpor tj. bolji aerodinamički uvjet nego u knjizi proizvođača) i $DFFB$ (manja potrošnja goriva nego u knjizi proizvođača) se spoje i rezultiraju

devijacijom specifičnog doleta gdje je SR bolji u odnosu na SR u knjizi proizvođača. [1]

Podatci o DFFA, DFFB i DSR svakog zrakoplova prepisuju se iz rezultata analize APM u bazu podataka APM gdje se obrađuju. Rezultat njihove obrade je grafički prikaz analize APM, faktor performansi i faktor goriva za svaki zrakoplov u floti.

5.2.1. Rezultati analize APM za siječanj 2022.

Slika 5.3 prikazuje rezultate analize APM flote A319-112 za siječanj 2022. Registracije svih zrakoplova prikazane su u stupcu lijeve strane, dok su podatci o motoru i rezultati performansi prikazani u stupcima s desna. Nisu prisutni rezultati za 9A-CTH zato što je zrakoplov u siječnju bio na održavanju.

| AIRCRAFT AND FLEET AVERAGE RESULTS | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----|--------------------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| TAIL-No/BLOCK | | DN11 | DN12 | DFFA1 | DFFA2 | DFFB1 | DFFB2 | DEGT1 | DEGT2 | DN1M | DFFAM | DFFBM | DEGTM | DSR |
| DATE from | | | | | | | | deg | deg | | | | deg | |
| DATE to | | % | % | % | % | % | % | | | % | % | % | | % |
| 9A-CTL / 1 | MV | 0.067 | 0.071 | 0.337 | 0.333 | 2.526 | 2.650 | 22.322 | 19.816 | 0.071 | 0.358 | 2.566 | 21.162 | -2.888 |
| 01/01/22 - | SD | 0.187 | 0.194 | 0.894 | 0.899 | 0.615 | 0.783 | 4.644 | 4.352 | 0.193 | 0.923 | 0.701 | 4.246 | 0.913 |
| 31/01/22 | NR | 108 | 109 | 109 | 109 | 112 | 113 | 113 | 111 | 109 | 110 | 114 | 112 | 109 |
| 9A-CTG / 2 | MV | 0.352 | 0.353 | 1.670 | 1.652 | 1.684 | 3.367 | 16.663 | 22.481 | 0.353 | 1.646 | 2.516 | 19.627 | -4.091 |
| 01/01/22 - | SD | 0.243 | 0.240 | 1.239 | 1.216 | 0.752 | 0.855 | 4.349 | 4.605 | 0.241 | 1.210 | 0.793 | 4.365 | 1.057 |
| 31/01/22 | NR | 101 | 101 | 104 | 103 | 110 | 109 | 108 | 108 | 101 | 103 | 110 | 108 | 101 |
| 9A-CTN / 3 | MV | -0.065 | -0.065 | -0.121 | -0.130 | 2.772 | 1.976 | 6.190 | 18.532 | -0.065 | -0.130 | 2.376 | 12.500 | -2.244 |
| 01/01/22 - | SD | 0.233 | 0.229 | 0.645 | 0.618 | 0.675 | 0.715 | 4.601 | 4.084 | 0.230 | 0.625 | 0.731 | 4.067 | 0.686 |
| 31/01/22 | NR | 30 | 30 | 29 | 29 | 30 | 30 | 31 | 30 | 30 | 29 | 31 | 30 | 29 |
| 9A-CTI / 4 | MV | -0.069 | -0.069 | -0.331 | -0.331 | 3.118 | 4.298 | 20.129 | 36.147 | -0.069 | -0.331 | 3.689 | 28.103 | -3.247 |
| 01/01/22 - | SD | 0.197 | 0.198 | 0.854 | 0.857 | 0.769 | 0.548 | 3.663 | 3.367 | 0.197 | 0.854 | 0.656 | 3.291 | 0.981 |
| 31/01/22 | NR | 94 | 94 | 93 | 93 | 101 | 98 | 98 | 95 | 94 | 93 | 101 | 95 | 96 |
| FLEET | | MEAN VALUES | | | | | | | | 0.073 | 0.386 | 2.787 | 20.350 | -3.118 |
| 01/01/22 - 31/01/22 | | STANDARD DEVIATION | | | | | | | | 0.198 | 0.889 | 0.607 | 6.401 | 0.770 |
| * AIRBUS CRUISE PERFORMANCE * AIRCRAFT PERFORMANCE MONITORING * | | | | | | | | | | | | | | |
| *** PROGRAM: APM - Version 5.4.0 - May 2020 *** | | | | | | | | | | | | | | |
| ***** AIRCRAFT TYPE: A319-112 ENGINE TYPE: CFM56-3B6 ***** | | | | | | | | | | | | | | |
| ***** DATABASES: AERODYN : AD118301.BDC DATE: 12/06/06 ***** | | | | | | | | | | | | | | |
| ***** ENGINE : MD112301.BDC DATE: 14/10/10 ***** | | | | | | | | | | | | | | |
| ***** GENERAL : GD118302.BDC DATE: 14/10/10 ***** | | | | | | | | | | | | | | |
| ***** JOB-INFORMATION: APM analiza od 01-01-2022 do 31-03-2022 ***** | | | | | | | | | | | | | | |
| FLEET 2 DIRECT ANALYSIS OUTPUT (INPUT BY ADL) | | | | | | | | | | | | | | |
| AIRCRAFT AND FLEET AVERAGE RESULTS | | | | | | | | | | | | | | |
| TAIL-No/BLOCK | | DN11 | DN12 | DFFA1 | DFFA2 | DFFB1 | DFFB2 | DEGT1 | DEGT2 | DN1M | DFFAM | DFFBM | DEGTM | DSR |
| DATE from | | | | | | | | deg | deg | | | | deg | |
| DATE to | | % | % | % | % | % | % | | | % | % | % | | % |

Slika 5.3 Rezultati analize APM A319-112 za siječanj 2022.

- 9A-CTL,

Pozitivne vrijednosti DN1 (0.067) i DN12 (0.071) rezultiraju pozitivnim vrijednostima DFFA1 (0.337) i DFFA2 (0.333) stoga je DFFAM također pozitivne vrijednosti (0.358) što znači da je otpor zrakoplova 9A-CTL viši od otpora koji je predviđen za Airbus A319-112 u FCOM-u.

Pozitivne vrijednosti DFFB1 (2.526) i DFFB2 (2.650) rezultiraju pozitivnom vrijednošću DFFBM (2.566) što znači da je potrošnja goriva zrakoplova 9A-CTL veća nego potrošnja predviđena za Airbus A319-112 u FCOM-u.

Pozitivne vrijednosti DFFAM (0.358) i DFFBM (2.566) rezultiraju negativnom vrijednošću DSR (-2.888) što znači da je SR zrakoplova 9A-CTL lošiji u odnosu na SR za Airbus A319-112 u FCOM-u.

- 9A-CTG,

Pozitivne vrijednosti DN1 (0.352) i DN12 (0.353) rezultiraju pozitivnim vrijednostima DFFA1 (1.670) i DFFA2 (1.652) stoga je DFFAM također pozitivne vrijednosti (1.646) što znači da je otpor zrakoplova 9A-CTG viši od otpora koji je predviđen za Airbus A319-112 u FCOM-u.

Pozitivne vrijednosti DFFB1 (1.684) i DFFB2 (3.367) rezultiraju pozitivnom vrijednošću DFFBM (2.516) što znači da je potrošnja goriva zrakoplova 9A-CTG veća nego potrošnja predviđena za Airbus A319-112 u FCOM-u.

Pozitivne vrijednosti DFFAM (1.646) i DFFBM (2.516) rezultiraju negativnom vrijednošću DSR (-4.091) što znači da je SR zrakoplova 9A-CTG lošiji u odnosu na SR za Airbus A319-112 u FCOM-u.

- 9A-CTN,

Negativne vrijednosti DN1 (-0.065) i DN12 (-0.065) rezultiraju negativnim vrijednostima DFFA1 (-0.131) i DFFA2 (-0.130) stoga je DFFAM također negativne vrijednosti (-0.130) što znači da je otpor zrakoplova 9A-CTN niži od otpora koji je predviđen za Airbus A319-112 u FCOM-u.

Pozitivne vrijednosti DFFB1 (2.772) i DFFB2 (1.976) rezultiraju pozitivnom vrijednošću DFFBM (2.376) što znači da je potrošnja goriva zrakoplova 9A-CTN veća nego potrošnja predviđena za Airbus A319-112 u FCOM-u.

Kad se negativna vrijednost DFFAM (-0.130) i pozitivna vrijednost DFFBM (2.376) pretvore u apsolutne vrijednosti pomoću modula, vidljivo je da $DFFAM < DFFBM$ što rezultira negativnom vrijednošću DSR (-2.244) što znači da manja potrošnja goriva nego u FCOM-u nije dovoljna za kompenzaciju lošijeg aerodinamičkog uvjeta nego u FCOM-u što rezultira lošijim SR 9A-CTN u odnosu na SR za Airbus A319-112 u FCOM-u.

- 9A-CTI,

Negativne vrijednosti DN1 (-0.069) i DN12 (-0.069) rezultiraju negativnim vrijednostima DFFA1 (-0.331) i DFFA2 (-0.331) stoga je DFFAM također negativne vrijednosti (-0.331) što znači da je otpor zrakoplova 9A-CTI niži od otpora koji je predviđen za Airbus A319-112 u FCOM-u.

Pozitivne vrijednosti DFFB1 (3.118) i DFFB2 (4.238) rezultiraju pozitivnom vrijednošću DFFBM (3.689) što znači da je potrošnja goriva zrakoplova 9A-CTI veća nego potrošnja predviđena za Airbus A319-112 u FCOM-u.

Kad se negativna vrijednost DFFAM (-0.331) i pozitivna vrijednost DFFBM (3.689) pretvore u apsolutne vrijednosti pomoću modula, vidljivo je da $DFFAM < DFFBM$ što rezultira negativnom vrijednošću DSR (-3.247) što znači da manja potrošnja goriva nego u FCOM-u nije dovoljna za kompenzaciju lošijeg aerodinamičkog uvjeta nego u FCOM-u što rezultira lošijim SR 9A-CTI u odnosu na SR za Airbus A319-112 u FCOM-u.

5.2.2. Rezultati analize APM za veljaču 2022.

Slika 5.3 prikazuje rezultate analize APM flote A319-112 za veljaču 2022.

```

* AIRBUS CRUISE PERFORMANCE * AIRCRAFT PERFORMANCE MONITORING *
*
* *** PROGRAM: A P M - Version 5.4.0 - May 2020 ***
*
* ----- AIRCRAFT TYPE:   A319-112           ENGINE TYPE:   CFM56-5B6
*
* ----- DATABASES:  AERODYN. : AD11S01.BDC           DATE: 12/06/06 -----
* -----                ENGINE   : MD11S01.BDC           DATE: 14/10/10 -----
* -----                GENERAL  : GD11S02.BDC           DATE: 14/10/10 -----
*
* ----- JOB-INFORMATION:  APM analiza od 01-01-2022 do 31-03-2022
*
*****
FLEET 2                               DIRECT ANALYSIS OUTPUT (INPUT BY ADL)
*****

          A I R C R A F T   A N D   F L E E T   A V E R A G E   R E S U L T S

TAIL-No/BLOCK      DN11  DN12  DFFA1  DFFA2  DFFB1  DFFB2  DEGT1  DEGT2  DN1M  DFFAM  DFFBM  DEGTM  DSR
DATE from
DATE to           %      %      %      %      %      %      deg   deg   %     %     %     deg   %
-----
9A-CTH / 1        MV  0.221  0.214  1.076  1.007  1.771  5.465  11.100  24.574  0.218  1.058  3.621  17.748  -4.501
01/02/22 -        SD  0.200  0.191  0.960  0.888  0.850  0.837  5.330  4.749  0.195  0.937  0.844  4.694  0.931
28/02/22          NR   65    65    66    65    66    67    66    65    65    66    67    64    65

9A-CTL / 2        MV  0.026  0.011  0.131  0.000  2.264  2.421  21.534  20.943  0.025  0.065  2.342  21.275  -2.438
01/02/22 -        SD  0.240  0.263  1.134  1.294  0.698  0.886  3.049  3.922  0.245  1.217  0.778  3.460  1.166
28/02/22          NR   45    46    45    47    49    49    47    46    45    46    49    47    47

9A-CTG / 3        MV  0.380  0.378  1.737  1.731  1.586  3.448  19.417  26.946  0.379  1.734  2.508  23.020  -4.166
01/02/22 -        SD  0.257  0.253  1.124  1.109  0.637  0.682  3.923  3.553  0.254  1.113  0.633  3.810  1.223
28/02/22          NR   56    56    55    55    58    57    56    56    56    55    57    57    56

9A-CIN / 4        MV  0.034  0.034  0.072  0.072  2.467  1.719  6.590  16.902  0.034  0.072  2.093  11.746  -2.221
01/02/22 -        SD  0.207  0.207  0.708  0.708  0.550  0.600  3.186  2.970  0.207  0.708  0.571  2.821  1.012
28/02/22          NR   22    22    21    21    23    23    22    22    22    21    23    22    22

9A-CTI / 5        MV -0.052 -0.049 -0.219 -0.205  3.069  4.226  21.907  37.119 -0.050 -0.212  3.632  29.587  -3.170
01/02/22 -        SD  0.224  0.223  0.973  0.970  0.719  0.542  4.244  3.929  0.223  0.969  0.618  3.853  0.955
28/02/22          NR   82    82    82    82    83    83    82    81    82    82    84    81    83

FLEET
01/02/22 - 28/02/22          MEAN VALUES          0.121  0.543  2.839  20.675  -3.299
                               STANDARD DEVIATION     0.175  0.822  0.734  6.598  1.015

```

Slika 5.4 Rezultati analize APM A319-112 za veljaču 2022.

- 9A-CTH,

Pozitivne vrijednosti DN1 (0.221) i DN12 (0.214) rezultiraju pozitivnim vrijednostima DFFA1 (1.076) i DFFA2 (1.007) stoga je DFFAM također pozitivne vrijednosti (1.058) što znači da je otpor zrakoplova 9A-CTH viši od otpora koji je predviđen za Airbus A319-112 u FCOM-u.

Pozitivne vrijednosti DFFB1 (1.771) i DFFB2 (5.465) rezultiraju pozitivnom vrijednošću DFFBM (3.621) što znači da je potrošnja goriva zrakoplova 9A-CTH veća nego potrošnja predviđena za Airbus A319-112 u FCOM-u.

Pozitivne vrijednosti DFFAM (1.058) i DFFBM (3.621) rezultiraju negativnom vrijednošću DSR (-4.501) što znači da je SR zrakoplova 9A-CTH lošiji u odnosu na SR za Airbus A319-112 u FCOM-u.

- 9A-CTL,

Pozitivne vrijednosti DN1 (0.026) i DN12 (0.011) rezultiraju pozitivnim vrijednostima DFFA1 (1.131) i DFFA2 (0.000) stoga je DFFAM također pozitivne vrijednosti (0.065) što znači da je otpor zrakoplova 9A-CTL viši od otpora koji je predviđen za Airbus A319-112 u FCOM-u.

Pozitivne vrijednosti DFFB1 (2.264) i DFFB2 (2.421) rezultiraju pozitivnom vrijednošću DFFBM (2.342) što znači da je potrošnja goriva zrakoplova 9A-CTL veća nego potrošnja predviđena za Airbus A319-112 u FCOM-u.

Pozitivne vrijednosti DFFAM (0.065) i DFFBM (2.342) rezultiraju negativnom vrijednošću DSR (-2.438) što znači da je SR zrakoplova 9A-CTL lošiji u odnosu na SR za Airbus A319-112 u FCOM-u.

- 9A-CTG,

Pozitivne vrijednosti DN1 (0.380) i DN12 (0.378) rezultiraju pozitivnim vrijednostima DFFA1 (1.737) i DFFA2 (1.731) stoga je DFFAM također pozitivne vrijednosti (1.734) što znači da je otpor zrakoplova 9A-CTG viši od otpora koji je predviđen za Airbus A319-112 u FCOM-u.

Pozitivne vrijednosti DFFB1 (1.586) i DFFB2 (3.448) rezultiraju pozitivnom vrijednošću DFFBM (2.508) što znači da je potrošnja goriva zrakoplova 9A-CTG veća nego potrošnja predviđena za Airbus A319-112 u FCOM-u.

Pozitivne vrijednosti DFFAM (1.734) i DFFBM (2.508) rezultiraju negativnom vrijednošću DSR (-4.166) što znači da je SR zrakoplova 9A-CTG lošiji u odnosu na SR za Airbus A319-112 u FCOM-u.

- 9A-CTN,

Pozitivne vrijednosti DN1 (0.034) i DN12 (0.034) rezultiraju pozitivnim vrijednostima DFFA1 (0.072) i DFFA2 (0.072) stoga je DFFAM također pozitivne vrijednosti (0.072) što znači da je otpor zrakoplova 9A-CTN viši od otpora koji je predviđen za Airbus A319-112 u FCOM-u.

Pozitivne vrijednosti DFFB1 (2.467) i DFFB2 (1.719) rezultiraju pozitivnom vrijednošću DFFBM (2.093) što znači da je potrošnja goriva zrakoplova 9A-CTN veća nego potrošnja predviđena za Airbus A319-112 u FCOM-u.

Pozitivne vrijednosti DFFAM (0.072) i DFFBM (2.093) rezultiraju negativnom vrijednošću DSR (-2.221) što znači da je SR zrakoplova 9A-CTN lošiji u odnosu na SR za Airbus A319-112 u FCOM-u.

- 9A-CTI,

Negativne vrijednosti DN1 (-0.052) i DN12 (-0.049) rezultiraju negativnim vrijednostima DFFA1 (-0.219) i DFFA2 (-0.205) stoga je DFFAM također negativne vrijednosti (-0.212) što znači da je otpor zrakoplova 9A-CTI niži od otpora koji je predviđen za Airbus A319-112 u FCOM-u.

Pozitivne vrijednosti DFFB1 (3.069) i DFFB2 (4.226) rezultiraju pozitivnom vrijednošću DFFBM (3.632) što znači da je potrošnja goriva zrakoplova 9A-CTI veća nego potrošnja predviđena za Airbus A319-112 u FCOM-u.

Kad se negativna vrijednost DFFAM (-0.212) i pozitivna vrijednost DFFBM (3.632) pretvore u apsolutne vrijednosti pomoću modula, vidljivo je da $DFFAM < DFFBM$ što rezultira negativnom vrijednošću DSR (-3.170) što znači da manja

potrošnja goriva nego u FCOM-u nije dovoljna za kompenzaciju lošijeg aerodinamičkog uvjeta nego u FCOM-u što rezultira lošijim SR 9A-CTI u odnosu na SR za Airbus A319-112 u FCOM-u.

5.2.3. Rezultati analize APM za ožujak 2022.

Slika 5.3 prikazuje rezultate analize APM flote A319-112 za veljaču 2022. Nisu prisutni rezultati za 9A-CTI jer je zrakoplov bio na održavanju.

| | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 9A-CTH / 1 | MV | 0.208 | 0.201 | 0.982 | 0.986 | 2.228 | 5.842 | 17.703 | 26.374 | 0.205 | 0.986 | 4.023 | 21.811 | -4.743 |
| 01/03/22 - | SD | 0.176 | 0.180 | 0.836 | 0.876 | 0.793 | 0.784 | 5.521 | 5.560 | 0.177 | 0.863 | 0.768 | 5.266 | 0.952 |
| 31/03/22 | NR | 106 | 106 | 105 | 106 | 106 | 106 | 105 | 105 | 106 | 106 | 106 | 104 | 104 |
| 9A-CTL / 2 | MV | 0.129 | 0.132 | 0.572 | 0.608 | 2.453 | 2.638 | 22.206 | 20.677 | 0.130 | 0.602 | 2.560 | 21.407 | -3.068 |
| 01/03/22 - | SD | 0.133 | 0.184 | 0.840 | 0.812 | 0.677 | 0.864 | 2.923 | 4.364 | 0.133 | 0.809 | 0.742 | 3.590 | 0.828 |
| 31/03/22 | NR | 102 | 102 | 102 | 101 | 103 | 105 | 100 | 100 | 102 | 101 | 103 | 101 | 100 |
| 9A-CTG / 3 | MV | 0.346 | 0.340 | 1.640 | 1.604 | 1.569 | 3.612 | 15.677 | 24.639 | 0.345 | 1.612 | 2.597 | 19.988 | -3.981 |
| 01/03/22 - | SD | 0.139 | 0.189 | 0.879 | 0.876 | 0.722 | 0.830 | 3.368 | 4.202 | 0.190 | 0.864 | 0.772 | 3.582 | 1.183 |
| 31/03/22 | NR | 94 | 93 | 93 | 92 | 92 | 93 | 93 | 93 | 94 | 92 | 93 | 92 | 94 |
| 9A-CTN / 4 | MV | 0.008 | 0.008 | 0.111 | 0.111 | 2.888 | 2.109 | 7.130 | 18.281 | 0.008 | 0.111 | 2.479 | 12.797 | -2.480 |
| 01/03/22 - | SD | 0.152 | 0.152 | 0.767 | 0.767 | 0.491 | 0.530 | 3.133 | 2.891 | 0.152 | 0.767 | 0.528 | 2.824 | 0.881 |
| 31/03/22 | NR | 30 | 30 | 31 | 31 | 30 | 31 | 32 | 31 | 30 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| FLEET | | | | | | | MEAN VALUES | | | 0.172 | 0.828 | 2.915 | 19.001 | -3.568 |
| 01/03/22 - 31/03/22 | | | | | | | STANDARD DEVIATION | | | 0.141 | 0.694 | 0.740 | 4.209 | 0.998 |
| ↑ | | | | | | | | | | | | | | |
| EXECUTION PROTOCOL: | | | | | | | | | | | | | | |
| ===== | | | | | | | | | | | | | | |
| EXECUTION INPUT read for Aircraft A319-112 | | | | | | | | | | | | | | |
| EXECUTION started | | | | | | | | | | | | | | |
| EXECUTING CDL/FAL - UPDATE | | | | | | | | | | | | | | |
| NORMAL TERMINATION (APM54) | | | | | | | | | | | | | | |
| ↑ | | | | | | | | | | | | | | |

Slika 5.5 Rezultati analize APM A319-112 za ožujak 2022.

- 9A-CTH,

Pozitivne vrijednosti DN1 (0.208) i DN12 (0.201) rezultiraju pozitivnim vrijednostima DFFA1 (0.982) i DFFA2 (0.986) stoga je DFFAM također pozitivne vrijednosti (0.986) što znači da je otpor zrakoplova 9A-CTH viši od otpora koji je predviđen za Airbus A319-112 u FCOM-u.

Pozitivne vrijednosti DFFB1 (2.228) i DFFB2 (5-842) rezultiraju pozitivnom vrijednošću DFFBM (4.023) što znači da je potrošnja goriva zrakoplova 9A-CTH veća nego potrošnja predviđena za Airbus A319-112 u FCOM-u.

Pozitivne vrijednosti DFFAM (0.986) i DFFBM (4.023) rezultiraju negativnom vrijednošću DSR (-4.743) što znači da je SR zrakoplova 9A-CTH lošiji u odnosu na SR za Airbus A319-112 u FCOM-u.

- 9A-CTL,

Pozitivne vrijednosti DN1 (0.129) i DN12 (0.132) rezultiraju pozitivnim vrijednostima DFFA1 (0.572) i DFFA2 (0.608) stoga je DFFAM također pozitivne vrijednosti (0.602) što znači da je otpor zrakoplova 9A-CTL viši od otpora koji je predviđen za Airbus A319-112 u FCOM-u.

Pozitivne vrijednosti DFFB1 (2.453) i DFFB2 (2.638) rezultiraju pozitivnom vrijednošću DFFBM (2.560) što znači da je potrošnja goriva zrakoplova 9A-CTL veća nego potrošnja predviđena za Airbus A319-112 u FCOM-u.

Pozitivne vrijednosti DFFAM (0.602) i DFFBM (2.560) rezultiraju negativnom vrijednošću DSR (-3.068) što znači da je SR zrakoplova 9A-CTL lošiji u odnosu na SR za Airbus A319-112 u FCOM-u.

- 9A-CTG,

Pozitivne vrijednosti DN1 (0.346) i DN12 (0.340) rezultiraju pozitivnim vrijednostima DFFA1 (1.640) i DFFA2 (1.604) stoga je DFFAM također pozitivne vrijednosti (1.612) što znači da je otpor zrakoplova 9A-CTG viši od otpora koji je predviđen za Airbus A319-112 u FCOM-u.

Pozitivne vrijednosti DFFB1 (1.569) i DFFB2 (3.612) rezultiraju pozitivnom vrijednošću DFFBM (2.597) što znači da je potrošnja goriva zrakoplova 9A-CTG veća nego potrošnja predviđena za Airbus A319-112 u FCOM-u.

Pozitivne vrijednosti DFFAM (1.612) i DFFBM (2.597) rezultiraju negativnom vrijednošću DSR (-3.981) što znači da je SR zrakoplova 9A-CTG lošiji u odnosu na SR za Airbus A319-112 u FCOM-u.

- 9A-CTN,

Pozitivne vrijednosti DN1 (0.008) i DN12 (0.008) rezultiraju pozitivnim vrijednostima DFFA1 (0.111) i DFFA2 (0.111) stoga je DFFAM također pozitivne vrijednosti (0.111) što znači da je otpor zrakoplova 9A-CTN viši od otpora koji je predviđen za Airbus A319-112 u FCOM-u.

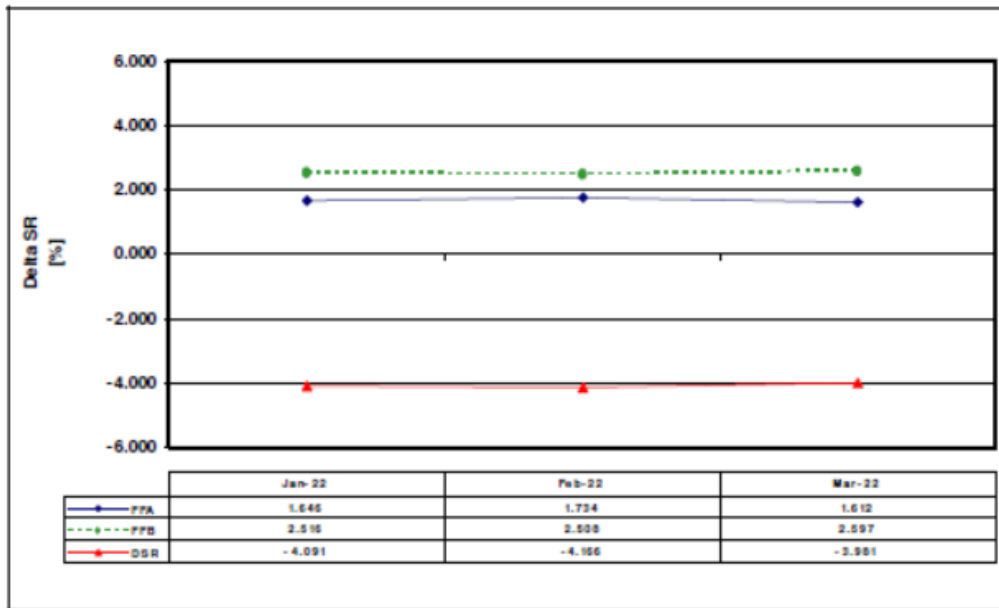
Pozitivne vrijednosti DFFB1 (2.888) i DFFB2 (2.109) rezultiraju pozitivnom vrijednošću DFFBM (2.479) što znači da je potrošnja goriva zrakoplova 9A-CTN veća nego potrošnja predviđena za Airbus A319-112 u FCOM-u.

Pozitivne vrijednosti DFFAM (0.111) i DFFBM (2.479) rezultiraju negativnom vrijednošću DSR (-2.480) što znači da je SR zrakoplova 9A-CTN lošiji u odnosu na SR za Airbus A319-112 u FCOM-u.

5.3. Grafički rezultati analize APM flote A319-112

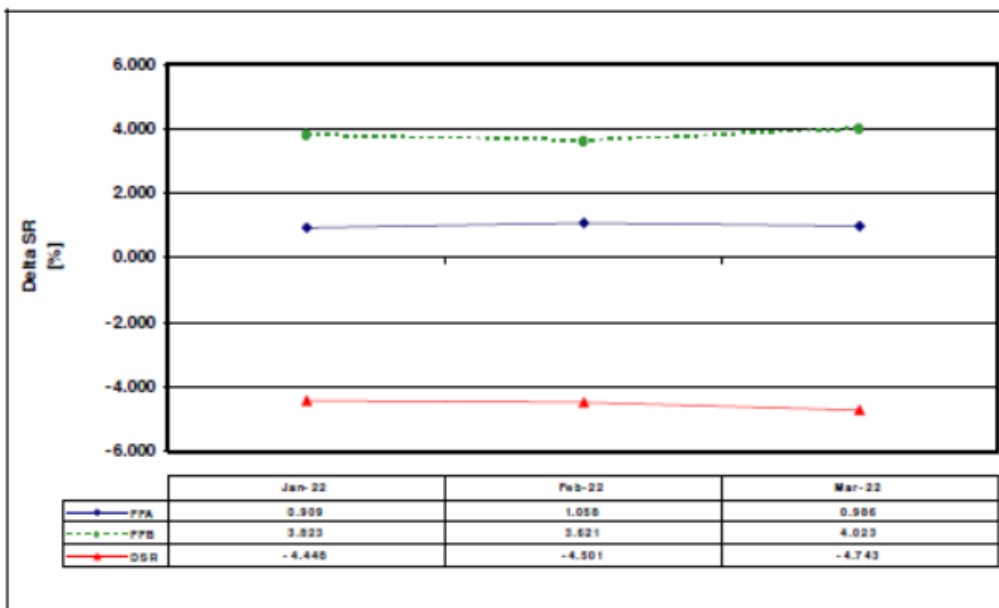
Na narednim slikama prikazani su grafički rezultati analize izvješća CPR02 flote A319-112 Croatia Airlinesa. Na grafikonima su prikazane DFFA (puna plava linija), DFFB (zelena isprekidana linija) i DSR (puna crvena linija) zasebno za siječanj, veljaču i ožujak za svaki zrakoplov u floti.

9A-CTG APM RESULTS



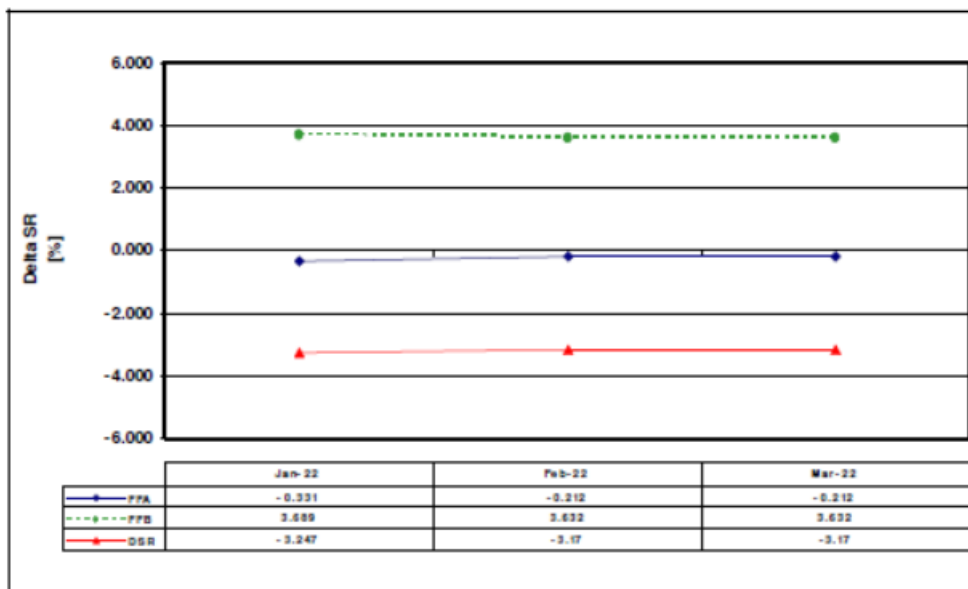
Slika 5.6 Grafički rezultati analize APM za 9A-CTG

9A-CTH APM RESULTS



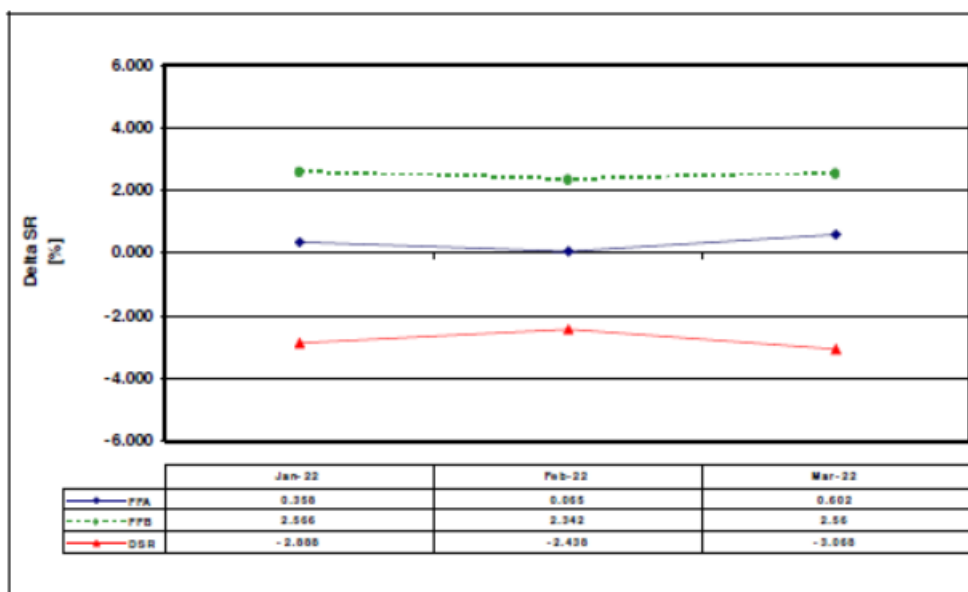
Slika 5.7 Grafički rezultati analize APM za 9A-CTH

9A-CTI APM RESULTS



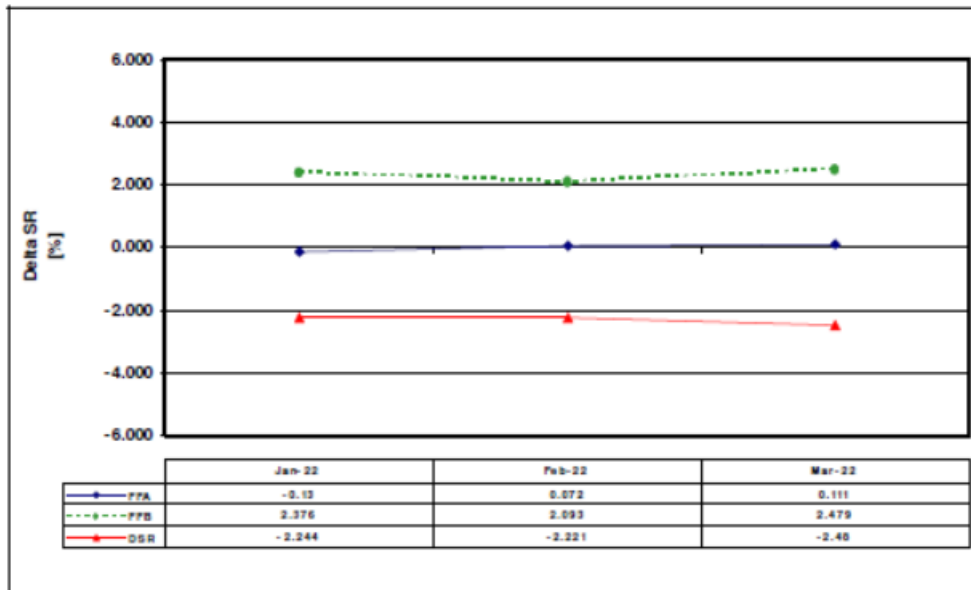
Slika 5.8 Grafički rezultati analize APM za 9A-CTI

9A-CTL APM RESULTS



Slika 5.9 Grafički rezultati analize APM za 9A-CTL

9A-CTN APM RESULTS



Slika 5.10 Grafički rezultati analize APM za 9A-CTN

6. Značaj faktora goriva u obradi podataka praćenja performansi

Inženjeri letačkih operacija odgovorni su za uspostavu i održavanje redovitog i pouzdanog praćenja performansi zrakoplova kako bi se dobili potrebni podatci i korektivni čimbenici bitni za pouzdanost Sustava upravljanja i vođenja leta (*Flight Management and Guidance System – FMGS*) zrakoplova i planiranja leta LIDO OC. Osiguravaju da su očitavanja performansi, automatska ili ručna, unesena u ovlaštenu, licencirani softver na redovnoj bazi kako bi se dobili podatci o praćenju performansi devijacije specifičnog doleta, odstupanja potrošnje goriva, *EGT*, varijacija *N1* i faktor degradacije u krstarenju.

Inženjeri letačkih operacija (*Flight Operation Engineers*) prikupljaju izvješća CPR02 koja se distribuiraju iz flote zračnog prijevoznika, u slučaju ovog rada Airbus, preko sustava ACARS – SITA, te redovito (obično svaka 3 mjeseca) provode statističku analizu prikupljenih podataka. Konačni rezultati takve analize su prosječne vrijednosti faktora performansi (PF) i faktora goriva (*Fuel Factor*) za razdoblje od zadnje analize. Letačka posada prije svakog leta unosi faktor performansi na stranicu statusa zrakoplova MCDU. Osoba koja provodi izračun plana leta uzima u obzir faktor goriva.

Nakon statističke analize i određivanja prosječnih vrijednosti za faktor performansi i faktor goriva, potrebno ih je usporediti s prethodnim rezultatima. Ako ne dođe do značajnih promjena vrijednosti, o tome bi trebalo obavijestiti samo tehničkog pilota flote Airbus (*Technical Pilot – Airbus fleet*) i voditelja službe za letačke operacije (*Head of Flight Operation Service*) te ne bi trebalo poduzimati daljnje mjere. Ako dođe do značajne promjene u usporedbi s rezultatima prethodne analize, inženjeri letačkih operacija distribuirat će nove rezultate u odgovarajućem obliku sljedećim subjektima:

- svi zrakoplovi tipa Airbus,
- tehnički pilot flote Airbus,
- voditelj službe za letačke operacije,
- inženjeri za potporu operacijama (*Operations Support Engineers*),
- Operativni centar (*Operations Centre*) – kontrolori operacija (*Operations Controllers*) – pozicijski *dispatch* leta (*Flight Dispatch*).

Tehnički pilot odgovoran je za pokretanje procesa programiranja DMU. Zadana vrijednost za faktor performansi za svaki zrakoplov tipa Airbus koji se pojavljuje na stranici statusa A/C jednaka je vrijednosti koja je dobivena analizom performansi. Voditelj službe za letačke operacije odgovoran je za prosljeđivanje vrijednosti faktora goriva u bazu podataka za planiranje leta kako bi se za izračun plana leta upotrijebile točne vrijednosti faktora goriva.

Inženjeri za potporu operacijama, kontrolori operacija i *dispatch* leta koji izrađuju planove leta moraju provjeriti uzimaju li se u obzir stvarne vrijednosti za faktor goriva. Inženjeri letačkih operacija odgovorni su za analizu rezultata i, prema potrebi, raspodjelu nalaza koji pokazuju odstupanja od prihvaćenih i prijavljenih

standarda performansi za određeni tip zrakoplova. Zastarjeli podaci o praćenju učinkovitosti čuvaju se najmanje 1 godinu. [6]

Analizom rezultata APM za zrakoplove u floti A319-112 utvrđene su nove vrijednosti za faktor performansi (PF) i faktor goriva. PF se unosi u MCDU na zrakoplovima dok se faktor goriva koristi za proračun potrebne količine goriva u Planu letenja (*Flight Plan*) i jedan je od ulaznih parametara Sustava planiranja letenja LIDO (*LIDO Flight Planning*). Analiza je provedena za period od 01. 01. 2022. do 31. 03. 2022.

Vrijednosti za PF uključuju i sve potrebne korekcije koje je odredio Airbus (FCOM, DSC-22_20-40-30), te stoga nije potrebno vršiti daljnju korekciju. Izmijenjene korekcije su objavljene u Airbus FCOM-u sa revizijom od 09. 05. 2018. Vrijednost korekcija za A319-112 je sa -4,5% promijenjena na 0%. Vrijednosti sada predstavljaju realnije stanje zrakoplova, tj. prikazuju veću potrošnju u odnosu na Airbus-ov model zrakoplova.

Podaci o PF se unose preko tvrtkinog NOTAM-a i sastavni su dio paketa pripreme (*briefing package*) pilotima.

PF se unosi u MCDU zrakoplova prije pokretanja motora kako bi se nove zadane vrijednosti odgovarale vrijednostima iz tablice na slikama 6.1. i 6.3.

Izvršena je korekcija faktora goriva u Sustavu planiranja letenja LIDO i sa time se za planove leta zrakoplova kalkulira veća potrošnja i veća količina goriva. Faktor performansi koji se unosi u Sustav planiranja letenja LIDO u stvari je faktor goriva dobiven analizom APM.

6.1. **Apliciranje faktora performansi**

U praksi potrebno je unijeti faktor performansi u MCDU prije paljenja motora i onda on postaje zadana vrijednost. Kompletna procedura modificiranja faktora performansi dana je u FCOM-u (DSC-22_20-40-30, revizija 09. 05. 2018.) i glasi:

Procedura za izmjenu faktora performansi i faktora praznog hoda (*idle factor*) (samo na zemlji):

- U MCDU odabrati zahtjev za status zrakoplova kako bi se pristupilo stranici statusa zrakoplova

- za zrakoplove s FMS2 Honeywell ili Thales:

- U polje Promijeni kod (*Change Code* - CHG CODE) unijeti šifru promjene.

Zadana vrijednost za ovaj kod je „ARM”, ali ga je moguće izmijeniti na zahtjev zračnog prijevoznika. Primjenjiva oznaka zatim se kodira u podacima koje zračni prijevoznik može modificirati (*Airline Modifiable Information* - AMI).

Kada se unese valjan kod promjene, faktori praznog hoda i performansi prikazuju se plavo.

- U MCDU unijeti nove faktore performansi i praznog hoda odvojene kosom crtom „/”.

- Za umetanje novih faktora praznog hoda i performansi pritisnuti odgovarajući ključ. Novi faktori prikazuju se u velikom plavom fontu.

Napomena: Samo ovlašteno osoblje treba preuzeti odgovornost za ažuriranje vrijednosti faktora praznog hoda i faktora performansi.

- za zrakoplove s naslijeđem FMS1 Honeywella:

- U MCDU unijeti novi faktor performansi.

- Za umetanje novog faktora performansi pritisnuti odgovarajući ključ. Novi faktor performansi prikazan je u velikom plavom fontu.

Napomena:

1. Samo ovlašteno osoblje treba preuzeti odgovornost za ažuriranje vrijednosti faktora performansi.

2. Faktor praznog hoda nije dostupan u zrakoplovima s naslijeđem FMS1 Honeywell. [7]

Faktor performansi se publicira preko tvrtkinog NOTAM-a i vrijedi sve dok se ne izračuna ponovno. Primjer takvog NOTAM-a nalazi se na slici 6.1. U NOTAM-u je propisan PF koji vrijedi od 12. 4. 2022., a nastao je kao rezultat analize izvješća CPR02 za period od 1. 1. 2022. do 31. 3. 2022. (analiza izvješća u svrhu ovog rada).

```
-----  
Since :                               City pair :N Origin : Destination : Group: All a/c type: A320/319  
April 12, 2022                        Registration:  
Until :                               PERFORMANCE FACTOR UPDATE  
April 30, 2023                        Note: R- revised performance factor  
Type of info :  
Company Notam - PERFO                Performance factor (PF) valid from 12.04.2022.  
  
AIRCRAFT   PF   STATUS  
9A-CTG     4.1  R  
9A-CTH     4.6  R  
9A-CTI     3.2  R  
9A-CTK     1.4  R  
9A-CTL     2.8  R  
9A-CTN     2.3  R  
  
To set new PF as DEFAULT value, it should be entered in MCDU before engine  
start.                                     Apr 11, 2022 ]  
-----
```

Slika 6.1 NOTAM sa informacijom o PF

6.2. Apliciranje faktora goriva

Faktor goriva zrakoplova predstavlja faktor između teorijskih performansi zrakoplova i stvarnih. To je kritični ulazni podatak u sustav FMS-a i planiranja leta. Pri izradi plana leta sustavi za planiranje leta upotrijebit će faktor goriva za izračun goriva potrebnog za let zrakoplova na određenoj ruti. Količina goriva izravno je povezana s performansama zrakoplova: ako zrakoplov ima slabe performanse, potrošiti će više goriva za istu udaljenost.

Kontinuiranim praćenjem i ažuriranjem faktora goriva omogućuje se vrlo blisko usklađivanje stvarnih performansi zrakoplova. Kada se znaju stvarne performanse, planiranje goriva je preciznije, sigurnost se povećava, a gorivo se uštedi. [8]

Faktor goriva se unosi u Sustav planiranja letenja LIDO (*LIDO Flight Planning*) samo za one zrakoplove čija je vrijednost faktora goriva veća od 1, odnosno koji imaju pozitivan faktor performansi. Na slici 6.2. prikazan je prozor programa LIDO APM za izradu plana leta na primjeru zrakoplova tipa A319-112 registracije 9A-CTI u cilju prikazivanja načina funkcioniranja programa LIDO u svrhu ovog rada. Korisnik unosi podatke o tipu zrakoplova, registraciji, kategoriji prilaza, odnosu FF i CG, ograničavajućim masama i faktoru goriva koji za 9A-CTI iznosi 1.032. Vrijednost je dobivena analizom izvješća CPR02 u programu APM za period od 1. 1. 2022. do 31. 3. 2022. iznosi 1.032.

Slika 6.2 Postavke LIDO APM za izradu planova leta

Prikaz faktora performansi i faktora goriva dobivenih analizom izvješća CPR02 za cijelu flotu A319-112 Croatia Airlinesa za period od 1. 1. 2022. do 31. 3. 2022. nalazi se na slici 6.3. Podatci vrijede od 12. 4. 2022. jer je to datum izvršenja analize u kompaniji Croatia Airlines.

PERF AND FUEL FACTOR
Jan-2022 – Mar-2022

VALID FROM: 12/04/2022

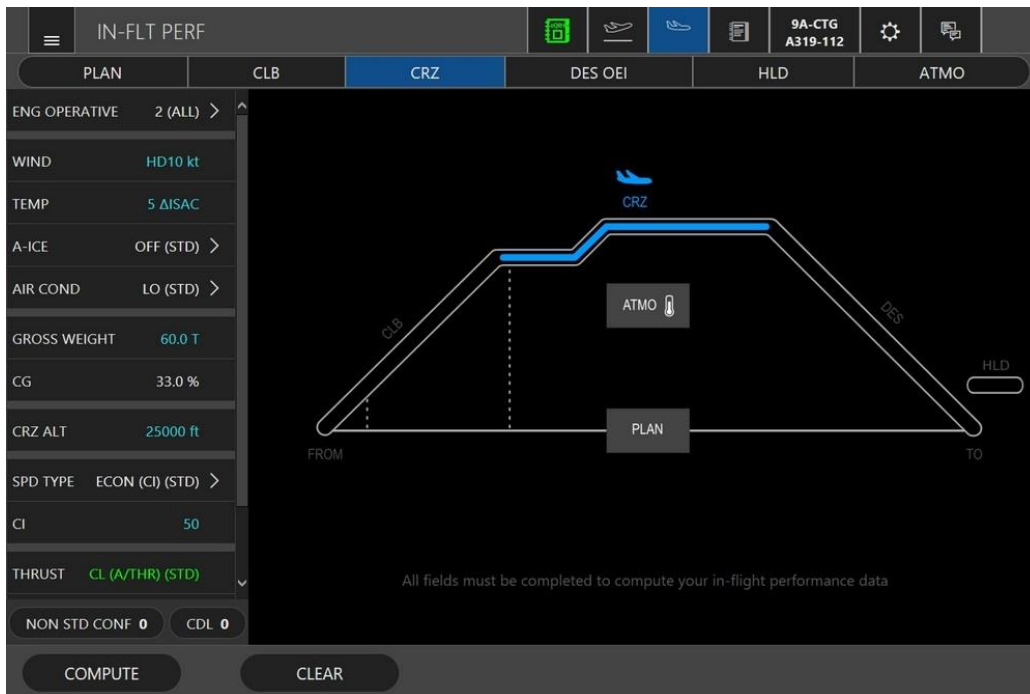
| A/C REG | PERF FACTOR | FUEL FACTOR |
|----------------|--------------------|--------------------|
| 9A-CTG | 4.1 | 1.041 |
| 9A-CTH | 4.6 | 1.046 |
| 9A-CTI | 3.2 | 1.032 |
| 9A-CTL | 2.8 | 1.028 |
| 9A-CTN | 2.3 | 1.023 |

Slika 6.3 Tablica faktora performansi i faktora goriva

Osim sustava LIDO, faktor goriva koristi za proračun potrebne količine goriva u Računalnom planu leta (*Computerized Flight Plan - CFP*) koji se razrađuje iz podataka IFP. APM uspoređuje stvarne rezultate performansi s razinom performansi iz knjige proizvođača iz IFP-a te se promatrani faktor goriva može izravno primijeniti u CFP za svaki zrakoplov. [2]

Uporaba faktora goriva u CFP-u može se pokazati na primjeru Airbus aplikacije Letjeti pametno (*Flysmart*). Flysmart je aplikacija koja nudi e-rješenja za povećanje ušteda i poboljšanje poslovanja zrakoplova. [9] Na slici 6.4 prikazana je početna stranica opcije Krstarenje (*Cruise*) u aplikaciji za zrakoplov 9A-CTG tipa A319-112 iz flote Croatia Airlines. Korisnik ispunjava polja informacijama o vjetru, vanjskoj temperaturi zraka, sustavu protiv zaleđivanja, klimi, ukupnoj masi zrakoplova, težištu, visini krstarenja i postavki potiska kako bi se mogli izračunati podatci o performansama zrakoplova u letu.

Na slici 6.5 prikazan je drugi prozor opcije Krstarenje (*Cruise*) u aplikaciji Flysmart tj. Brzi pregled u krstarenju (*In cruise quick check*) gdje je prikazan APM CFP čiji je prikaz u aplikaciji dobiven odabirom opcije Izračunaj (*Compute*). CFP u aplikaciji Flysmart prikazuje podatke o odabranoj visini krstarenja, ukupnom gorivu, ukupnom vremenu i ukupnoj zračnoj udaljenosti te o stvarnoj udaljenosti, stvarnom vremenu i stvarnom gorivu. Parametar koji se uzima za izračun navedenih vrijednosti je faktor goriva koji u primjeru iznosi 3.5% te zbog neažuriranja podataka u aplikaciji na osobnom računaru ne odgovara faktoru goriva dobivenom ovom analizom. Faktor goriva u primjeru je dobiven analizom za period od 1. 10. 2022. do 31. 12. 2022. To je analiza koja je prethodila analizi korištenoj u ovome radu (period od 1. 1. 2022. do 31. 3. 2022.).



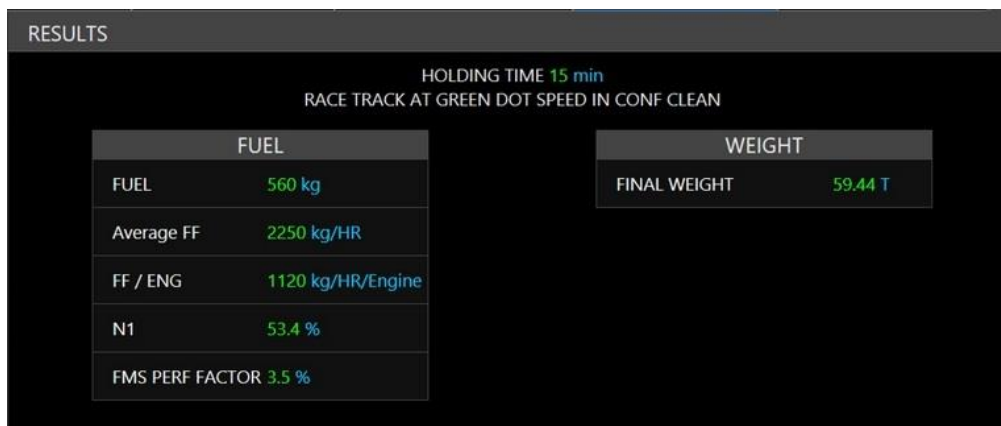
Slika 6.4 Početna stranica postavke Krstarenje (*Cruise*) u aplikaciji Flysmart



Slika 6.5 APM CFP Brzi pregled u krstarenju u aplikaciji Flysmart

Osim opcije Krstarenje (*Cruise*) neke od opcija za prikaz u aplikaciji Flysmart su opcija Krug čekanja (*Holding*), prikazana na slici 6.6 koja prikazuje podatke o vremenu trajanja kruga čekanja, masi zrakoplova i informacije o gorivu kao što su količina goriva, *FFA*, *FF* po motoru, *N1* i faktor performansi te opcija Ekonomično

penjanje (*Economic climb – Econ climb*), prikazana na slici 6.7 koja prikazuje podatke o gorivu, brzini, brzini penjanja, *N1* i indeks troškova (*Cost Index – CO*).



Slika 6.6 Opcija Krug čekanja u aplikaciji Flysmart



Slika 6.7. Opcija Ekonomično penjanje u aplikaciji Flysmart

6.3. Sustav upravljanja letom (FMS)

FMS na zrakoplovu provodi predviđanja potrošnje goriva na temelju referentnog modela tj. baze podataka o performansama (*Performance Data Base - PDB*). Faktor performansi unesen u MCDU pomaže predviđanju FMS-a. PDB sadrži osnovni faktor performansi (*Basic Performance Factor*) za ispravljanje skupa podataka za određeni model.

Osnovni faktor performansi je vrijednost izražena kao % za koju se povećava potrošnja goriva. Ovaj faktor pretpostavlja da je zrakoplov potpuno nov, bit će unesen

u FMS pri isporuci, no nije primjenjiv na CFP, a za neke modele može biti nula. [2] U Podacima o performansama zrakoplova (*Aircraft Performance Data – APD*) za zrakoplov A319 nalazi se detaljno objašnjenje osnovnog faktora performansi kako slijedi u nastavku:

Osnovni faktor performansi koji je uključen u ovaj odjeljak omogućuje prilagodbu baze podataka FMS-a koja se može razlikovati od nominalnih performansi zrakoplova, kako je izračunato s datotekama podataka o performansama velike brzine, dostavljenih putem APD-a (također se naziva razina performansi u knjizi). To rezultira predviđanjima FMS-a koja su u skladu s razinom performansi u knjizi.

Primjenjivi osnovni faktor performansi je 0%.

Osnovni faktor performansi uključen je u određivanje faktora performansi kako slijedi: Faktor performansi koristi se za proračun predviđanja goriva unutar FMS-a.

Faktor performansi pozitivan je ili negativan postotak koji se upotrebljava za prilagodbu predviđenog potrošnje goriva za izračun predviđanja goriva.

Faktor performansi omogućuje letačkoj posadi prilagodbu razine performansi zrakoplova FMS-a stvarnoj sposobnosti performansi zrakoplova.

Potrebno je ažurirati faktor performansi tijekom cijelog radnog vijeka zrakoplova zbog starenja zrakoplova.

Za ažuriranje faktora performansi odgovorni su operatori.

Faktor performansi ovisi o tri različita odstupanja između FMS-a i svakog stvarnog zrakoplova:

- odstupanje osnovnog faktora performansi
- odstupanje niže ogrijevne vrijednosti goriva (*FLHV*):

Postoji smanjenje od 1% između *on-board* FMS *FLHV* (18400 btu/lb) i FCOM *FLHV* (18590 btu/lb).

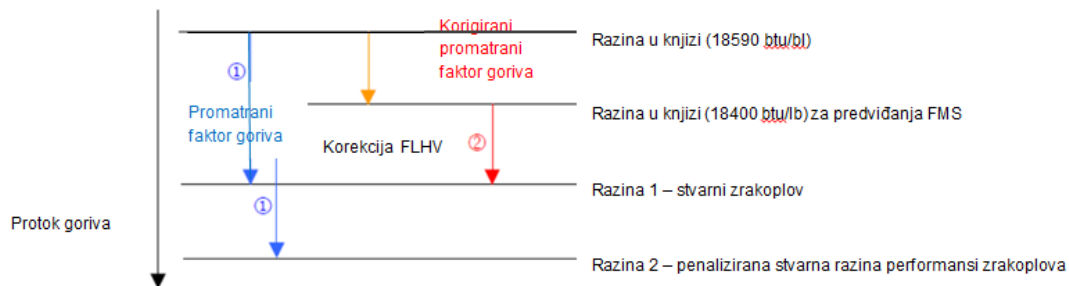
- pojedinačno promatrano (monitorirano) odstupanje:

Ova vrijednost proizlazi iz analize praćenja performansi za svaki zrakoplov u odnosu na IFP razinu. [10]

Osim osnovnog faktora performansi postoji i faktor performansi koji se koristi za računanje predviđanja goriva u dijelu upravljanja letom u FMGS. Faktor performansi je pozitivan ili negativan postotak koji se koristi za podešavanje predviđenog potrošnje goriva upotrijebljenog za izračun predviđanja potrošnje goriva. Drugim riječima, faktor performansi upotrebljava se za prilagodbu razine performansi zrakoplova stvarnoj sposobnosti performansi zrakoplova. To je suma osnovnog faktora performansi (u %) i promatranog (monitoriranog) faktora goriva (u %). [2]

Monitorirani faktor goriva može se dobiti iz jedne od metoda praćenja performansi zrakoplova. U nedostatku mjerenja, promatrani faktor goriva čini zadanu pretpostavku u smislu kvalitete goriva. U osnovi, predviđanja FMS-a provode se uz

osnovni *FLHV* jednak 18400 btu/lb (što je vrlo konzervativno). Kao posljedica toga i kako se ne bi previše kažnjavalo predviđanje FMS-a, trebalo bi ispraviti praćeni faktor goriva za učinak *FLHV*. Ako se promatrani faktor goriva temelji na *FLHV* koji nije 18400 btu/lb, korekcija *FLHV* može se primijeniti na faktor. Slika 6.8 jasno prikazuje učinak *FLHV* na promatrani faktor goriva za predviđanja FMS-a.



Slika 6.8 Učinak *FLHV* na promatrani faktor goriva za predviđanja FMS-a, [1]

FLHV definira toplinski kapacitet goriva. Uobičajena jedinica za ovaj parametar je btu/lb. Jedinica btu je britanska termalna jedinica. Odgovara količini topline potrebnoj za povećanje temperature jedne funte vode iz 39,2 °F na 40,2 °F (1 btu = 1,05506 kJ). *FLHV* izravno utječe na protok goriva. Njegov učinak na prividnu razinu performansi krstarenja objašnjen na temelju rada motora s plinskom turbinom.

Motori moraju proizvesti određenu količinu potiska (tj. potreban parametar za postavljanje potiska *N1/EPR*) za održavanje zrakoplova u stalnom letu u razini krstarenja. Za određene uvjete leta, određeni motor daje količinu potiska koja ovisi o količini toplinske energije koja dolazi iz goriva koje izgara u komori za izgaranje.

Toplinska energija po jedinici vremena dana je formulom (5):

$$Q = J \times FLHV \times FF \quad (5)$$

gdje je *J* konstanta,

FLHV niža ogrijevna vrijednost goriva [btu/lb],

FF potrošnja goriva [lb/h].

Kao posljedica toga, potrošnja goriva potrebna za proizvodnju određene količine potiska se izračunava preko formule (6):

$$FF = \frac{Q}{J \times FLHV} = \frac{1}{FLHV} \times \frac{Q}{J} \quad (6)$$

gdje su potreban potisak i toplinska energija *Q* konstantni.

Iz navedenih jednadžbi mogu se izvući sljedeći zaključci:

1. Što je viši *FLHV*, to je manji potrební protok goriva.
2. Svako odstupanje u *FLHV* rezultirat će odstupanjem u protoku goriva.
3. Visoka brzina rotora *N2* i temperatura ispušnog plina ostaju nepromijenjeni.

4. Jedini zahvaćeni parametri su protok goriva (FF) i specifični dolet (SR). Ovo je prikazano formulama (7) i (8):

$$\frac{\Delta FF}{FF} = - \frac{\Delta FLHV}{FLHV} \quad (7)$$

$$\frac{\Delta SR}{SR} = + \frac{\Delta FLHV}{FLHV} \quad (8)$$

Kao što je rečeno, $FLHV$ je uključena u informacije zračnog prijevoznika koje se odnose na planiranje leta. $FLHV$ bi trebao biti isti kao onaj koji se koristi za analizu performansi krstarenja. Ako nije, korekcija će se primijeniti na promatrani faktor goriva.

Ako je $FLHV$ za analizu učinkovitosti krstarenja 1% veći od $FLHV$ koji se upotrebljava u sustavu planiranja leta, faktor promatranog goriva smanjuje se za 1%.

Na primjer ako se analiza performansi u krstarenju provodi s $FLHV$ od 18590 btu/lb, a planiranje leta računa se na temelju vrijednosti $FLHV$ od 18400 btu/lb, nadzirani faktor goriva jednak je 2%.

Uz pretpostavku da nije napravljen izračun indeksa troškova, faktor goriva za planiranje leta jednak je promatranom faktoru goriva korigiranom za učinak $FLHV$, odnosno faktor performansi treba unijeti u CFP tako da piloti mogu provjeriti računalno planiranje leta i da su predviđanja FMS-a međusobno konzistentna. Naravno, faktor performansi može se razlikovati od prethodno utvrđenog faktora goriva za planiranje leta, ali piloti imaju samo faktor goriva koji je definiran za predviđanja FMS-a. [1]

7. Zaključak

Praćenje performansi zrakoplova je postupak prikupljanja podataka o performansama zrakoplova ručno ili automatski kako bi se otkrila degradacija performansi zrakoplovnih sustava. U slučaju flote zrakoplova A319-112 Croatia Airlinesa, sustav AIDS automatski bilježi podatke koji se putem DMU-a povezanog s ACARS-om spremaju u sustav APM kao izvješće CPR02 za daljnju analizu.

APM izračunava odstupanje izmjerenih parametara leta poput *FF*, *N1*, *EPR*, *EGT*, *TAT*, *FLHV*, *Ma* i mase od nominalnih vrijednosti koje su dane u knjizi proizvođača. Krajnji rezultat je razlika u specifičnom doletu što pokazuje razliku između stvarne razine performansi zrakoplova i razine u knjizi proizvođača. Ukupna degradacija specifičnog doleta jednaka je zbroju devijacije specifičnog doleta zbog degradacije performansi motora i devijacije specifičnog doleta zbog degradacije konstrukcije zrakoplova. Razlika u specifičnom doletu zapravo predstavlja faktor goriva.

Analizom rezultata obrade izvješća CPR02 u programu APM za zrakoplove u floti A319-112 Croatia Airlinesa za period od 1. 1. 2022. do 31. 3. 2022. u sklopu sustava PEP utvrđene su nove vrijednosti za faktor performansi i faktor goriva. Faktor performansi unose piloti u MCDU na zrakoplovima dok se faktor goriva koristi za proračun potrebne količine goriva i omogućuje operateru podešavanje plana leta sustava FMS u zrakoplovu, računalno planiranje leta CFP, upisivanje plana leta u Sustav planiranja letenja LIDO i sva istraživanja povezana s performansama u servisiranju i inženjeringu zrakoplova. Pri izradi plana leta sustavi za planiranje leta upotrijebit će faktor goriva za izračun goriva potrebnog za let zrakoplova na određenoj ruti. Kada se znaju stvarne performanse, planiranje goriva je preciznije, gorivo se uštedi, a sigurnost povećava.

Literatura

- [1] Airbus. Getting to grips with aircraft performance monitoring. Blagnac: Airbus; 2002.
- [2] Tweed T. Getting Hand-On Experience with PEP-APM. Airbus.
- [3] Speyer M. J. Auditing aircraft cruise performance in airline revenue service. Cancun, 1992.
- [4] (EU) No 965/2012 (IR-OPS) CAT.OP.MPA.150 Fuel policy. Preuzeto sa: https://part-aero.com/en/view/part-cat#CAT.OP.MPA.150%20ili%20ovdje:%20https://www.aerocomsystem.com/e-system/text/list.html?text_id=6895&show_code=CAT.OP.MPA.150&part_code=CAT&limit_date=2017/02/26&type [Pristupljeno: srpanj 2022.]
- [5] Krajček K, Nikolić D, Domitrović A. Aircraft performance monitoring from flight data. Tehnički vjesnik. 2015.
- [6] Dalbello E. Aircraft performance monitoring. Croatia Airlines, Zagreb, 2011.
- [7] Croatia Airlines. Flight crew operations manual, 2013.
- [8] Open airlines. Preuzeto sa: <https://blog.openairlines.com/three-benefits-of-aircraft-performance-monitoring-to-improve-your-operation> [Pristupljeno: lipanj 2022.]
- [9] Flysmart with Airbus. Preuzeto sa: <https://www.youtube.com/watch?v=4H16cNQzdK0> [Pristupljeno: lipanj 2022.]
- [10] Airbus. Aircraft performance data, 2020.

Popis slika, tablica i priloga

| | |
|---|----|
| Slika 3.1 Funkcije FDRS i AIDS/ACMS, [1]..... | 9 |
| Slika 3.2 Funkcije sustava AIDS, [1] | 10 |
| Slika 4.1 Shematski prikaz procesa APM, [1] | 14 |
| Slika 4.2 Menadžer za poštu SITATEX..... | 15 |
| Slika 4.3 Ispisana izvješća za tri mjeseca od 1. 1. 2022. do 31. 3. 2022. | 15 |
| Slika 4.4 Učitavanje izvješća u PEP | 16 |
| Slika 4.5 Biranje aviona za analizu izvješća..... | 17 |
| Slika 4.6 Ulazni podatci | 17 |
| Slika 4.7 Putanja za knjižnicu APM | 18 |
| Slika 4.8 Promjena ADIF-a u ADL i druga vrijednost FLHV..... | 19 |
| Slika 4.9 Opcije analize ADL | 20 |
| Slika 4.10 Izlazne mogućnosti ADL..... | 20 |
| Slika 5.1 Princip računanja programa APM, [1] | 22 |
| Slika 5.2 Osnovne informacije u analizi APM flote A319-112..... | 25 |
| Slika 5.3 Rezultati analize APM A319-112 za siječanj 2022. | 27 |
| Slika 5.4 Rezultati analize APM A319-112 za veljaču 2022. | 29 |
| Slika 5.5 Rezultati analize APM A319-112 za ožujak 2022. | 31 |
| Slika 5.6 Grafički rezultati analize APM za 9A-CTG | 33 |
| Slika 5.7 Grafički rezultati analize APM za 9A-CTH | 33 |
| Slika 5.8 Grafički rezultati analize APM za 9A-CTI | 34 |
| Slika 5.9 Grafički rezultati analize APM za 9A-CTL | 34 |
| Slika 5.10 Grafički rezultati analize APM za 9A-CTN | 35 |
| Slika 6.1 NOTAM sa informacijom o PF..... | 38 |
| Slika 6.2 Postavke LIDO APM za izradu planova leta | 39 |
| Slika 6.3 Tablica faktora performansi i faktora goriva | 40 |
| Slika 6.4 Početna stranica postavke Krstarenje (<i>Cruise</i>) u aplikaciji Flysmart..... | 41 |
| Slika 6.5 APM CFP Brzi pregled u krstarenju u aplikaciji Flysmart | 41 |
| Slika 6.6 Opcija Krug čekanja u aplikaciji Flysmart..... | 42 |
| Slika 6.7. Opcija Ekonomično penjanje u aplikaciji Flysmart..... | 42 |
| Slika 6.8 Učinak FLHV na promatrani faktor goriva za predviđanja FMS-a, [1]..... | 44 |
| | |
| Tablica 1. Potrebni promatrani podatci..... | 6 |
| Tablica 2. Najvažniji ulazni podatci za metodu specifičnog doleta | 24 |

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je _____ završni rad
(vrsta rada)

isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da 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 završnog/diplomskog rada pod naslovom Obrada podataka praćenja performansi tijekom radnog vijeka aviona, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 27. 06. 2022.

Dunja Mandarić, D. Heur
(ime i prezime, potpis)