

# Praćenje stanja zrakoplovnog klipnog motora na temelju parametara snimljenih u letu

---

Pančić, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

*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:119:338050>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-03**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Luka Pančić**

**PRAĆENJE STANJA ZRAKOPLOVNOG  
KLIPNOG MOTORA NA TEMELJU  
PARAMETARA SNIMLJENIH U LETU**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2020.**

Zagreb, 6. travnja 2020.

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

## **ZAVRŠNI ZADATAK br. 5644**

Pristupnik: **Luka Pančić (0135250622)**  
Studij: **Aeronautika**  
Smjer: **Pilot**  
Usmjerenje: **Civilni pilot**

Zadatak: **Praćenje stanja zrakoplovnog klipnog motora na temelju parametara snimljenih u letu**

### Opis zadatka:

U radu je potrebno definirati parametre radnog procesa zrakoplovnog klipnog motora, koje je moguće pratiti tijekom leta pomoću suvremenih uređaja i instrumenata, primjerice EDM ili sličnih. Pomoću podataka snimljenih u letu, razraditi mogućnosti otkrivanja pogrešaka u radu motora radi poboljšanja procesa održavanja motora.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

izv. prof. dr. sc. Anita Domitrović

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

**ZAVRŠNI RAD**

**PRAĆENJE STANJA ZRAKOPLOVNOG KLIPNOG  
MOTORA NA TEMELJU PARAMETARA SNIMLJENIH U  
LETU**

**AIRCRAFT PISTON ENGINE MONITORING ON THE  
BASIS OF PARAMETERS RECORDED IN FLIGHT**

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

Student: Luka Pančić

JMBAG: 0135250622

Zagreb, rujan 2020.

## Sažetak

Cilj ovog rada je interpretacija parametara snimljenih u letu i otkrivanje nepravilnosti u radu zrakoplovnog klipnog motora.

Opisan je tipični zrakoplovni klipni motor i navedene su njegove tehničko-eksploatacijske karakteristike na primjeru zrakoplova Cessna 172N i motora Lycoming O-320. Navedeni su parametri rada motora koji su tijekom leta snimljeni i nakon toga analizirani. Detaljno je opisan i analiziran uređaj za praćenje parametara motora tvrtke J.P. Instruments, model EDM-900. Na temelju parametara snimljenih u letu, prikazano je stanje zrakoplovnog klipnog motora.

**Ključne riječi:** Zrakoplovni klipni motor; uređaj za praćenje parametara rada; motorski parametri; nepravilnosti u radu motora

## Summary

The main goal of this thesis is interpretation of the parameters recorded in flight and detection of malfunctions in the operation of aircraft piston engine.

Typical aircraft piston engine is described with its technical and operating characteristics based on the aircraft Cessna 172N and Lycoming O-320 engine. Engine parameters that are recorded during flight are described and analysed. Detailed description and analysis of the instrument J.P. Instruments, model EDM-900, are shown shown. The current condition od aircraft piston engine is shown, based on parameters recorded in flight.

**Key words:** aircraft piston engine; engine data monitoring device; motor parameters; malfunction in engine operation

# Sadržaj

|  |    |
|--|----|
| <b>1. UVOD</b> .....   | 1  |
| <b>2. TEHNIČKO-EKSPLOATACIJSKE KARAKTERISTIKE TIPIČNOG ZRAKOPLOVNOG KLIPNOG MOTORA</b> .....         | 2  |
| 2.1 Povijesni razvoj zrakoplovnog klipnog motora.....  | 2  |
| 2.2 Princip rada zrakoplovnog klipnog motora.....  | 2  |
| 2.3 Osnovne podjele .....  | 4  |
| 2.4 Tehničko-eksploatacijske karakteristike zrakoplova Cessna 172N registracijske oznake 9A-DMB..... | 6  |
| <b>3. MOTORSKI PARAMETRI ZA PRAĆENJE RADA MOTORA U LETU</b> .....                                    | 9  |
| 3.1 Temperatura glave cilindra ( <i>Cylinder Head Temperature, CHT</i> ) .....                       | 9  |
| 3.2 Brzina vrtnje motora ( <i>Revolutions Per Minute, RPM</i> ).....                                 | 10 |
| 3.3 Tlak punjenja ( <i>Manifold Absolute Pressure, MAP</i> ).....                                    | 11 |
| 3.4 Temperatura ispušnih plinova ( <i>Exhaust Gas Temperature, EGT</i> ) .....                       | 11 |
| 3.5 Temperatura okolnog zraka ( <i>Outside Air Temperature, OAT</i> ) .....                          | 13 |
| 3.6 Protok goriva ( <i>Fuel Flow, FF</i> ) .....   | 13 |
| 3.7 Tlak ulja ( <i>Oil Pressure</i> ) .....  | 13 |
| 3.8 Temperatura ulja ( <i>Oil Temperature</i> ).....   | 14 |
| <b>4. UREĐAJI ZA PRAĆENJE PARAMETARA RADA MOTORA</b> .....   | 15 |
| 4.1 Instrument J.P. EDM-900.....   | 15 |
| <b>5. INDIKACIJE STANJA MOTORA POMOĆU PODATAKA SNIMLJENIH U LETU</b> .....                           | 26 |
| 5.1 Let 11.08.2020. (Let 169) .....  | 26 |
| 5.2 Održavanje zrakoplovnog klipnog motora .....   | 32 |
| 5.3 Let 13.08.2020. (Let 171).....   | 33 |
| <b>6. ZAKLJUČAK</b> .....  | 40 |
| Literatura.....  | 41 |
| Popis slika.....   | 42 |
| Popis tablica .....  | 42 |
| Popis grafikona .....  | 42 |

## 1. UVOD

Održavanje zrakoplova i njegova eksploatacija su usko povezani pojmovi. Održavanje lakih zrakoplova generalne avijacije koji se koriste u svrhu školovanja pilota, temelji se na redovitim servisima prema točno određenim vremenskim intervalima (*Hard Time*). Napretkom tehnologije na području uređaja za praćenje parametara rada motora, ovakvi uređaji počeli su se ugrađivati na zrakoplovne klipne motore. Navedeni suvremeni uređaji omogućavaju kontinuirano praćenje radnih parametara motora, njihovo pohranjivanje, preuzimanje i analiziranje što omogućava tehničkom osoblju vrlo precizno praćenje i detektiranje nepravilnosti u radu motora. Ovakav tip održavanja bitno smanjuje troškove održavanja i povećava razinu pouzdanosti u radu zrakoplovnog klipnog motora. Uređaj koji će se u ovom radu obrađivati je uređaj tvrtke J.P. Instruments, model EDM-900.

Ovaj rad bavi se praćenjem stanja zrakoplovnog klipnog motora na temelju parametara snimljenih u let putem uređaja EDM-900. Zadatak rada je analizom radnih parametara uočiti nepravilnosti u radu motora, ukoliko one postoje.

Rad je strukturiran u šest poglavlja. Nakon uvodnog dijela, u drugom poglavlju se opisuje povijesni razvoj zrakoplovnog klipnog motora zajedno s osnovnim principom rada i podjelama. Opisane su i tehničko-eksploatacijske karakteristike zrakoplova Cessna 172N i motora Lycoming O-320.

U trećem poglavlju opisani su motorski parametri za praćenje rada motora koji su bitni za razumijevanje ostatka rada.

Uređaj za praćenje parametara rada motora EDM-900 detaljno je opisan u četvrtom poglavlju.

U petom poglavlju „Indikacije stanja motora pomoću podataka snimljenih u letu“ grafički su prikazani radni parametri motora snimljeni tijekom dvaju letova u svrhu njihove analize i analize stanja zrakoplovnog klipnog motora.

U posljednjem, šestom poglavlju iznosi se zaključak rada temeljen na analizi podataka snimljenih tijekom letova.

## 2. TEHNIČKO-EKSPLOATACIJSKE KARAKTERISTIKE TIPIČNOG ZRAKOPLOVNOG KLIPNOG MOTORA

Zrakoplovni klipni motor u paru s elisom čini pogonski sustav sportsko rekreativnih zrakoplova, koji se ubrajaju u kategoriju lakih zrakoplova čija maksimalna masa pri polijetanju (*Maximum take-off mass, MTOM*) ne prelazi 5700 kg. U ovom poglavlju opisuju se povijesni razvoj, podjela i osnovne karakteristike "tipičnog" zrakoplovnog klipnog motora, odnosno motora koji je najčešće ugrađen u ovaj tip zrakoplova.

### 2.1 Povijesni razvoj zrakoplovnog klipnog motora

Prvi praktično primjenjiv klipni motor izradio je francuski izumitelj Lenoir 1860. godine, a u narednih nekoliko godina ovakvi motori koristili su se za pogon različitih strojeva (npr. tiskarski strojevi). Prvi četverotaktni motor, sličan današnjim Ottovim motorima prikazan je na III. svjetskoj izložbi u Parizu 1878. godine, a konstruktor je bio njemački izumitelj Otto po kojem su i dobili ime. U zrakoplovstvu se ovaj tip motora po prvi puta koristio 17. prosinca 1903., kada su braća Wright obavila svoj prvi let. Za izradu ovog motora, braća Wright angažirala su mehaničara Charles Edward Taylor-a koji je izradio aluminijski, vodom hlađeni motor mase 82kg te je razvijao snagu od 12 HP (*Horse Power*). Nakon prvih uspješnih letova klipni motori su se sve više počeli primjenjivati za pogon zrakoplova [1].

U razdoblju Prvog svjetskog rata koristili su se rotacijsko – radijalni motori hlađeni zrakom (*Rotary – Type Radial Engine*). Proizvodili su se također radijalni motorihlađeni zrakom, motori u V – izvedbi hlađeni tekućinom ili zrakom i motori s rednim rasporedom cilindara. Zbog problema s hlađenjem, broj cilindara kod zrakom hlađenih motora bio je ograničen do šest. Dodatni problem ovog tipa motora bio je mali odnos snage prema masi [1].

Svoj vrhunac, zrakoplovni klipni motori su dostigli za vrijeme Drugog svjetskog rata, kada se razvijaju zvjezdasti Ottovi motori hlađeni zrakom od kojih je najpoznatiji *Merlin* tvrtke *Rolls – Royce* [1].

### 2.2 Princip rada zrakoplovnog klipnog motora

Klipni motori (*Piston Engines*) mogu biti izvedeni s rotacijskim gibanjem klipa (*Rotary Engines*), ili s pravocrtnim oscilacijskim gibanjem klipa (*Reciprocating Engines*). Motori s rotacijskim



gibanjem klipa imaju vrlo ograničenu upotrebu te će se ovdje opisivati klipni motori s pravocrtnim oscilacijskim gibanjem klipa [1].

Na slici 1 prilazan je klip zrakoplovnog klipnog motora s označenim dijelovima.



**Slika 1.** Klip zrakoplovnog klipnog motora s označenim glavnim dijelovima

Izvor: [1]

Tipični zrakoplovni klipni motori su četverotaktni te se njihov radni ciklus obavi u dva okretaja koljenastog vratila, odnosno kroz četiri takta [1]:

I. takt – usis

II. takt – sabijanje ili kompresija

III. takt – širenje ili ekspanzija

IV. takt – ispuh

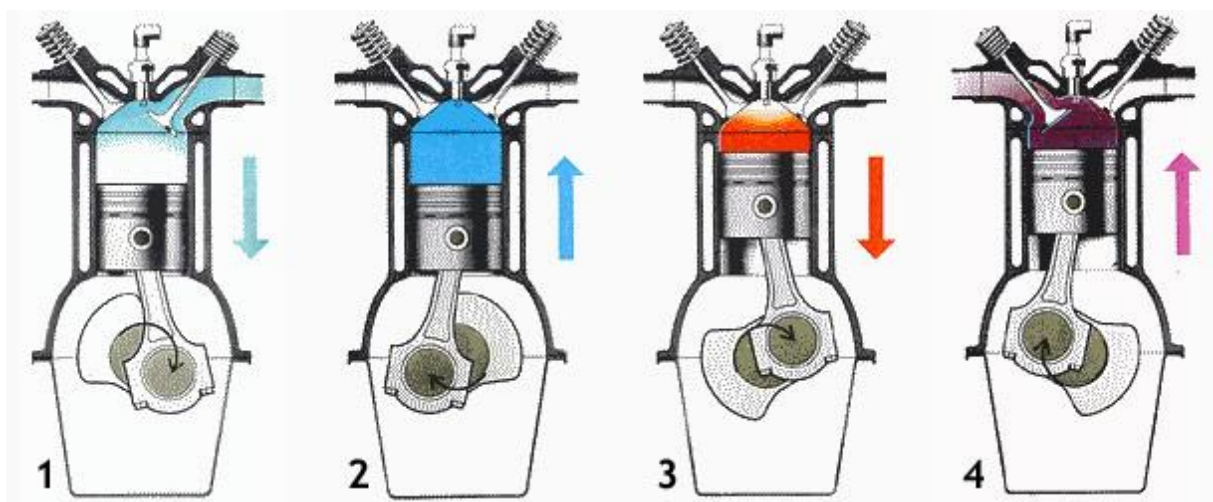
Tijekom prvog takta u cilindar ulazi zrak ili smjesa goriva i zraka, ovisno o vrsti motora. Kod Ottovih motora u cilindar ulazi smjesa zraka i isparenog goriva (radna tvar), koja je prethodno pripremljena u rasplinjaču ili se ubrizgava ispred usisnog ventila [1].

U drugom taktu klip sabija radnu tvar unutar cilindra, zbog čega dolazi do povećanja tlaka i temperature te započinje izgaranje paljenjem homogene smjese goriva i zraka pomoću iskre na svjećici. Gorivo kod Ottovih motora mora biti otporno prema samozapaljenju kako ne bi došlo do nekontroliranog zapaljenja što bi izazvalo nenormalni tijek izgaranja[1].

Tijekom trećeg takta dolazi do ekspanzije te plinovi pomiču klip koji posredstvom klipnog mehanizma okreće koljenasto vratilo (radilicu) koje pokreće elisu. Na taj način se kemijska energija goriva pretvara u mehanički rad [1].

U taktu ispuha, produkti izgaranja ispuhuju se iz cilindra motora te je time završen jedan radni ciklus motora od četiri takta [1].

Na slici 2 prikazani su taktovi radnog ciklusa Ottovog motora te se mogu vidjeti položaji usisnog i ispušnog ventila u pojedinom taktu kao i kretanje klipa unutar cilindra.



Slika 2. Radni ciklus četverotaktnog Ottovog motora

Izvor: [1]

### 2.3 Osnovne podjele

Klipni motori se mogu podijeliti prema nekoliko kriterija. Kako bi lakše razumijeli problematiku zrakoplovnih klipnih motora i njihovog održavanja, u nastavku su navedene osnovne podjele.

#### Podjela prema načinu paljenja smjese

Prema ovoj podjeli razlikuju se [1]:

- a) Ottovi motori
- b) Dieselovi motori.

Kod Ottovih motora se smjesa goriva i zraka priprema ispred cilindra, a pali se svjećicom u taktu kompresije. Kod Dieselovih motora usisava se čisti zrak i sabija u taktu kompresije. Gorivo se zatim ubrizgava i samozapaljuje. Tipični zrakoplovni motori su Ottovi motori [1].

### **Podjela prema taktnosti**

Kao što je već opisano, klipni motori mogu biti [1]:

- a) četverotaktni i
- b) dvotaktni.

Tipični zrakoplovni motori su četverotaktni, osim kod ultralakih letjelica ili maketa gdje se ponekad koriste dvotaktni [1].

### **Podjela prema načinu punjenja cilindra svježom smjesom**

Cilindar motora može se puniti prirodnim putem usisavanjem svježe smjese te se takvi motori nazivaju motorima s prirodnim punjenjem (*Normally Aspirated Engine*) ili usisnim motorima. Kako bi se povećala količina svježe radne tvari, u cilindar motora može se kompresorom ubacivati svježa radna tvar s povećanim tlakom. Takvi motori se nazivaju motori s prednabijanjem (*Supercharged Engine*) [1].

### **Podjela prema načinu hlađenja**

Dijelovi motora koji su u kontaktu s produktima izgaranja moraju se hladiti (cilindri, glava cilindra) kako ne bi došlo do pregrijavanja i oštećenja. Prema načinu odvođenja topline dijele se na [1]:

- a) motori hlađeni tekućinom i
- b) motori hlađeni zrakom.

Zrakoplovni klipni motori najčešće su hlađeni zrakom.

### **Podjela Ottovih motora prema vrsti sustava za napajanje gorivom**

Smjesa goriva i zraka kod Ottovih motora priprema se [1]:

- a) u rasplinjaču (karburatoru) ili se može
- b) ubrizgavati gorivo ispred usisnog ventila.

## Podjela po broju, položaju i rasporedu cilindara

Prema broju cilindara motori mogu biti jednocilindrični i višecilindrični. Zrakoplovni klipni motori se uglavnom izvode kao četverocilindrični i šesterocilindrični [1].

Najčešće izvedbe motora su [1]:

- a) redni (*In-line Engine*)
- b) V-izvedba (*V-Type Engine*)
- c) Bokser (*Opposed Engine*)
- d) Zvezdasti ili radijalni (*Radial Engine*)

Zaključno, tipični zrakoplovni klipni motori su četverotaktni, četvertocilindrični, bokser Ottovi motori, čija se smjesa priprema u rasplinjaču ili imaju sustav za ubrizgavanje te su hladjeni zrakom i opremljeni elisom fiksnog koraka.

## 2.4 Tehničko-eksploatacijske karakteristike zrakoplova Cessna 172N registracijske oznake 9A-DMB

Zrakoplov Cessna 172N je jednomotorni klipni zrakoplov metalne strukture te spada u kategoriju lakih zrakoplova čija maksimalna masa pri polijetanju ne prelazi 5700 kg [2].

Tehničke karakteristike navedenog zrakoplova navedene su u tablici 1.

**Tablica 1.** Tehničke karakteristike zrakoplova Cessna 172N

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Tip motora              | Lycoming O-320 (Horizontalno položeni, hladjeni zrakom, s karburatorom) |
| Propeler                | 2 kraka, promjera 75 inch-a, fiksnog koraka                             |
| Masa praznog zrakoplova | 695 kg  |
| Gorivo                  | AVGAS 100LL   |
| Kapacitet goriva        | 43 USGAL (162,7 l), od toga 40 USGAL (151,4 l) iskoristivo              |
| Kapacitet ulja          | 6,6 l, od toga iskoristivo 5,67 l                                       |

Izvor: [2]

Performanse zrakoplovnih klipnih motora uvelike ovise o atmosferskim uvjetima u kojima se let odvija. Povećanjem visine dolazi do smanjenja gustoće i temperature zraka te se performanse zrakoplovnog klipnog motora smanjuju [1]. Eksploatacijske karakteristike

motora Lycoming O-320, koji se koristi za pogon Cessne 172N i može se svrstati pod tipični zrakoplovni klipni motor, prikazane su u tablici 2.

**Tablica 2.** Eksploatacijske karakteristike Cessne 172N

|   |  |
|---|--|
| Snaga motora                                  | 160 BHP ( <i>Brake Horse Power</i> )   |
| Brzina vrtnje motora pri snazi za polijetanje | 2400 – 2500 RPM  |
| Brzina vrtnje motora pri praznom hodu (idle)  | 700 RPM  |
| Performanse u polijetanju                     | 2400 – 2500 RPM pri 90% nominalne snage motora   |
| Potrošnja goriva                              | Pri standardnoj temperaturi i na visini od 8000 ft iznosi 8 GPH  |
| Potrošnja goriva pri snazi za polijetanje     | 11 GPH   |
| Potrošnja goriva pri 75% kontinuirane snage   | 9 GPH  |
| Plafon leta                                   | 14 200 ft  |
| Maksimalni dolet                              | Pri visini od 10 000 ft (3048 m) i 75% snage iznosi 575 NM (1064,9 km) pri standardnoj temperaturi i tlaku |
| Istrajnost                                    | Na visini od 10 000 ft i 75% snage iznosi 4,1 h, dok na visini od 8000 ft na 75% snage iznosi 5,7 h        |

Izvor: [2]

Pod standardnim uvjetima se podrazumijevaju karakteristike zraka koje su ustanovljene kao međunarodna standardna atmosfera odnosno ICAO atmosfera (*Internationa Standard Atmosphere, ISA*) [3]:

- tlak zraka na MSL (*Mean Sea Level*) je 1013,250 hPa
- temperatura zraka na MSL je  $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , odnosno  $T = 288,15\text{ K}$
- gustoća zraka je  $\rho = 1,225\text{ kg/m}^3$
- molarna masa suhog zraka  $M = 28,9644 \times 10^3\text{ kg/mol}$
- univerzalna plinska konstanta  $R = 8,31432\text{ J/Kmol}$
- temperaturni gradijent do 11km visine je  $\gamma = -0,0065\text{ }^{\circ}\text{C/m}$

Iz prethodno navedenih karakteristika, može se zaključiti da povećanje visine i temperature zraka negativno utječe na performanse zrakoplovnog klipnog motora.

U ovom radu, za primjer zrakoplova navedenih karakteristika, na kojem su provedeni letovi uz snimanje stanja motora, uzet je zrakoplov registrarske oznake 9A – DMB u vlasništvu Fakulteta prometnih znanosti koji se koristi za školovanje civilnih pilota u Hrvatskom zrakoplovnom nastavnom središtu (HZNS).

Zrakoplov registracijske oznake 9A-DMB početak 2020. godine modificiran je ugradnjom niza uređaja s ciljem zadovoljavanja kriterija za školovanje studenata prema PBN navigaciji. Ugrađeni su uređaji: Garmin G5, Garmin GTN 750, Garmin GTN 650 te uređaj J.P Instruments EDM 900 Primary o kojem će se nešto više govoriti u poglavlju 4. Na slikama 3 i 4 vidljivi su izgledi kokpita navedenog zrakoplova prije i nakon modifikacije.



**Slika 3.** Kokpit zrakoplova 9A-DMB prije ugradnje modifikacije

Izvor: [4]



**Slika 4.** Izgled instrument ploče nakon modifikacije zrakoplova 9A-DMB

Izvor: [5]

### 3. MOTORSKI PARAMETRI ZA PRAĆENJE RADA MOTORA U LETU

Prilikom eksploatacije zrakoplova, pilotu su u letu dostupni različiti podaci o stanju motora te su oni ključni za određivanje ispravnosti klipnog motora i održavanje motorskih parametara unutar granica određenih od strane proizvođača. Održavanje pojedinih parametara kao što su: temperatura glave cilindra, temperatura ispušnih plinova, temperatura zraka na ulazu u turbinu, brzina vrtnje motora, itd; u dozvoljenim granicama, ključno je za siguran i pouzdan rad motora. U nastavku će biti detaljnije opisani najvažniji parametri rada motora s ciljem lakšeg razumijevanja njihove važnosti u eksploataciji zrakoplova [1].

#### 3.1 Temperatura glave cilindra (*Cylinder Head Temperature, CHT*)

Temperatura glave cilindra može se mjeriti na dva načina ovisno o vrsti termometra koji se koristi [6]:

- između rashladnih rebara motora ili,
- neposredno ispod svjećica

S obzirom da su klip i cilindar dijelovi motora koji su tijekom eksploatacije izloženi ekstremnim promjenama temperatura i tlakova, ovaj parametar je ključan za uvid u stanje motora. Izmjerena vrijednost CHT-a govori o toplinskom opterećenju kojem je izvrnut cilindar, a posebno je bitna promjena vrijednosti CHT-a između takta kompresije i takta ekspanzije kada su vrijednosti tlaka i temperature najviše [7].

Kako bi se zadovoljili zahtjevi koji se odnose na čvrstoću i izdržljivost materijala od kojih se izrađuju (mala masa, dobra toplinska vodljivost, čvrstoća kod povišenih temperatura), cilindar i klip najčešće se izrađuju od aluminijskih legura [1].

Standardne vrijednosti CHT su 177 °C (350 °F) uz temperaturu okolišnog zraka od 15 °C (60 °F), ili 210 °C (410 °F) za motore s prednabijanjem [7].

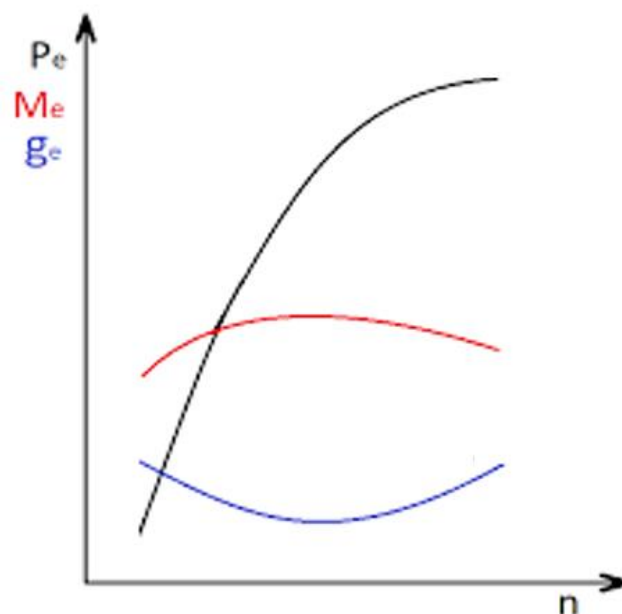
Ograničenja postavljena od strane proizvođača motora povezana su s ograničenjima materijala izrade. Kod Al–legura temperature ne smiju prelaziti 400 °C jer u suprotnome dolazi do pukotina pa čak i lomova. Također, kod povišenih temperatura Al – legure izrazito gube na čvrstoći i i rastežu se zbog čega se ostavlja međuprostor pri izradu [6].

### 3.2 Brzina vrtnje motora (*Revolutions Per Minute, RPM*)

Brzina vrtnje motora je parametar koji se izražava preko jedinice RPM, odnosno broja okretaja radilice motora u jednoj minuti, a mjerena je tahometrom [1].

Brzina vrtnje motora bitan je faktor pri operacijama zrakoplova od pokretanja motora i njegove probe na stajanci pa do operacija u zraku. Održavanje vrijednosti RPM-a u zadanim i dopuštenim granicama, koje su navedene u Priručniku za letenje zrakoplovom (*Pilot's Operating Handbook, POH*) svakog zrakoplova, važno je za očuvanje motora, njegove dugovječnosti i pouzdanosti [1].

O brzini vrtnje motora ovise: snaga motora, okretni moment i specifična potrošnja goriva. Ovi pokazatelji ubrajaju se u vanjsku brzinsku karakteristiku čiji se graf može vidjeti na slici 5. Vanjska brzinska karakteristika (*Full Throttle Power Curve*) prikazuje ovisnost efektivnih pokazatelja motora o brzini vrtnje koljenastog vratila pri potpuno otvorenoj zaklopki rasplinjača. Snaga motora ima tendenciju rasta s povećanjem brzine vrtnje, sve do maksimalne snage nakon čega vrijednosti snage zadržavaju približno konstantne vrijednosti. Okretni moment s povećanjem broja okretaja ima tendenciju rasta do maksimalne vrijednosti nakon čega se smanjuje. Specifična potrošnja goriva opada povećanjem broja okretaja do minimalne vrijednosti nakon čega ponovno ima tendenciju rasta [1].



Slika 5. Vanjska brzinska karakteristika Otto motora

Izvor: [8]



Oznake i njima pridružene krivulje na slici 8 predstavljaju:

- $P_e$  – efektivna snaga motora (kW)
- $M_e$  – efektivni okretni moment motora (Nm)
- $g_e/m_s$  – specifična efektivna potrošnja goriva (kg/Ws)
- $n$  – broj okretaja (okr/min)

### 3.3 Tlak punjenja (*Manifold Absolute Pressure, MAP*)

Tlak punjenja je važan parametar za određivanje režima leta aviona. On predstavlja vrijednost apsolutnog tlaka unutar usisne cijevi cilindra motora, a funkcija je podtlaka koji stvara gibanje klipova tijekom takta usisa, otvorenosti zaklopke rasplinjača i stanja okolnog zraka [1].

Podatak o tlaku punjenja najčešće se može vidjeti kod zrakoplova s promjenjivim korakom elise, gdje je u kombinaciji s brojem okretaja (RPM) moguće postaviti potrebnu snagu.

### 3.4 Temperatura ispušnih plinova (*Exhaust Gas Temperature, EGT*)

Temperatura ispušnih plinova je parametar motora koji se mjeri na izlazu iz cilindra pomoću jednog ili više senzora. Glavni faktori koji utječu na ovaj parametar su: omjer goriva i zraka u smjesi i stupanj kompresije motora [1].

Glavna funkcija mjerenja EGT-a je određivanje optimalne smjese goriva i zraka u cilindrima motora. Najviša temperatura ispušnih plinova javlja se kod stehiometrijske smjese goriva i zraka koja iznosi oko 15 kilograma zraka na 1 kilogram goriva; kod ovakve smjese količina zraka je dovoljna za izgaranje svog goriva u cilindru. Kod smjesa bogatijih od stehiometrijske, odnosno smjesa kod kojih je omjer zraka i goriva manji od 15/1, temperatura ispušnih plinova opada iz razloga što višak goriva koje ne izgori isparava te se na taj proces troši dio energije pa se klip i cilindar toliko ne zagrijavaju. Kod osiromašivanja smjese temperatura ispušnih plinova raste što je posljedica gubitka efekta hlađenja zbog viška goriva u smjesi [9].

Osiromašivanje smjese se još naziva i "linovanje", a dolazi od engleske riječi "lean". Proces linovanja tijekom leta, ovisno o visini na kojoj zrakoplov leti, vrlo je važan jer se time može značajno smanjiti potrošnja goriva i poboljšati performanse motora [2].

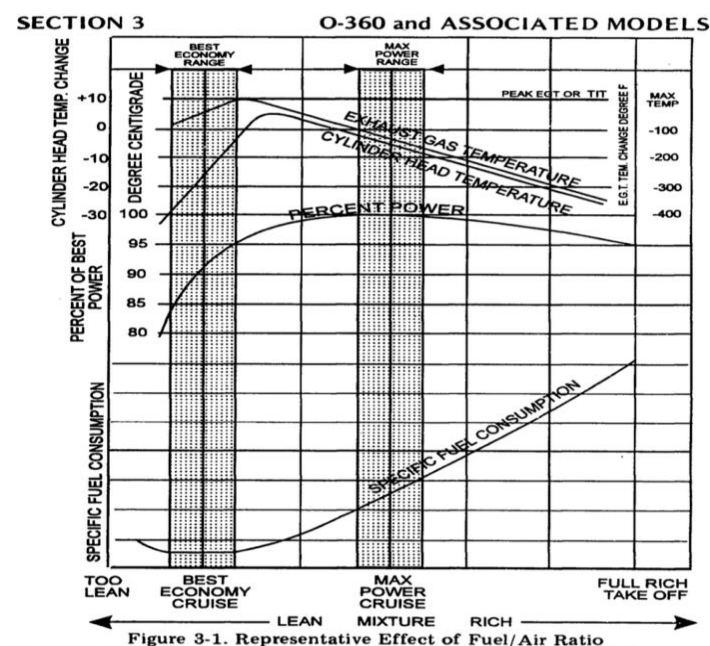
Na slici 6 prikazane su vrijednosti i trendovi EGT-a, CHT-a, snage motora i specifične potrošnje goriva u ovisnosti o bogatstvu smjese goriva i zraka. Osiromašivanjem smjese od "Full rich"

pozicije, temperature EGT-a i CHT-a rastu dok ne dosegnu maksimalne vrijednosti te nakon toga ponovno opadaju. Smjesa kod koje se postigne maksimalna vrijednost EGT-a je najekonomičnija smjesa. Proces linovanja se vrši tako da se prati temperatura EGT-a dok se istovremeno smjesa osiromašuje. Tijekom procesa temperatura EGT-a će rasti te u trenutku kada počne opadati, smjesa se obogaćuje da se temperatura EGT-a vrati na maksimalnu vrijednost. Uz ugrađeni uređaj za praćenje parametara rada motora ovaj proces je olakšan tako što uređaj daje obavijest u trenutku kada prvi cilindar dostigne svoj "Peak", odnosno maksimalnu vrijednost. To se još naziva "Rich of Peak" [8].

Postotak snage, prilikom osiromašivanja smjese, ima tendenciju rasta sve do područja maksimalne snage, nakon čega će se daljnjim osiromašivanjem smjese postotak snage smanjivati. U području najekonomičnije smjese postotak snage iznosi 90 do 95% [8].

Procesom linovanja, specifična potrošnja goriva se značajno smanjuje do minimalne vrijednosti, a smjesa koja odgovara ovoj vrijednosti jednaka je smjesi za najekonomičniji let [8].

Treba napomenuti da visoke vrijednosti EGT-a ne predstavljaju opasnost za motor iz razloga što kod klipnog motora nije moguće razviti temperaturu ispušnih plinova koja bi mogla negativno utjecati na elemente motora [9].



Slika 6. Prikaz ovisnosti CHT, EGT, snage motora i specifične potrošnje goriva o mješavini

Izvor: [8]

### 3.5 Temperatura okolnog zraka (*Outside Air Temperature, OAT*)

Kao što je prethodno navedeno, kod proračuna svih faza leta vrlo bitan faktor je temperatura okolnog zraka. Najvećnji utjecaj temperature okolnog zraka je na snagu motora, naime povećanjem vanjske temperature snaga motora opada i obrnuto. Vanjska temperatura također utječe na gustoću zraka i posredno na stvarnu brzinu zrakoplova (*True Airspeed, TAS*) [3].

Problem nastaje kada kod velikih brzina dolazi do povećanja temperature zraka na pojedinim dijelovima zrakoplova, kao na primjer kod mjerača temperature zraka. Uzrok povećanja temperature je pretvorba kinetičke energije u toplinsku pri velikim brzinama zbog trenja između zraka i dijelova zrakoplova. Ta temperatura naziva se ukupna temperatura zraka (*Total Air Temperature, TAT*) i mora se korigirati za određeni faktor kako bi se dobila točna temperatura okolnog zraka [3].

### 3.6 Protok goriva (*Fuel Flow, FF*)

Protok goriva je parametar koji daje uvid u protok goriva između spremnika i motora, a najčešće se izražava u gal/h (*Gallons per Hour*) [1].

Podatak o protoku goriva omogućava preciznije određivanje potrošnje goriva, preostalog vremena leta i vođenje ekonomičnijeg leta s manjom potrošnjom goriva. Također, ako se u uređaj za mjerenje protoka goriva unese trenutna količina goriva u spremnicima može se izračunati prostalo vrijeme leta i vrijeme do potpunog pražnjenja uz podatke o trenutnoj i ukupnoj potrošnji goriva [8].

Određenim formulama i uz poznati protok goriva, moguće je odrediti količinu ispušnih plinova koja odlazi u atmosferu prilikom pojedinog leta, što je vrlo bitno s ekološkog aspekta [10].

### 3.7 Tlak ulja (*Oil Pressure*)

Ulje u motoru ima različite funkcije, a najvažnije su [1]:

- smanjenje trenja na tarnim površinama,
- hlađenje elemenata koji se podmazuju,
- brtvljenje na kliznim površinama,
- zaštita od korozije.

S obzirom na važnu ulogu ulja pri radu motora, tlak ulja se mora nalaziti unutar dopuštenog područja. Tlak ulja se mijenja od najviših vrijednosti pri zagrijavanju motora do nižih vrijednosti kada ulje poprimi radnu temperaturu. Minimalni tlak ulja kod tipičnog zrakoplovnog klipnog motora iznosi između 20 i 25 psi (*Pound per square inch*), a maksimalna vrijednost je 115 psi. U tablici 3 mogu se, između ostaloga, vidjeti dopuštene granice tlaka ulja za zrakoplov Cessna 172N [1].

U slučaju da tlak ulja padne ispod minimalne vrijednosti, ili prekorači maksimalnu, postoji mogućnost potpunog otkaza motora te je poželjno što prije sletiti i ugasiti motor [11].

**Tablica 3.** Dopuštene vrijednosti određenih parametara motora: RPM, temperatura i tlak ulja, temperatura zraka u karburatoru

| INSTRUMENT                 | CRVENA OZNAKA | ZELENO<br>PODRUČJE   | ŽUTO PODRUČJE      | CRVENA OZNAKA |
|----------------------------|---------------|----------------------|--------------------|---------------|
|                            | MINIMUM       | NORMALNO<br>PODRUČJE | PODRUČJE<br>OPREZA | MAKSIMUM      |
| TAHOMETAR                  | ---           | 2200 – 2700 RPM      | ---                | 2700 RPM      |
| TEMPERATURA<br>ULJA        | ---           | 100°-245°F           | ---                | 245 °F        |
| TLAK ULJA                  | 25 psi        | 60-90 psi            | ---                | 100 psi       |
| TEMPERATURA<br>KARBURATORA | ---           | ---                  | -15° - 5°C         | ---           |

Izvor: [2]

### 3.8 Temperatura ulja (*Oil Temperature*)

Kako bi ulje moglo obavljati funkcije koje su ranije navedene, njegova temperatura mora se održavati u relativno uskom rasponu vrijednosti. To se postiže regulatorima temperature ulja i hladnjakom ulja. O temperaturi ulja ovisi njegova viskoznost o kojoj ovise maziva svojstva ulja. Najmanja dopuštena temperatura za kontinuirani rad obično je u granicama od 40 do 60 °C. Iz tablice na slici 10 vidi se da minimalna vrijednost temperature ulja nije navedena dok maksimalna iznosi 245 °F što je jednako 118 °C. Također je vrlo bitno da se koristi ulje adekvatne viskoznosti [1].

## 4. UREĐAJI ZA PRAĆENJE PARAMETARA RADA MOTORA

Na većini zrakoplova generalne avijacije, informacije o stanju motora tijekom leta vidljive su preko više različitih instrumenata smještenih na instrument ploči. Ovakav način prikazivanja zahtjeva napor i koncentraciju pilota zbog popriličnog broja instrumenata koji se moraju nadgledati.

Napretkom tehnologije na svim područjima pa tako i u avijaciji, klasični instrumenti se zamjenjuju uređajima na čijim se prikaznicima istovremeno može pratiti puno veći broj parametara rada motora koji se kasnije mogu analizirati. U ovom poglavlju biti će opisane karakteristike i mogućnosti uređaja tvrtke J.P. Instruments, serije EDM-900 [8].

### 4.1 Instrument J.P. EDM-900

Uređaj EDM-900 je uređaj za praćenje parametra rada motora koji je u drugom mjesecu 2020. godine ugrađen na zrakoplov tipa Cessna 172N, registracijske oznake 9A-DMB koji je dio flote Hrvatskog zrakoplovnog nastavnog središta.

Ugradnja navedenog uređaja donosi razne prednosti u pogledu održavanja zrakoplova i njegove eksploatacije[11] :

- oslobađanje prostora instrument ploče
- prikaz velikog broja podataka koji do sada nisu bili dostupni pilotu u letu
- zapis podataka svake sekunde i njihovo pohranjivanje
- mogućnost pristupa pohranjenim podacima nakon leta
- mogućnost praćenja parametara rada u svrhu održavanja zrakoplova (preventivno održavanje)

Uređaj prikazuje sljedeće parametre [10]:

- 1) brzina vrtnje motora, (*Revolutions Per Minute, RPM*)
- 2) tlak punjenja, (*Manifold Absolute Pressure, MAP*)
- 3) temperatura glave cilindra, (*Cylinder Head Temperature, CHT*)
- 4) temperatura ispušnih plinova, (*Exhaust Gas Temperature, EGT*)
- 5) temperatura ulja, (*Oil Temperature*)
- 6) tlak ulja, (*Oil Pressure*)

- 7) tlak goriva, (*Fuel Pressure*)
- 8) protok goriva, (*Fuel Flow, FF*)
- 9) količina goriva, (*Fuel Quantity*)
- 10) napon alternatora/generatora, (*Alternator/Generator Output*)
- 11) temperatura okolnog zraka, (*Outside Air Temperature, OAT*)
- 12) temperatura na ulazu u turbinu, (*Turbine Inlet Temperature, TIT*)
- 13) temperatura na ulazu u karburator, (*Carburetor inlet temperature*)

Izgled uređaja vidljiv je na slici 7.



Slika 7. Uređaj EDM-900

Izvor: [11]

## Komponente uređaja

Komponente uređaja EDM-900 namijenjene za zrakoplovne motore s četiri cilindra navedene su u tablici 4.

Tablica 4. komponente uređaja EDM-900

| Komponenta  | Količina |
|---|----------|
| <b>Display EDM-900</b>  | <b>1</b> |
| <b>EGT Senzor</b> (Senzor temperature ispušnih plinova)                       | <b>4</b> |
| <b>TIT Senzor</b> (Senzor temperature zraka na ulazu u turbinu)               | <b>1</b> |
| <b>CHT Senzor</b> (Senzor temperature glave cilindra)                         | <b>4</b> |
| <b>OAT Senzor</b> (Senzor vanjske temperature zraka)                          | <b>1</b> |
| <b>IAT Senzor</b> (Senzor unutarnje temperature)                              | <b>1</b> |
| <b>CARB TEMP Senzor</b> (Senzor temperature karburatora)                      | <b>1</b> |
| <b>OIL TEMP Senzor</b> (Senzor temperature ulja)                              | <b>1</b> |
| <b>OIL PRESSURE Senzor</b> (Senzor tlaka ulja)                                | <b>1</b> |
| <b>FUEL PRESSURE Senzor</b> (Senzor tlaka goriva)                             | <b>1</b> |
| <b>FUEL PRESSURE DIFFERENTIAL Senzor</b> (Diferencijalni senzor tlaka goriva) | <b>1</b> |
| <b>AMMETER</b> (Ampermetar)   | <b>1</b> |
| <b>FUEL FLOW</b> (Protok goriva)  | <b>1</b> |
| <b>FUEL LEVEL</b> (Količina goriva)   | <b>1</b> |
| <b>MAP</b> (Tlak punjenja)  | <b>1</b> |
| <b>RPM (PRESSURIZED)</b> (Brzina vrtnje motora prešurizirano)                 | <b>1</b> |
| <b>RPM (NON-PRESSURIZED)</b> (Brzina vrtnje motora ne-prešurizirano)          | <b>1</b> |
| <b>RAD</b> (Ukupna temperatura)   | <b>1</b> |

Izvor: [11]

## Parametri i kratice

U nastavku je navedena tablica (tablica 5) u kojoj se mogu vidjeti parametri koji se mjere zajedno s njihovim kraticama koje se prikazuju na zaslonu uređaja. Oznake „x“ u drugom stupcu tablice označavaju red veličina, zaokruženo na jednu decimalu.

**Tablica 5.** Parametri i kratice

| <b>Zadaća mjerača</b>  | <b>Kratice koja se prikazuje u području obavijesti</b> |
|--|--|
| <b>Primarni</b>  | <b>Primarni</b>  |
| Brzina vrtnje motora   | RPM xxxx   |
| Tlak punjenja  | MAP xx.x in hg   |
| Temperatura glave cilindra ( <i>CHT</i> )                      | CHT xxx °F   |
| Temperatura ulja   | O-T xxx °F   |
| Tlak ulja  | O-P xxx °F   |
| Tlak goriva  | F-P xx PSI   |
| Protok goriva  | F-F xx.x GPH   |
| Temperatura kompresora, za motore sa sustavom za prednabijanje | CDT xxx °F   |
| Temperatura na ulazu u turbinu ( <i>TIT</i> )                  | TIT xxxx °F  |
| <b>Sekundarni</b>  | <b>Sekundarni</b>                                      |
| Temperatura ispušnih plinova ( <i>EGT</i> )                    | EGT xxxx °F  |
| "Šok" hlađenje CHT-a   | CLD xx °/MIN   |
| Razlika EGT-a  | DIF xx °F  |
| Napon sabirnice  | Volts xx.x   |
| Struja punjenja  | AMPS xx  |
| Temperatura vanjskog zraka                                     | OAT xx °F  |
| Predviđeno vrijeme do potpuno potrošenog goriva                | Est. T to E xx:xx H:M                                  |
| Gorivo potrošeno do sada                                       | USED xx.x GAL  |
| Preostalo gorivo   | Est. REM xx GAL  |
| Predviđeno gorivo potrebno do sljedeće točke                   | Est. WP REQ xx GAL                                     |

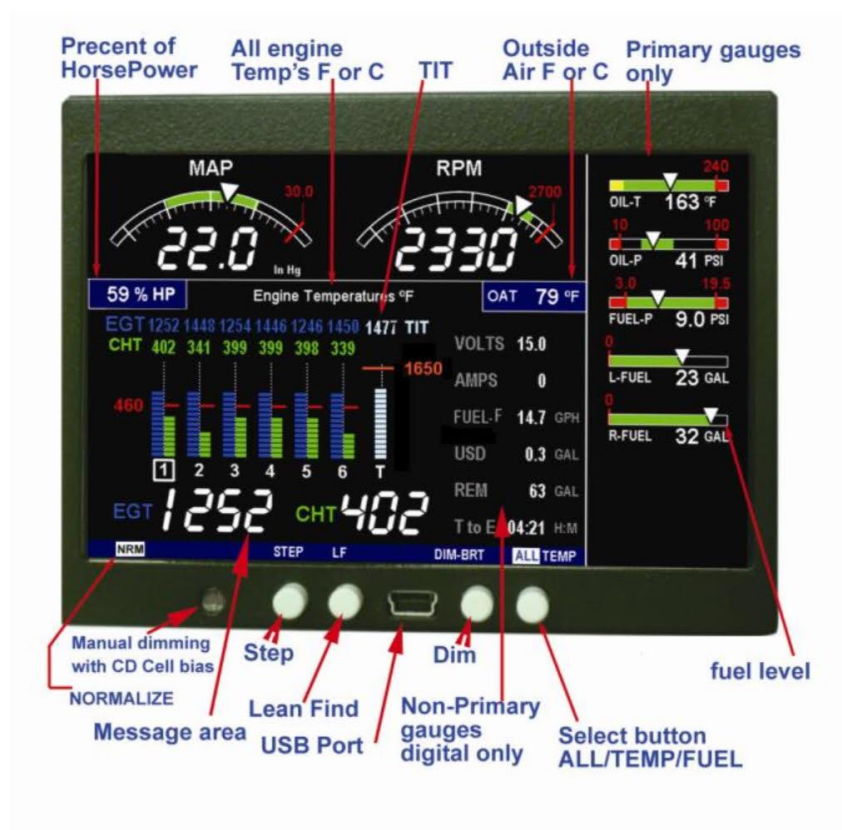


|                                  |                    |
|----------------------------------|--------------------|
| Preostalo gorivo na točki        | Est. WP RES xx GAL |
| Nautičke milje po galonu         | ECON xx.x MPG      |
| Svjetlina, kontrola prigušenosti | DIM/BRT            |

Izvor: [11]

## Prikaznik

Pojedini dijelovi prikaznika mogu se vidjeti na slici 8. Nazivi su napisani na engleskom jeziku, ali se prijevodi pojedinih kratica mogu vidjeti u tablici 4.



Slika 8. Dijelovi prikaznika

Izvor: [10]

U donjem dijelu se nalaze četiri gumba koja upravljaju svim funkcijama uređaja:

- STEP
- LF (*lean-find*)
- DIM
- EGT/FF

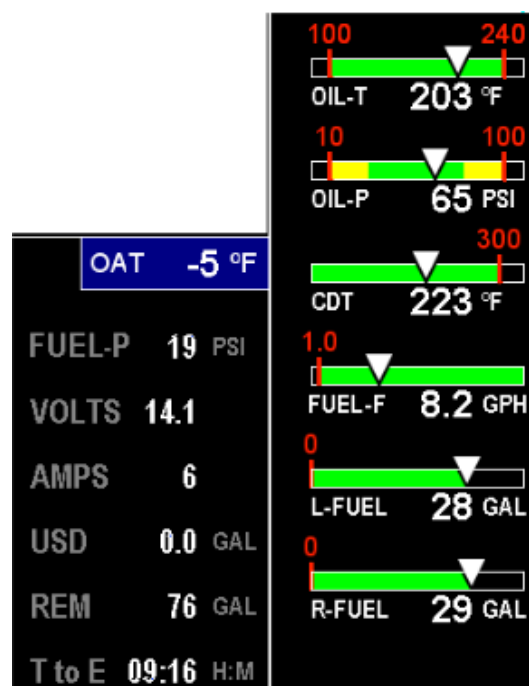
Ovisno o tome u kojem modu rada se uređaj nalazi, pojedini gumbi imaju različite uloge. Različiti modovi rada biti će objašnjeni u nastavku [12].

Uređaj ima mogućnost vertikalnog i horizontalnog prikaza, a preporučljivo je koristiti horizontalni zbog bolje preglednosti. Zaslone prikaznika podijeljen je u 3 glavna dijela. U gornjem lijevom dijelu prikazane su RPM i MAP vrijednosti, u donjem lijevom dijelu nalazi se tzv. „Scanner“ ili područje za poruke koji prikazuje EGT i CHT vrijednosti zajedno s još nekima (napon mreže, preostalo gorivo, vrijeme do potpunog nestanka goriva, itd.), a u desnom dijelu zaslona nalaze se informacije o glavnim motorskim parametrima prikazane u obliku horizontalnih traka [16]. Na slikama 9 i 10 vidljivi su prikaznici RPM-a i MAP-a te linearni prikaznici primarnih parametara, koji se nalaze sa desne strane zaslona [12].



Slika 9. RPM i MAP prikaznik

Izvor: [10]



Slika 10. Linearni prikaznici

Izvor: [10]

## **Modovi rada uređaja EDM-900**

Uređaj EDM ima četiri glavna operativna radna moda: „Automatic“, „Manual“, „Program“ i „Lean Find“. Prilikom prvog paljenja uređaj se nalazi u modu rada „Manual“, no nakon nekoliko minuta prelazi u mod rada „Automatic“. „Automatic mode“ osigurava nadgledanje radnih parametara motora kroz cijeli let. Prilikom osiromašivanja smjese, koristi se „Lean Find“ mod koji nam daje informaciju kada prvi cilindar dostigne najvišu temperaturu porukom: „Leanest“, odnosno, kada je postignuta optimalna smjesa (stehiometrijska) za let na određenoj visini. Ako je poželjno da se na prikazniku prikažu specifični parametri, koristi se „Manual“ mod rada. Pri radu u „Automatic“ ili „Manual“ modu, na zaslonu su uvijek prikazane vrijednosti EGT-a i CHT za svaki cilindar posebno, kao i TIT (kod motora s prednabijanjem). U „Program“ modu rada namještaju se postavke uređaja [10].

## **Interpretacija podataka**

U nastavku teksta opisani su postupci provjere ispravnosti rada motora za sve režime rada na temelju interpretacije prikazanih podataka. Za svaki režim, od probe motora pa do prilaza za slijetanje, dane su vrijednosti koje ne smiju biti prekoračene i parametri na koje treba obratiti pozornost. Na primjeru tablica prikazanih na slikama 16. i 17. dane su karakteristične promjene u vrijednostima motorskih parametara koje mogu upućivati na probleme u radu motora. Navedene tablice pomažu u otkrivanju nepravilnosti u radu te pravovremenom i pravilnom postupanju kako ne bi došlo do trajnih oštećenja motora [10].

Vrijednosti koje su navedene u nastavku teksta za pojedino režime leta preuzete su iz Vodiča za pilote za instrument EDM-900 (*Pilots Guide, EDM-900*) sa službenih stranica J.P. Instruments.

## **Proba motora**

Prilikom probe motora prije polijetanja, potrebno je postaviti broj okretaja na predviđenu vrijednost.

Potrebno je uočiti [10]:

- Ravnomjerni porast od oko 50 °F u vrijednostima EGT-a svakog cilindra prilikom probe motora

- Ravnomjerno povećanje EGT-a svih cilindara prilikom promjene bogatstva smjese

Biti na oprezu u slučaju [10]:

- Neuobičajeno niski napon (niži od nazivnog napona akumulatora)
- Hladno ulje uz normalan tlak ulja
- Nenormalno visoke vrijednosti CHT-a
- Veliki pad EGT-a jednog cilindra pri radu motora s jednim magnetom – ukazuje na mogući kvar svjećica

### **Polijetanje, penjanje i operacije s maksimalnom snagom**

Potrebno je provjeriti [10]:

- Temperature CHT-a i EGT-a se podudaraju s vrijednostima uobičajenim za ove režime

Biti na oprezu u slučaju [12]:

- Visoka vrijednost EGT-a jednog cilindra, 300 °F viša od vrijednosti EGT-a ostalih cilindara, može ukazivati na neispravnu brizgaljku goriva ili propuštanje brtvila na razvodnom motoru. Na velikim visinama prema gustoći (*Density altitude*), prebogata smjesa može značajno smanjiti snagu motora
- Ako vrijednosti EGT-a dostignu vrijednosti na vrhu skale (stupca), alarm „NRM“ obavijestit će pilota o nenormalnom načinu rada motora

### **Krstarenje**

U fazi krstarenja i prilikom osiromašivanja smjese, treba biti na oprezu u slučaju [10]:

- Neravnomjerne vrijednosti EGT-a (motori s ubrizgavanjem). U tom slučaju je potrebno podesiti postavku snage i brzinu vrtnje motora pa tek onda bogatstvo smjese
- Neuobičajene vrijednosti EGT-a i CHT-a

### **Spuštanje**

U režimu snižavanja visine, zbog rada motora na malom broju okretaja treba paziti da ne dođe do udarnog hlađenja motora. Alarm je postavljen na vrijednost od -60 °F. Vrijednosti između -40 °F/min do -50 °F/min su normalne, zavisno od veličine motora [10].

U tablici 6, navedene su vrijednosti koje su karakteristične za motore većine zrakoplova generalne avijacije. Ove vrijednosti su općenite i ne moraju se podudarati s vrijednostima pojedinih zrakoplova i njihovih motora.

**Tablica 6.** Uobičajene vrijednosti za tipične motore generalne avijacije

| Mjerena veličina                        | Normalni raspon                       | Komentari   |
|---|---------------------------------------|---|
| EGT u krstarenju                        | 1350 °F<br><br>1550 °F                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Motori snage ispod 200 HP</li> <li>• (EGT bi trebao pasti 200 °F pri postavljanju maksimalne snage)</li> </ul> |
| EGT raspon (razlika)                    | 70 – 90 °F<br><br>120 – 150 °F        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Motori s ubrizgavanjem goriva</li> <li>• Motori s rasplinjačem</li> </ul>                                      |
| TIT                                     | 1600 °F prosječno                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 100° više od EGT-a</li> </ul>  |
| CHT                                     | 350 °F (OAT 60 °F)<br><br>410 °F      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Motori s prirodnim punjenjem</li> <li>• Motori s prednabijanjem</li> </ul>                                     |
| CHT raspon                              | 50 – 70 °F                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 100° sa sondama za brtve</li> </ul>  |
| Temperatura ulja                        | 200 °F                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hladnjak za ulje se tipično otvara pri 180 °F</li> </ul>   |
| Tlak ulja                               | 30 – 60 psi                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Varira ovisno o tipu zrakoplova</li> </ul>   |
| Tlak goriva (motor s ubrizgavanjem)     | 14 – 18 psi                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Varira ovisno o tipu zrakoplova</li> </ul>   |
| Tlak goriva (motor s rasplinjačem)      | 0.5 – 8 psi                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Varira ovisno o tipu zrakoplova</li> </ul>   |
| "Šok" hlađenje ( <i>Shock cooling</i> ) | -40°/min<br><br>-55°/min<br>-200°/min | <ul style="list-style-type: none"> <li>• "tightly cowled engines"</li> <li>• Bonanza</li> <li>• Helikopter</li> </ul>                                   |

Izvor: [11]

U tablici 7 prikazane su vrijednosti parametara koje mogu upućivati na različite probleme. Također su objašnjeni simptomi, mogući uzroci i preporučene radnje. Ovo pomaže u dijagnosticiranju problema i saniranju istih na vrijeme.

**Tablica 7.** Dijagnostika i preporučene radnje pri pojavi nepravilnosti u radu motora

| <b>Simptom</b>  | <b>Mogući uzrok</b>  | <b>Preporučena radnja</b>  |
|---|--|--|
| TIT~100° viša od EGT-a  | Ovo je normalno  |  |
| 75°-100° porast EGT-a jednog cilindra tijekom leta              | Svjećica ne "baca" iskrnu zbog nečistoće, neispravna svjećica  | Obogatiti smjesu kako bi se EGT vratio na normalnu vrijednost. Provjeriti svjećice |
| Porast ili pad EGT-a nakon servisa sustava paljenja             | Netočan trenutak paljenja<br>Visoki EGT → zakašnjelo paljenje;<br>Niski EGT → prerano paljenje   | Provjeriti EGT za svaki magnet da bi se utvrdilo neujednačeno paljenje             |
| Gubitak EGT-a za jedan cilindar; grubi rad motora               | Začepljeni ventil. Ostali cilindri su ispravni   | Provjeriti protočnost ventila  |
| Gubitak EGT-a jednog cilindra; nedostaje digitalni prikaz EGT-a | Neispravni senzor  | Zamijeniti senzore kako bi se utvrdilo je li neispravan                            |
| Pad vrijednosti EGT-a jednog cilindra                           | Usisni ventil se ne otvara potpuno; neispravni podizač ventila   | Pregledati podizač ventila   |
| Porast razlike EGT-a (DIF) pri niskom RPM-u                     | Niska kompresija cilindra  | Provjeriti kompresiju  |
| Nejednake vrijednosti EGT-a i CHT-a                             | Normalno za motore s rasplinjačem. Nečistoća na injektorima goriva ili prljave svjećice  | Provjeriti injektore i svjećice  |
| Pad EGT-a svih cilindara  | Smanjena struja zraka u sistemu za dovođenje smjese goriva i zraka. Zaleđivanje rasplinjača ili sustava za dovod smjese goriva i zraka | Provjeriti postoji li promjena u tlaku punjenja                                    |
| Sporti porast EGT-a. Niske vrijednosti CHT-a                    | Izgorjeli odvodni ventil. CHT je niska zbog male snage   | Provjeriti kompresiju  |
| Visoki CHT cilindra s jedne strane motora                       | Prepreka ispod poklopca motora   | Provjeriti prostor motora zbog mogućih stranih tijela                              |
| Nagli porast CHT-a jednog cilindra                              | Detonacija   | Smanjiti snagu   |

| <b>Simptom</b>  | <b>Mogući uzrok</b>  | <b>Preporučena radnja</b>   |
|---|--|---|
| Neočekivani intenzivni porast vrijednosti EGT-a i CHT-a jednog ili svih cilindara                   | Uranjeno paljenje<br>Mogućnost neispravnog senzora                       | Povećati i smanjiti snagu te pratiti vrijednosti.<br>Provjeriti senzore   |
| Gubitak najviše vrijednosti EGT-a u postupku linovanja  | Slabo paljenje ili vlaga u sustavu dovođenja goriva                      | Provjeriti rad magneta  |
| Smanjenje maksimalne vrijednosti EGT-a ili nikakva promjena u vrijednosti EGT-a u procesu linovanja | Detonacija. Obično posljedica 80 oktanskog goriva u 100 oktanskom motoru | Obogatiti smjesu, smanjiti snagu i ponoviti proces linovanja. Ponoviti dok se ne nađe maksimalna vrijednost EGT-a ili nastaviti s bogatom smjesom |
| Ispod 10 000 ft maksimalna snaga uzrokuje porast EGT-a  | Slaba ili neispravna mehanička pumpa goriva                              | Upaliti pomoćnu pumpu za gorivo. Ako vrijednosti EGT-a ponovno padnu, zamijeniti pumpu za gorivo  |
| CHT iznad 500°. EGT normalna  | Propušta brtva na ispušnom ventilu i zagrijava CHT sondu                 | Potražiti bijeli prah oko cilindra da bi se utvrdilo mjesto propuštanja   |

Izvor: [11]

## 5. INDIKACIJE STANJA MOTORA POMOĆU PODATAKA SNIMLJENIH U LETU

U ovom poglavlju grafički će se prikazati parametri snimljeni tijekom leta na zrakoplovu tipa Cessna 172N registracijske oznake 9A-DMB, s ciljem detektiranja mogućih nepravilnosti u radu motora. Podaci su snimljeni putem prethodno opisanog uređaja EDM-900 koji je početkom 2020. godine ugrađen na spomenuti zrakoplov i do sada je odrađeno oko 250 letova.

### 5.1 Let 11.08.2020. (Let 169)

Prvi let s kojeg će se analizirati podaci odrađen je 11.08.2020. godine, a kroz rad se naziva i Let 169. jer je 169. odrađeni let od ugrađivanja uređaja EDM na zrakoplov 9A-DMB. Broj sati rada motora prije ovog leta bio je 250,3 te je ovaj let bio posljednji let prije redovnog 50-satnog pregleda.

Polijetanje i slijetanje odveli su se na aerodromu Lučko, a zadaća je bila instrumentalni prilazi na Zračnoj luci Zagreb. U tablici koja slijedi (Tablica 8) vidljivi su osnovni podaci o letu.

**Tablica 8.** Osnovni podaci o letu 169

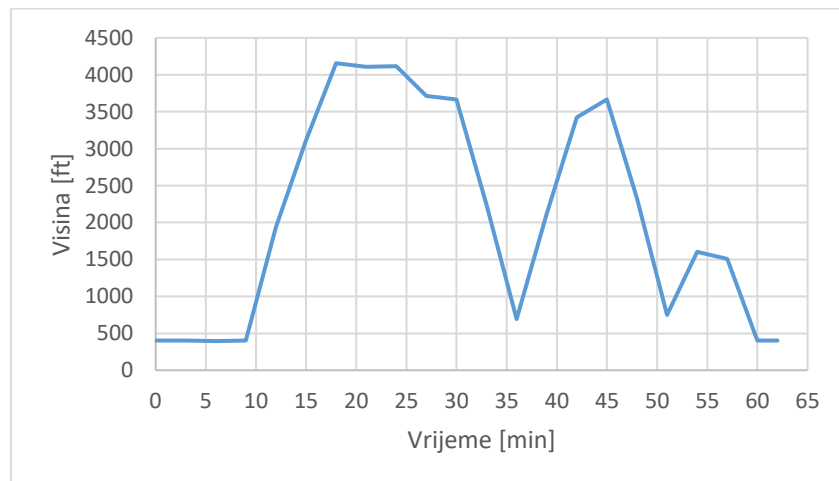
|  |   |
|--|---|
| Visina aerodroma polijetanja   | 405 ft  |
| Temperatura vanjskog zraka pri polijetanju   | 23 °C   |
| Vrijeme polijetanja  | 06:05 UTC   |
| Vrijeme slijetanja   | 06:50 UTC   |
| Maksimalna dostignuta visina   | 4150 ft   |
| OAT na maksimalnoj visini  | 18 °C   |
| Broj prilaza   | 3   |
| Masa pri polijetanju   | 2143 lbs  |
| Ukupno potrošeno gorivo  | 6 USGal   |
| FF u penjanju (2450 RPM)<br>u krstarenju (2250 RPM, 4100 ft)<br>u spuštanju (1950 RPM) | 11 GPH (engl. Gallons per hour)<br>6 GPH<br>2,5 GPH |
| Prosječni protok goriva  | 7 GPH   |



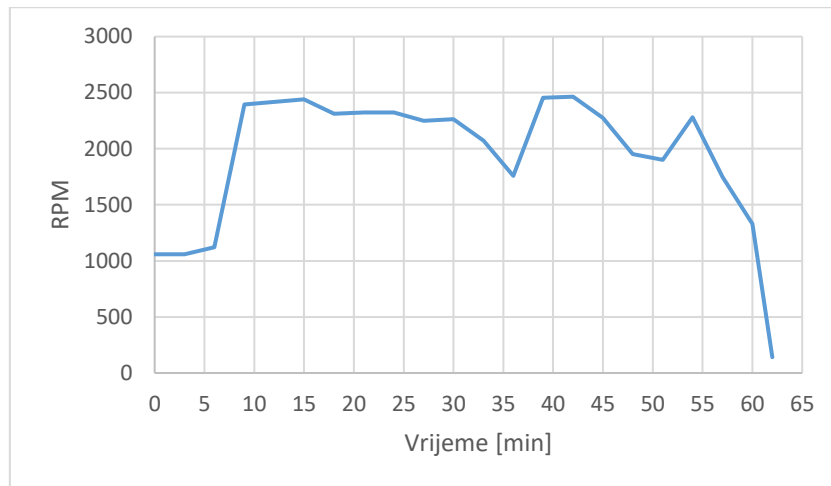
Vertikalni profil leta vidljiv je u grafikonu 1. Iz grafikona se jasno može vidjeti na kojim visinama se let odvijao. U 9. minuti od pokretanja motora je započeta faza polijetanja i penjanja sve do visine od 4100 ft koja je dostignuta u 18. minuti. Nakon faze krstarenja koja je trajala 6 minuta (od 18. do 24. minute), izvršena je procedura instrumentalnog prilaza do visine odluke koja iznosi 600 ft, nakon koje se nastavlja procedura neuspjelog prilaza (*Go Around*) te ponovno penjanje do visine od 3600 ft. Procedura instrumentalnog prilaza još je jednom ponovljena te se nakon visine odluke let nastavio na visini od 1500 ft prema aerodromu Lučko na kojem je izvršeno slijetanje.

Iz grafikona 2 i 3 vidljivo je da zrakoplov u fazi penjanja održava konstantnu brzinu vrtnje motora od oko 2450 RPM-a, pri 85-90% nominalne snage motora. U fazi krstarenja brzina vrtnje motora iznosi 2300 RPM-a što odgovara 65% nominalne snage motora. U fazi spuštanja vrijednosti brzine vrtnje kreću se između 1700 i 2000 RPM-a.

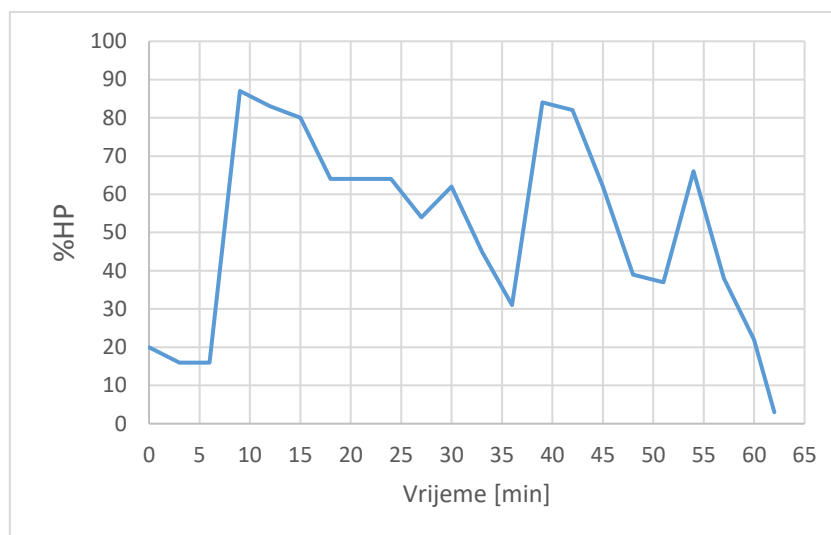
Istovremenim praćenjem ova tri grafikona, jasno se mogu raspoznati faze polijetanja, penjanja, krstarenja i spuštanja i uočiti razlike u postavkama snage motora u odgovarajućim režimima rada motora.



**Grafikon 1.** Vertikalni profil leta



**Grafikon 2.** Promjena brzine vrtnje motora tijekom leta



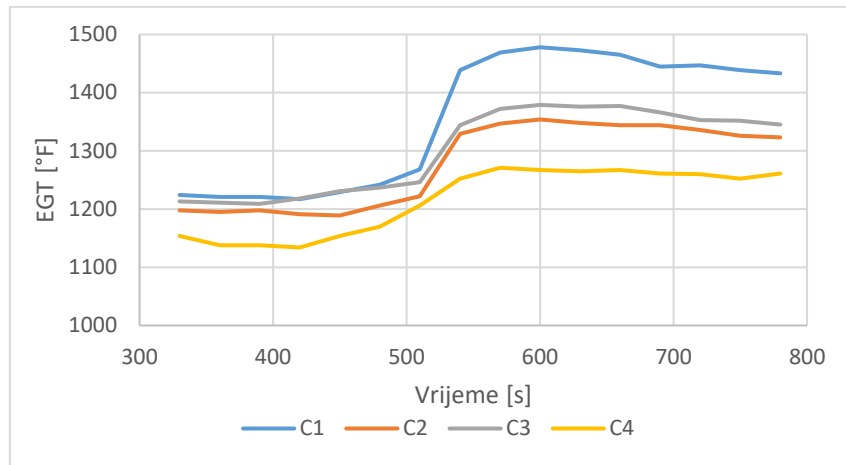
**Grafikon 3.** Promjena postavki snage motora tijekom leta

Važno je napomenuti da prilikom ovog leta nije proveden postupak osiromašivanja smjese (tzv. linovanje), što će se vidjeti na vrijednostima EGT-a i CHT-a u usporedbi s podacima snimljenim tijekom leta, kod kojeg se primijenio postupak linovanja.

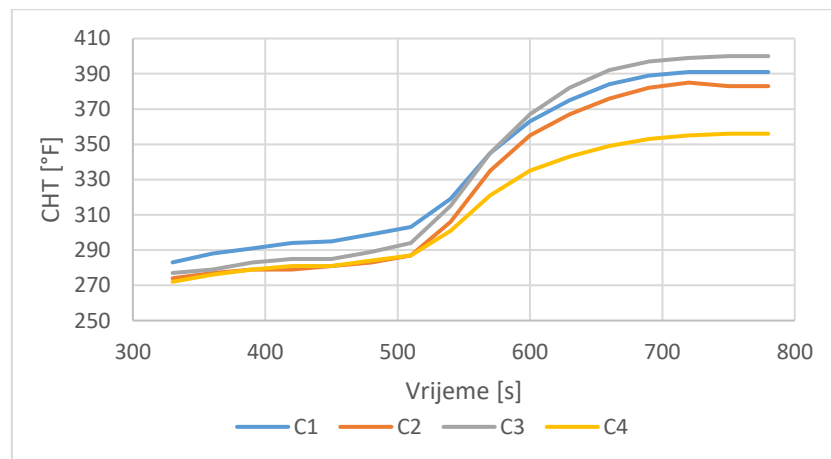
U nastavku su prikazane EGT i CHT vrijednosti pojedinih cilindara kroz promjene režima leta. U priručniku za zrakoplov Cessna 172N ne postoje ograničenja vezana uz vrijednosti ovih parametara, stoga će se pratiti njihov trend i eventualna odstupanja od vrijednosti koja se smatraju normalnima na temelju praćenja ovih parametara kroz nekoliko letova.

Različite temperature EGT-a i CHT-a ovise o rasporedu cilindara, odnosno udaljenosti pojedinog cilindra od rasplinjača (utječe na kvalitetu smjese), struje zraka i udaljenosti od

otvora za hlađenje. S obzirom da je smjesa tijekom cijelog leta bila bogata, nema utjecaja postupka linovanja na vrijednosti EGT-a i CHT-a [1].



**Grafikon 4.** EGT trend pri postavljanju maksimalne snage za polijetanje (od 5. do 13. minute)



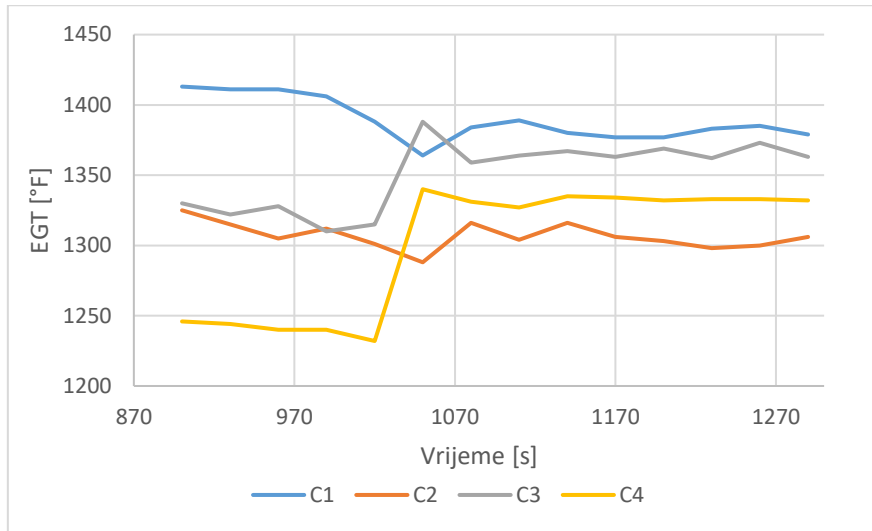
**Grafikon 5.** CHT trend pri postavljanju maksimalne snage za polijetanje (od 5. do 13. minute)

Oznake C1, C2, C3 i C4 predstavljaju broj cilindra.

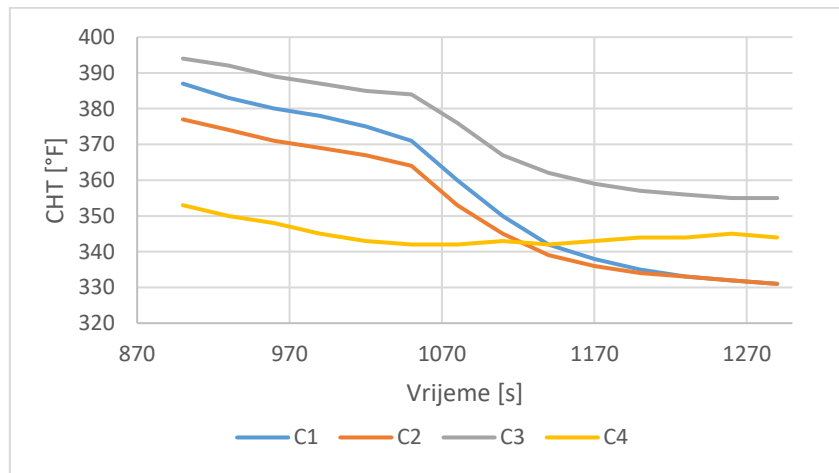
Minimalne vrijednosti EGT-a kreću se između 1100 i 1200 °F, dok se maksimalne vrijednosti kreću između 1250 i 1500 °F pri maksimalnoj efektivnoj snazi motora.

Prilikom postavljanja maksimalne snage vrijednosti EGT-a svih cilindara imaju jednolik porast od 150 do 250 °F.

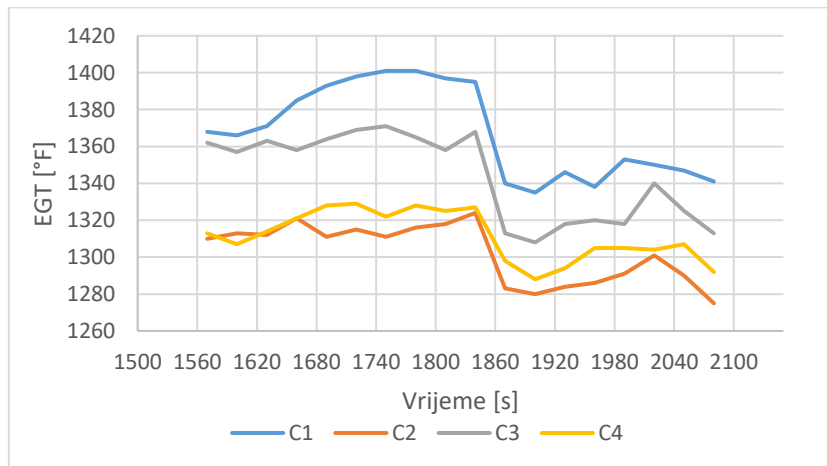
Značajno viša temperatura EGT-a jednog cilindra u odnosu na ostale može ukazivati na neispravnu svjećicu, magnet ili neispravnost magnetskog sustava, što uzrokuje sporije izgaranje smjese goriva i zraka i posljedično više temperature ispušnih plinova [10].



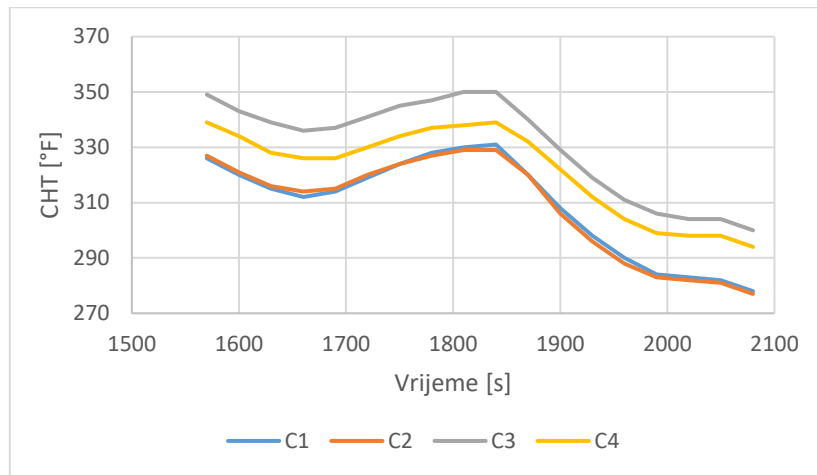
**Grafikon 6.** EGT trend pri prijelazu iz penjanja u krstarenje (od 15. do 22. minute)



**Grafikon 7.** CHT trend pri prijelazu iz penjanja u krstarenje (od 15. do 22. minute)



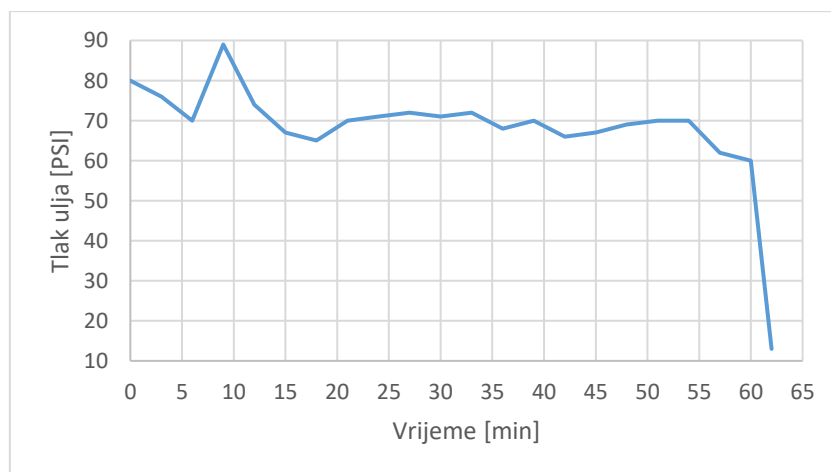
**Grafikon 8.** EGT trend pri prijelazu iz krstarenja u spuštanje (od 26. do 35. minute)



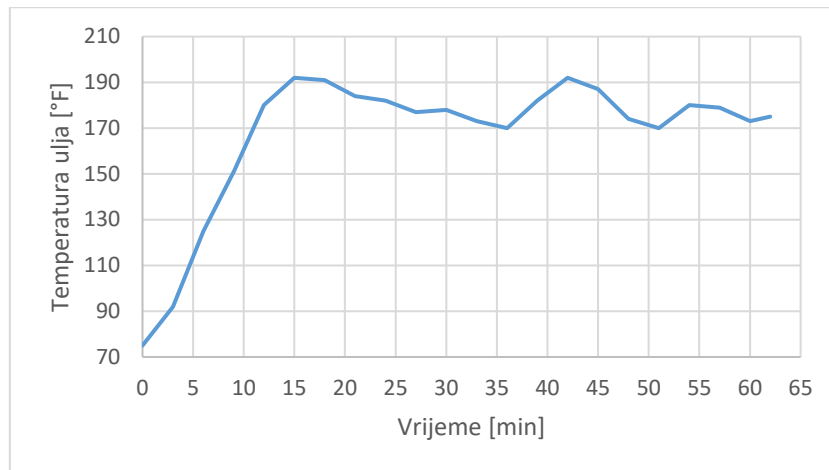
**Grafikon 9.** CHT trend pri prijelazu iz krstarenja u spuštanje (od 26. do 35. minute)

Prilikom povećanja snage motora, temperature EGT-a i CHT-a imaju tendencije rasta, dok kod smanjivanja snage imaju tendencije pada. Ovakvi trendovi su normalni jer povećanjem snage dolazi do viših temperatura izgaranja koje uzrokuju intenzivnije zagrijavanje motora [1].

Tlak i temperatura ulja također ukazuju na stanje motora. Dopuštene vrijednosti tlaka i temperature ulja mogu se vidjeti u tablici 3 prikazanoj u poglavlju 3.7. Na grafikonu 10 vidljive su vrijednosti tlaka ulja kroz let, a na grafikonu 11 vidljiva je temperatura ulja tijekom leta. Tlak ulja se tijekom leta nalazi između 60 i 90 PSI, dok se temperatura ulja nalazi između 170 i 190 °F, ako izuzmemo prvih 10 minuta nakon pokretanja motora tijekom kojih se ulje zagrijavalo do radne temperature. Uspoređujući vrijednosti iz slike 10 i vrijednosti u grafikonima, vidljivo je da su tlak i temperatura ulja tijekom cijelog leta unutar dopuštenih granica što upućuje na dovoljnu količinu ulja u sustavu i ispravnost sustava za podmazivanje.



**Grafikon 10.** Vrijednosti tlaka ulja tijekom leta



**Grafikon 11.** Vrijednosti temperature ulja tijekom leta

## 5.2 Održavanje zrakoplovnog klipnog motora

Održavanje zrakoplovnog klipnog motora provodi se kako bi se osigurala dugovječnost motora i sigurnost u eksploataciji.

Osnovna podjela je na linijsko i bazno održavanje. Linijsko održavanje se obično obavlja na stajanci ali se može odvijati i u hangaru po potrebi. Podrazumijeva manje radove koji uključuju otkrivanje grešaka, vizualne preglede stanja motora, zamjenu dijelova, ispitivanja i nadzor sustava zrakoplova pomoću instrumenata, manje popravke i preinake unutarnje strukture zrakoplova ili pogonskih sklopova.

Bazno održavanje se provodi isključivo u hangaru ovlaštene organizacije za održavanje. Podrazumijeva radove vezane uz servisne biltene i zrakoplovne naredbe. Pregledi nakon 50 sati, 100 sati i godišnji pregledi spadaju pod bazno održavanje.

Zrakoplov Cessna 172N se održava prema programu održavanja koji se izrađuje od strane operatera, sukladno preporukama proizvođača. Program održavanja sadrži intervale planiranih pregleda na zrakoplovu te opis radova koje je potrebno izvršiti na pojedinom pregledu. U programu održavanja su propisane vrste pregleda poput redovnih periodičkih pregleda, godišnjih pregleda, pregleda pojedinih komponenata koje propisuje proizvođač tih komponenata i posebni pregledi. Uobičajeni pregledi za ovu kategoriju zrakoplova su redovni periodični pregledi (*Hard Time maintenance*). Oni se definiraju kao 50 satni, 100 satni i 200 satni koji je ujedno i godišnji pregled zrakoplova.

Održavanje prema "Hard Time-u", koje je uobičajeno za ovaj tip zrakoplova, je preventivan tip održavanja. Pojedini dio mora biti uklonjen sa zrakoplova nakon određenog broja sati rada, neovisno o tome je li došlo do otkaza ili nije. Nakon uklanjanja, dio mora biti ili servisiran i vraćen nazad u službu ili odbačen, ovisno o stanju u kojem se nalazi. Ovakav tip održavanja koristi se od samih početaka zrakoplovstva zbog razine sigurnosti koju osigurava. U periodu između navedena dva leta izvršen je 50-satni pregled zrakoplova. Opseg radova za motor na 50 satnom pregledu je zamjena ulja i pročistača ulja.

Uređaj EDM-900 omogućava uvođenje kontinuiranog praćenja stanja zrakoplovnog klipnog motora, tzv. ECTM (*Engine Condition Trend Monitoring*), koji za klipne motore nije uobičajen način održavanja. Podaci snimljeni u letu se sakupljaju, analiziraju i interpretiraju te se na temelju njih donosi odluka o daljnjim postupcima.

Ovakav pristup smanjuje troškove održavanja te povećava sigurnost i pouzdanost zrakoplova u službi.

### 5.3 Let 13.08.2020. (Let 171)

Drugi let koji će se analizirati odrađen je 13.08.2020. godine. Ovo je prvi let nakon redovnog 50-satnog pregleda na kojem je zamijenjeno ulje i filter ulja, a broj sati rada motora neposredno prije leta bio je 251,2.

Polijetanje i slijetanje su se, kao i kod prvog analiziranog leta, odvili na aerodromu Lučko, a zadaća je bila instrumentalni prilazi na Zračnoj luci Rijeka. U tablici 9 navedeni su osnovni podaci o letu.

**Tablica 9.** Osnovni podaci o letu 171

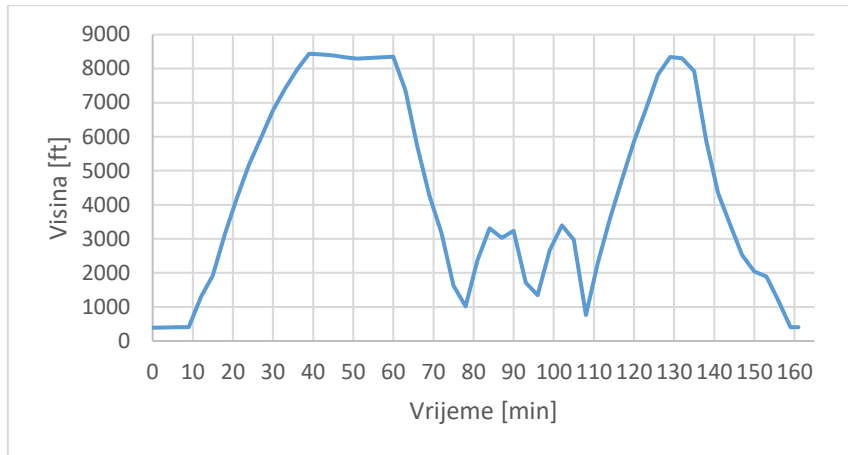
|  |           |
|--|-----------|
| Visina aerodroma polijetanja               | 405 ft    |
| Temperatura vanjskog zraka pri polijetanju | 20 °C     |
| Vrijeme polijetanja                        | 06:20 UTC |
| Vrijeme slijetanja                         | 09:00 UTC |
| Maksimalna dostignuta visina               | 8450 ft   |
| OAT na maksimalnoj visini                  | 10 °C     |
| Broj prilaza                               | 3         |

|   |   |
|---|---|
| Masa pri polijetanju  | 2300 lbs  |
| Ukupno potrošeno gorivo   | 20 USGal  |
| FF u penjanju (2450-2500 RPM)<br>u krstarenju (2250 RPM, 8400 ft)<br>u spuštanju (1950 RPM) | 11 GPH (bogata smjesa), 7,5 GPH<br>(osiromašena smjesa)<br>4,5 GPH<br>2,5 GPH |
| Prosječni protok goriva   | 6,3 GPH   |

Važan faktor u ovom letu jest što je u fazi penjanja, po prijelazu visine od 3000 ft, smjesa goriva i zraka bila osiromašena. Izravan utjecaj osiromašivanja smjese vidljiv je ako se promatra protok goriva (*Fuel Flow, FF*) u različitim fazama leta koje su navedene u tablicama 2 i 3. Iz tablice 2 može se vidjeti da je FF u penjanju bio 11 GPH, u krstarenju 6 GPH i u spuštanju 2,5 GPH. Ako se te vrijednosti usporede s onima u tablici 3, gdje je FF u penjanju (iznad 3000 ft) bio 7,5 GPH, u krstarenju 4,5 GPH i u spuštanju 2,5 GPH, može se vidjeti da je protok goriva s osiromašenom smjesom u penjanju manji za 3,5 GPH, a u krstarenju za 1,5 GPH. Iz podataka se jasno može zaključiti utjecaj osiromašivanja smjese na ekonomičnost leta.

Vertikalni profil leta vidljiv je iz grafikona 12. U devetoj minuti započeto je polijetanje i penjanje koje traje do 38. minute i visine od 8400 ft. Nakon toga slijedi rutna faza leta prema Rijeci u trajanju od 22 minute. U 60. minuti leta započinje procedura instrumentalnog prilaza i spuštanja do visine odluke koja iznosi 450 ft. Prilikom dostizanja visine odluke, izvršena je procedura neuspjelog prilaza te ponovno penjanje do visine od 3200 ft. Izvršena su još dva instrumentalna prilaza s procedurom neuspjelog prilaza nakon dostizanja visine odluke te nakon toga penjanje do visine krstarenja od 8400 ft u trajanju od 20 minuta, te krstarenje u trajanju od 7 minuta. Zatim zrakoplov prelazi u fazu spuštanja te je izvršeno slijetanje na Lučkom.

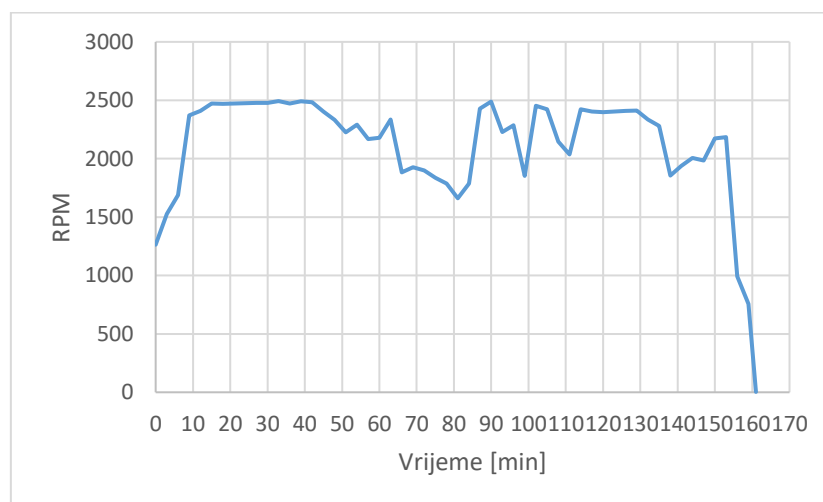




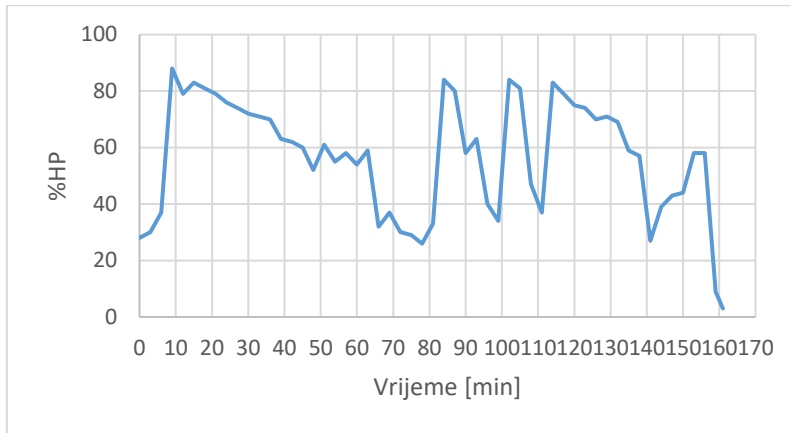
**Grafikon 12.** Vertikalni profil leta

U grafikonima 13 i 14 mogu se očitati vrijednosti brzine vrtnje motora i postotka nominalne snage motora u pojedinim režimima leta. U režimu penjanja brzina vrtnje motora iznosi između 2450 i 2500 RPM-a što odgovara oko 90% nominalne snage motora. Dodatnih 50 RPM-a koji se mogu uočiti ako se usporede grafikon 13 i 2 posljedica su osiromašivanja smjese koje uzrokuje kvalitetnije (potpuno) izgaranje smjese i porast broja okretaja. U režimu krstarenja brzina vrtnje motora kreće se između 2150 i 2250 RPM-a pri 55 do 60% nominalne snage motora. U fazi spuštanja brzina vrtnje kreće se između 1700 i 1900 RPM-a što odgovara vrijednosti od 30 do 35% nominalne snage motora.

Režimi leta, postavke snage i vertikalni profil mogu se raspoznati analizom dijagrama 12, 13 i 14.

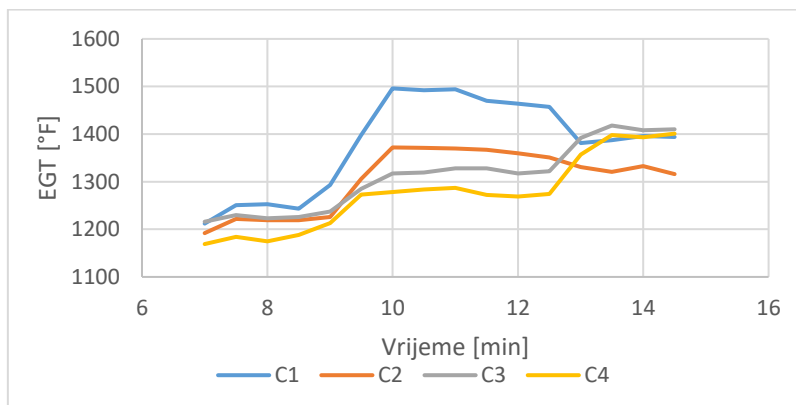


**Grafikon 13.** Promjena brzine vrtnje motora tijekom leta

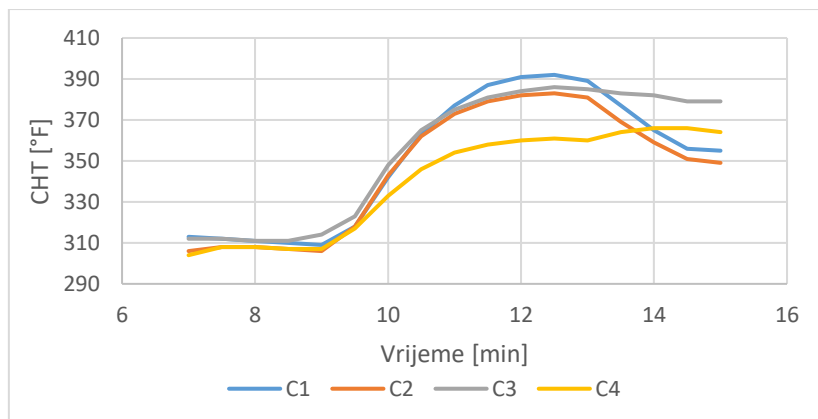


**Grafikon 14.** Promjena postavki snage motora tijekom leta

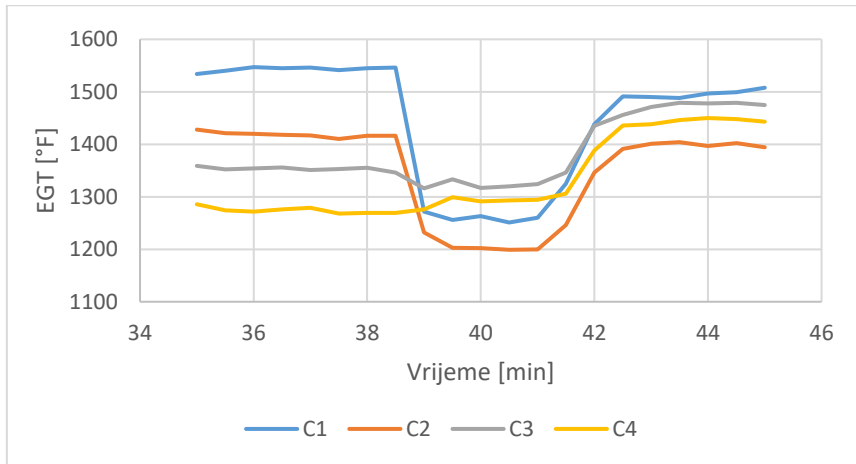
U nastavku su grafički prikazane vrijednosti EGT-a i CHT-a pojedinih cilindara u kratkim vremenskim intervalima prilikom promjene režima leta. Pokušati će se analizom temperatura uočiti utjecaj osiromašivanja smjese na vrijednosti navedenih parametara te će se praćenjem njihovih trendova pokušati uočiti nepravilnosti u radu motora.



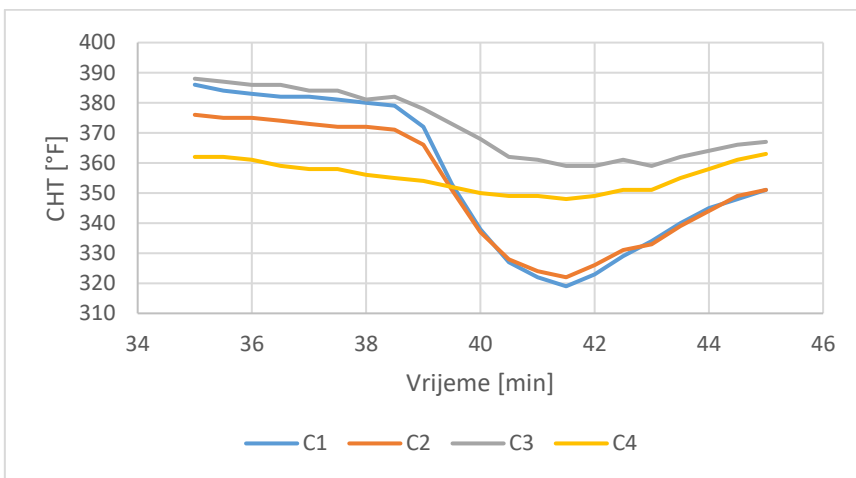
**Grafikon 15.** EGT trend pri postavljanju maksimalne snage za polijetanje



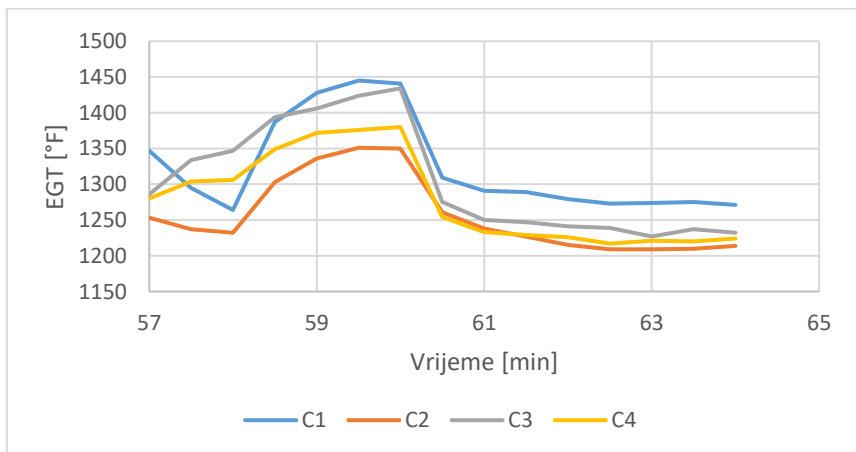
**Grafikon 16.** CHT trend pri postavljanju maksimalne snage za polijetanje



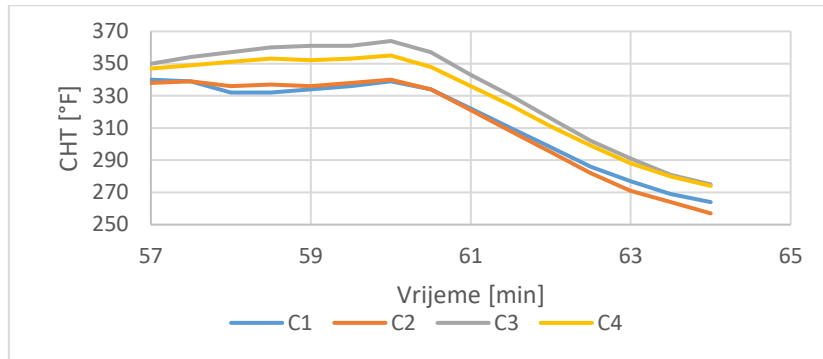
**Grafikon 17.** EGT trend pri prijelazu iz penjanja u krstarenje



**Grafikon 18.** CHT trend pri prijelazu iz penjanja u krstarenje



**Grafikon 19.** EGT trend pri prijelazu iz krstarenja u spuštanje

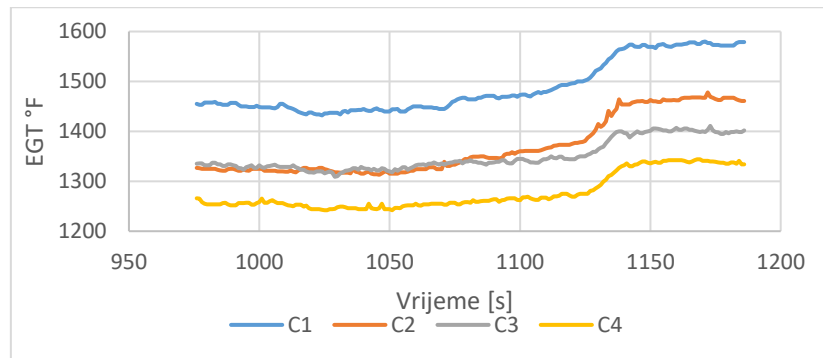


**Grafikon 20.** CHT trend pri prijelazu iz krstarenja u spuštanje

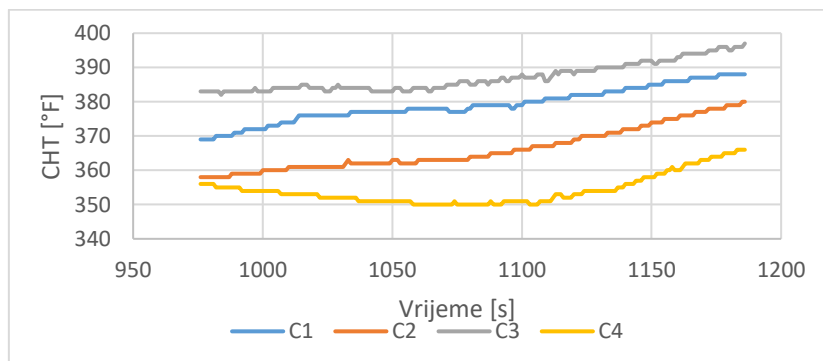
Oznake C1, C2, C3 i C4 označavaju broj cilindra.

Vrijednosti EGT-a prije polijetanja se kreću od 1150 do 1210 °F te su to ujedno i minimalne vrijednosti. Maksimalne vrijednosti EGT-a kreću se od 1300 do 1550 °F pri punoj snazi odnosno u režimu penjanja. U krstarenju vrijednosti EGT-a kreću se između 1250 i 1350 °F.

Vrijednosti EGT-a i CHT-a imaju iste trendove kao i u prethodno analiziranom letu. Povećanjem snage navedeni parametri imaju tendenciju rasta dok smanjivanjem snage imaju tendenciju pada. Ono što je različito u vrijednostima EGT-a i CHT-a su njihove maksimalne vrijednosti.



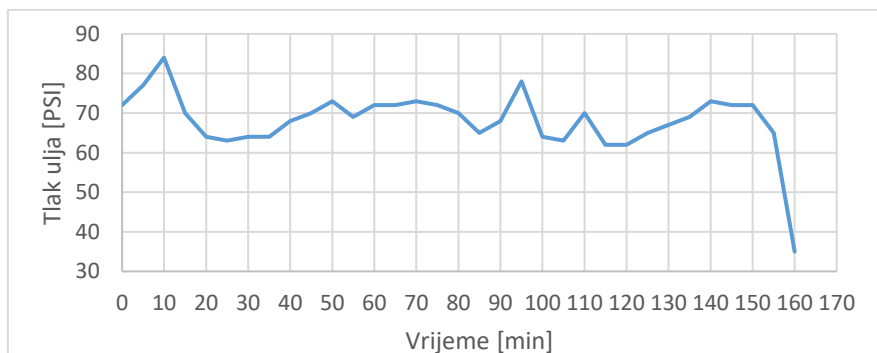
**Grafikon 21.** Porast temperatura EGT-a prilikom osiromašivanja smjese (od 16. do 22. minute)



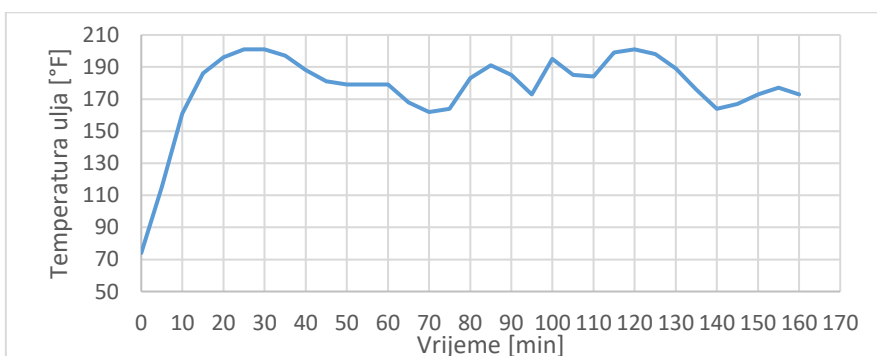
**Grafikon 22.** Porast CHT-a prilikom osiromašivanja smjese (od 16. do 22. minute)

Na grafikonima 21 i 22 grafički su prikazane vrijednosti EGT-a i CHT-a tijekom postupka osiromašivanja smjese kako bi se točno prikazao porast vrijednosti ovih parametara. U periodu u kojem su prikazani podaci zrakoplov se nalazi u režimu penjanja pri konstantnoj brzini vrtnje motora od 2450 do 2500 RPM-a. Prilikom postupka osiromašivanja smjese vrijednosti EGT-a porastu za 100 do 130 °F, dok vrijednosti CHT-a porastu za 15 do 25 °F ovisno o cilindru. Istovremeno dolazi do porasta brzine vrtnje motora za oko 50 RPM-a, što potvrđuje tvrdnje iznesene u poglavlju 3.4. Najviša vrijednost EGT-a ovog leta, koja iznosi 1590 °F, je za 100 °F viša od najviše vrijednosti EGT-a prvog analiziranog leta, dok je prosječna vrijednost CHT-a tijekom leta 171 viša od prosječne vrijednosti CHT-a tijekom leta 169 za 15 °F (za prosječnu vrijednost uzete su vrijednosti CHT-a sva 4 cilindra).

Na grafikonima 23 i 24 mogu se vidjeti vrijednosti tlaka i temperature ulja tijekom leta. I u ovom letu navedene vrijednosti se nalaze unutar dopuštenog područja prikazanog na slici 10 prikazanoj u poglavlju 3.6. vrijednosti tlaka ulja nalaze se u području između 60 i 85 PSI, dok se temperatura ulja kreće između 160 i 200 °F. Nešto više vrijednosti temperature ulja su rezultat dužeg perioda provedenog u režimu penjanja pri maksimalnoj efektivnoj snazi motora.



**Grafikon 23.** Vrijednosti tlaka ulja tijekom leta



**Grafikon 24.** Vrijednosti temperature ulja tijekom leta

## 6. ZAKLJUČAK

Ugradnjom suvremenih uređaja za praćenje radnih parametara motora, dolazi do značajnog porasta kvalitete održavanja motora i eksploatacije zrakoplova. Za razliku od standardnih prikaznika koji su dio opreme većine zrakoplova generalne avijacije, ovaj tip uređaja daje jasan i precizan uvid u stanje zrakoplovnog klipnog motora kako tehničkom osoblju, tako i pilotima u letu. S obzirom na dostupan velik broj radnih parametara i snimanje vrijednosti svake sekunde (EDM-900), razina znanja i razumijevanja rada i ponašanja motora u različitim režimima leta se povećava među pilotima i tehničkim osobljem omogućavajući im sigurnije i efikasnije održavanje i eksploataciju zrakoplova. Detaljnom analizom snimljenih podataka, mogu se uočiti sitne nepravilnosti koje mogu dovesti do kvara te njihovo pravovremeno uklanjanje.

U radu je detaljno opisan uređaj tvrtke J.P. Instruments, model EDM-900 te su na temelju podataka snimljenih tijekom dva leta, u približno jednakim atmosferskim uvjetima, izrađeni grafikoni koji prikazuju vrijednosti radnih parametara zrakoplovnog klipnog motora i njihove trendove u različitim fazama leta. S obzirom da tijekom leta 169 nije proveden postupak linovanja, dok u letu 171 jest, uočene su razlike u vrijednostima pojedinih parametara ovisno o bogatstvu smjese. Tako su prosječne temperature EGT-a tijekom leta 171 bile za 100° više od vrijednosti EGT-a tijekom leta 169, dok su temperature CHT-a tijekom leta 171 bile za 10° više od sitih vrijednosti u letu 169.

Iako je između navedena dva leta izvršen 50 satni pregled zrakoplova na kojemu je zamijenjeno ulje i filter ulja, usporedbom vrijednosti temperature i tlaka ulja leta 171 i leta 169, nisu zabilježene značajne razlike.

Zaključno, uspoređivanjem vrijednosti snimljenih tijekom navedena dva leta uočeno je da parametri poput EGT-a, CHT-a, temperature i tlaka ulja imaju približno iste vrijednosti i trendove rasta i pada. Tijekom eksploatacije svi se parametri nalaze unutar dozvoljenog područja što ukazuje na ispravnost pogonskog sustava zrakoplova.

## Literatura

- [1] Bazijanac E. Zrakoplovni klipni motori. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2005.
- [2] Pilot's operating handbook Cessna 172N originalno izdanje, revizija 1, siječanj 1977
- [3] Bucak T, Zorić I. Zrakoplovni instrumenti i prikaznici. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2002.
- [4] Regal Air. Preuzeto sa: <https://www.regalair.com/aircraft/n738se-1978-cessna-172n/>  
[Pristupljeno: kolovoz 2020.].
- [5] Hrvatsko Zrakoplovno Nastavno Središte. Preuzeto sa: <https://www.fpz.unizg.hr/zan/>  
[Pristupljeno: kolovoz 2020.].
- [6] Miljković D. Automatic Interpretation of Aircraft Piston Engine Monitoring Log. International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO). 2014;37(3): 1305-1310.
- [7] Jeras D. Klipni motori: uređaji. Zagreb: Školska knjiga; 1992.
- [8] Miljković D. Engine Monitors for General Aviation Piston Engines Condition Monitoring. HDKBR INFO Magazin. 2013;3(2): 19-23
- [9] Savy Analysis. Preuzeto sa: <https://www.savyanalysis.com/articles/understanding-cht-and-egt> [Pristupljeno: kolovoz 2020.].
- [10] Pilots Guide, EDM 900. Preuzeto sa: <https://www.jpinstruments.com/wp-content/uploads/2012/08/PG-EDM-900-Primary-REV-B-02-01-2016-pls-ifp.pdf>  
[Pristupljeno: kolovoz 2020.].
- [11] FAA Approved Instalation Manual for the EDM 900 nd EDM 930. Preuzeto sa: [http://www.jpitech.com/manuals/04/Inst908-Primary03-21-08JP\\_REV-D.pdf](http://www.jpitech.com/manuals/04/Inst908-Primary03-21-08JP_REV-D.pdf) [Pristupljeno: kolovoz 2020.].

## Popis slika

|  |    |
|--|----|
| Slika 1. Klip zrakoplovnog klipnog motora s označenim glavnim dijelovima, [1].....                   | 3  |
| Slika 2. Radni ciklus četverotaktnog Ottovog motora, [1].....  | 4  |
| Slika 3. Kokpit zrakoplova 9A-DMB prije ugradnje modifikacije, [4].....                              | 8  |
| Slika 4. Izgled instrument ploče nakon modifikacije zrakoplova 9A-DMB, [5].....                      | 8  |
| Slika 5. Vanjska brzinska karakteristika Otto motora, [8].....                                       | 10 |
| Slika 6. Prikaz ovisnosti CHT, EGT, snage motora i specifične potrošnje goriva o mješavini, [8]..... | 12 |
| Slika 7. Uređaj EDM-900, [13].....   | 16 |
| Slika 8. Dijelovi prikaznika, [12].....  | 19 |
| Slika 9. RPM i MAP prikaznik, [16].....  | 20 |
| Slika 10. Linearni prikaznici, [16].....   | 20 |

## Popis tablica

|   |    |
|---|----|
| Tablica 1. Tehničke karakteristike zrakoplova Cessna 172N, [2].....   | 6  |
| Tablica 2. Eksploatacijske karakteristike Cessne 172N, [2].....   | 7  |
| Tablica 3. Dopuštene vrijednosti određenih parametara motora: RPM, temperatura i tlak ulja, temperatura zraka u karburatoru, [2]..... | 14 |
| Tablica 4. komponente uređaja EDM-900, [11].....  | 17 |
| Tablica 5. Parametri i kratice, [11].....   | 18 |
| Tablica 6. Uobičajene vrijednosti za tipične motore generalne avijacije, [11].....  | 23 |
| Tablica 7. dijagnostika i preporučene radnje pri pojavi nepravilnosti u radu motora, [11].....  | 24 |
| Tablica 8. Osnovni podaci o letu 169.....   | 26 |
| Tablica 9. Osnovni podaci o letu 171.....   | 33 |

## Popis grafikona

|   |    |
|---|----|
| Grafikon 1. Vertikalni profil leta.....   | 27 |
| Grafikon 2. Promjena brzine vrtnje motora tijekom leta.....                                       | 28 |
| Grafikon 3. Promjena postavki snage motora tijekom leta.....                                      | 28 |
| Grafikon 4. EGT trend pri postavljanju maksimalne snage za polijetanje (od 5. do 13. minute)..... | 29 |



|   |    |
|---|----|
| Grafikon 5. CHT trend pri postavljanju maksimalne snage za polijetanje (od 5. do 13. minute)..... | 29 |
| Grafikon 6. EGT trend pri prijelazu iz penjanja u krstarenje (od 15. do 22. minute).....          | 30 |
| Grafikon 7. CHT trend pri prijelazu iz penjanja u krstarenje (od 15. do 22. minute).....          | 30 |
| Grafikon 8. EGT trend pri prijelazu iz krstarenja u spuštanje (od 26. do 35. minute).....         | 30 |
| Grafikon 9. CHT trend pri prijelazu iz krstarenja u spuštanje (od 26. do 35. minute).....         | 31 |
| Grafikon 10. Vrijednosti tlaka ulja tijekom leta.....   | 31 |
| Grafikon 11. Vrijednosti temperature ulja tijekom leta.....                                       | 32 |
| Grafikon 12. Vertikalni profil leta.....  | 34 |
| Grafikon 13. Promjena brzine vrtnje motora tijekom leta.....                                      | 35 |
| Grafikon 14. Promjena postavki snage motora tijekom leta.....                                     | 35 |
| Grafikon 15. EGT trend pri postavljanju maksimalne snage za polijetanje.....                      | 36 |
| Grafikon 16. CHT trend pri postavljanju maksimalne snage za polijetanje.....                      | 36 |
| Grafikon 17. EGT trend pri prijelazu iz penjanja u krstarenje.....                                | 36 |
| Grafikon 18. CHT trend pri prijelazu iz penjanja u krstarenje.....                                | 37 |
| Grafikon 19. EGT trend pri prijelazu iz krstarenja u spuštanje.....                               | 37 |
| Grafikon 20. CHT trend pri prijelazu iz krstarenja u spuštanje.....                               | 37 |
| Grafikon 21. Porast temperatura EGT-a prilikom osiromašivanja smjese (od 16. do 22. minute).....  | 38 |
| Grafikon 22. Porast CHT-a prilikom osiromašivanja smjese (od 16. do 22. minute).....              | 38 |
| Grafikon 23. Vrijednosti tlaka ulja tijekom leta.....   | 39 |
| Grafikon 24. Vrijednosti temperature ulja tijekom leta.....                                       | 39 |



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

### IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ završni rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

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

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

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ završnog rada

pod naslovom **Praćenje stanja zrakoplovnog klipnog motora na temelju parametara snimljenih u letu**

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

U Zagrebu, \_\_\_\_\_ 9.9.2020.

Student:

  
(potpis)