# Otkrivanje nepravilnosti u radu zrakoplovnog klipnog motora praćenjem radnih parametara

**Skendrović, Sara**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*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:119:889107

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-28**



*Repository / Repozitorij:*

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository









**SVEUČILŠTE U ZAGREBU**

**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Sara Skendrović

# OTKRIVANJE NEPRAVILNOSTI U RADU ZRAKOPLOVNOG KLIPNOG MOTORA PRAĆENJEM RADNIH PARAMETARA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2019.

**SVEUŠILIŠTE U ZAGREBU**

**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

**Zagreb, 9. travnja 2019.**

Zavod: **Zavod za aeronautiku**

Predmet: **Zrakoplovni pogonski sustavi I**

# ZAVRŠNI ZADATAK br. 5392

Pristupnik: **Sara Skendrović (0135240330)**

Studij: Aeronautika

Smjer: Pilot

Usmjerenje: Civilni pilot

Zadatak: **Otkrivanje nepravilnosti u radu zrakoplovnog klipnog motora praćenjem radnih parametara**

Opis zadatka:

U radu je potrebno analizirati parametre radnog procesa zrakoplovnog klipnog motora pogodno za detektiranje mogućih nepravilnosti u radu.

Istražiti dostupne uređaje za praćenje radnih parametra motora i opisati njihove mogućnosti.

Na konkretnim primjerima razraditi metodologiju otkrivanja nepravilnosti u radu zrakoplovnog klipnog motora tijekom eksploatacije.

Mentor

prof. dr.sc. Ernest Bazijanac

Predsjednik povjerenstva za završni ispit

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

**ZAVRŠNI RAD**

# OTKRIVANJE NEPRAVILNOSTI U RADU ZRAKOPLOVNOG KLIPNOG MOTORA PRAĆENJEM RADNIH PARAMETARA

# DETECTION OF IRREGULARITIES IN THE OPERATION OF THE AIRCRAFT PISTON ENGINE BY MONITORING THE OPERATING PARAMETERS

Mentor: prof. dr.sc. Ernest Bazijanac

Student: Sara Skendrović

JMBAG: 0135240330

Zagreb, 2019.

# Sažetak

Glavni cilj ovog rada jest praćenje parametara rada zrakoplovnog klipnog motora te interpretacija istih u svrhu ranog otkrivanja eventualnih nepravilnosti u radu.

Svaki od pojedinih parametara biti će detaljno analiziran, uz ostale parametre preko kojih se također mogu dobiti saznanja ako postoji neka neispravnost. Također, biti će objašnjeno načelo rada jednog zrakoplovnog klipnog motora, njegovi dijelovi te skica radi boljeg razumijevanja prilikom kasnije analize.

Navest će se neki od uređaja za praćenje rada zrakoplovnog klipnog motora marke J.P. Instruments te pobliže analizirati dijelovi, princip rada te prikaz podataka s instrumenta EDM serije 900.

Kao konačna svrha istraživanja nameće se očitanje podataka na konkretnom primjeru zrakoplova *Cessna 172* registracijske oznake 9A-DMG, gdje će iščitani podaci biti detaljno interpretirani i analizirani.

**Ključne riječi:** klipni motor, uređaj za praćenje parametra rada, nepravilnosti u radu

## Summary

The main objective of this research is to monitor the performance of the piston engine and to interpret it for the purpose of early detection of possible malfunctions.

Each of the individual parameters will be analyzed in detail, along with other parameters through which knowledge can also be obtained if there is a malfunction. Also, the principle of operation of an aircraft piston engine, its parts and a sketch will be explained for better understanding during later analysis.

Listed will be one of the J.P. piston engine monitoring devices Instruments and analyze the parts, working principle and data representation of the EDM 900 series.

The ultimate purpose of the research is to read the data on a specific example of a Cessna 172 aircraft with registration mark 9A-DMG, where the read data will be interpreted and analyzed in detail.



**Key words:** piston engine, device for monitoring operating parameters, malfunctions

# SADRŽAJ

1. UVOD ..... 1
2. ZRAKOPLOVNI KLIPNI MOTOR ..... 2
2.1. NAČELO RADA ..... 3
2.2. KLJUČNI PARAMETRI RADA ZAKOPLOVNOG KLIPNOG MOTORA ..... 8
2.2.1. Temperatura glave cilindra (engl. *Cylinder Head Temperature*, CHT) .... 8
2.2.2. Temperatura ispušnih plinova (engl. *Exhaust Gas Temperature*, EGT).. 8
2.2.3. Temperatura zraka na ulazu u turbinu (engl. *Turbine Inlet Temperature*, TIT) 10
2.2.4. Temperatura okolišnog zraka (engl. *Outside Air Temperature*, OAT) ... 10
2.2.5. Tlak punjenja (engl *Manifold Absolute Pressure*, MAP) ..... 10
2.2.6. Temperatura ulja (engl. *Oil Temperature*) ..... 10
2.2.7. Tlak ulja (engl. *Oil Presure*) ..... 11
2.2.8. Brzina vrtnje motora (engl. *Rotation Per Minute,* RPM) ..... 11
2.2.9. Protok goriva (engl. *Fuel – flow*, FF) ..... 12
2.3. OSTALI PARAMETRI PREKO KOJIH SE MOGU DOBITI SAZNANJA O STANJU MOTORA ..... 14
2.3.1. Ulje ..... 14
2.3.2. Vibracije ..... 15
2.3.3. Vizualne metode ..... 15
2.3.4. Podaci s tehničkog pregleda ..... 16
3. UREĐAJI ZA PRAĆENJE PARAMETARA RADA ZRAKOPLOVNOG KLIPNOG MOTORA ..... 17
3.1. J.P. INSTRUMENTS ..... 17
3.2. Electronics International – MVP-50P ..... 19
3.3. Dynon Avionics - EMS-D120 ..... 20
3.4. Grand Rapids ..... 21
3.5. INSIGHT ..... 22
3.6. MGL Avionics – MGL Xtreme EMS ..... 23
4. ZAHTJEVI, KARAKTERISTIKE I INTERPRETACIJA PODATAKA S UREĐAJA EDM-900 ..... 24
4.1. Komponente uređaja EDM-900 ..... 25
4.2. Indikator ..... 26
4.3. Interpretacija podataka ..... 29

4.3.1. Pokretanje motora ..... 29
4.3.2. Polijetanje, penjanje i operacije s primjenjenom punom snagom ..... 29
4.3.3. Krstarenje ..... 30
4.3.4. Spuštanje ..... 30
4.4. Program za pristup podatcima s uređaja ..... 34
ZAKLJUČAK ..... 41
LITERATURA ..... 42
POPIS SLIKA ..... 44
POPIS TABLICA ..... 45

# 1. UVOD

Zrakoplovi općeg zrakoplovstva (popularno poznati kao mali privatni zrakoplovi) su klipni zrakoplovi koji imaju jedan ili više klipnih motora spojenih na propeler (e), koji pružaju potreban potisak za kretanje zrakoplova na zemlji i kroz zrak. Klipni motori su oko sedam puta manje pouzdani od turbinskih motora. Međutim, prihvatljive nabavne cijene, troškovi rada i održavanja čine ih popularnim izborom za pogon zrakoplova općeg zrakoplovstva.

Praćenje radnih parametara zrakoplovnih klipnih motora od izuzetne je važnosti u nekoliko različitih faza, kako tijekom, tako i nakon eksploatacije zrakoplova. Suvremeni grafički monitor uređaja za praćenje radih parametara motora pružanjem pravovremenih i točnih informacija za preventivno održavanje može poboljšati radnu pouzdanost motora te eventualno još više smanjiti troškove rada. Tumačenje podataka s monitora nije lako i zahtijeva veliko iskustvo.

Monitor instrumenta pomaže ovaj proces na vrlo osnovnoj razini pružajući upozorenja alarmom za određene parametre motora, ali ta ograničenja odgovaraju već ozbiljnijim problemima. Suptilnija analiza zahtijevala bi grafičko tumačenje parametara rada motora koji se mogu iščitati kasnije preko predviđenih računalnih programa. Većina ovih dijagnostičkih obrazaca koji su obično dokumentirani u priručnicima grafičkog monitora motora imaju svojstvo toga što parametri motora nisu ujednačeni u svim cilindrima ili turbopunjačima. Odstupanja od očekivane jednolikosti mogu se također koristiti za otkrivanje kvarova.

# 2. ZRAKOPLOVNI KLIPNI MOTOR

Klipni motori učinkovito su rješenje za pogon malih zrakoplova male snage uz prihvatljive troškove rada i održavanja. Međutim, njima nedostaje pouzdanost turbinskih motora. Sustavi za nadzor radnih parametara motora mogu povećati radnu pouzdanost klipnih motora pružanjem potrebnih podataka za pravilan rad i održavanje motora. Oni prikazuju i bilježe brojne parametre motora, uključujući temperature glave cilindra (CHT), temperature ispušnih plinova (EGT) i temperature zraka na ulazu u turbinu (TIT). Teško je osmisliti odgovarajuću metodu otkrivanja kvarova zbog nedostatka dovoljnog broja primjera neispravnih podataka motora. Zrakoplovni klipni motori sastoje se od više cilindara koji jednoliko doprinose radu motora. Kad motor radi ispravno, velik je stupanj ujednačenosti između vrijednosti CHT-a, EGT-a i TIT-a (ako postoje dva turbopunjača) pa se teško otkrivaju kvarovi u pojedinim cilindrima.[1].

Kada su braća Wright, 17. prosinca 1903. godine obavila prvi let, prvi se puta koristilo klipnim motorom za pogon aviona. Taj motor su konstruirali i izradili braća oni sami uz pomoć njihovog mehaničara Charlesa Taylor, a prema uzoru na tadašnje automobilske motore. Nakon toga motori su se sve češće počeli primjenjivati za pogon zrakoplova [1].

Tijekom Prvog svjetskog rata se razvijaju *Ottovi* konvencionalni motori. Proizvode se radijalni motori hlađeni zrakom, motori u V-izvedbi hlađeni tekućinom ili zrakom i motori s rednim rasporedom cilindara, uglavnom hlađeni tekućinom. Kod zrakom hlađenih motora, zbog problema s hlađenjem broj cilindara je bio ograničen na šest. Ti motori nisu stvarali velike otpore i imali su mali poprečni presjek, ali su u odnosu na druge motore imali mali odnos snage prema masi. Upravo zbog toga, redni motori hlađeni zrakom se nisu primjenjivali za motore velikih snaga. Motori u V – izvedbi su imali nešto veći poprečni presjek od rednih motora, ali je odnos snage prema masi motora bio bolji. [1]

Poslije Prvog svjetskog rata, i tijekom Drugom svjetskog rata intenzivno su se razvijali zvjezdasti *Ottovi* motori hlađeni zrakom. Zlatno razdoblje razvoja i primjene zrakoplovnih klipnih motora je upravo razdoblje Drugoga svjetskog rata. Bilo je pokušaja i upotrebe *Dieselova* motora za pogon zrakoplova. [1]

Poslije Drugog svjetskog rata, pojavom mlaznih i elisno-mlaznih motora, klipni motori se upotrebljavaju samo kao pogonski sustav manjih zrakoplova sa snagama do oko 400 kW. Najviše prevladavaju bokser *Ottovi* motori hlađeni zrakom sa četiri do osam cilindara [2].

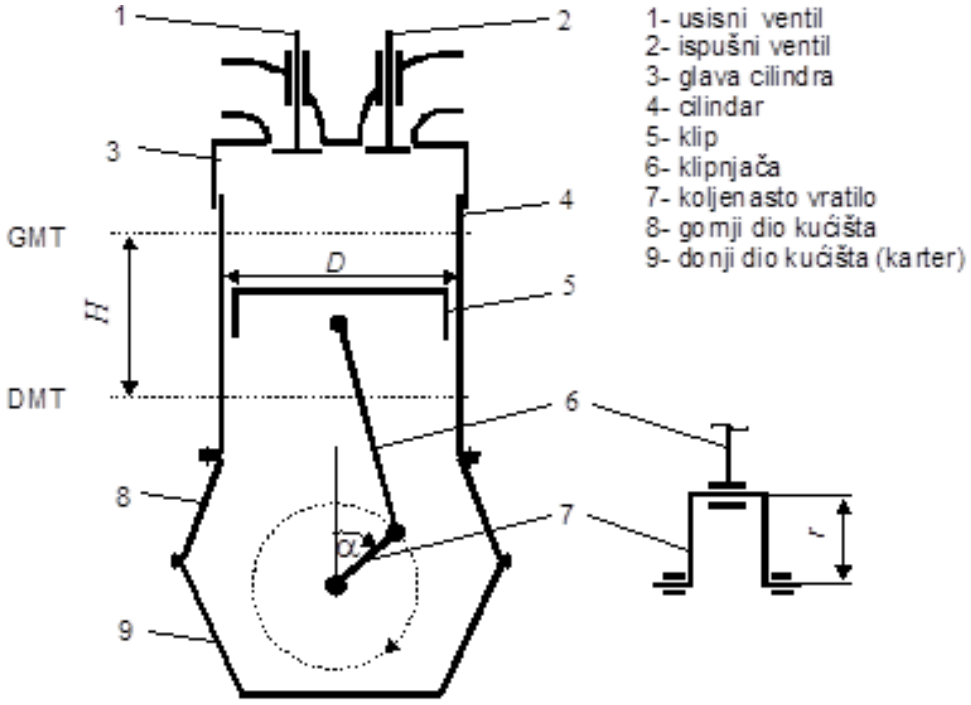
## 2.1. NAČELO RADA

Klipni motori mogu biti izvedeni s rotacijskim gibanjem klipa ili s pravocrtnim oscilacijskim gibanjem klipa. Primjena motora s rotacijskim gibanjem klipa je vrlo ograničena stoga će se opisati rad klipnog motora s pravocrtnim oscilacijskim gibanjem klipa. [1]

Glavni motorni mehanizam čine klip, klipnjača i koljenasto vratilo, koji pravocrtno gibanje klipa pretvara u rotacijsko gibanje koljenastog vratila. Između dviju karakterističnih točaka se giba klip, odnosno između gornje – GMT i donje mrtve točke – DMT što se još naziva i *hod klipa*. Prijeđeni put između GMT i DMT se nazivamo *takt*. Za jedan okretaj koljenastog vratila će se obaviti dva takta. [1]

Zapremnina iznad čela klipa, *kompresijska zapremnina* – $V_c$ je kada se klip nalazi u GMT, a između GMT i DMT *radna ili hodna zapremnina* – $V_h$. Tijekom rada motora radni prostor, u kojem se odvijaju radni procesi, mijenja svoju zapremninu između dviju vrijednosti, i to od $V_c$ do $V_c + V_h$ [1]

Na slici 1. je prikazan skica konstrukcijske koncepcije klipnog motora s pravocrtnim oscilacijskim gibanjem klipa.




*Slika 1: Skica konstrukcijske koncepcije klipnog motora s pravocrtnim oscilacijskim gibanjem klipa [1]*

Pomoću navedenih graničnih vrijednosti zapremnina definira se važan parametar motora koji se zove *stupanj kompresije* koji pokazuje u kojem je odnosu obavljeno sabijanje svježe radne tvari. [1]

Radni ciklus četverokatnog klipnog motora se obavi za 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.

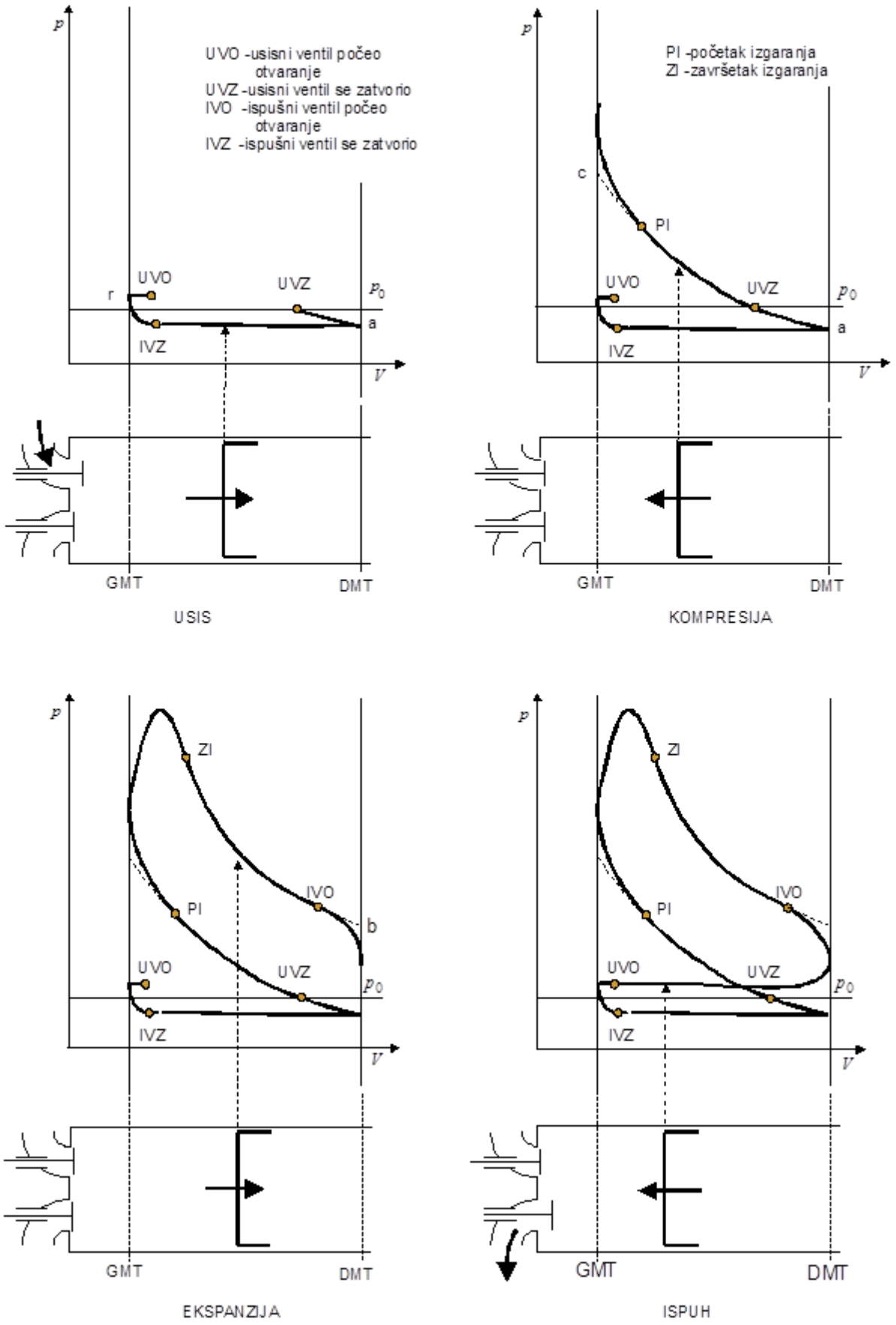
Tijekom usisa klip se kreće od GMT prema DMT. Usisni ventil je otvoren i u prostor cilindra iznad čela klipa ulazi svježa radna tvar. Kod Otto motora u I. taktu odnosno usisu, u cilindar ulazi smjesa zraka i isparenog goriva. Smjesa je pripremljena u rasplinjaču ili ubrizgavanjem goriva ispred usisnog ventila. Kod Diesel motora u prvom taktu, tj. usisu, usisava se čist zrak. [1]

Proces usisavanja je praćen određenim strujnim gubicima pa je tlak u radnom prostoru cilindra manji od atmosferskog $p_0$ i mijenja se po krivulji *r-a* (slika 2.)

Tijekom drugog takta, tj. sabijanja, klip se kreće od DMT prema GMT. Usisni i ispušni ventili su zatvoreni. Kod Otto motora sabija se smjesa zraka i isparenoga goriva, a kod Diesel motora sabija se čisti zrak. Zbog sabijanja povećava se tlak i temperatura radne tvari u cilindru. Tlak se u cilindru mijenja po krivulji u *a-PI.* U točki PI, nešto prije GMT kod Otto se motora pali iskra na svjećici i počinje proces izgaranja (krivulja *PI-ZI*). Kod Diesel motora u točki PI počinje ubrizgavanje goriva pa nastupa samozapaljenje i izgaranje ubrizganoga goriva. Ako nema izgaranja, komprimiranje radne tvari odvija se po krivulji *a-c.* [1]

Kako bi nastupilo samozapaljenje ubrizganoga goriva potrebno je da u komori izgaranja Diesel motora bude dovoljno visoka temperatura i da gorivo ima što nižu temperaturu samozapaljenja. Zbog toga Diesel motori imaju stupnjeve kompresije u rasponu 12-22 i koriste posebno gorivo koje ima sklonost ka samozapaljenju. [1]

Na slici 2. je prikazano načelo rada četverotaktnoga klipnog motora.




*Slika 2: Načelo rada četverotaktnoga klipnog motora [1]*

Klipni motori mogu se podijeliti prema nekoliko kriterija, a ovdje se navode osnovne podjele važne za daljnje praćenje i proučavanje problematike zrakoplovnih klipnih motora.

1) Prema načinu paljenja smjese:

   a) Otto motori

   b) Diesel motori

2) Prema taktnosti:

   a) četverotaktni

   b) dvotaktni

3) Prema načinu punjenja cilindra svježom smjesom:

   a) prirodnim putem, usisavvanjem svježe smjese

   b) ubacivanjem svježe radne tvari s povećanim tlakom u cilindar s pomoću kompresora

4) Prema načinu hlađenja:

   a) motori hlađeni tekućinom

   b) motori hlađeni zrakom

5) Podjela Otto motora prema vrsti sustava za napajanje gorivom:

   a) u rasplinjaču

   b) ubrizgavanje goriva ispred usisnog ventila

6) Podjela po broju, položaju I rasporedu cilindara:

   a) redni (In-line engine)

   b) V-izvedba (*V-type engine*)

   c) bokser (*Opposed engine*)

   d) zvijezdasti ili radijalni (*Radial engine*)

Motor se može podijeliti na glavne dijelove i sustave.

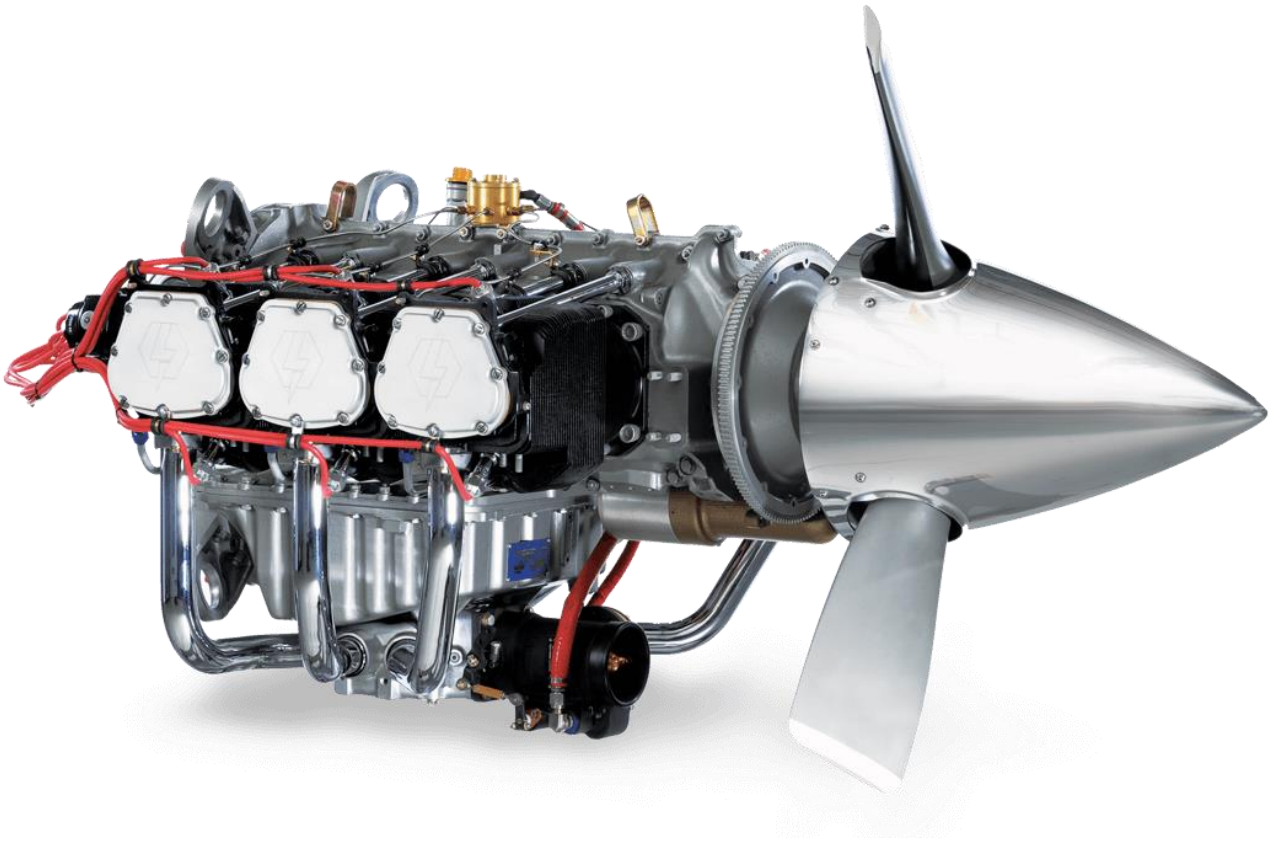
Glavni dijelovi motora su [1]:

- Motorni mehanizam: klip s klipnim karikama, osovinica klipa, klipnjača I koljenasto vratilo
- Glavni nepokretni dijelovi: glava cilindra, cilindar, gornji i donji dio kućišta
- Mehanizam za razvođenje radne tvari: ventilski sklop, bregasto vratilo, elementi za pogon bregastog vratila (npr. zupčanici), prijenosni mehanizmi za otvaranje i zatvaranje ventila (podizač, izdizač, klackalica).

Sustavi motora su [1]:

- Sustav za napajanje gorivom
- Sustav za paljenje
- Sustav za prednabijanje
- Usisni i ispušni sustav
- Sustav za podmazivanje
- Sustav za hlađenje
- Sustav za pokretanje motora
- Elisni sustav.

Na slici 3. je prikazan tipični zrakoplovni klipni motor na kojemu se vide neki glavni dijelovi i elementi sustava. [1]



*Slika 3: Prikaz tipičnoga šestcilindričnoga zrakoplovnoga klipnog motora hlađenog zrakom*

## 2.2. KLJUČNI PARAMETRI RADA ZAKOPLOVNOG KLIPNOG MOTORA

Klipni motori kao toplinski strojevi koji imaju unutrašnje izgaranje, kemijsku energiju goriva pretvaraju u mehanički rad. Visoka temperatura i tlak nastali izgaranjem pomiču klipni mehanizam tako okretajući koljenasto vratilo, dok se zrak koji je doveden u sustav miješa s gorivom. [2]

U ovom poglavlju su opisani parametri rada zrakoplovnog klipnog motora, a ističu se kao bitni kako tehničarima koji su zaduženi za održavanje motora, tako i pilotu tijekom eksploatacije zrakoplova. Cilj ovog poglavlja je objasniti njihovu funkciju i važnost.

### 2.2.1. Temperatura glave cilindra (engl. *Cylinder Head Temperature*, CHT)

Temperatura glave cilindra se može mjeriti, ovisno o vrsti izabranog termometra, ili između rashladnih rebara motora ili neposredno ispod svjećica. Izmjerena vrijednost CHT – a govori o toplinskom opterećenju kojem je izvrgnut cilindar, a posebno je bitna promjena vrijednosti CHT – a između takta kompresije i takta ekspanzije kad su vrijednosti tlaka i temperature najviše [3].

Standardne vrijednosti CHT su 177 ℃ (350 ℉) uz temperaturu okolišnog zraka (engl. *Outside Air Temperature*, OAT) od 15 ℃ (60 ℉ ), ili 210 ℃ (410 ℉) za motore s prednabijanjem [3].

Proizvođači motora *Lycoming* i *Continenta*l su postavili maksimalnu dopuštenu temperaturu glave cilindra. Iz tog razloga se preporuča upravo ta temperatura, a preporuke su povezane s ograničenjima materijala od kojeg su izrađeni cilindar i klip – u slučaju da se zbog toplinskog provođenja koristi neka od Al – legura, CHT ne smije postići 400 ℃ jer Al – legure pri toj i višoj temperaturi ubrzano gube čvrstoću, što može dovesti do pojave pukotina ili loma klipa i kućišta [2].

### 2.2.2. Temperatura ispušnih plinova (engl. *Exhaust Gas Temperature*, EGT)

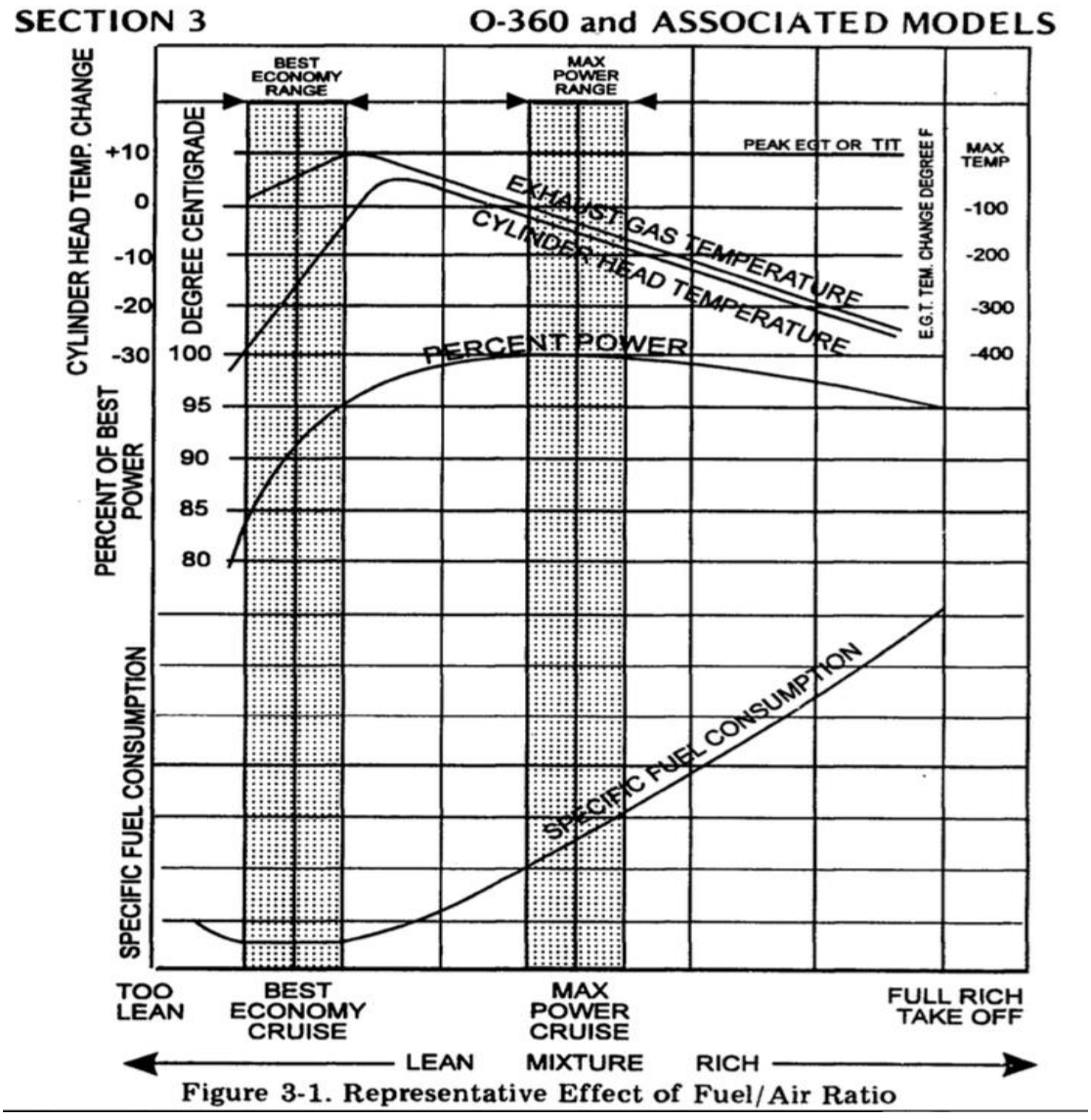
EGT se mjeri pomoću jednog (za manje motore) ili više senzora u ispuhu kako bi se dobila točnija srednja vrijednost temperature, a to ovisi o veličini motora.

EGT ovisi o omjeru  zraka i goriva u smjesi i lako se mjeri, te se upravo iz tog razloga koristi za određivanje bogatstva smjese. Ta veza je vidljiva na slici (Slika 4) [4].

Prilikom osiromašivanja smjese dolazi do porasta vrijednosti EGT što je povezano s gubitkom efekta hlađenja koji se pojavljuje zbog viška goriva u smjesi. Tijekom izgaranja, višak goriva mijenja agregatno stanje na što se troši dio energije od izgaranja, pa se ta energija ne prenosi na cilindar ili ispušne plinove. Određivanjem

maksimalne vrijednosti EGT i pripadajućeg bogatstva smjese, pilot dobiva referentnu vrijednost pomoću koje postavlja režim rada motora.

Normalne vrijednosti EGT-a su između 730 ℃ i 840℃ ( 1350℉ i 1550℉) prilikom režima krstarenja, tj. između 590℃ i 675℃ ( 1100℉ i 1250℉) tijekom polijetanja. S obzirom da postoje relativno velike razlike u vrijednostima EGT-a za određene režime leta, uređaji za praćenje parametara rada motora često mjere razliku između najviše i najniže temperature, tzv. „DIF“ parametar kojemu su uobičajene vrijednosti od 20℃ do 32℃ (70℉ do 90℉)za motore s ubrizgavanjem goriva i 48℃ do 65℃ (120℉ do 150℉) za motore s rasplinjačem. „DIF“ parametar ima svoju kritičnu vrijednost te ona iznosi 280℃ (500℉). [4]




*Slika 4: Prikaz ovisnosti CHT, EGT, snage i specifične potrošnje goriva o mješavini [4]*

### 2.2.3. Temperatura zraka na ulazu u turbinu (engl. *Turbine Inlet Temperature*, TIT)

TIT je parametar koji se pojavljuje samo kod motora s prednabijanjem. Za pokretanje turbine koja tada pogoni kompresor turbopunjača se koristi struja ispušnih plinova. Standardne vrijednosti TIT – a su oko 870 ℃ (1600 ℉), što je otprilike 60 ℃ više od EGT – a. Zbog gubitka energije ispušnih plinova tijekom prolaska kroz turbinu, pojavljuje se razlika. Maksimalna vrijednost TIT – a je oko 900 ℃ (1650 ℉), gdje je ograničenje postavljeno materijalom od kojeg su izrađene komponente turbine [3].

### 2.2.4. Temperatura okolišnog zraka (engl. *Outside Air Temperature*, OAT)

Kao bitan parametar u mnogim izračunima performansi i planiranju leta pojavljuje se temperatura okolišnog zraka. Promjena brzine zraka pri ulasku u mjerni instrument može, pri većim brzinama leta, izazvati porast temperature zraka, pretvorbom kinetičke u unutarnju energiju. Dobivena vrijednost temperature se naziva „ukupna temperatura zraka“ (engl. Total Air Temperature, TAT) i mora se umanjiti za određeni faktor kako bi se dobila statička temperatura zraka, tj. OAT [4].

### 2.2.5. Tlak punjenja (engl *Manifold Absolute Pressure*, MAP)

MAP je razlika tlaka između okoliša i usisne cijevi. Funkcija je podtlaka koji stvara gibanje klipova tijekom takta usisa, otvorenosti zaklopke rasplinjača i stanja okoliša. MAP je u direktnoj vezi s količinom zraka koja ulazi u sustav pa je bitan podatak za određivanja režima leta aviona.

MAP i RPM parametri su dovoljni za određivanje snage aviona na zadanoj visini leta, uz eventualnu korekciju zbog razlike u temperaturi okolišnog zraka od standarde [3].

### 2.2.6. Temperatura ulja (engl. *Oil Temperature*)

Nekoliko važnih zadaća u motoru ima ulje odnosno mazivo. Ono podmazuje i sprječava kontakt dviju površina, hladi, brtvi, čisti motor i štiti ga od korozije. O temperaturi ulja ovisi viskoznost, a o viskoznosti maziva svojstva ulja, pa ju je potrebno držati u relativno uskom rasponu vrijednosti. To se postiže korištenjem regulatora temperature ulja i hladnjaka ulja, koji se ispravno funkcioniranje zahtijevaju točnu vrijednost trenutne temperature ulja. Normalna temperatura ulja iznosi oko 90 ℃ (200 ℉), a minimalne i maksimalne temperature su 32 ℃ (90 ℉), odnosno 110 ℃ (230 ℉) [3].

### 2.2.7. Tlak ulja (engl. *Oil Presure*)

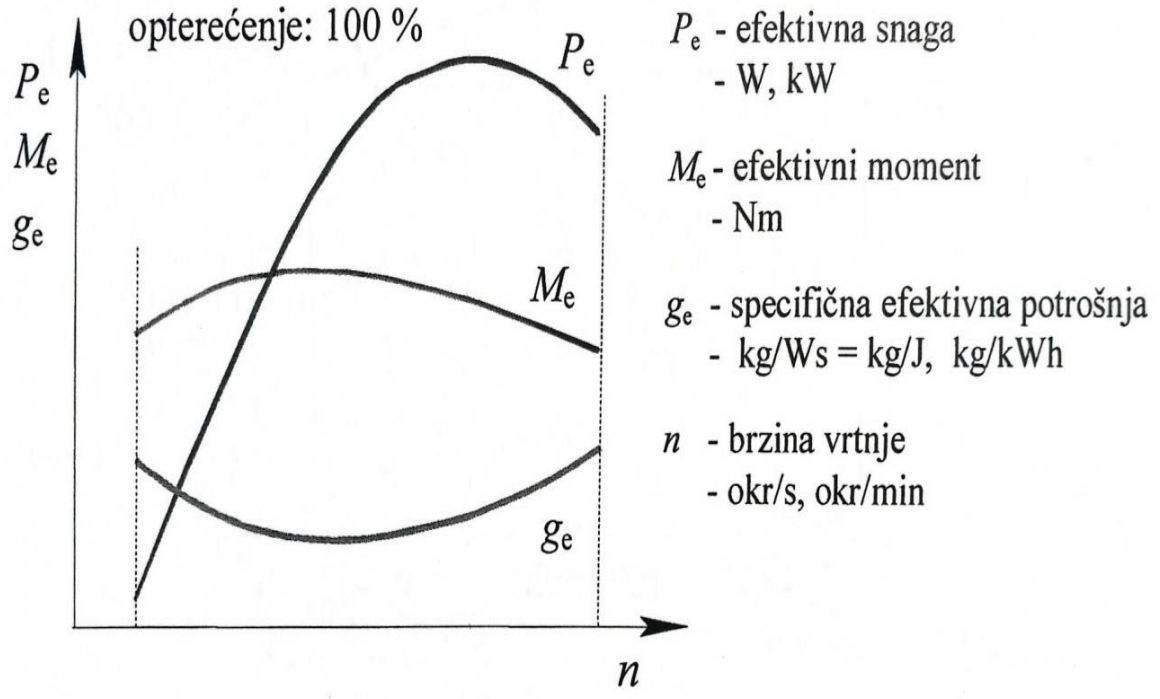
Za stvaranje toka ulja za podmazivanje prvo kroz pročišćivač ulja, služi nam tlačna uljna pumpa, a onda u ostatak motora kako bi se dospjelo do svih mjesta podmazivanja. Kako bi se ulje kretalo kroz sustav, potrebno je generirati dovoljan tlak. Taj tlak se smanjuje od viših vrijednosti za vrijeme zagrijavanja motora i ulja do nižih vrijednosti kad ulje poprimi radnu temperaturu. Standardni tlak ulja iznosi između 4, 13 bar (60 PSI) i 6,20 bar (90 PSI). Vrijednost tlaka ulja ne smije pasti ispod vrijednosti od 1,37 bar (20 PSI) [3].

### 2.2.8. Brzina vrtnje motora (engl. *Rotation Per Minute,* RPM)

RPM je parametar koji pokazuje brzinu vrtnje izraženu brojem okretaja u minuti radilice motora, a mjeren je tahometrom [4].

Snaga, moment i specifična potrošnja goriva mijenjaju se s brzinom vrtnje, pa se nazivaju brzinske karakteristike motora. Izgled brzinske karakteristike motora je prikazan na slici 5. Radna točka motora je određena zato brzinom vrtnje ili snagom ili momentom. Mnoge provjere stanja pogonske grupe vezane su na određenu vrijednost RPM – a. Tako se provjerava magneta radi na 1700 RPM – a i rezultati se uspoređuju s tom vrijednosti, a test pri polijetanju zrakoplova zahtijeva vrijednosti između 2300 i 2400 RPM – a. [4].

Tijekom krstarenja se koristi određeni postotak maksimalne snage zrakoplova pa se očitani RPM može usporediti s teoretskom vrijednosti navedenom u priručniku za pilote kako bi se osigurao pravilan rad motora. Maksimalna vrijednost RPM – a ovsi o motoru. To je maksimalna brzina vrtnje koju motor njegove komponente mogu podnijeti bez pojeve oštećenja. Oštećenja su posljedica sila inercije koje su dominantne pri velikim brzinama vrtnje. Vrijednosti za zrakoplovne motore se kreću između 2700 i 3000, a smanjuju se s povećanjem veličine motora [4].




*Slika 5:Prikaz brzinske karakteristike motora pri punom opterećenju [4]*

### 2.2.9. Protok goriva (engl. *Fuel – flow*, FF)

Kako bi se točnije mogla pratiti potrošnja goriva, uvedeno je mjerenje protoka goriva između spremnika i motora. Potrošnju goriva je inače potrebno računati iz trajanja leta i informacije koju daje indikator mjerača količine goriva. Potrošnja goriva bitna je i s ekonomskog, ali i s ekološkog gledišta [5].

Potpuno ili nepotpuno izgaranje koje se odvija u klipnom motoru, a rezultira stvaranjem različitih spojeva kao što su ugljik IV oksid ($CO_2$), vodena para ($H_2O$), sumpor IV oksid ($SO_2$) ali i dušičnih oksida ($NO_x$) i ugljik II oksida (CO). Emisije dijela štetnih plinova mogu se smanjiti povećanjem omjera zraka i goriva u smjesi, ali povišenje temperature izgaranja koje se time postiže omogućava stvaranje drugih štetnih spojeva [5] .

Mjerenje protoka, odnosno potrošnje goriva omogućava računanje količine produkata korištenjem ili odgovarajućih kemijskih jednadžbi ili eksperimentalno određenih emisijskih faktora. Primjer vrijednosti emisijskih faktora $CO_2$ za različite tipove goriva dane su u tablici 1 [5].

*Tablica 1: Emisijski faktori CO2 po tipu govora*

| Tip goriva | kg $CO_2$ po litri |
|---|---|
| AVGAS | 2,20 |
| MOGAS | 2,32 |
| Biodiesel | 2,50 |
| Diesel | 2,70 |
| Kerozin | 2,58 |

Analizu emisija zrakoplova je moguće napraviti korištenjem emisijskih faktora i potrošnje goriva. Detaljna analiza na razini RH učinjena u članku *„Emissions from General Aviation in the Republic of Croatia“ [6].*

Ako se u uređaj za praćenje protoka goriva unese trenutno stanje goriva u spremnicima, moguće je izračunati vrijeme do potpunog pražnjenja uz trenutnu potrošnju, ukupnu potrošnju goriva te preostalu količinu goriva po spremnicima [6].

## 2.3. OSTALI PARAMETRI PREKO KOJIH SE MOGU DOBITI SAZNANJA O STANJU MOTORA

Održavanje klipnih motora je jako bitan zadatak. Temeljita inspekcija i nadzor pojedinih elemenata potrebnih za pravilan rad, a po potrebi i njihov popravak, dio je kvalitetnog održavanja [7].

### 2.3.1. Ulje

Za podmazivanje klipnih motora se koristi ulje. Ulje za podmazivanje se dovodi do radnih dijelova motora kanalima i cijevima ili se ulje prska u unutrašnjost motora i tako podmazuje, dijelove motora i zupčastog prijenosa za pogon pomoćnih uređaja. Motorno ulje mora smanjiti trenje i trošenje klipova, ležaja i drugih pokretljivih dijelova motora [2].

Ako se razmatra odnos ulja i motora zrakoplova, primarna svrha ulja za podmazivanje je smanjiti trenje između pokretnih dijelova motora. Zatim, sljedeći zadatak je da ulje hladi motor, kako cirkulira kroz motor, ulje apsorbira toplinu. Ulje također pomaže pri stvaranju brtve između klipa i stijenke cilindra kako bi se spriječilo istjecanje plinova iz komora za izgaranje. Ulje pomaže smanjiti trošenje dijelova motora prikupljanjem stranih čestica i nošenjem ih u filter ulja gdje se uklanjaju. Količina ulja kod zrakoplovnih motora je potrebno redovito kontrolirati. Nije dobro imati premalo, ali niti previše ulja u motoru. Manjak ulja je štetan jer se mala količina više zagrijava od normalne količine, a kad u motoru ima znatno više ulja od maksimuma, dio ulja može ući u prostor za izgaranje, te se mogu oštetiti dijelovi motora. Redovita kontrola i mjerenje količine ulja imaju veliki utjecaj na vijek trajanja motora. Ulje je preporučljivo kontrolirati na ravnoj podlozi kada je motor ugašen. [2]

Potrebno je još naglasiti važnost spektralne analize ulja, koja također može otkriti početak trošenja glavnih dijelova motora. Ona omogućava da se kod dijelova koji se podmazuju uljem, daje veoma rano upozorenje da je u procesu trošenja došlo do kvalitetno nepoželjne promjene. Na osnovu ispitivanja broja, količine, veličine i porijekla čestica koje se nalaze u ulju, dolazi se do zaključka o stupnju trošenja nakon čega se provodi identifikacija mjesta trošenja. [7]

Iskustva su potvrdila da motorno ulje nosi veoma važne znakove o ispravnosti motora, a spektralna analiza ulja pretvara te znakove u dragocjene informacije, koje pomažu da se donesu pravilne odluke o eksploataciji motora i o procedurama održavanja. Spektralna analiza se pokazala kao veoma efikasna metoda u praćenju stanja motora, jer njeni rezultati pravovremeno ukazuju kada dolazi do degradacije radnih sposobnosti komponenata u sustavu za podmazivanje i da pri određenim granicama sastava metalnih čestica treba poduzeti odgovarajuće postupke ili procedure održavanja. Još je bitno naglasiti da s obzirom da se vrtnja rotora kompresora vrši na

veoma tankom uljnom filmu, izuzetno je važno da motorno ulje bude odgovarajuće kvalitete, čisto i bez vlage. [7]

### 2.3.2. Vibracije

Izvore vibracija na avionu možemo podijeliti na unutrašnje i vanjske. Vanjski izvori vibracija, prije svega nastaju kao posljedica aerodinamičkog kruženja zraka tijekom leta. Unutrašnje izvore vibracija čine, prije svega pogonska grupa i rotirajući, ili klipni motori na avionu. Dominantni izvori vibracija na avionu su elisa koja generira aerodinamičke vibracije i klipni motor sa unutrašnjim sagorijevanjem koji generira mehaničke vibracije. Vibracije koje nastaju u klipnom motoru, uglavnom su većeg intenziteta od aerodinamičkih vibracija. [8]

Vibracije koje se pojavljuju na avionu, pored nepovoljnog utjecaja na psihofizičko stanje pilota, izazivaju umor, oštećenje i kontaktnu koroziju. Vrlo su opasne vibracije čija je frekvencija u blizini vlastite frekvencije osciliranja elemenata strukture aviona ili kada se te frekvencije izjednače, jer tada nastaje rezonanca pri kojoj dolazi do velikog porasta amplituda vibracija. [8]

Praćenje rada i analiza promjena u radu motora zasnovani su na akviziciji većeg broja radnih parametara motora. Da bi se na osnovu analize vibracija utvrdio doprinos poremećaja u radu neke od komponenata motora, prije toga je neophodno potvrditi da je snimljeni signal vibracija dobar indikator neke pojave. [8]

Najčešći problemi pojavljuju se u konstrukciji elemenata kao što su zamašnjak motora i koljenastog vratila, bubnjeva i kočionih diskova. Također se mogu pojaviti vibracije zbog razlika u masi klipnjača motora i sustava klipa. Kada razinu vibracija koristimo kao dijagnostički parametar, razlikujemo tri glavna uzroka:

1.Tehnološki - mogu biti uzrokovani kršenjem dimenzija, kao i parametara dijelova.

2.Konstruktivni - uzrokovani značajkom mehanizma. Obično takve fluktuacije nisu značajne i prilično su podnošljive.

3.Operativni - manifestacija istrošenih dijelova, veliki stupanj deformacije

### 2.3.3. Vizualne metode

Vizualno ispitivanje je jedna od metoda nerazornog ispitivanja. Ovom metodom promatramo i procjenjujemo stanje površine ispitnog objekta, koristeći vidljivi dio spektra elektromagnetskog zračenja. Promatrati se može „golim okom“ (direktna tehnika) ili pomoću optičkih sredstava (posredna tehnika), kada je onemogućen pristup ispitnoj površini. [9]

Često se prilikom ispitivanja zahtijeva detaljnija procjena stanja, stoga se dodatno koriste optička sredstva kojima se može uvećati područje ispitivanja. Vizualno ispitivanje je široko primjenjivo. Ispitivanjem se traže pukotine prilikom zamora i puzanja materijala, znakovi korozije, erozije, abrazije, mehaničkog oštećenja, trošenja i loše obrade, te različite vrste deformacija materijala. [9]

Još jedna od vizualnih metoda podrazumijeva pregled unutrašnjosti cilindra uređajem koji se naziva boroskop. Boroskopi su instrumenti s ugrađenim vlastitim sustavom osvjjetljenja, i prijenose sliku do oka ispitivača, preko krute cijevi koja spaja okular i objektiv (sondu). U cijevi se nalazi sustav povezanih optičkih leća okruženih optičkim vlaknima, koja prijenose svjetlost za osvjetljenje ispitnog objekta. Na taj način moguće je utvrditi stanje klipa, cilindra, ventila i drugih dijelova motora.

Boroskopija se primjenjuje u raznim ispitivanjima stanja unutrašnjosti gdje je teško provesti ispitivanje golim okom ili jednostavnim optičkim pomagalima. Velika prednost boroskopije je kontrola određenog dijela bez potrebe za rastavljanjem cijelog motora ili dijela konstrukcije zrakoplova, što oduzima puno vremena i povećava troškove održavanja. [9]

### 2.3.4. Podaci s tehničkog pregleda

Još jedan od načina procjene stanja motora jest mjerenje tlaka na kraju takta kompresije ili mjerenje tvz. Propusnosti koja se redovito vrši na stosatnim pregledima, a također govori o stanju klipno-cilindarske grupe.

Tlak kompresije mjeri se manometrom (mjerni instrument za mjerenje tlaka) koji se priključuje na otvor svjećice. On pomaže pri procjeni stupnja istrošenosti cilindarskog sklopa (cilindar + klip + prstenovi). Važno je napomenuti da se ovim načinom mogu otkriti samo gruba oštećenja i neispravnosti cilindarskog sklopa, ventila i brtve cilindarske glave.

Mjerenje se vrši na potpuno ohlađenom motoru (rezultati će biti nešto niži nego kod ugrijanog motora ) koji je prije toga mirovao barem 5 sati, kako bi se ulje ocijedilo sa klipnih prstenova jer ulje poboljšava brtvljenje i kvari rezultate testiranja.

Ukoliko rezultati mjerenja pokazuju da je tlak kompresije prenizak ili je u pojedinim cilindrima niži nego u ostalima, to ne mora odmah značiti da je motor neispravan. Prenizak tlak može biti i posljedica neujednačene zračnosti ventila, lošeg brtvljenja ventila i neujednačene brzine motora za vrijeme testiranja, zbog slabog akumulatora.

U slučaju niskog tlaka na jednom cilindru, loše se brtvljenje neispravnih klipnih prstenova može utvrditi tako da se u sumnjivi cilindar ulije malo motornog ulja zatim se elektropokretačem provrti motor i ponovo izmjeri tlak. Ako je rezultat bolji, neispravni su klipni prstenovi; ako je i dalje loš, propuštaju ventili ili brtva glave. [3]

Standardne vrijednosti tlaka kompresije hladnog *Otto* motora iznose oko 12 bar kada govorimo o ispravnom motoru te manje od 9 bar ukoliko je riječ o nepravilnosti.

# 3. UREĐAJI ZA PRAĆENJE PARAMETARA RADA ZRAKOPLOVNOG KLIPNOG MOTORA

Kao zamjena za ručno prikupljanje relevantnih podataka, razvijeni su uređaji za praćenje parametara rada zrakoplovnog klipnog motora. Od pojave prvih takvih uređaja, u 30-tak godina, pojavilo se mnogo uređaja različitih izvedbi i preciznosti. Najvažnije funkcije uređaja su bilježenje i mogućnost prijenosa podataka, alarmi (programibilni ili ne), senzori, prikaz i certifikat instrumenta. [10]

Funkcija prvih uređaja je bila samo okupljanje instrumenata u jedan sustav, pa mnogi nisu imali mogućnost bilježenja podataka. Nakon što je ta mogućnost uvedena ugrađivanjem unutarnje memorije, omogućeno je skidanje podataka sa uređaja samo unošenjem prijenosnog računala u kokpit i spajanjem dvaju uređaja. Iako se takvi uređaji i danas koriste, mnogi imaju dodatnu opciju ugrađivanja ulaza za prijenosne memorije, čime je uvelike olakšan pristup podacima. [4]

Ovisno o broju parametara i tipu motora koji se promatra, razlikujemo uređaje s određenim brojem senzora. Bitno je pridati važnost kvaliteti senzora s obzirom na brojne utjecaje u eksploataciji zrakoplova. Podaci prikupljeni od strane senzora, prikazuju se na ekranu smještenom u kokpitu.

U nastavku promatrani su neki od dostupnih uređaja koji zadovoljavaju mogućnost ugradnje na promatrani zrakoplov *Cessna 172* i pripadajući *Lycoming motor.*

## 3.1. J.P. INSTRUMENTS

Tvrtka JPI u ponudi ima ukupno 13 uređaja. Većina je podijeljena u EDM serije 700, 800 i 900, uz iznimku EDM-350 i EDM *Classic* uređaja. Uređaji nude slične opcije za zrakoplove s jednim ili dva motora i motore s različitim brojem cilindra, a svaka od serija sadržava nekoliko uređaja. EDM – 800, koji je prikazan na slici 6. je uređaj za praćenje radnih parametara zrakoplovnog motora namijenjen jednomotornim avionima s 4 ili 6 cilindara. Sustav omogućuje automatsko praćenje 24 parametra motora, sa standardnom frekvencijom uzorkovanja od 4 puta u sekundi. [11]



*Slika 6: Izgled uređaja EDM – 800 [11]*

Parametri uključuju EGT, RPM, MAP, tlak ulja, OAT, FF i dr. Razvijen je i poseban algoritam za računanje snage motora iz ostalih parametara. Sam uređaj je odobren od strane Savezne uprave za civilno zrakoplovstvo (eng. *Federal Aviation Administration, FAA*) kao primarni instrument za parametre CHT, TIT i temperaturu ulja. Prikaz podataka može biti analogan ili digitalan. [11]




*Slika 7: Lijevo: prikaznik uređaja EDM Classic.Scanner Desno: prikaznik uređaja EDM-900 [11]*

Neki uređaji nose certifikat primarnih instrumenata izdan od strane nadležnih zrakoplovnih vlasti, dok se drugi prodaju samo kao dopunska oprema. Ti se certifikati mogu odnositi ili na sve zrakoplovne instrumente ili samo na neke, a znače da se ugradnjom certificiranog uređaja mogu odstraniti postojeći instrumenti. Oslobađanje prostora je pozitivna strana, ali je vrlo važno napomenuti da su takvi uređaji opremljeni alarmima koji su povezani s preporukama proizvođača i nije ih moguće mijenjati. Ako su ti alarmi iznad graničnih vrijednosti, može doći do oštećenja motora jer problem s nekim parametrom nije uočen na vrijeme. [11]

## 3.2. Electronics International – MVP-50P

MVP-50 omogućava pilotima da precizno nadgledaju desetine parametara motora i sustava, programiraju ograničenja crvene linije, postave prilagođene unose, izradu interaktivnih kontrolnih popisa, pohranjivanje općih podataka o letu, izradu planova leta, snimanje i pregled relevantnih podataka iz svakog leta, i još mnogo toga. [12]

Na vrhu glavnog zaslona MVP-50P nalaze se mjerači tlaka i broja okretaja okretaja. Ovi mjerači nude i analogne i digitalne prikaze. Digitalni zaslon pruža točnost i omogućava pilotu da otkrije male nepravilnosti dok analogni zaslon omogućuje pilotu da utvrdi položaj funkcije u svom radnom području. [12]

Duž desne strane glavnog zaslona nalazi se šest analognih/digitalnih mjerača koji prikazuju protok goriva, tlak goriva, tlak ulja, temperaturu ulja i napon. Izborni mjerači su razina goriva, vakuum, TIT, hidraulički tlak, G-metar, indikator ugljikovog monoksida, tlak u kabini i nadmorska visina, brzina zraka i brojni drugi. [12]

U lijevom donjem dijelu glavnog zaslona nalazi se analizator motora EGT/CHT. Trake u plavoj boji pokazuju EGT, a trake u zelenoj boji CHT. Prikazani su maksimalni i minimalni rasponi za EGT i za CHT i mogu se postaviti tako da odgovaraju bilo kojem radu motora.

MVP-50P dizajniran je tako da smanji potrebu za stalnim skeniranjem i tumačenjem instrumenata motora. Onog trenutka kada se pojavi problem, obavijestit će pilota. To omogućava pilotu da riješi problem mnogo prije nego što dođe do oštećenja motora. [12]




*Slika 8: Prikaznik uređaja MVP- 50P [12]*

## 3.3. Dynon Avionics - EMS-D120

EMS-D120 je sustav za nadzor motora s velikim zaslonom koji spaja tradicionalne analogne mjerače s novijim digitalnim tehnologijama. EMS-D120 zamjenjuje do 16 različitih tipova mjerača koji su prikazani na zaslonu što ga čini korisnim instrumentom koji poboljšava sigurnost i bezbrižnost.

Ono što EMS-D120 čini tako moćnim je njegova sposobnost kontinuiranog praćenja do 27 dostupnih senzorskih ulaza koji pokrivaju motor, gorivo i ostale razne sustave te objavljuju sve nepravilnosti odmah nakon otkrivanja. Ovo stalno skeniranje značajno smanjuje radno opterećenje pilota, istovremeno pružajući temeljitiji i dosljedniji pregled. [13]

Karakteriziraju ga slijedeći senzori: 6 senzora temperature ispušnih plinova (EGT), 6 temperature glave cilindra (CHT), 2 senzora razine goriva, 2 brzine vrtnje motora (RPM), senzor temperature ulja, tlaka ulja, tlaka punjenja, temperature goriva, protok goriva, ampermetar, voltmetar, senzor temperature zraka na ulazu u turbinu te 3 senzora opće namjene. [13]




*Slika 9: Prikaznik uređaja EMS- D120 [13]*

## 3.4. Grand Rapids

S obzirom na tip motora za koji su namjenjeni, tvrtka *Grand Rapids* nudi 8 sličnih uređaja. Uređaj kompatibilan s ugrađenim *Lycoming* motorima je *Grand Rapids 4000*.

Ugrađuje se na motore s 4 ili 6 cilindara i prati četiri osnovna (EGT, CHT, temperatura ulja, tlak ulja) i 6 dodatnih parametara. Dostupni dodatni parametri uključuju protok goriva, MAP, tlak goriva i drugo. Sustav nema certifikat primarnog instrumenta za te parametre niti posjeduje potvrdu o minimalnoj tehničkoj ispravnosti (engl*. Tehnical Standard Orders, TSO*). Uz navedene parametre pogonskog sustava, GRT EIS može pratiti i neke parametre instrumenata za upravljanje zrakoplovom, kao što su brzina, vertikalna brzina i visina leta. Vrijednosti RPM-a mogu se povezati s podsjetnikom na listu postupaka pri slijetanju. Sve funkcije uređaja imaju alarme za kritične vrijednosti, od kojih većina dolazi s gornjom i donjom kritičnom granicom. Prikaznik uređaja prikazan je na slici (Slika 8.). [14]




*Slika 10: Prikaznik uređaja Grand Rapids 4000 [14]*

## 3.5. INSIGHT

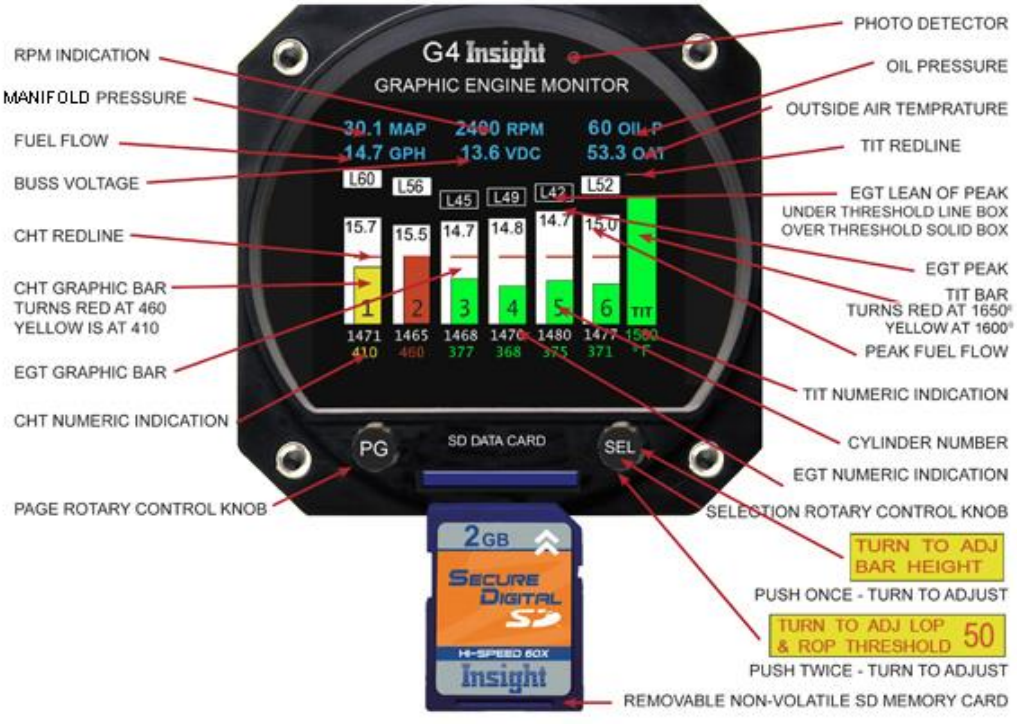
Tvrtka *Insight* nudi 8 uređaja za praćenje rada klipnih motora. Uređaji su namijenjeni jednomotornim i dvomotornim zrakoplovima, ali i helikopterima. Za analizu odabran je uređaj G4, prikazan na slici (Slika 9.), kao najnovija verzija uređaja namijenjena jednomotornim avionima.

Uređaj je certificiran kao primaran za praćenje parametara EGT, CHT i TIT. U sustav je ugrađen i algoritam za olakšano određivanje bogatstva smjese putem vršnih EGT-a. Uz navedene, moguće je pratiti još 12 ostalih parametara od kojih su MAP, RPM, OAT jedni od najznačajnijih. Kao upozorenje, parametrima koji prijeđu programirane kritične vrijednosti mijenja se boja na zaslonu.

Ukoliko se uređaj G4 poveže s *Insight* TAS uređajem, G4 može mjeriti i prikazivati nekoliko parametara sustava za upravljanje zrakoplovom – visinu, brzinu i smjer leta, te brzinu i smjer puhanja vjetra.

Uređaj dolazi s ulazom za memorijsku karticu, koja ne služi samo za prebacivanje zapisanih podataka, već je moguće putem memorijske kartice programsko unaprjeđenje paketa sustava, bez potrebe za uklanjanjem uređaja iz zrakoplova.

*Insight G4* još se ističe dostupnom analizom vibracija u motoru, s ciljem ranog otkrivanja mehaničkih problema i prevencije otkaza motora. Za pravilan rad funkcije potreban je senzor vibracija koji je nužno ugraditi na motor. Podatke o vibracijama moguće je zapisati u memoriju uređaja zajedno s ostalim parametrima. [15]




*Slika 11: Prikaznik i dijelovi uređaja Insight G4 [15]*

## 3.6. MGL Avionics – MGL Xtreme EMS

*Xtreme EMS* je potpuno opremljen sustav praćenja motora u boji za gotovo svaki motor. Svi podaci o motoru bilježe se putem RDAC-a (*Remote Computer Acquisition Computer*) koji se postavlja u blizini motora. Ovo računalo za prikupljanje podataka tada šalje sve podatke pošiljatelja na EFIS zaslon putem 1 serijskog kabela. Zbog male težine i vrlo male dubine ugradnje nisu potrebni nikakvi složeni nosači. Potrošnja energije je mala, a rad naponima manjim od 12 V do oko 28V u potpunosti je podržan.

Podržava ugradnju u motore s 4 i 6 cilindara, a moguće je pratiti više od 12 parametara rada motora. Neki od njih su: RPM, CHT, EGT, tlak ulja, temperatura ulja, temperatura goriva, protok goriva, grijanje karburatora, razina goriva i drugo. [16]

Kad god se prekorače parametri motora, aktivirat će se alarm.




*Slika 12: Prikaznik uređaja MGL Xtreme EMS [16]*

# 4. ZAHTJEVI, KARAKTERISTIKE I INTERPRETACIJA PODATAKA S UREĐAJA EDM-900

Svaki zrakoplov koji posjeduje odobrenje za izvođenje letačkih operacija ima dokument kojim se potvrđuje da zrakoplov odgovara osnovi za certifikaciju i da proizvod nema svojstva koja bi mogla loše utjecati na sigurnost njegove uporabe. Takvi dokumenti se nazivaju Certifikati tipa (engl. *Type certificate, TC*) i pokrivaju proizvod, zajedno s ugrađenim uređajima i dijelovima.

S obzirom da sustavi za praćenje parametara rada motora nisu dio standardne opreme nekih zrakoplova, u nekim slučajevima biti će potrebno prilagoditi zrakoplov ugradnjom dijelova sustava. U svrhu dokazivanja sigurnosti uporabe zrakoplova nakon modifikacija, na to zadužena organizacija na zahtjev proizvođača izdaje dodatni certifikat tipa (engl. *Supplemental Type Certificate, STC*).

Tvrtka J.P. Instruments locirana je u Sjedinjenim Američkim državama, stoga je STC za uređaj EDM-900 izdala FAA. Nadležna organizacija u Europi je Europska agencija za zrakoplovnu sigurnost (engl. *European Aviation Saftey Agency*), kojoj je potrebno uputiti zahtjev za potvrdu dokumenta izdanog od strane FAA. Ukoliko se STC za određeni proizvod već nalazi na listi EASA-e, nije potrebno prolaziti opširnu proceduru posebnog odobrenja. Tada korisnik može pristupiti ugradnji uređaja. [17]

*„The Airworthiness Limitations section is FAA approved and specifies maintenance required under Sections. 43.16 and 91.403 of the Federal Aviation Regulations, unless an alternative program has been FAA approved*.“ [17]

Jedan od najvažnijih razloga ugradnje uređaja za praćenje radnih parametara motora je utjecaj dobivenih informacija na održavanje kontinuirane plovidbenosti zrakoplova. Uvođenjem sustava za praćenje stanja motora (engl. *Engine Condition Trend Monitoring*, ECTM) uz standardni sustav održavanja moguće je dobiti znatno točniju sliku o potrebnim postupcima održavanja.

## 4.1. Komponente uređaja EDM-900

Komponente uređaja EDM-900 namijenjenog za zrakoplovne motore s četiri cilindra navedene su u tablici (Tablica 2.)

*Tablica 2: Komponente uređaja EDM-900 [18]*

| KOMPONENTA | KOLIČINA |
|---|---|
| | |
| **DISPLAY EDM-930 (MONITOR EDM-900)** | 1 |
| **DISPLAY EDM-900 (MONITOR EDM-930)** | 1 |
| **EGT SENZOR (SENZOR TEMPERATURE ISPUŠNIH PLINOVA)** | 4 |
| **TIT SENZOR (SENZOR TEMPERATURE ZRAKA NA ULAZU U TURBINU)** | 1 |
| **CHT SENZOR (SENZOR TEMPERATURE GLAVE CILINDRA)** | 4 |
| **OAT SENZOR (SENZOR VANJSKE TEMPERATURE ZRAKA)** | 1 |
| **IAT SENZOR (SENZOR UNUTARNJE TEMPERATURE)** | 1 |
| **CARB TEMP SENZOR (SENZOR TEMPERATURE KARBURATORA)** | 1 |
| **OIL TEMP SENZOR (SENZOR TEMPERAURE ULJA)** | 1 |
| **OIL PRESSURE SENZOR (SENZOR TLAKA ULJA)** | 1 |
| **FUEL PRESSURE SENZOR (SENZOR TLAKA GORIVA)** | 1 |
| **FUEL PRESSURE DIFFERENTIAL SENZOR (DIFERENCIJALNI SENZOR TLAKA GORIVA)** | 1 |
| **AMMETER (AMPERMETAR)** | 1 |
| **FUEL FLOW (PROTOK GORIVA)** | 1 |
| **FUEL LEVEL (RAZINA GORIVA)** | 1 |
| **MAP (TLAK PUNJENJA)** | 1 |
| **RPM (PRESSURIZED) (BRZINA VRTNJE MOTORA- PREŠUARIZIRANO)** | 1 |
| **RPM (NON-PRESSURIZED) (BRZINA VRTNJE MOTORA- NE PREŠUARIZIRANO)** | 1 |
| **RAD (UKUPNA TEMPERATURA)** | 1 |

## 4.2. Indikator

Sustav EDM-900 montira se u otvor na ploči s instrumentima promjera 3.125 inča, bilo u portretnom ili pejzažnom položaju ovisno o mjestu otvora na ploči. Držanjem tipke *Step* cca. 10 sekundi prije na zaslonu će se prikazati strelica koja pokazuje koji će se način rotacije koristiti.

Montira se u standardnu 8'' rupu za instrumente, tijelo instrumenta je promjera 3'' a dubina priključka 2''.

Zaslon je raspoređen u tri dijela. Gornji lijevi dio pripada MAP i RPM indikaciji. U donjem lijevom dijelu nalazi se tvz. *Scanner* ili područje za poruke. Na desnoj su strani vodoravne trake primarnih komponenti. Ne-primarni mjerači imaju samo digitalno očitanje. Raspon instrumenata i ograničenja alarma konfiguriraju se tako da odgovaraju POH-u zrakoplova u koji je uređaj ugrađen kada je EDM postavljen kao primarni instrument. Stupac TIT nalazi se desno od posljednjeg EGT / CHT, ako je primjenjivo. [18]




*Slika 13: Digitalni prikaznik uređaja EDM-900 [17]*

U Nastavku teksta slijedi opis radnih parametara prikazanih na monitoru uređaja EDM-900. Opis je razrađen u tri skupine parametara

### RPM i MAP prikaznik

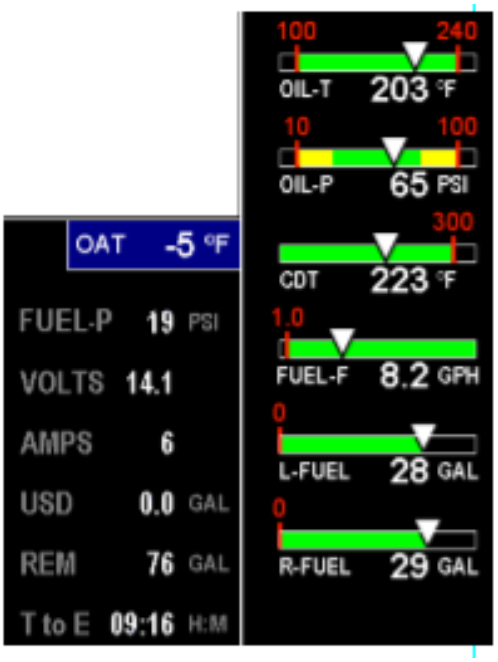
Informaciju o tlaku punjenja i brzini vrtnje motora možemo iščitati u horizontalnom prikazu u gornjem lijevom kutu monitora uređaja. Postupci koji prelaze crvenu liniju uzrokuju da digitalna vrijednost postane crvena ili žuta s uključivanjem RAL-a (*Remote Annunciate Light)* i digitalnom vrijednošću u području za poruke. [18]




*Slika 14: RPM i MAP prikaznik [17]*

### Sekcija grafa s linearnim prikazom

Pokazivači se kreću vodoravno s lijeva prema desno prikazujući promjene vrijednosti, a digitalna očitanja postaju crvena kada se pojave prekoračenja primarnih funkcija. Sekundarne funkcije bljeskaju bijelo. U primarne funkcije spadaju: *Oil Temperature, Oil Pressure, Compressor Discharge Temperature, Fuel Flow, Left tank Fuel Quantity, Right tank Fuel Quantity*. Ne-primarne podrazumijevaju: *Fuel pressure, Volts, Amps, Fuel used estimated, Fuel Remaning estimated, Time to empty estimated, Outside Air Temperature*. [18]



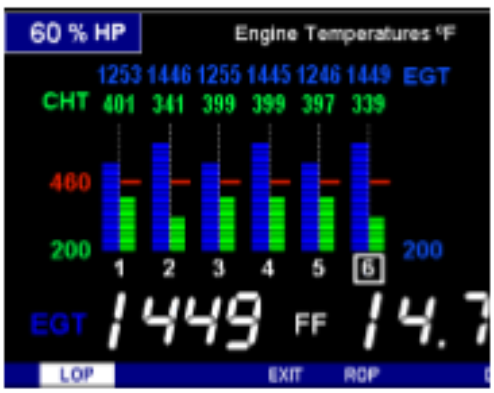

*Slika 15: Linerani prikaznici [17]*

## Područje za poruke *(Scanner information area)*

Pruža proširene informacije u obliku alfa-numeričkih poruka, parametara i izračuna. U automatskom pretraživanju parametri će se "skenirati" svake u 4 sekunde. Ova brzina može se promijeniti u načinu programiranja.

*Tablica 3: Opis parametara prikazanih na posručju za poruke (Scanner-u) [17]*

| DISPLAY | PARAMETER | DESCRIPTION |
|---|---|---|
| EGT *1436* CHT *382* | EGT/CHT | Shows successive pairs of EGT & CHT per STEP tap. |
| *TIT 1580 °F* | TIT | Single Turbine Inlet Temp. |
| *TIT-L and -R 1490 °F* | TIT-L, TIT -R | Two Turbine Inlet Temp. Left and Right engine side |
| *Oil-T 204 °F* | OIL TEMP | Oil temperature in degrees F |
| *Oil-P 64 PSI* | OIL PRES | Oil pressure in psi |
| *F-P16 PSI* | FUEL PRES. | Fuel pressure in psi |
| *F-F 2.7GPH* | FUEL FLOW | Fuel flow in GPH |
| *CLD 75 °F* | SHOCK COOL | CHT cooling rate (deg/min) |
| *VOLTS 13.9* | BATTERY | Battery/Bus voltage |
| *AMPS -6* | Amperage | Set up per the specific aircraft |
| *OAT 23 °F* | OAT | Outside air temperature F or C |
| *DIF 40 °F* | DIF | Hottest minus coldest EGT |
| *CRB 56 °F* | CRB | Carburetor Air Temp (only allowed if IAT not present) |
| *CDT 145 °F* | CDT | Compressor Discharge Temp (only allowed if CRB not present) |
| *IAT 105 °F* | IAT | Induction Air Temp |
| *Est. REM 68.0 GAL* | FUEL REMAINING | Calculated fuel remaining on board based on what the pilot put in as maximum. |
| *WP REQ 12.7 GAL* | FUEL REQUIRED | Calculated fuel required to reach waypoint or destination (GPS interface must be corrected) |
| *Est. WP REM 63 GAL* | FUEL RESERVE | Calculated fuel reserve at waypoint (GPS interface must be correct) |
| *ECON 9.8 MPG* | Nautical MILES PER GALLON | Calculated fuel miles per units (GPS interface required) |
| *EST. T to E 04:32 H:M* | Estimated Time to Empty | Calculated time remaining to fuel exhaustion in Hours and Minutes at present power. |
| *GPH 15.0 GPH* | FUEL FLOW RATE | Actual fuel flow rate in Gallons per hour |
| *USD 7.2 GAL* | FUEL USED | Actual fuel used by the engine |
| *FUEL-P 64 PSI* | FUEL PRES | Fuel pressure in PSI |




*Slika 16: Područje za poruke [17]*

Interpretacija podataka

U slijedećem poglavlju biti će prikazana interpretacija podataka za svaki od režima leta. Navest će se postupci koji se moraju u određenoj fazi provjeriti te vrijednosti tih podataka i njihovi okviri prilikom normalnih operacija. Također, na primjeru tablice izložiti će se neki od najkarakterističnijih problema, simptomi te preporučena akcija u svrhu rješavanja istih.

### 4.2.1. Pokretanje motora



**Engine Run-Up**

Brzina vrtnje motora (RPM), postavlja se na brzinu predviđenu za probu motora.

| | |
|---|---|
| Potrebno je provjeriti | -Ravnomjerni porast od oko 50°F u svim EGT-ima prilikom probe jednog magneta<br>-Ravnomjerno povećanje EGT-a prilikom postavke bogatstva smijese |
| Treba biti na oprezu u slučaju: | -neuobičajeno nizak napon (manji od nazivnog napona akumulatora)<br>-hladno ulje uz normalan tlak ulja<br>-nenormalno visoka temperatura glave cilindra (CHT)<br>-Veliki pad EGT-a na jednom cilindru prilikom probe jednog od magneta što može aludirati na kvar svjećica. [17] |

### 4.2.2. Polijetanje, penjanje i operacije s primijenjenom punom snagom



**Take-Off, Climb, and Full Throttle Operations**

| | |
|---|---|
| Potrebno je provjeriti: | -EGT i CHT vrijednosti u skladu s prijašnjim usponima |

| | |
|---|---|
| | -EGT bi trebao biti u rasponu od 1100 to 1300°F što je 100° to 300°F hladnije nego prilikom krstarenja radi hlađenja goriva |
| Treba biti na oprezu u slučaju: | -visok EGT u jednom cilindru, 300°F nego u ostalima može ukazivati na neispravnu brizgaljku goriva ili nepropusno brtvilo na razvodnom motoru. Na velikim visinama gustoće prekomjerno bogata smjesa može značajno smanjiti snagu motora.<br>-ako se svi stupci EGT-a odmaknu od ljestvice do vrha stupca, simbol NRM obavijestit će pilota o abnormalnom načinu rada. [17] |

### 4.2.3. Krstarenje



Cruise

| | |
|---|---|
| Prilikom faze krstarenja, pogotovo prilikom postupka osiromašivanja smjese, treba biti na oprezu u slučaju: | -Neravnomjernih EGT-a (kod motora s ubrizgavanjem). Potrebno je prvo namjestiti postavku snage, zatim brzinu vrtnje motora te na kraju bogatstvo smjese.<br>-Nenormalne vrijednosti EGT-a i CHT-a. [17] |

### 4.2.4. Spuštanje



Descent

Kod spuštanja zrakoplova, najvažnije je biti u pripravnosti od udarnog hlađenja motora. Alarm je postavljen na vrijednost od -60°F, dok su prosječni rasponi hlađenja od -40°F/min do -50°F/min, zavisno od veličine motora.

Slijedeća tablica prikazuje tipične normalne vrijednosti mjerenja koje se mogu primijetiti za većinu općih motora zrakoplova. [17]

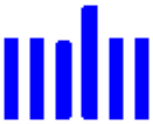
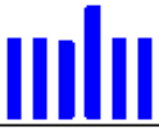
*Tablica 4: Normalne vrijednosti općenito za zrakoplovne motore generalne avijacije [18]*

| Measurement | Normal range | Comments |
|---|---|---|
| EGTs in Cruise | 1350°F | • under 200 HP engines |
| | 1550°F | • high performance engines<br>• (EGT should drop 200°F when full throttle is applied) |
| EGT span (DIF) | 70 to 90°F<br>120 to 150°F | • fuel injected engines<br>• carbureted engines |
| TIT | 1600°F average | • 100° higher than EGT |
| CHTs | 350°F (OAT 60°F) | • normally aspirated engines |
| | 410°F | • Turbocharged engines |
| CHT span | 50 to 70°F | • 100° with gasket probes |
| OIL T | 200°F | • oil cooler thermostat typically opens at 180°F |
| OIL P | 30 to 60 psi | • varies with aircraft type |
| FUEL P (injected) | 14 to 18 psi | • varies with aircraft type |
| FUEL P (carbureted) | 0.5 to 8 psi | |
| Shock cooling* | -40°/minute<br>-55°/minute<br>-200°/minute | • tightly cowled engines<br>• Bonanza<br>• helicopter |

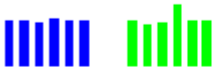
* Maintain a cooling rate magnitude of less than -50°/minute. You will find that the cylinder with the greatest shock cooling may shift from front cylinders (during climb out) to the rear cylinders (during descent ).

Dalje, navedene su dvije tablice pogodne za otkrivanje nepravilnosti u radu zrakoplovnog klipnog motora. S lijeve strane slikovito je objašnjen prikaz na instrumentu, zatim na isti se nadovezuju simptomi karakteristični za određeni problem. Za svaki od vjerojatnih razloga, u krajnjem desnom stupcu demonstrirana je preporučena akcija za saniranje problema. [17]

*Tablica 5: Dijagnosticiranje problema motora 1.dio [17]*

| Display | Symptom | Probable Cause | Recommended Action |
|---|---|---|---|
|  | TIT ~100° higher than EGTs | This is normal | |
|  | 75° to 100° EGT rise for one cylinder during flight | Spark plug not firing due to fouling, faulty plug, wire or distributor. | Enrich mixture to return EGT to normal. Have plugs checked. |
|  | EGT Increase or decrease after ignition maintenance | Improper timing: high EGT → retarded ignition; low EGT → advanced ignition. | Check EGT for each magneto to determine any uneven timing. |
|  | Loss of EGT for one cylinder. Engine rough | Stuck valve. Other cylinders are okay. | Have valve train checked. |
|  | Loss of EGT for one cylinder; *no digital EGT* | Failed probe or failed wire harness. | Swap probes to determine if probe or wire harness is bad. |
|  | Decrease in EGT for one cylinder | Intake valve not opening fully; faulty valve lifter. | Have valve lifter or rocker arm checked. |
|  | Increase in DIF at low RPM | Low compression (blow by) in cylinder | Check compression. |
|  | EGT and CHT not uniform | Normal for carbureted engines. Dirty fuel injectors or fouled plugs. | Check injectors and plugs. |
|  | Decrease in EGT for all cylinders | Decrease in airflow into the induction system. Carb or induction ice. | Check for change in manifold pressure. |

*Tablica 6: Dijagnosticiranje problema motora 2.dio [17]*

| Display | Symptom | Probable Cause | Recommended Action |
|---|---|---|---|
|  | Slow rise in EGT. Low CHT | Burned exhaust valve. CHT is low due to low power output. | Have compression checked. |
|  | High CHT on cylinders on one side of engine | Obstruction under cowling. | Check for improper installed baffling, cowl flap misalignment or bird nests. |
|  | Rapid rise in CHT of one cylinder | Detonation. | Reduce power. |
|  | Sudden off scale rise for any or all cylinders | Pre-ignition<br><br>Normalize view<br><br>or failed probe | Full rich and reduce power.<br>Change to Standard view<br>Check probe. |
| (no picture) | Loss of peak EGT | Poor ignition or vapor in fuel injection system. | Have magneto tested. |
| (no picture) | Decrease in peak or flat EGT response to leaning process | Detonation. Usually the result of 80 Octane fuel in 100 Octane engine. | Enrich mixture, reduce power and re-lean mixture. Repeat to find power setting where normal peak is obtained or run rich. |
|  | Below 10,000 ft. full throttle causes EGTs to rise | Weak or defective mechanical fuel pump. | Apply boost pump. If EGTs drop, replace fuel pump. |
|  | CHT more than 500°, EGT normal. Adjacent EGT may be low | Leaking exhaust gasket blowing on CHT probe. | Look for white powder around cylinder to determine leak area. |

## 4.3. Program za pristup podatcima s uređaja

EDM uređaji ne služe samo kao alternativa standardnim zrakoplovnim instrumentima nego se njihova funkcija primjenjuje i prilikom praćenja i zapisivanja promjena parametara rada zrakoplovnog klipnog motora kako bi se ti podatci kasnije mogli iskoristiti za analizu.

Prije nego što se započne let, na uređaju je potrebno omogućiti opciju praćenja što se je moguće podesiti na samom zaslonu uređaja pojedinim tipkama. Time je aktivirana opcija zapisivanja praćenih parametara. [19]

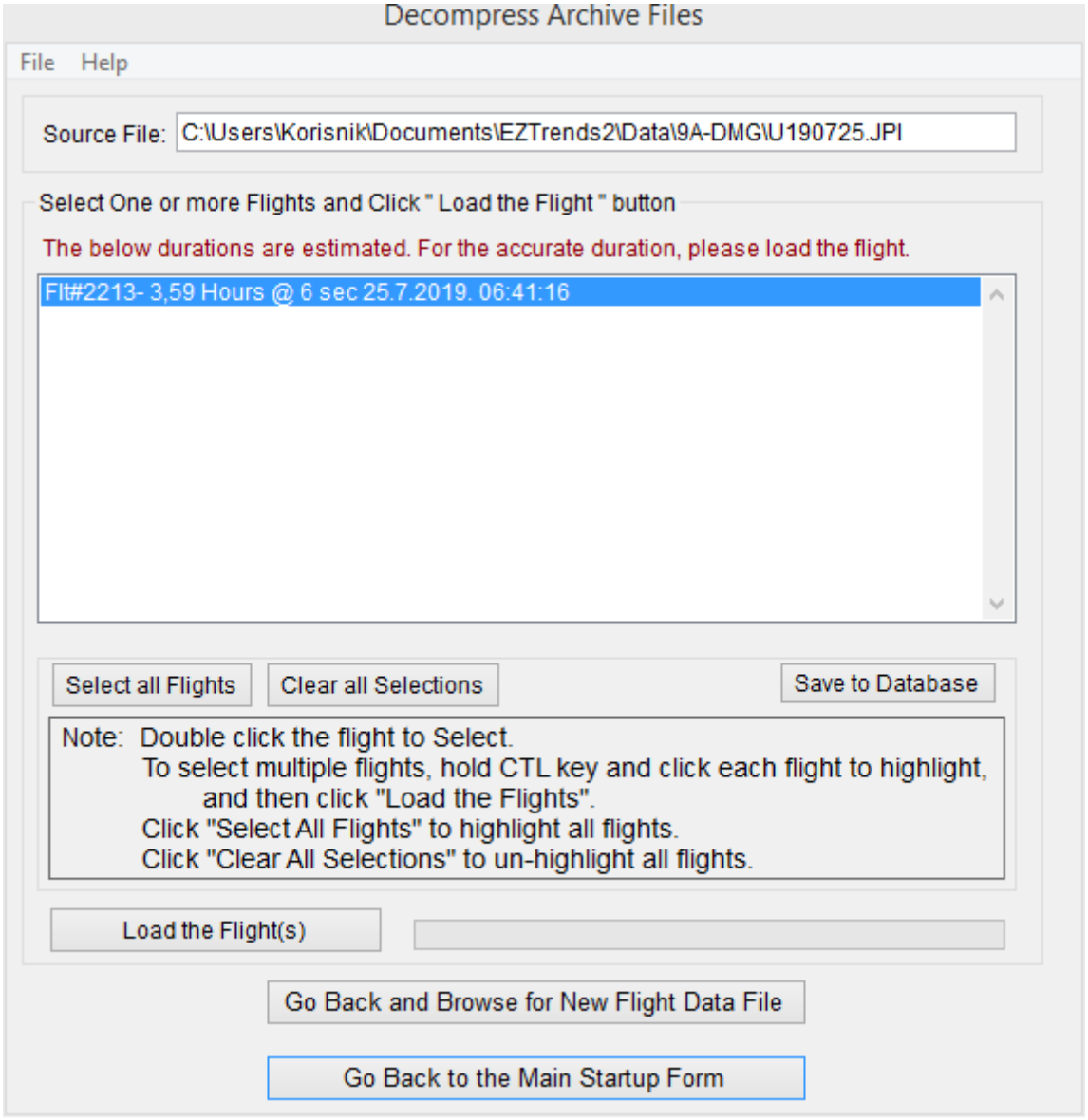
Ti podaci se mogu kasnije preuzeti putem USB-a ili druge vanjske jedinice utorom na prednjoj strani instrumenta i slijedeći upute. Mogu se odabrati "SVI" podatci pohranjeni u EDM-u ili samo "NOVO" zabilježeni podatci od zadnjeg preuzimanja. U oba slučaja, odabrani podaci u EDM-u ne brišu se. Podaci se kasnije mogu vidjeti na EZTrends2, PC programu dostupnom putem JPI-a ili preko interneta. Prikaz početnog sučelja navedenog programa moguće je vidjeti na slici ispod (Slika 16.). [19]




*Slika 17: Prikaz početnog sučelja programa „Ez Trends2“ [19]*

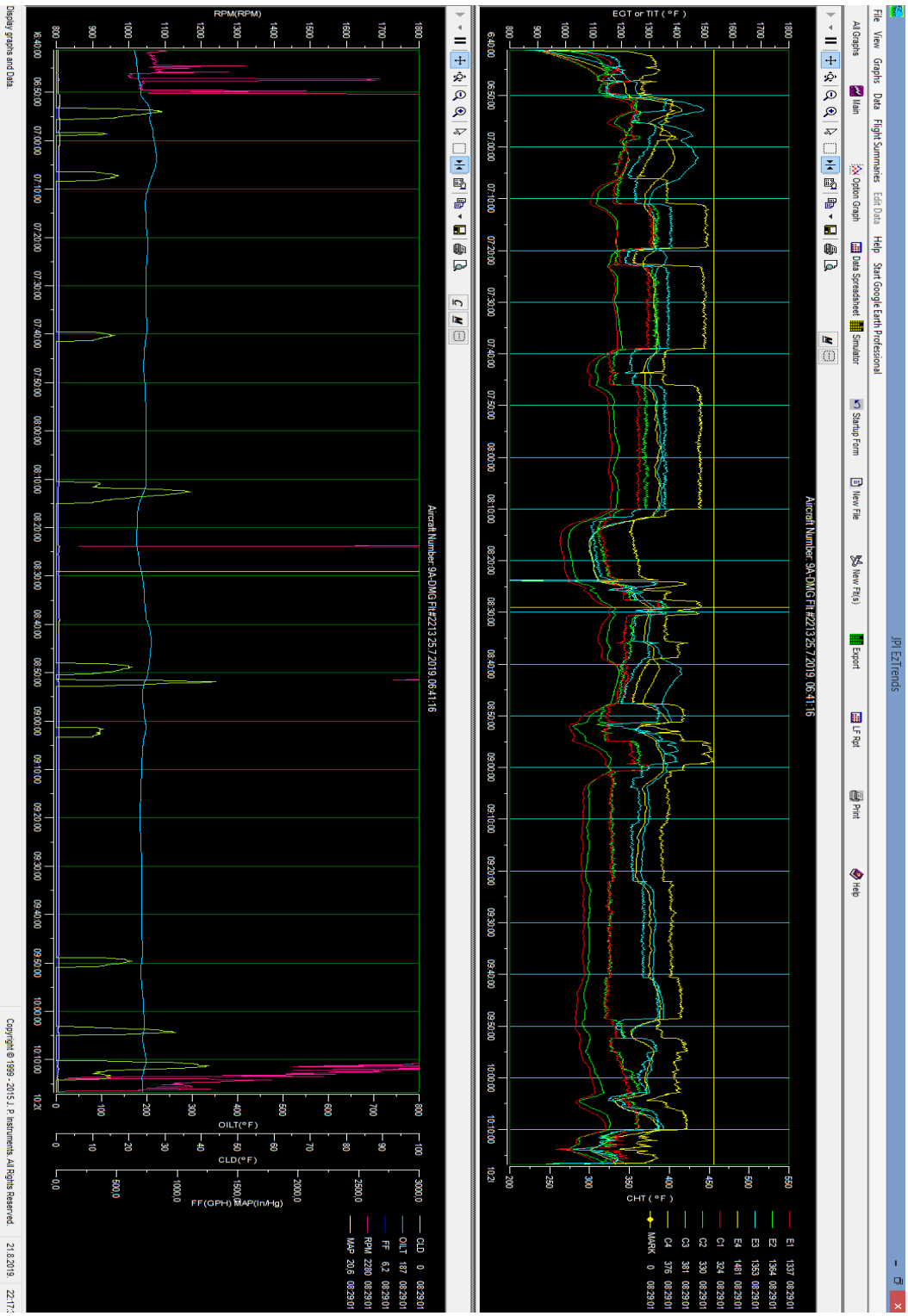
Tu je moguće odabrati set podataka vezan za određeni let jer jedna datoteka može sadržavati informacije o više letova. U daljnjoj analizi koristiti će se podatci s zrakoplova *Cessna 172* registracijskih oznaka 9A DMG koja ima ugrađen uređaj EDM-900 za praćenje parametara rada klipnog motora. Promatrat će se posljednji let izvršen dana 25. srpnja 2019. godine.

Slijedeći korak je odabir opcije koja nam omogućava očitanje preuzetih podataka s USB uređaja gdje dalje biramo redni broj leta, trajanje leta, interval zapisivanja rezultata mjerenja te datum i vrijeme leta, što je vidljivo na slici ispod. (Slika 17.) [19]



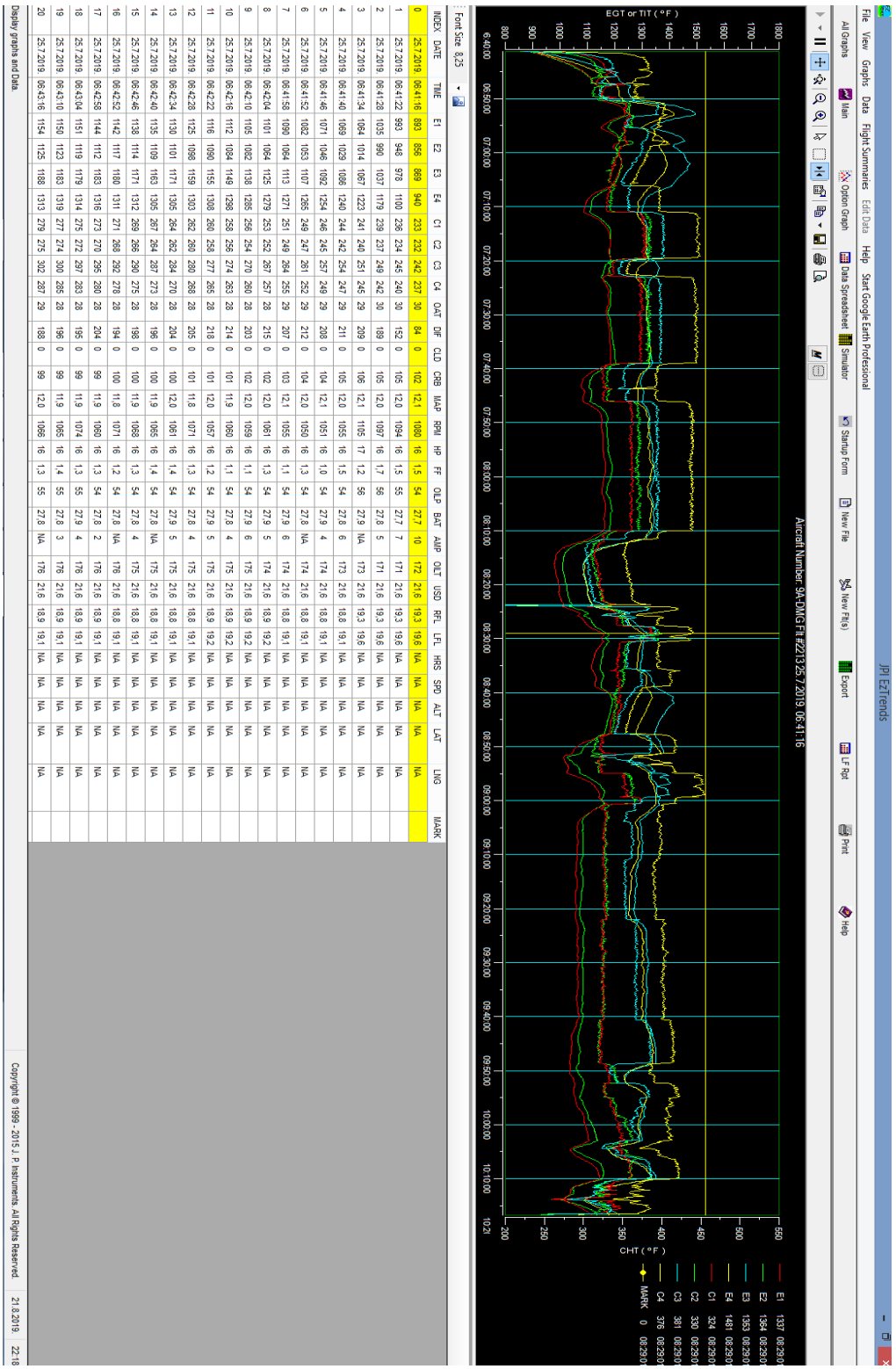

*Slika 18: Sučelje na kojem se vrši izbor seta informacija za analizu [19]*

Klikom na *„Load the flight(s)“* program automatski generiraju dijagrami vrijednosti praćenih parametara, prikazani na slici (Slika 18.). Zbog velikog broja parametra, generiraju se dva dijagrama. Parametri su vidljivi u legendi s desne strane i označeni su različitim bojama. [19]



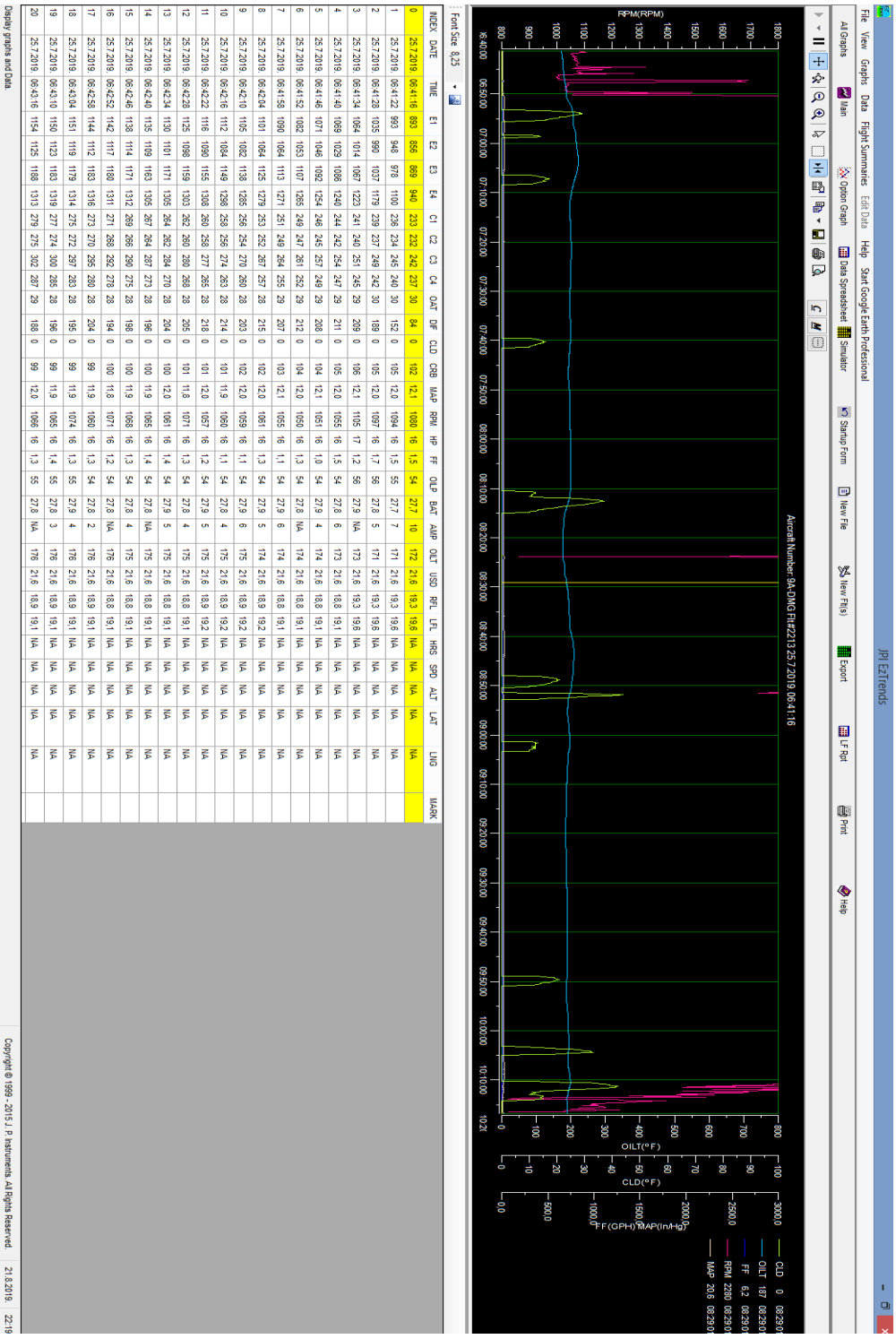

*Slika 19: Grafički prikaz vrijednosti parametara [19]*

Prvi dijagram prikazuje promjenu svih EGT, CHT i TIT parametara tzv. „MAIN“ skupine parametara. Uz parametre, prikazane su i njihove vrijednosti tablično. Iz grafa je vidljivo da su se sve vrijednosti parametara kretale u normalnim granicama za zrakoplovni klipni motor (Slika 19). [19]




*Slika 20: „MAIN“ graf uz prikaz tabličnih vrijednosti [19]*

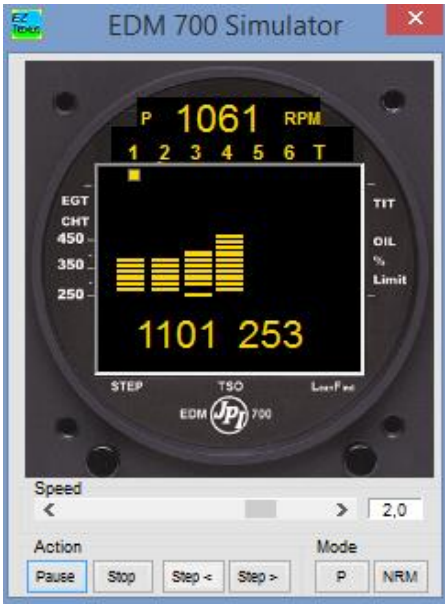
Drugi dijagram prikazuje promjenu „OPTION“ skupine parametara, koja uključuje jednu od opcija TIT, RPM, FF, temperaturu ulja i dr. Također nisu zabilježene nikakve alarmantne vrijednosti nekih od parametra za vrijeme promatranog leta. Grafički dijagram uz tablični zapis prikazan je na slici ispod. (Slika 20.) [19]




| INDEX | DATE | TIME | E1 | E2 | E3 | E4 | C1 | C2 | C3 | C4 | OAT | DIF | CLD | CRB | MAP | RPM | HP | FF | OLP | BAT | AMP | OILT | USD | RFL | LFL | HRS | SPD | ALT | LAT | LNG | MARK |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 25.7.2019. | 06:41:16 | 883 | 856 | 869 | 940 | 233 | 232 | 242 | 237 | 30 | 84 | 0 | 102 | 12.1 | 1080 | 16 | 1.5 | 54 | 27.7 | 10 | 172 | 21.6 | 19.3 | 19.6 | NA | NA | NA | NA | NA | |
| 1 | 25.7.2019. | 06:41:22 | 993 | 948 | 978 | 1100 | 236 | 234 | 245 | 240 | 30 | 152 | 0 | 105 | 12.0 | 1094 | 16 | 1.5 | 55 | 27.7 | 7 | 171 | 21.6 | 19.3 | 19.6 | NA | NA | NA | NA | NA | |
| 2 | 25.7.2019. | 06:41:28 | 1035 | 980 | 1037 | 1179 | 239 | 237 | 249 | 242 | 30 | 189 | 0 | 105 | 12.0 | 1097 | 16 | 1.7 | 58 | 27.8 | 5 | 171 | 21.6 | 19.3 | 19.6 | NA | NA | NA | NA | NA | |
| 3 | 25.7.2019. | 06:41:34 | 1064 | 1014 | 1067 | 1223 | 241 | 240 | 251 | 245 | 29 | 209 | 0 | 106 | 12.1 | 1105 | 17 | 1.2 | 56 | 27.9 | NA | 173 | 21.6 | 19.3 | 19.6 | NA | NA | NA | NA | NA | |
| 4 | 25.7.2019. | 06:41:40 | 1069 | 1029 | 1086 | 1240 | 244 | 242 | 254 | 247 | 29 | 211 | 0 | 105 | 12.0 | 1055 | 16 | 1.5 | 54 | 27.8 | 6 | 173 | 21.6 | 18.8 | 19.1 | NA | NA | NA | NA | NA | |
| 5 | 25.7.2019. | 06:41:46 | 1071 | 1046 | 1092 | 1254 | 246 | 257 | 249 | 29 | 208 | 0 | 104 | 12.1 | 1051 | 16 | 1.0 | 54 | 27.9 | 4 | 174 | 21.6 | 18.8 | 19.1 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | |
| 6 | 25.7.2019. | 06:41:52 | 1082 | 1053 | 1107 | 1265 | 249 | 247 | 261 | 252 | 29 | 212 | 0 | 104 | 12.0 | 1050 | 16 | 1.3 | 54 | 27.8 | NA | 174 | 21.6 | 18.8 | 19.1 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | |
| 7 | 25.7.2019. | 06:41:58 | 1090 | 1064 | 1113 | 1271 | 251 | 249 | 264 | 255 | 29 | 207 | 0 | 103 | 12.1 | 1055 | 16 | 1.1 | 54 | 27.9 | 6 | 174 | 21.6 | 18.8 | 19.1 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | |
| 8 | 25.7.2019. | 06:42:04 | 1101 | 1084 | 1125 | 1279 | 253 | 252 | 267 | 257 | 28 | 215 | 0 | 102 | 12.0 | 1061 | 16 | 1.3 | 54 | 27.9 | 5 | 174 | 21.6 | 18.9 | 19.2 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | |
| 9 | 25.7.2019. | 06:42:10 | 1105 | 1082 | 1138 | 1285 | 256 | 254 | 270 | 260 | 28 | 203 | 0 | 102 | 12.0 | 1059 | 16 | 1.1 | 54 | 27.9 | 6 | 175 | 21.6 | 18.9 | 19.2 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | |
| 10 | 25.7.2019. | 06:42:16 | 1112 | 1084 | 1149 | 1296 | 258 | 256 | 274 | 263 | 28 | 214 | 0 | 101 | 11.9 | 1060 | 16 | 1.1 | 54 | 27.8 | 4 | 175 | 21.6 | 18.9 | 19.2 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | |
| 11 | 25.7.2019. | 06:42:22 | 1116 | 1090 | 1155 | 1308 | 260 | 259 | 277 | 265 | 28 | 218 | 0 | 101 | 12.0 | 1057 | 16 | 1.2 | 54 | 27.9 | 5 | 175 | 21.6 | 18.9 | 19.2 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | |
| 12 | 25.7.2019. | 06:42:28 | 1125 | 1098 | 1159 | 1303 | 262 | 260 | 280 | 268 | 28 | 205 | 0 | 101 | 11.8 | 1071 | 16 | 1.3 | 54 | 27.8 | 4 | 175 | 21.6 | 18.8 | 19.1 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | |
| 13 | 25.7.2019. | 06:42:34 | 1130 | 1101 | 1171 | 1305 | 264 | 262 | 284 | 270 | 28 | 204 | 0 | 100 | 12.0 | 1081 | 16 | 1.4 | 54 | 27.9 | 5 | 175 | 21.6 | 18.8 | 19.1 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | |
| 14 | 25.7.2019. | 06:42:40 | 1135 | 1109 | 1163 | 1305 | 267 | 264 | 287 | 273 | 28 | 196 | 0 | 100 | 11.9 | 1065 | 16 | 1.4 | 54 | 27.8 | NA | 175 | 21.6 | 18.8 | 19.1 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | |
| 15 | 25.7.2019. | 06:42:46 | 1138 | 1114 | 1171 | 1312 | 269 | 268 | 290 | 275 | 28 | 198 | 0 | 100 | 11.9 | 1068 | 16 | 1.3 | 54 | 27.8 | 4 | 175 | 21.6 | 18.8 | 19.1 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | |
| 16 | 25.7.2019. | 06:42:52 | 1142 | 1117 | 1180 | 1311 | 271 | 268 | 292 | 278 | 28 | 194 | 0 | 100 | 11.8 | 1071 | 16 | 1.2 | 54 | 27.8 | NA | 176 | 21.6 | 18.8 | 19.1 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | |
| 17 | 25.7.2019. | 06:42:58 | 1144 | 1112 | 1183 | 1316 | 273 | 270 | 295 | 280 | 28 | 204 | 0 | 99 | 11.9 | 1060 | 16 | 1.3 | 54 | 27.8 | 2 | 176 | 21.6 | 18.9 | 19.1 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | |
| 18 | 25.7.2019. | 06:43:04 | 1151 | 1119 | 1179 | 1314 | 275 | 272 | 297 | 283 | 28 | 195 | 0 | 99 | 11.9 | 1074 | 16 | 1.3 | 55 | 27.9 | 4 | 176 | 21.6 | 18.9 | 19.1 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | |
| 19 | 25.7.2019. | 06:43:10 | 1150 | 1123 | 1183 | 1319 | 277 | 274 | 300 | 285 | 28 | 196 | 0 | 99 | 11.9 | 1065 | 16 | 1.4 | 55 | 27.8 | 3 | 176 | 21.6 | 18.9 | 19.1 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | |
| 20 | 25.7.2019. | 06:43:16 | 1154 | 1125 | 1188 | 1313 | 279 | 275 | 302 | 287 | 29 | 188 | 0 | 99 | 12.0 | 1066 | 16 | 1.3 | 55 | 27.8 | NA | 176 | 21.6 | 18.9 | 19.1 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | |

*Slika 21: Dijagram promjene „OPTION“ skupine parametara tijekom eksploatacije [19]*

Uz generiranje dijagrama, program nudi i opciju „Simulator“ koja otvara poseban prozor, prikazan na slici (Slika 21.), s prikaznikom uređaja EDM-700. Na njemu je moguće simulirati prikazivanje prikupljenih parametara tijekom promatranog leta. [19]




*Slika 22: Simulator programa „Ez Trends2“, sa sučeljem uređaja EDM-700 [19]*

Za svaki let moguće je i napraviti tzv. Sažetak leta odabirom na *„Flight Summary“* u sučelju programa Ez Trends2. Taj pregled nudi ispis minimalnih, maksimalnih i prosječnih vrijednosti parametara, programirane maksimalne vrijednosti. Za parametre CHT i EGT nudi konačan prosjek dobiven iz prosječnih vrijednosti za svaki cilindar te odstupanja svakog cilindra od prosječne vrijednosti za sve cilindre. Sažetak analiziranog leta moguće je vidjeti na slici u prilogu. (Slika 22.) [19]

## Flight Summary

Copyright © 1999 to 2015 by J. P. Instruments. All Rights Reserved.

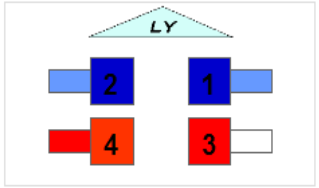
View or Edit Crew and Weather Information

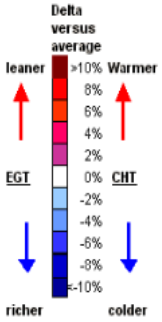
**Aircraft Number:** 9A-DMG

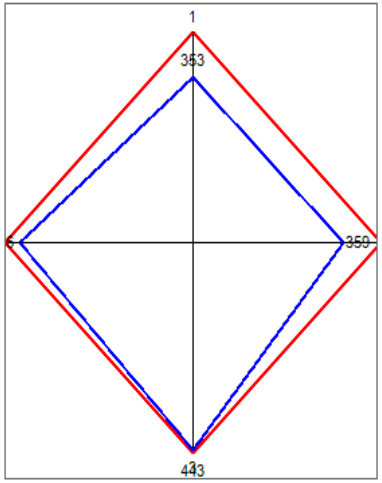
**Flight #:** 2213

| | E1 | E2 | E3 | E4 | C1 | C2 | C3 | C4 | OAT | DIF | CLD | CRB | MAP | RPM | HP | FF | OILP | BAT | AMP | OILT | USD | RFL | LFL | HRS | SPD | ALT | LAT | LNG |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MIN | 638 | 640 | 632 | 721 | 233 | 232 | 242 | 237 | 15 | 44 | 0 | 39 | 9 | 300 | 6 | 1 | 37 | 26 | -8 | 171 | 22 | 3 | 8 | | -4 | 395 | | |
| AVG | 1204 | 1211 | 1274 | 1382 | 308 | 314 | 376 | 369 | 20 | 184 | 2 | 51 | 20 | 2276 | 67 | 7 | 69 | 28 | 0 | 194 | 35 | 13 | 15 | | 89 | 6136 | | |
| MAX | 1341 | 1372 | 1403 | 1532 | 353 | 359 | 443 | 416 | 34 | 303 | 44 | 142 | 30 | 2556 | 101 | 14 | 79 | 28 | 10 | 221 | 49 | 19 | 20 | | 113 | 8344 | | |
| LIMITS | 1650 | 1650 | 1650 | 1650 | 450 | 450 | 450 | 450 | | | | | | | | | 100 | 30 | | 245 | | | | | | | | |
| AVG in% | 73 | 73 | 77 | 84 | 68 | 70 | 84 | 82 | | | | | | | | | 28 | 93 | | 79 | | | | | | | | |
| MAX in% | 81 | 83 | 85 | 93 | 78 | 80 | 98 | 92 | | | | | | | | | 32 | 93 | | 90 | | | | | | | | |

| Deltas | EGT | CHT |
|---|---|---|
| AVERAGE | 1267,75 | 341,75 |
| DELTA CYL 1 | -5 % | -9,9 % |
| DELTA CYL 2 | -4,5 % | -8,1 % |
| DELTA CYL 3 | 0,5 % | 10 % |
| DELTA CYL 4 | 9 % | 8 % |




*Slika 23: Pregled vrijednosti parametara analiziranog leta [19]*

# ZAKLJUČAK

U današnju standardnu opremu brojnih malih zrakoplova sve se češće svrstavaju upravo uređaji za praćenje parametara rada motora. Njihova upotreba jednako tako javlja se kao obavezna u brojnim programima održavanja motora. Upravo zahvaljujući razvoju tehnologije i zrakoplovstva, omogućeno je da se takvi uređaji ugrade na zrakoplove s klipnim motorima, koji i dalje prevladavaju u pogledu generalne avijacije.

Održavanje klipnih motora primjenjuje se kao preventivno putem pravilno raspoređenih inspekcija kako bi se dobio uvid u stanje motora. Uređaji navedeni i opisani u ovom radu, predstavljaju veliki korak naprijed, ne samo kao potpora postojećim sustavima održavanja, već i kao alat za aktivno praćenje i predviđanje ponašanja pogonskog sustava, čime se povećala razina sigurnosti kod klipnih motora.

U radu su navedeni komercijalni instrumenti za praćenje stanja a posebna važnost i analiza posvećena je uređaju EDM-900 proizvođača *J.P.Instruments*. Na temelju analize utvrđena je velika korisnost navedenog uređaje jer nam pruža uvid u širu sliku koju možemo dobiti praćenjem parametara. Upravo ti podatci mogu informirati osoblje za provođenje održavanja o promjenama koje nastaju zbog eksploatacije, ali također mogu pomoći i pilotima na koji način se različiti režimi pri eksploataciji odražavaju na dugoročno stanje motora.

Uređajem EDM-900 na zrakoplovu *Cessna 172* registracijskih oznaka 9A DMG izvršeno je snimanje i analiza podataka tijekom jednog leta. Uz brojne prednosti koje nam ovaj uređaj pruža, nameće se i nedostatak iskustva prilikom interpretacije vrijednosti parametara ispisanih na ekranu. Potrebno je odlično poznavanje svakog od parametara te njegove optimalne vrijednosti u kojima bi se trebao kretati kako bi smo mogli na vrijeme otkriti pojedinu nepravilnost ukoliko se ona pojavi. Sukladno svemu prethodno navedenom, može se zaključiti kako bolje poznavanje sustava izravno utječe na njegovo bolje korištenje.

Još jedna od brojnih prednosti uređaja za praćenje parametara rada klipnog motora jest ta što vrijednost njegovih informacija ne staje samo na korisnicima zrakoplova. U današnje vrijeme kada je utjecaj fosilnih goriva na okoliš od presudne važnosti, lakše ga je procijeniti uz što veću količinu relevantnih informacija kako bi se taj negativan utjecaj smanjio. Upravo zato, uz mnoge druge prednosti koje nadgledanje parametara rada motora ima na okolinu, može se reći da su uređaji koji su nam to omogućili znatno podigli razinu sigurnosti.

# LITERATURA


[1] E. Bazijanac, Zrakoplovni klipni motori, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2005.

[2] D. Jeras, Klipni motori - uređaji, Zagreb: Školska knjiga, 1991.

[3] Z. Lulič, I. Mahalec i D. Kozarac, Klipni motori, interna skripta, Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2010.

[4] D. Miljković, »Engine Monitors for General Aviation Piston Engines,« *CrSNDT Journal,* pp. 19-23, 2013.

[5] D. o. Transportation, »Reciprocating engine and exhaust vibration and temperature levels in general aviation aircraft,« Federal Aviation Administration, 1968.

[6] V. Sraga i Z. Lulić, »Emissions from General Aviation in the Republic of Croatia,« 2017.

[7] d. mr Jelenko Milaković, »Dijagnoza stanja vazduhoplovnih motora primjenom analize avio goriva, ulja i maziva,« Zenica, 2010.

[8] L. Barelli, G. Buduni, C. Buratti i R. Mariani, Diagnosis of internal combustion engine through vibration and acoustic pressure non-intrusive measurements, University of Perugia, Applied Thermal Engineering, 2009.

[9] B. Mihaljević, *Vizualne metode ispitivanja.*

[10] 03 08 2019. [Mrežno]. Available: https://www.aircraftspruce.com.

[11] 10 08 2019. [Mrežno]. Available: https://www.jpinstruments.com.

[12] 04 08 2019. [Mrežno]. Available: https://www.electronicinternational.com.

[13] »Dynon Avionics,« [Mrežno]. Available: https://www.dynonavionics.com/. [Pokušaj pristupa 8. 2019.].

[14] G. Rapids, »Grand Rapids,« 2019. [Mrežno]. Available: http://grtavionics.com/.

[15] 07 08 2019. [Mrežno]. Available: https://www.insightinstruments.com.

[16] 06 08 2019. [Mrežno]. Available: https://www.mglavionics.com.

[17] FAA approved instalation manual for the EDM-900 and EDM-930.

[18] *EDM-800, Instrument Installation Manual (rev. E),* 2009.

[19] J. Instruments, »EzTrends2 (ver. 2.2.)«.

[20] Emission Factors for Greenhouse Gas Inventories, EPA, 2015.

[21] B. I. o. NDT, Visual inspection, Level i/II, British Institute of NDT, 2000.

# POPIS SLIKA

Slika 1: Skica konstrukcijske koncepcije klipnog motora s pravocrtnim oscilacijskim gibanjem klipa ..... 3
Slika 2: Načelo rada četverotaktnoga klipnog motora ..... 5
Slika 3: Prikaz tipičnoga šestcilindričnoga zrakoplovnoga klipnog motora hlađenog zrakom ..... 7
Slika 4: Prikaz ovisnosti CHT, EGT, snage i specifične potrošnje goriva o mješavini ..... 9
Slika 5:Prikaz brzinske karakteristike motora pri punom opterećenju ..... 12
Slika 6: Izgled uređaja EDM – 800 ..... 18
Slika 7: Lijevo: prikaznik uređaja EDM Classic.Scanner Desno: prikaznik uređaja EDM-900 ..... 18
Slika 8: Prikaznik uređaja MVP- 50P ..... 19
Slika 9: Prikaznik uređaja EMS- D120 ..... 20
Slika 10: Prikaznik uređaja Grand Rapids 4000 ..... 21
Slika 11: Prikaznik i dijelovi uređaja Insight G4 ..... 22
Slika 12: Prikaznik uređaja MGL Xtreme EMS ..... 23
Slika 13: Digitalni prikaznik uređaja EDM-900 ..... 26
Slika 14: RPM i MAP prikaznik ..... 27
Slika 15: Linerani prikaznici ..... 27
Slika 16: Područje za poruke ..... 28
Slika 17: Prikaz početnog sučelja programa „Ez Trends2“ ..... 34
Slika 18: Sučelje na kojem se vrši izbor seta informacija za analizu ..... 35
Slika 19: Grafički prikaz vrijednosti parametara ..... 36
Slika 20: „MAIN“ graf uz prikaz tabličnih vrijednosti ..... 37
Slika 21: Dijagram promjene „OPTION“ skupine parametara tijekom eksploatacije ..... 38
Slika 22: Simulator programa „Ez Trends2“, sa sučeljem uređaja EDM-700 ..... 39
Slika 23: Pregled vrijednosti parametara analiziranog leta ..... 40

# POPIS TABLICA

Tablica 1: Emisijski faktori CO2 po tipu govora ..... 13
Tablica 2: Komponente uređaja EDM-900 ..... 25
Tablica 3: Opis parametara prikazanih na Scanner-u ..... 28
Tablica 4: Normalne vrijednosti općenito za zrakoplovne motore generalne avijacije ..... 31
Tablica 5: Dijagnosticiranje problema motora 1.dio ..... 32
Tablica 6: Dijagnosticiranje problema motora 2.dio ..... 33

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 Otkrivanje nepravilnosti u radu zrakoplovnog klipnog motora praćenjem radnih parametara na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 03.09.2019.

*(potpis)*