

Mjerenje parametara, analiza i optimiranje rada dizel motora

Vrvilo, Petar

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of Maritime Studies / Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:164:169792>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-26**

Repository / Repozitorij:

[Repository - Faculty of Maritime Studies - Split -
Repository - Faculty of Maritime Studies Split for
permanent storage and preservation of digital
resources of the institution](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET**

PETAR VRVILO

**MJERENJE PARAMETARA, ANALIZA I
OPTIMIRANJE RADA DIZELSKOG
MOTORA**

DIPLOMSKI RAD

SPLIT, 2020

SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET U SPLITU

STUDIJ: BRODOSTROJARSTVO

MJERENJE PARAMETARA, ANALIZA I
OPTIMIRANJE RADA DIZELSKOG
MOTORA

DIPLOMSKI RAD

MENTOR:

STUDENT:

SPLIT, 2020.

SAŽETAK

Rezultati tehnološkog razvoja su velike mogućnosti upotrebe ekspertnih sustava za dijagnostiku, nadzor i upravljanje rada motora. Razvojem dizelskih motora, dizelskog goriva te dijagnostičkih uređaja i programa, omogućeno je smanjenje omjera mase i snage motora, smanjenje emisija štetnih plinova i konačno veća iskoristivost i pouzdanost samog toplinskog stroja. U radu će biti detaljno prikazani svi dinamički i statički parametri potrebni za rad motora, princip rada motora i utjecaj elektronskog nadzora rada na sigurnost plovidbe. Izvest će se mjerenje parametara rada brodskog dizelskog motora u različitim režimima rada, upotrebom programa za nadzor i optimiranje rada. Mjerenja će biti izvedena na brodskom elektronski upravljanim dizelskom motoru proizvođača STEYRMOTORS Austrija, upotrebom elektroničkog dijagnostičkog alata. Dobiveni rezultati detaljno će se prikazati i analizirati u cilju dijagnostike stanja i postizanja najviših dopuštenih snaga i iskoristivosti tog istog motora..

Ključne riječi: *Parametri rada, dizelskog motor, optimiranje*

SUMMARY

The results of technological development are great opportunities for

the use of expert systems for diagnostics, monitoring and control of engine operation. With the development of diesel engines, diesel fuel and diagnostic devices and programs, it is possible to reduce the ratio of mass and power of the engine, reduce emissions and finally increase the efficiency and reliability of the heat engine itself. The paper will present in detail all the dynamic and static parameters required for engine operation, the principle of engine operation and the impact of electronic monitoring of navigation safety. Measurement of the operating parameters of the marine diesel engine in different operating modes will be performed, using the program for monitoring and optimizing the operation. The measurements will be performed on a marine electronically controlled diesel engine manufactured by STEYRMOTORS Austria, using an electronic diagnostic tool. The obtained results will be presented and analyzed in detail in order to diagnose the condition and achieve the maximum allowable power and efficiency of the same engine.

Keywords: Operating parameters, diesel engine, optimization

SADRŽAJ

| | |
|--|-----------|
| 1. UVOD..... | 5 |
| 2. PROCES RADA DIZELSKIH MOTORA..... | 6 |
| 3. FAZE IZGARANJA DIZELSKOG MOTORA..... | 9 |
| 3.1. ZAKAŠNJELO ZAPALJENJE..... | 9 |
| 3.2. FAZA IZGARANJA PRETHODNO MIJEŠANJEM PRIPREMLJENE SMJESE. | 10 |
| 3.3. KONTROLIRANO IZGARANJE..... | 10 |

| | |
|--|----|
| 3.4. DOGORIJEVANJE..... | 10 |
| 4. STEHIOMETRIJSKI OMJER IZGARANJA..... | 11 |
| 5. IZLAZNE KARAKTERISTIKE MOTORA..... | 12 |
| 5.1. IZLAZNA SNAGA MOTORA..... | 12 |
| 5.2. KORISNOST DIZELSKOG MOTORA..... | 14 |
| 5.3. SPECIFIČNA POTROŠNJA GORIVA..... | 15 |
| 6. PARAMETRI RADA DIZELSKOG MOTORA..... | 16 |
| 7. TEHNOLOGIJA MJERENJA PARAMETARA RADA STEYR MOTORA..... | 17 |
| 7.1. OPIS ELEKTRONIČKE OPREME MOTORA..... | 20 |
| 7.1.1. Upravljačka jedinica..... | 20 |
| 7.1.2. Elektromagnet za upravljanje snagom..... | 22 |
| 7.1.3. Osjetnik okretaja koljenastog vratila..... | 22 |
| 7.1.4. Osjetnik položaja letve ubrizgača..... | 23 |
| 7.1.5. Osjetnik položaja pomaka ubrizgavanja..... | 24 |
| 7.1.6. Osjetnik tlaka prednabijanja na sustavu usisa..... | 24 |
| 7.1.7. Osjetnik tlaka ulja za podmazivanje..... | 25 |
| 7.1.8. Osjetnik temperature sustava rashlada..... | 26 |
| 7.1.9. Osjetnik temperature zraka na usisu motora..... | 27 |
| 7.1.10. Osjetnik temperature ispušnih plinova..... | 27 |
| 7.1.11. Potencijometar za reguliranje opterećenja..... | 28 |
| 7.1.12. Osjetnik tlaka dobave goriva..... | 28 |
| 8. NADZOR I MJERENJE NAJVAŽNIJIH PARAMETARA MOTORA..... | 29 |
| 8.1. OBRADA PODATAKA..... | 32 |
| 8.1.1. Spajanje i snimanje parametara..... | 32 |
| 8.1.2. Snimanje i obrada snimljenih pogreški..... | 35 |
| 8.1.3. Mjerenje parametara rada motora..... | 38 |
| 9. ANALIZA IZMJERENIH PARAMETARA MOTORA..... | 45 |

| | |
|--|----|
| 9.1. STANJE U DRUGOJ SEKUNDI | 45 |
| 9.2. STANJE U PERIODU OD 6-25 SEKUNDE..... | 48 |
| 9.3. STANJE U 60-TOJ SEKUNDI..... | 52 |
| 10. OPTIMIRANJE RADA..... | 57 |
| 11. ZAŠTITA MOTORA RASTEREĆENJEM..... | 60 |
| 12. ZAKLJUČAK..... | 61 |
| LITERATURA..... | 62 |
| POPIS SLIKA..... | 63 |
| POPIS TABLICA | 65 |

1. UVOD

Tema istraživanja je prikupljanje i obrada podataka tijekom rada motora u različitim režimima rada, te njihova analiza i optimiranje. Suvremeni dizelski motori ne razlikuju se po načelima samog rada, odnosno pretvaranja kemijske energije u toplinsku procesom izgaranja, a zatim u mehaničku termodinamičkim procesom ekspanzije plinova izgaranja. Osnovni uvjeti rada motora su ostvarivanje tlaka zraka u cilindru tijekom kompresije (zbog postizanja optimalne temperature), što finije „doziranje“ goriva u točno određenom trenutku. Geometrijski stupanj kompresije je konstrukcijski određen, te nije moguća regulacija tijekom rada motora (postoje neke izvedbe ovakvih motora ali su vrlo rijetke i uglavnom neprimjenjive u praksi), dok su dobava zraka i goriva vrlo promjenjive i utjecajne za pravilan rad motora. Suvremeni motori opremljeni su raznim oblicima prednabijanja (različiti tipovi turbopuhala i kompresora) koji omogućuju bolje ispiranje i veću količinu smjese za izgaranje, a samim time i jači moment odnosno snagu motora.

Sukladno dobavi zraka, u cilindar se ubrizgava točno određena količina goriva i u točno određenom trenutku. Tehnološkim razvojem ostvareni su uvjeti za elektronsku kontrolu ubrizgavanja, koja je uvelike doprinijela određivanju trenutka ubrizgavanja pa i u više navrata tijekom jednog ciklusa. Upravo je ovaj parametar najkompleksniji za regulaciju, za što nam koriste razni oblici programa zvan i „mape goriva“. Mape goriva izrađuju se u ovisnosti o većem broju parametara što će biti detaljnije opisano u radu. Testiranje rada motora izvodi se na kočnicama koje mogu biti raznih izvedbi, ali sve imaju jednak zadatak a to je mjerenje krivulje rada motora (krivulje snage). Tijekom testiranja, specijalno izrađeni programi fino korigiraju mape goriva kako bi se ostvarila projektirana

snaga motora. Konačno se mape goriva pohranjuju u računalo koje upravlja motorom i štiti ga od potencijalnih oštećenja.

2. PROCES RADA DIZELSKIH MOTORA

Kod dizelskih motora, izgaranje se odvija trenutkom ubrizgavanja goriva u cilindar sa vrućim zrakom. Gorivo se kroz visokotlačni ubrizgač, ubrizgava nešto prije gornje mrtve točke (oko 23 stupnja, promjenjivo u ovisnosti o brzini vrtnje motora). Nakon ubrizgavanja nastaje faza tzv. zakašnjenje zapaljenja, a to je faza u kojoj se gorivo rasprši i pomiješa sa vrućim zrakom u obliku fine magle (što je tlak ubrizgavanja veći to je i finija ubrizgana magla). Daljnjim kretanjem klipa prema GMT, prethodno pripremljena smjesa se trenutno pali dosezanjem temperature samozapaljenja što se naziva izgaranje homogene smjese. Nadalje se događa kontrolirano, odnosno difuzijsko izgaranje, a to je izgaranje smjese goriva i zraka koja nije sudjelovala u trenutku samozapaljenja. Zatim slijedi - dogorijevanje. Izgaranje u motoru uvelike ovisi o sustavu za ubrizgavanje koje se desetljećima razvijalo u cilju optimiranja izgaranja, odnosno smanjenju tlakova izgaranja a povećanju efikasnosti. Kod klasičnog ubrizgavanja visotlačna pumpa preko razvodnika ispušta tzv. tlačni val koji se širi cjevovodom do ubrizgača. Kako je ubrizgač fino podešen za otvaranje na određeni tlak, tako se gorivo kroz rupice sapnice ispušta u cilindar. Zapaljenje smjese najprije se događa istovremeno na više mjesta, ovisno o broju rupica sapnice te se intezivno odvija uzrokujući povećanje tlaka i temperature. Nastale pare miješaju se sa zrakom, te se uključuju u već nastali plamen. Ovu fazu nazivamo difuzijsko izgaranje jer je brzina izgaranja definirana utjecajem procesa difuzije, miješanja goriva i zraka. U zadnjoj fazi izgaranja brzina tijekom reakcije opada sukladno padu temperature koja je naravno sve niža odvijanjem ekspanzije.

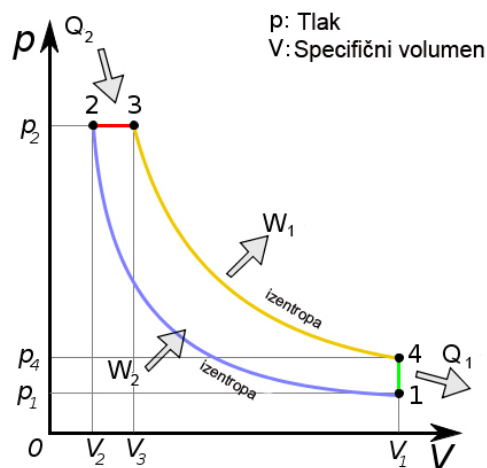
Naravno, utjecaj na kvalitetu izgaranja, brzinu izgaranja, period difuzijskog izgaranja ovisi o kompresijskoj postignutoj temperaturi, količini

zraka, pretičku zraka i naravno tehničkoj ispravnosti sustava, a ponajprije ubrizgača. Sapnice ubrizgača ne smiju imati propuštanja zbog pojave nepotpunog izgaranja pri čemu se stvara veća količina CO i i neizgorenih ugljikovodika.

Utjecaj na izgaranje uvelike ima i konstrukcija samog motora i to na slijedeći način:

- Izvedba elemenata usisa koji doprinose nesmetanom strujanju zraka u usis motora, naročito ukoliko je ugrađen sustav za hlađenje zraka, pri čemu se smanjenjem temperature (kod motora sa prednabijanjem) povećava količina usisnog zraka.
- Oblik i smještaj usisnih i ispušnih ventila koji moraju omogućavati što bolju izmjenu radnog medija, odvod ispušnih plinova te usis svježeg zraka.
- Oblik i broj rupica na sapnici ubrizgača. Geometrija sapnice ovisi o tipu motora, gorivu i tlaku ubrizgavanja.
- Težnja je da svi ovi parametri budu optimirani za postizanje što pravilnijeg izgaranja.

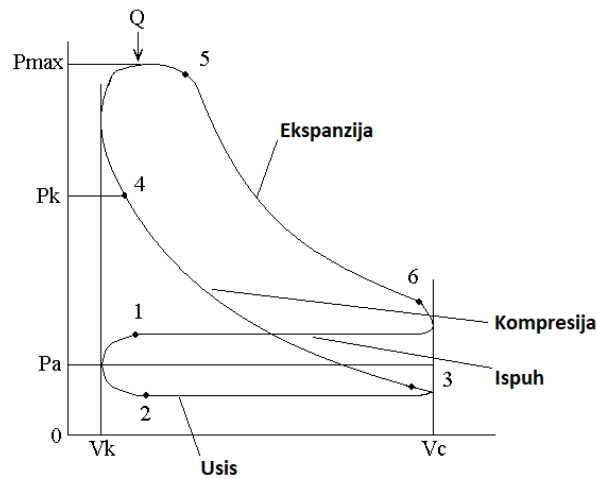
Dizel ciklus izgaranja je definiran dijagramski, ali se teoretski dizel ciklus nešto razlikuje od realnog, što je vidljivo u prikazu



Slika 1. Teoretski dijagram dizel procesa P-V dijagram [7]

Na prikazanom dijagramu faze su označene od 1.-4. Vidljivo je kako se od točke 1. do točke 2. odvija izentropska kompresija, tj. nema promjene entropije sustava. Proces od točke 2. do točke 3. je pri stalnom tlaku, odnosno izobarni proces zagrijavanja u kojem se događa zapaljenje smjese. Nadalje, prikazano područje od 3.-4. je ekspanzija nakon izgaranja koja se također odvija izentropski (svaki adijabatski proces se u biti odvija izentropski). Razlika ova dva sustava je u tome što se kod izentropskog procesa ne događa promjena entropije, dok kod adijabatskog procesa nema nastanka niti odvođenja toplinske energije, odnosno toplinska energija je konstantna. Proces prikazan od 4.-1. je izohorno hlađenje.

Oznaka w_2 je rad klipa koji komprimira radnu tvar, a w_1 je rad dobiven ekspanzijom radne tvari. Oznaka q_2 je toplina dobivena izgaranjem goriva, dok je q_1 odvedena toplina ulaskom zraka.



Slika 2. Rad četverotaktnog motora u P-V dijagramu (realni proces) [7]

Linija usisa ide nešto ispod atmosferskog tlaka P_a , a zatim slijedi kompresija do točke 4. U fazi označenoj od 4. do 5. odvija se izgaranje čime se dovodi toplina q . Od točaka 5. do 6. događa se ekspanzija, dok se u točki 6. otvara ispušni ventil, a posljednji takt je istiskivanje plinova s tlakom nešto većim od atmosferskog. Od točke 6. do kraja četvrtog takta odvodi se toplina q izmjenom medija.

3. FAZE IZGARANJA DIZELSKOG MOTORA

Izgaranje u dizelskom motoru je vrlo kompleksno i često je obrađivano područje stručnjaka, no svi su više-manje složni kako ono uključuje fizičke i kemijske elemente.

Izgaranje su opisali u slijedećim fazama i to:

- zakašnjelo zapaljenje,
- faza izgaranja prethodno miješanjem pripremljene smjese,
- kontrolirano izgaranje,
- dogorijevanje.

3.1. ZAKAŠNJELO ZAPALJENJE

Ovo je jedna od najbitnijih faza koja je definirana vremenom od trenutka ubrizgavanja pa do stvaranja nužne jezgre zapaljenja, koja je preduvjet za nastanak zapaljenja. Ovo vrijeme mora biti strogo određeno u najpovoljnijem trenutku kako bi se zapaljenje smjese dogodilo upravo u najpovoljnijem položaju koljenastog vratila, za ostvarivanje najvećeg momenta na koljenasto vratilo. Izuzetno je utjecajno na pojavu naglog opterećenja glavnih elemenata motora, kao i na stvaranje buke ukoliko je ubrizgavanje prerano. U preranom zapaljenju dolazi do povećanja opterećenja na čelo klipa i cijelog mehanizma, te do pada snage motora zbog pada momenta na koljenastom vratilu.

Kod zakašnjelog zapaljenja postoje fizikalno i kemijsko zakašnjenje. Fizikalno zakašnjenje se prvenstveno odnosi na raspršivanje ubrizganog goriva, miješanje goriva i zraka, isparavanje goriva te miješanje goriva i plamena. Ovo je faza formiranja gorive smjese u cilindru nakon ubrizgavanja.

Kemijsko zakašnjenje odnosi se prvenstveno na oksidaciju

predplamena i lokalno zapaljenje.

Nakon pojave lokalnih zapaljenja, stvara se dovoljno topline za potpuno zapaljenje smjese.

3.2. FAZA IZGARANJA PRETHODNO MIJEŠANJEM PRIPREMLJENE SMJESE

Sam smisao izgaranja smjese odnosi se na smjesu koja je nastala od početka do kraja ubrizgavanja, tj. u zakašnjelom zapaljenju. Tijekom prve faze nastaje isparavanje i atomizacija ubrizganog goriva, tijekom čega se stvaraju kemijske reakcije predzapaljenja. Nakon postizanja temperature samozapaljenja, dolazi do nagle oksidacije (zapaljenja) tijekom čega nastaju visoke temperature i tlakovi u cilindru. Ova faza direktno utječe na stvaranje detonacija i zvukova tijekom rada dizelskog motora stoga se mora voditi računa o što bolje pripremljenoj smjesi, te što pravilnije podešenom vremenu ubrizgavanja.

3.3. KONTROLIRANO IZGARANJE

Ovo je faza u kojoj se događa izgaranje smjese koja nije sudjelovala u zakašnjelom zapaljenju i ona kao takva nastaje isparavanjem goriva. Brzina izgaranja ovisi o brzini stvaranja smjese goriva i zraka. Temperatura izgaranja je nešto niža nego kod zakašnjelog zapaljenja.

3.4. DOGORIJEVANJE

Dogorjevanje je zadnja faza izgaranja i obično traje polovinu ukupnog trajanja izgaranja, budući su reakcije usporene fazom ekspanzije, u kojoj dolazi do pada temeperature i tlaka u cilindru. Kako se dogorjevanje događa za vrijeme ekspanzije, tako dolazi do povišenja temperature ispušnih plinova i povišenog odvođenja temperature. Ukoliko bi se dogorjevanje događalo intezivnije zbog npr. kasnijeg ubrizgavanja goriva, zbog povišenih temperature došlo bi do većeg toplinskog opterećenja košuljice i ventila. Ovaj faktor naravno utječe na korisnost motora kao toplinskog uređaja.

4. STEHIOMETRIJSKI OMJER IZGARANJA

Izgaranje je kemijski proces pri kojem dolazi do oksidacije gorivih elementa, pri čemu se oslobađaju značajne količine toplinske energije, dakle to je egzoterman proces. Gorivi elementi su ugljik (C), vodik (H) i sumpor (S). Samo izgaranje je vrlo složen proces, a o toku samog procesa ovisi i iskorištenje goriva te emisija spojeva koji u tom procesu nastaju. Stehiometrijski omjer definiramo kao optimalan omjer zraka i goriva, koji osigurava optimalno i potpuno izgaranje smjese. Mehanizam izgaranja vrlo je kompleksan i još nije u potpunosti pojašnjen. Pod pojmom „potpuno izgaranje“ smatra se izgaranje koje kao rezultat ima CO_2 , N_2 i H_2O pri čemu se stehiometrijski omjer može izračunati iz izraza:

$$\frac{Z}{0} = 137,85 \left(\frac{c}{12,01} + \frac{h}{4,032} + \frac{s}{32,06} + \frac{o}{32} \right) [3]$$

gdje su: c - maseni udio ugljika u gorivu, h - maseni udio vodika u gorivu, s - maseni udio sumpora u gorivu i o - maseni udio kisika u gorivu.

5. IZLAZNE KARAKTERISTIKE MOTORA

Kod dizajniranja i konstruiranja dizelskog motora uobičajeno je postaviti zadatak projektantima i dizajnerima kako bi se točno znalo „što se od motora traži“. Primarni zahtjevi su namjena, izlazna snaga motora, korisnost i ekonomičnost. U današnje vrijeme jako je bitan i faktor izgaranja, tj. emisije ispušnih plinova. Pod pojmom namjena, smatra se način eksploatacije predmetnog motora što definira masu motora, te kompaktnost. Steyr motori prema korištenju se klasificiraju kao motori: „Visoke snage - HO“, „Naizmjeničan rad - INT“ i „Kontinuirani rad - MCD“. Postoje i još neke manje korištene podnamjene.

Kod „HO“ motora izrazito su važni masa i kompaktnost motora pa se ti motori uobičajeno konstruiraju sa visokim brojem okretaja (zbog izlazne snage), te se i nazivaju brzohodni motori. „INT“ motori je uobičajeno kompromis brzine vrtnje koljenastog vratila i kompaktnosti, odnosno broj okretaja takvih motora se kreće od oko 1800 do 2800 okretaja u minuti, dok se „MCD“ motori koriste kod aplikacija gdje su najbitniji vijek trajanja motora i visoka ekonomičnost a na račun mase i prostora.

U ovom radu težište je na brzohodnom „HO“ brodskom dizelskom motoru.

5.1. IZLAZNA SNAGA MOTORA

Kao što je već napisano, izlazna snaga motora je glavna karakteristika projektiranog dizelskog motora, a ona kao takva predstavlja osnovni zahtjevni parametar.

Definirana je kao umnožak maksimalnog zakretnog momenta motora na određenim okretajima motora i izračunava se prema izrazu $P=M \cdot \omega$ gdje je, P - snaga motora, M - zakretni moment motora i ω – kutna brzina motora

Kod izračuna snage prema navedenom izrazu, zakretni moment se izražava u Nm, a okretaji motora u jednoj minuti (o/min). Motor u principu izvodi rad u nekom sustavu, dok je snaga u stvari brzina izvođenja tog rada.

Predmetni izraz je izračunska snaga motora, koja u eksploataciji može i odstupati od stvarne izlazne snage (zbog prisutnosti drugih utjecajnih parametara tijekom izgaranja) pa se uobičajeno motor testira na probnom stolu odnosno, kočnici. Kočnicu predstavlja uređaj (obično hidraulički ili elektromagnetski) koji opterećenjem koči motor tijekom rada pri čemu se mjere svi mogući parametri rada motora, te se formiraju krivulje kao što su krivulja snage, krivulja potrošnje goriva, krivulja ubrizgavanja, temperaturna krivulja i niz drugih.

Kod manjih motora koristi se elektromagnetska kočnica koja se svojim magnetskim poljem suprotstavlja zakretnom momentu motora pa se preko senzora mjeri nastala elektromagnetska sila kočnice (elektromotora) te se iz nje dobiva snaga motora. Snaga dobivena kočenjem je i stvarna izlazna snaga motora.

Izravnom primjenom tlaka na čelo klipa, dobiva se indicirana snaga tako što se integriranjem promjene tlaka potpunog ciklusa izgaranja, dobije vrijednost tlaka koja se koristi u izračunu indicirane snage motora.

Izrazi indicirane i stvarne efektivne snage dobivene na kočnici se razlikuju, a one glase

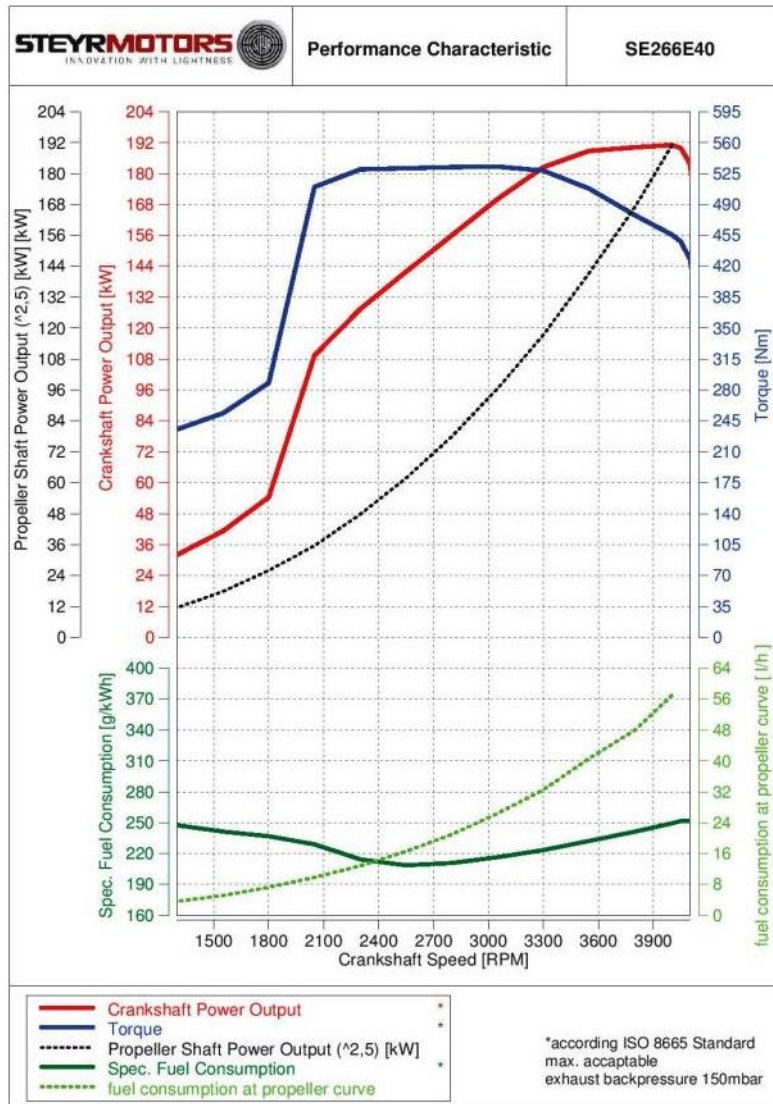
$$P_i = z \cdot V \cdot p_i \cdot \frac{2n}{T} \text{ (kW) [1]}$$

$$P_e = z \cdot V \cdot p_e \cdot \frac{2n}{T} \text{ (kW) [1]}$$

gdje je, z – broj cilindara, V – radni volumen motora (dm³), P_i - indicirani tlak u cilindru (Pa), P_e – efektivni tlak u cilindru (Pa), n – broj okretaja (o/min), T –

taktnost motora.

Razlika između indicirane snage i efektivne snage je tzv. snaga gubitaka, koja se koristi unutar motora za pokrivanje trenja mehanizma i pogona pomoćne opreme motora



Slika 3. Krivulje momenta snage i potrošnje goriva [6]

5.2. KORISNOST DIZELSKOG MOTORA

Izgaranjem smjese goriva i zraka u cilindru motora proizvodi se *indicirani* rad w_i . Od tog se rada najprije namiruje rad *mehaničkih gubitaka* u motoru w_m , a preostali se dio odvodi od koljenastog vratila kao koristan *efektivni* rad $w_e = w_i - w_m$

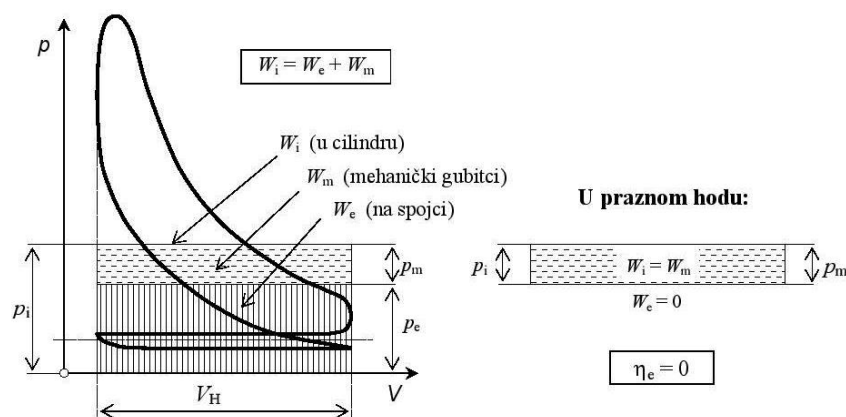
Osim radom w_m , srednjim tlakom p_m i snagom P_m , mehanički se gubitci mogu iskazivati i mehaničkim stupnjem korisnosti.

Pri radu bez opterećenja, motor na spojci ne daje nikakvu snagu iako troši gorivo za

svladavanje unutarnjih otpora. U tom je slučaju rad proizveden u cilindru jednak radu

mehaničkih gubitaka: $w_i = w_m$, pa je mehanički stupanj korisnosti jednak

nuli. Dakle, gubi se uvid u veličinu mehaničkih gubitaka. Zbog toga mehanički stupanj korisnosti nije pogodna veličina za opisivanje mehaničkih gubitaka kod malog opterećenja i u praznom hodu.



Slika 4. Mehanički stupanj korisnosti [2]

5.3. SPECIFIČNA POTROŠNJA GORIVA

Tijekom konstruiranja dizelskog motora, u moderno doba koriste se razni računalni programi za simulaciju rada dizelskog motora sa ciljem kako bi se izvela što bolja inačica motora. Jedan od takvih programa je i AVL simulator koji služi za optimizaciju motora, odnosno simuliranje rada motora sa simuliranom promjenom parametara gdje se u konačnici iskazuje i potrošnja goriva.

Suvremeni motori imaju potpunu kontrolu i nadzor točne količine goriva ubrizgane u cilindar pri svakom ciklusu, tako da je stvarna potrošnja goriva točno poznata te se izražava u masi po kilovat satu.

Ovisnost specifične potrošnje goriva i korisnosti iskazuje se jednadžbom:

$$\eta = \frac{P}{m_g} \cdot H_d = \frac{1}{b_d} \cdot H_d \quad [1]$$

$$b_d = \frac{m_g}{P} = \frac{1}{\eta} \cdot H_d \quad (\text{g/kWh}) \quad [1]$$

gdje je, η – korisnost motora, P – snaga motora, m_g – masa goriva, H_d – donja ogrijevna vrijednost goriva, b_d – specifična potrošnja goriva

6. PARAMETRI RADA DIZELSKOG MOTORA

Parametri rada dizelskog motora dijele se na dvije grupe i to na nepromjenjive i promjenjive parametre. Nepromjenjivi parametri su volumen motora, radni tlak u cilindru i temperatura izgaranja, dok su promjenjivi parametri rada količina goriva i zraka.

Volumen, odnosno zapremina motora je konstrukcijska karakteristika, te kao takva nije podložna promjenama. Tijekom ciklusa izgaranja postiže se radni tlak u cilindru izgaranjem pri određenim temperaturama izgaranja. Na ove parametre se ne može utjecati tijekom rada motora tako da i oni pripadaju skupini nepromjenjivih parametara.

U skupinu promjenjivih parametara rada motora spadaju količina goriva i zraka dopremljena u cilindar motora. Količina goriva je ujedno i glavni promjenjivi parametar, budući se promjenom količine ubrizganog goriva direktno utječe na razvijanje snage u motoru, odnosno povećanje ili smanjenje broje okretaja samog motora. Promjena količine zraka u cilindru ovisna je o tlaku prednabijanja koji je reguliran radom sustava za prednabijanje.

7. TEHNOLOGIJA MJERENJA PARAMETARA RADA STEYR MOTORA

Radna pouzdanost i raspoloživost podrazumijevaju se kao osnovni zahtjevi brodskih porivnih sustava. Tehnološkim napretkom i digitalizacijom postignut je velik napredak u razvoju dijagnostičke tehnologije, kojom je vrlo lako provoditi nadzor i mjerenje parametara rada motora.

Nadzor rada motora u principu se izvodi neposrednim mjerenjem parametara rada koji se neprekidno uspoređuju i obrađuju, a sve u cilju detekcije i dijagnoze kvara, te automatskim nadzorom i zaštitom motora.

STEYR motor je razvijen posebno za upotrebu u plovilima, iznimno u vozilima i letjelicama.

Motor je konstruiran i izveden tehnologijom „monoblock“ izvedbe što znači da motor nema odvojen poklopac cilindara od bloka motora, već su cilindri izvedeni kao „slijepi“ provrti u bloku motora sa provrtima za ventile, ubrizgač i grijač.

Promatrani motor je STEYR SE266 E40 sa direktnim ubrizgavanjem goriva, sa pumpa-ubrizgačem u dva stupnja ubrizgavanja pod radnim tlakom od 2000 *bar*

Karakteristike motora:

- zapremina 3,2 l,
- 4-takta sa turbopunjačem,
- 192 kW/4000 rpm,
- indirektni sustav hlađenja,

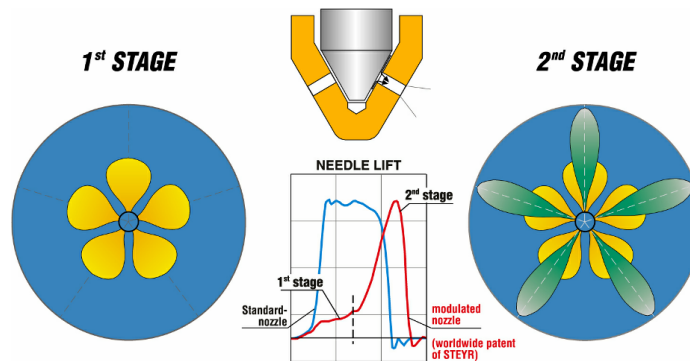
- promjer cilindra 85 mm,
- hod klipa 94 mm.



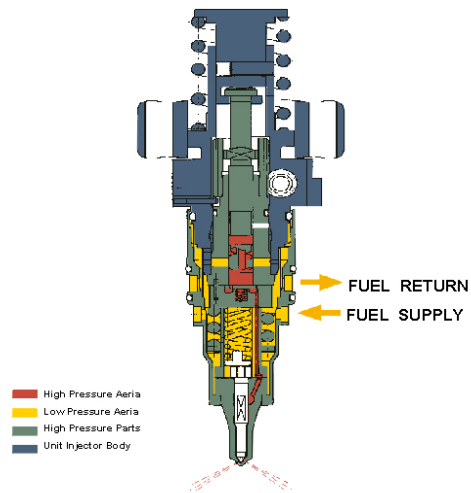
Slika 5. Izvedba Steyr motora [6]



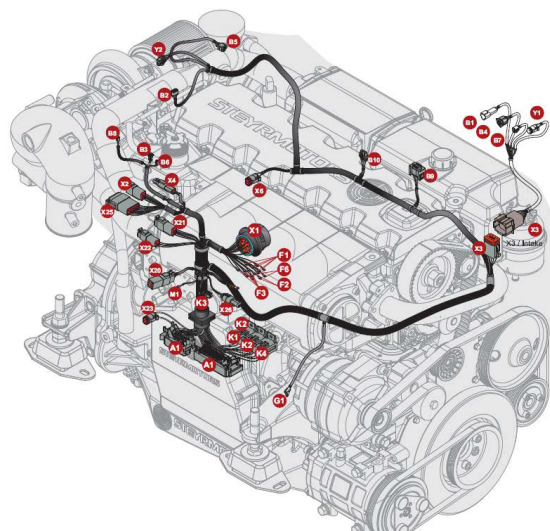
Slika 6. Presjek bloka motora [6]



Slika 7. Prikaz sapnice ubrizgača [6]

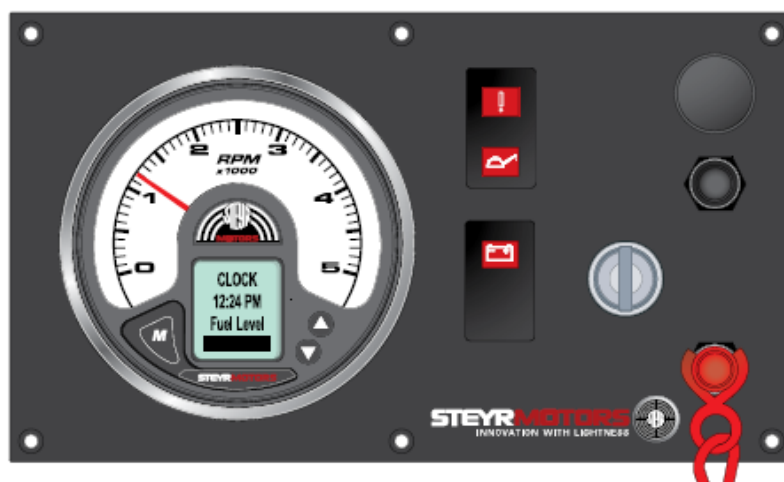


Slika 8. Ubrizgač [6]



| Designation connector | Description |
|-----------------------|-----------------------------------|
| A1 | M1CU |
| B1 | Rack Position Sensor |
| B2 | Injection Timing Position Sensor |
| B3 | Speed Sensor |
| B4 | Manifold Absolute Pressure Sensor |
| B5 | Lubricant Pressure Sensor |
| B6 | Engine Coolant Temperature Sensor |
| B7 | Air Charge Temperature Sensor |
| B8 | Exhaust Temperature Sensor |
| B9 | Pedal/Accelerator |
| B10 | Fuel Supply Pressure |
| F1 | 25A VBATT |
| F2 | 20 Amp à Fuel Pump |
| F3 | 20 Amp à M1CU |
| F4 | 50 Amp à Glow Plugs |
| F5 | 50 Amp à Glow Plugs |
| F6 | 10 Amp à Alternator |
| G1 | Alternator |
| K1 | Main Relay |
| K2 | Fuel Pump Relay |
| K3 | Glow Plug Relay |
| K4 | Start Engine Relays |
| M1 | Starter |
| X1 | Panel |
| X2 | Diag |
| X3 | Intake |
| X4 | WIF |
| X6 | Fuel Pump |
| X20 | Hybrid |
| X21 | Option MET/FDS |
| X22 | Option Trim/Gear |
| X23 | Solas |
| X25 | Option VTG/SCI |
| X26 | Option 2-Pol |
| Y1 | Fuel Metering Solenoid |
| Y2 | Injection Timing Valve |

Slika 9. Prikaz elektroničke opreme motora [6]



Slika 10. Upravljačka ploča motora [6]

7.1. OPIS ELEKTRONIČKE OPREME MOTORA

Kako bi nadzor i upravljanje motorom uopće bilo moguće, potrebno je uz dijagnostičke alate imati i elektronički opremljen motor (osjetnike i izvršne elemente) koji će u svakom trenutku surađivati preko upravljačke jedinice sa dijagnostičkim alatom.

Sustav upravljanja motorom izveden je glavnom upravljačkom jedinicom (ECU – upravljačka jedinica motora) koja preko skupine senzora nadzire i kontrolira rad motora.

Motor je opremljen sa slijedećim komponentama:



Slika 11. Modul za spajanje motora i dijagnostičkog alata [5]

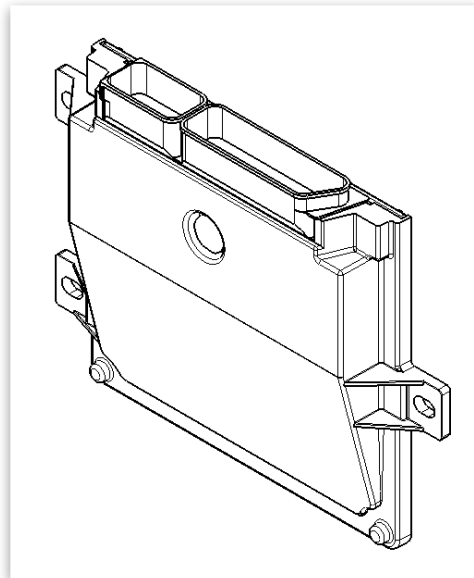
7.1.1. Upravljačka jedinica

Upravljačka jedinica smještena je na desnom dijelu motora i preko ožičenja je spojena sa svim osjetnicima i izvršnim elementima. U jedinici je pohranjen program za nadzor i upravljanje motorom, takozvana „mapa“ motora. Mapa motora je baza podataka svih mogućih vrijednosti koje mogu biti očitane osjetnicima raspoređenim na motoru, sadrži program za upravljanje motorom preko elektromagneta za dodavanje količine goriva. Osim očitavanja vrijednosti preko osjetnika, uloga upravljačke jedinice je i detektiranje potencijalnih nepravilnosti u radu, odnosno detektiranje kvarova i zaštita motora od posljedičnih kvarova.

Ukoliko su očitane vrijednosti sa senzora izvan očekivanih i zadanih, upravljačka jedinica registrira pogrešku u radu kojoj dodjeljuje kod, takozvani pogrešan kod, odnosno „fault code“. Svaki kod potencijalne pogreške dodjeljuje se po unaprijed programiranim kombinacijama, te prema istim kriterijima ograničava ili zaustavlja motor. Isto tako se uz pogrešku dodaje i status koji označava prirodu pogreške, tj. ona može biti trenutna, stalna ili ponavljajuća. Potencijalni kvarovi koji mogu posljedično utjecati na veće havarije motora, a zabilježeni su u radu (kao što su tlak ulja, temperatura, rashladne tekućine) program registrira kao visokorizične te ograničava snagu motora kako se ne bi mogao ignorirati nedostatak, pa na taj način štiti motor od veće havarije. Kod ovih motora u pravilu ne dolazi do potpunog zaustavljanja motora, jer se smatra kako je daljnje korištenje pod ovakvim alarmom, u principu korištenje u nuždi, stoga potpunim zaustavljanjem mogu ugroziti sigurnost broda i posade. Upravljačka jedinica posjeduje integriran sustav prepoznavanja pojave grešaka u sustavu jedinice i bez spajanja dijagnostičkog programa. Naime, reagira preko svjetlosnog i zvučnog signala na upravljačkoj ploči. Na upravljačkoj ploči postavljena su tri svjetlosna signala i to za napon, za tlak sustava

podmazivanja i svjetlosni signal općeg alarma. Ukoliko je došlo do pojave grešaka pri postavljanju napona u sustav (okretanje kontakt ključa) javlja se zvučni signal u trajanju od 10 sekundi, dok je uobičajen zvučni signal 3 sekunde.

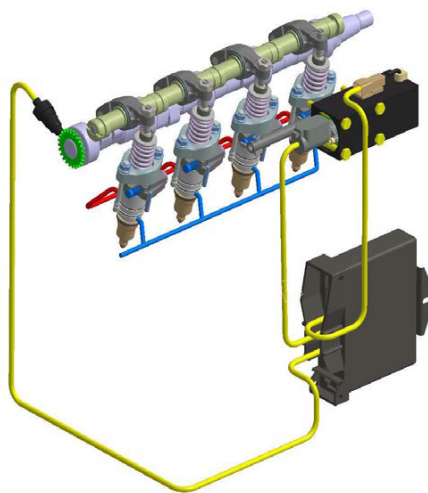
Kombinacijom zvučnog i svjetlosnog alarma moguće je pretpostaviti nekoliko osnovnih grešaka nužnih za „zaključak na daljinu“. Manje važni alarmi se ne pojavljuju na upravljačkoj ploči jer se smatra kako je motor u voznom stanju.



Slika 12. Upravljačka jedinica [6]

7.1.2. Elektromagnet za upravljanje snagom

Upravljanje snagom motora ostvaruje se preko letve koja je povezana i kalibrirana sa svim ubrizgačima, a ista se pokreće preko elektromagneta (elektromagnet za upravljanje snagom). Tijekom upravljanja, Kontrolna jedinica podizanjem i spuštanjem ulaznog napona elektromagneta, ostvaruje pomak letve od minimalnog do maksimalnog položaja. Uz elektromagnet, na letvi se nalazi i osjetnik koji „informira“ upravljačku jedinicu o stvarnom položaju letve. Letva i senzor su strogo kalibrirani za maksimalni hod, tako da je upravljačka jedinica u svakom trenutku upoznata sa položajem letve, odnosno stupnjem „otvorenosti“ ubrizgača.



Slika 13. Prikaz sustava upravljanja ubrizgačima [6]

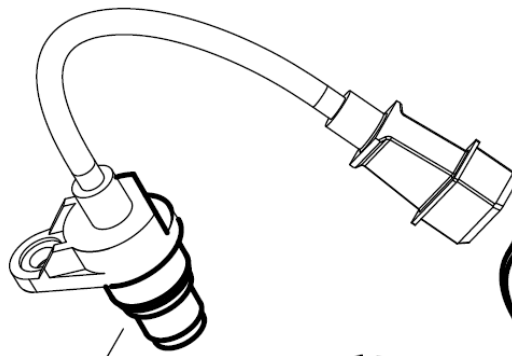
7.1.3. Osjetnik okretaja koljenastog vratila

Jedan od osnovnih parametara u radu motora je broj okretaja koljenastog vratila koji mora biti poznat u svakom trenutku, a služi za usporedbu „traženog“ i „dobivenog“ opterećenja motora.

Nalazi se na stražnjem dijelu motora i registrira okretanje bregaste osovine elektromagnetskim impulsima koje šalje u kontrolnu jedinicu na

obradu. Prema okretajima bregastog vratila određuje se točan broj okretaja koljenastog vratila.

Promjena režima rada motora isključivo se registrira preko osjetnika broja okretaja motora, koji se u tom trenutku uspoređuje sa ubrizganom količinom goriva, tlakom prednabijanja te se određuje trenutno opterećenje motora.



Slika 14. Osjetnik okretaja koljenastog vratila [6]

7.1.4. Osjetnik položaja letve ubrizgača

Osjetnik položaja letve smješten je na prethodno opisanom solenoidu i za zadaću ima praćenje promjena položaja letve ubrizgača, te o tome „informirati“ upravljačku jedinicu kako bi u svakom trenutku jedinica mogla kontrolirati opterećenje motora. Osjetnik je izveden u obliku elektromagnetskog potencijometra koji mijenja otpor i time mijenja povratni napon u upravljačku jedinicu (ECU) prema kojem se točno zna trenutni položaj letve, odnosno solenoida. Ovaj signal je vrlo bitan za ispravan rad motora, jer se preko njega određuje količina ubrizgavanja goriva. Nakon montaže ili zamjene istog, nužno je izvesti kalibraciju položaja sa upravljačkom jedinicom kako bi se znao odnos položaja i povratnog napona prema jedinici, te kako bi isti bio pravilno prepoznat za točno određenu količinu goriva.

Ukoliko dođe do odstupanja u kalibraciji, javlja se pogreška kalibracije i ograničava se opterećenje motora. Ukoliko je signal nepostojeći, javlja se pogreška spoja i motor nije moguće koristiti.



Slika 15. Osjetnik položaja letve ubrizgača [6]

7.1.5. Osjetnik položaja pomaka ubrizgavanja

Motor je opremljen sustavom za pomak trenutka ubrizgavanja, a izvodi se na principu zakretanja ekscentar osovine na kojoj se nalaze klackalice ubrizgača. Ekscentrom se mijenja trenutak ubrizgavanja u ranije, odnosno kasnije obzirom o opterećenju i okretajima motora, a sve u cilju pravilnijeg izgaranja i spriječavanja pojave dima tijekom rada motora. Sustav radi na principu hidrauličnog aktuatora koji preko poluge zakreće osovinu. Na istom je ugrađen osjetnik koji registrira trenutni položaj osovine tj. trenutka ubrizgavanja. Temeljem ovog podatka upravljačka jedinica određuje pomak osovine u točno određen trenutak ubrizgavanja. U slučaju postojanja pogreške na sustavu, motor registrira istu i ograničava snagu motora.



Slika 16. Osjetnik položaja pomaka trenutka ubrizgavanja [6]

7.1.6. Osjetnik tlaka prednabijanja na sustavu usisa

Dizelski motori nove generacije imaju obvezno ugrađen sustav za prednabijanje zraka zbog pravilnijeg ispiranja cilindara, ravnomjernijeg izgaranja, veće količine kisika i konačno zbog postizanja višestruko boljih karakteristika kao što su snaga i elastičnost. Prednabijanje zraka je u pravilu promjenjivo, ovisi o količini ispušnih plinova i brzini okretanja koljenastog vratila motora, pa sukladno tome nužno je posjedovati osjetnik tlaka prednabijanja u svakom trenutku rada motora. Ovaj osjetnik izrađen je sa piezoelektričnim elementom koji je vrlo osjetljiv i pruža precizne signale. Područje rada senzora je od 0-5 V, a mjeri apsolutni tlak u usisnoj grani. Temeljem ovog podatka, upravljačka jedinica izračunava točnu količinu goriva potrebnu za točno određenu količinu zraka. Svako turbopuhalo ima svoju karakteristiku rada koja je prethodno integrirana u mapu goriva motora, a koja je nužna za rad motora. Upravo iz ovog razloga, čest je slučaj posezanje amatera za zamjenskim turbopuhalom koji obično imaju ili različitu ili tek „sličnu“ krivulju, pa se u tom slučaju događaju nepravilnosti u radu motora kao što su pojava dima i čađe na nižim okretajima, a nedostatak snage na višim okretajima ili obrnuto. Kod eventualnih kvarova senzora ili nepravilnosti, upravljačka jedinica ograničava ubrizgavanje goriva u cilindar, odnosno ograničava snagu motora na način da registrira pogrešku i postavi vrijednost apsolutnog tlaka na 1 bar zbog nužne količine goriva. Upravljačka jedinica registrira pogrešku i postavlja svjetlosni alarm.



Slika 17. Osjetnik tlaka prednabijanja [6]

7.1.7. Osjetnik tlaka ulja za podmazivanje

Sustav za podmazivanje motora, je uz sustav rashlada, najvažniji pomoćni sustav motora. Tlak ulja za podmazivanje ostvaruje se preko zupčaste pumpe koja je privješena na prednji dio koljenastog vratila. Sustav je osiguran prekotlačnim ventilom koji reagira na vrijednost od 7 bara. Upravljačka jedinica u svakom trenutku mora imati podatak o tlaku sustava za podmazivanje, jer bi u slučaju pada tlaka došlo to teških oštećenja motora. Osjetnik je konstrukcijski identičan osjetniku tlaka prednabijanja i ima jednako područje rada signala od 0-5 V. Ukoliko dođe do već ranije spomenutih nepravilnosti u radu senzora, upravljačka jedinica postavlja prosječnu vrijednost tlaka sustava na 3 bara, te ograničava snagu motora. Ne zaustavlja motor u potpunosti zbog moguće vožnje u nuždi, ali registrira pogrešku i postavlja svjetlosni i zvučni alarm na upravljačkoj ploči.



Slika 18. Osjetnik tlaka ulja [6]

7.1.8. Osjetnik temperature sustava rashlada

Već ranije spomenut sustav rashlada motora jedan je od važnijih i naravno obzirom na temperaturu motora, upravljačka jedinica raspoređuje opterećenje motora i na taj način štiti ga od mogućih posljedičnih havarija. Senzor je izveden kao otpornik kojemu otpor varira u ovisnosti o temperaturi okoline od oko 8 kOhm na 0 °C do 0.3 kOhm na 100 °C.

Motor je za slučaj niskih temperatura opremljen dodatnim zagrijačima prostora za izgaranje smjese. Preko osjetnika temperature, upravljačka jedinica šalje signal za aktiviranje grijača ukoliko je temperatura rashladne tekućine ispod 4 °C. Isto tako, na motoru nije moguće postići potpuno opterećenje ukoliko je temperatura niža od 60 °C, jer bi naglim zagrijavanjem nastupilo oštećenje klipova. U slučaju nepravilnosti u radu senzora, upravljačka jedinica postavlja srednju vrijednost od 20 °C i aktivira opći svjetlosni i zvučni alarm.



Slika 19. Osjetnik temperature sustava rashlada [6]

7.1.9. Osjetnik temperature zraka na usisu motora

Osjetnik temperature usisnog zraka vrlo je sličan osjetniku temperature rashladne tekućine i imaju identične karakteristike a služi za informiranje upravljačke jedinice o temperaturi prednabijenog zraka. Ovaj podatak je vrlo bitan za količinu ubrizganog goriva jer je gustoća zraka, a time i količina kisika, vrlo ovisna o temperaturi. Kako je tlak prednabijanja promjenjiv, tako je i količina zraka promjenjiva sukladno porastu tlaka prednabijanja (temperatura zraka može prelaziti i preko 120 °C).

Osjetnik je postavljen na izlazu iz rashladnika zraka jer je zrak neophodno hladiti nakon turbopuhala, u suprotnom bi efekt prednabijanja drastično opao zbog naglog pada gustoće zraka. Temeljem ovog podatka upravljačka jedinica izvodi fino podešavanje količine goriva.



Slika 20. Osjetnik temperature prednabijenog zraka [6]

7.1.10. Osjetnik temperature ispušnih plinova

Kod STEYR motora ovaj osjetnik nije postavljen klasično odmah na ispušnom dijelu te ne mjeri temperaturu izgaranja odnosno čistog ispuha, već je postavljen na morem hlađenom ispušnom koljenu. Primarna svrha osjetnika je zaštita motora od pregrijavanja uslijed nepravilnosti u radu sustava morske vode. Osjetnik se tijekom rada istovremeno hladi protokom morske vode na ispuhu i samim time su vrijednosti oko 30-60 °C, ovisno o opterećenju. Ukoliko se dogodi naglo začepljenje ili oštećenje gumenog rotora tj. nedostatka morske vode za hlađenje, upravljačka jedinica ograničava snagu motora, registrira pogrešku i aktivira lampicu općeg alarma uz zvučni signal. Osjetnik je konstruktivno identičan osjetniku za mjerenje temperature rashladne tekućine motora i ima identičnu karakteristiku. Postoji mogućnost ugradnje i klasičnog osjetnika temperature ispušnih plinova.



Slika 21. Osjetnik temperature ispušnih plinova [6]

7.1.11. Potenciometar za reguliranje opterećenja

Potenciometar za povećanje opterećenja motora (povećanje okretaja koljenastog vratila/dodavanje količine goriva u izgaranje) izvršava naredbu operatora motora na način da se zakretanjem potencimetra mijenja izvršni signal prema upravljačke jedinice, koji temeljem istog trenutnom obradom svih drugih parametara motora dodaje ili oduzima količinu goriva u ubrizgač, odnosno povećava ili smanjuje opterećenje motora ovisno o želji operatera.



Slika 22. Potenciometar za regulaciju opterećenja [6]

7.1.12. Osjetnik tlaka dobave goriva

Tlak dobave goriva je od 4-5 bara ovisno o opterećenju motora (kod maksimalne potrošnje goriva tlak pada oko 0,5 bara) i kao takav je bitan jedino ukoliko se dogodi pad snage motora zbog pada tlaka (kvara na dobavnoj pumpi, nepravilnosti sa predfilerom goriva, nedostatak goriva i slično). Osjetnik je identične konstrukcije i karakteristike kao i osjetnik tlaka usisa ili tlaka sustava za podmazivanje. Ukoliko se dogodi nepravilnost u radu osjetnika, tlak goriva će ostati nepromijenjen i motor će nastaviti sa radom ali će upravljačka jedinica registrirati pogrešku.

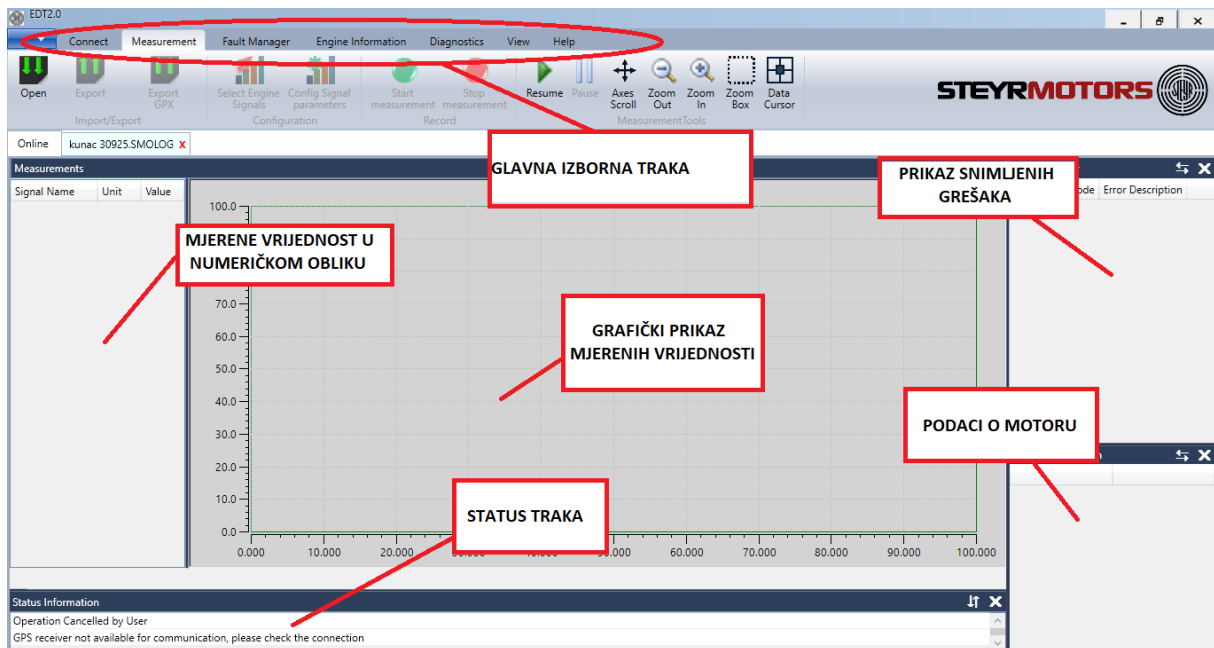


Slika 23. Osjetnik tlaka dobave goriva [6]

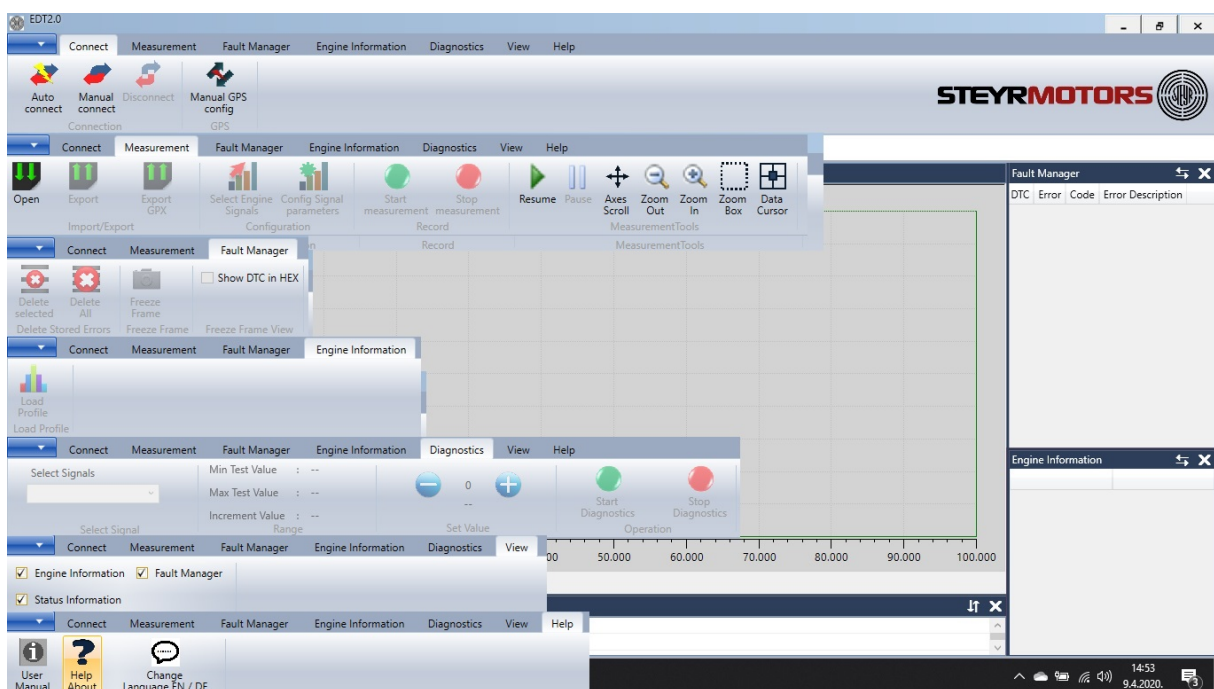
8. NADZOR I MJERENJE NAJVAŽNIJIH PARAMETARA MOTORA

Svaki proizvođač motora razvio je i jedinstveni program za nadzor i mjerenje parametara rada, pa tako i STEYR Motors koji je svoj program nazvao EDT („Engine Diagnostic Tool“ odnosno elektroničko dijagnostički alat). Dijagnostički program izvodi vezu sa upravljačkom jedinicom preko modula za komunikaciju.

Program je izrađen sa ciljem nadzora rada motora i otkrivanje nedostataka u radu motora. Predviđen je za instalaciju na standardni Windows operacijski sustav, te može biti korišten na bilo kojem prijenosnom ili stacionarnom računalu. Program je sastavljen iz nekoliko podprograma koji ostvaruju vezu sa kontrolnom jedinicom i obrađuju podatke.



Slika 24. Prikaz početnog zaslona dijagnostičkog programa [5]



Slika 25. Prikaz grupa na glavnoj izbornoj traci [5]

Na glavnoj izbornoj traci se nalazi sedam grupa. Prva grupa spajanje („connect“) se odnosi na spajanje programa na upravljačku jedinicu motora. Obično se postavlja na automatsko spajanje („Auto connect“) jer

odabirom postavke ručno spajanje („Manual connect“) ručno se odabiru karakteristike motora.

Grupa mjerenja („Measurement“) sadrži naredbe za početak snimanja parametara motora, konfiguriranje vrste i količine parametara, odabir pripadajuće boje krivulje, snimanje i spremanje zapisa o mjerenju. Ova grupa je najbitnija za praćenje snimanja i obradu podataka iz motora, te ćemo nju posebno obraditi dalje u analizi podataka.

Grupa upravljanja pogreškama („Fault manager“) sadrži naredbe za čitanje grešaka iz upravljačke jedinice, praćenje statusa i upravljanje pogreškama (opis, brisanje).

| DTC | Error | Code | Error Description |
|------|---------|------------------|---|
| 395 | Stored | PF20_RANGE_E-FER | PF20 - Fuel Pressure Sensor, fuel pressure is below the limit |
| 275 | Stored | ACT_E-MAX | Ambient Air Temperature Sensor, signal voltage to high, possible short circuit to battery |
| 8745 | Current | MAP_E-MAX | Manifold Air Pressure Sensor (Boost pressure Sensor, signal voltage to high, possible short circuit to battery) |
| 395 | Current | PF20_RANGE_E-FER | PF20 - Fuel Pressure Sensor, fuel pressure is below the limit |

| DTC | Error | Code | Error Description |
|------|---------|------------------|---------------------|
| 395 | Stored | PF20_RANGE_E-FER | PF20 - Fuel Pressu |
| 275 | Stored | ACT_E-MAX | Ambient Air Temp |
| 8745 | Current | MAP_E-MAX | Manifold Air Pressu |
| 395 | Current | PF20_RANGE_E-FER | PF20 - Fuel Pressu |

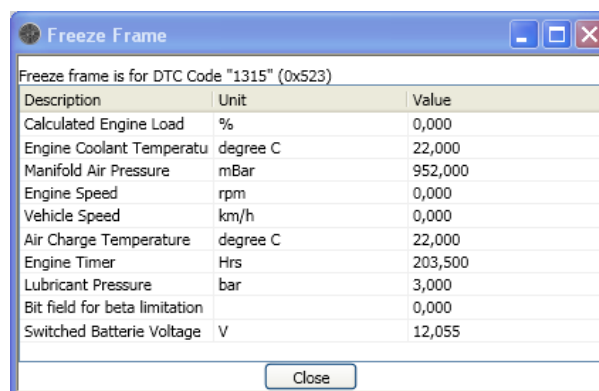
Slika 26. Prikaz odjeljka sa snimljenim pogreškama [5]

Nivo 1 (L1 Current) je status trenutno aktivne pogreške koju treba odmah obraditi i provjeriti jer će pri slijedećem isključenju vjerojatno nestati. Ukoliko se pogreška pojavi i nakon isključenja motora (ponovnim pokretanjem) pogreška mijenja status u nivo 2 (**Level 2**) odnosno postaje snimljena.

Snimljena pogreška bez obzira na popravak ostaje sve dok se dijagnostičkim programom ne ukloni iz zapisa. Popravljen pogreška bez

obzira što nije brisana ne utječe na rad motora i dodatno se ne pojavljuje kao aktivna.

Zamrzavanje ekrana („Freeze Frame“) se koristi za prikaz trenutnog stanja tijekom rada motora nakon pojave pogreške a prventveno služi za analizu trenutka nastanka pogreške kako bi se registrirale stvarne okolnosti nastanka pogreške.



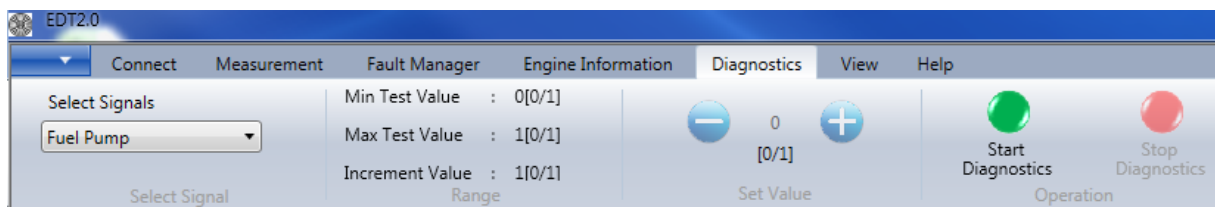
| Description | Unit | Value |
|-------------------------------|----------|---------|
| Calculated Engine Load | % | 0,000 |
| Engine Coolant Temperature | degree C | 22,000 |
| Manifold Air Pressure | mBar | 952,000 |
| Engine Speed | rpm | 0,000 |
| Vehicle Speed | km/h | 0,000 |
| Air Charge Temperature | degree C | 22,000 |
| Engine Timer | Hrs | 203,500 |
| Lubricant Pressure | bar | 3,000 |
| Bit field for beta limitation | | 0,000 |
| Switched Batterie Voltage | V | 12,055 |

Slika 27. Prikaz zamrzavanja ekrana [5]

Detalji o motoru („Engine information“) sadrži podatke o režimu korištenja motora tijekom njegove eksploatacije. Naredba poziv profila („load profile“) izvlači potpunu povijest rada motora u obliku grafikona. Iz grafikona se točno vidi način korištenja motora upravo zbog ustvrđivanja okolnosti korištenja glede reklamacija na motor. Ovaj dijagram će se detaljno obraditi dalje u analizi podataka.

Dijagnosticiranje („Diagnostic“) omogućava provjeravanje rada komponenti. Korisnik može odabrati koji element želi dijagnosticirati.

Nakon odabira elementa, korisnik može postaviti vrijednost. Tako se može vidjeti trenutne vrijednosti aktiviranog elementa na ekranu za mjerenje (npr. pumpa za gorivo je uključena, tlak goriva može se mjeriti). Vrijednosti se mogu spremiti na disk, a za neke dijagnostičke funkcije potrebno je pokrenuti motor. Ako se motor pokrenuo dok se aktivira dijagnostička funkcija kojom nije dopušteno pokretanje motora, dijagnostička funkcija će se odmah isključiti kako ne bi došlo do štete za korisnika ili oštećenja motora.



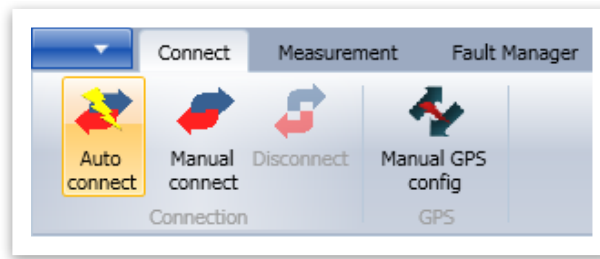
Slika 28. Prikaz primjera aktiviranja pumpe goriva [5]

Pogled („View“) grupa pruža mogućnost odabira prikaza na ekranu. Moguće je izdvojiti ili dodati neke grupe informacija („Engine information“, „Status information“ ili „Fault manager“), ovisno o potrebi ili želji operatera dok grupa pomoć („Help“) služi za pomoć u radu sa programom.

8.1. OBRADA PODATAKA

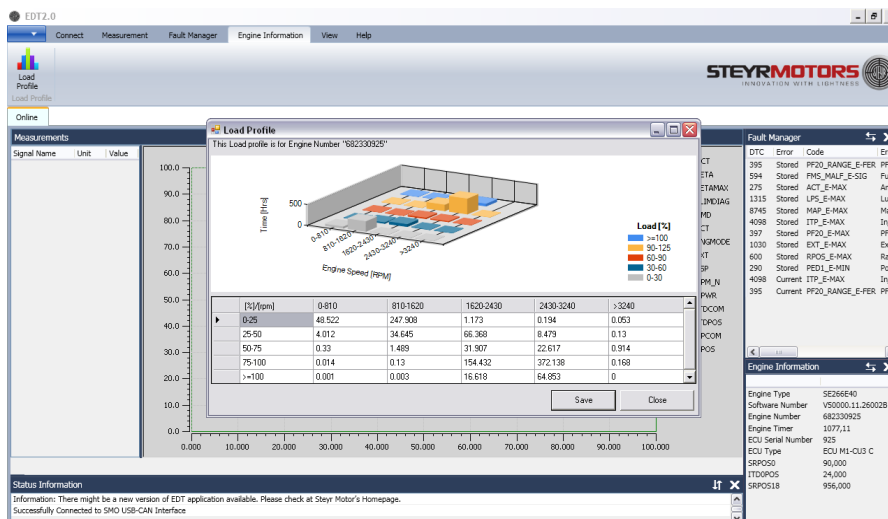
8.1.1. Spajanje i snimanje parametara

Prije snimanja podataka neophodno je ostvariti izmjenu informacija između dijagnostičkog alata (EDT programa) i upravljačke jedinice motora (ECU). Veza se ostvaruje sa priključnim modulom (slika 11.) koji se spaja serijski između upravljačke jedinice i dijagnostičkog programa.



Slika 29. Prikaz funkcije pokretanja spajanja na upravljačku jedinicu [5]

U cilju što bolje analize stanja motora i analize podataka, neophodno je izvesti snimanje profila motora, odnosno potpunog zapisa o načinu i režimima eksploatacije tijekom radnog vijeka. Imajući u vidu aplikaciju promatranog motora promotriti će se režimi rada. Režimi rada su vrlo važni zbog poštivanja preporuke proizvođača o namjeni i korištenju primjerice za sport i rekreaciju. Inačica motora sa visokim brojem okretaja i najvišim mogućim omjerom snage i mase motora se ne preporuča koristiti u komercijalne svrhe i cjelodnevni rad pod punim opterećenjem. U ovom slučaju se za takvu aplikaciju motora preporuča korištenje maksimalno 1 sat dnevno na punom opterećenju i 8 sati korištenja dnevno.



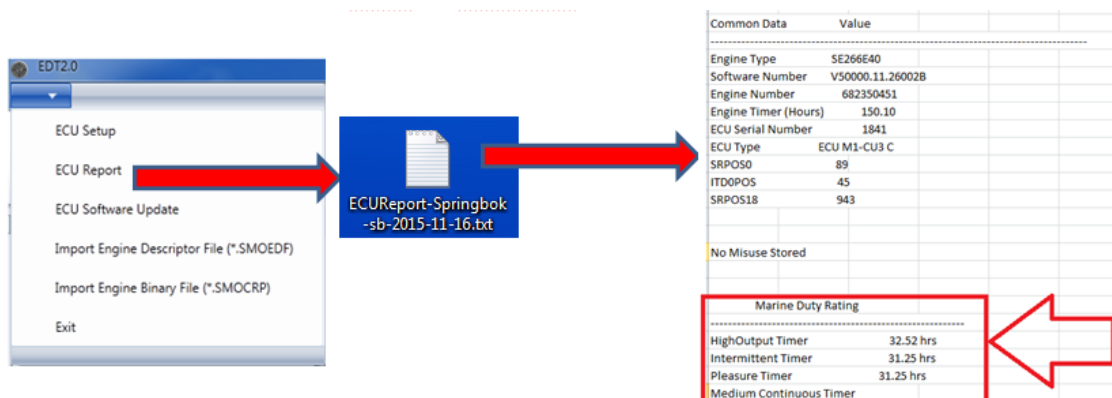
Slika 30. Prikaz statistike profila motora [5]

U tablici su prikazani sati rada na pojedinim režimima rada koji su podijeljeni u grupe po postotku korištene snage i područja okretaja. Navedeni podaci se unose u excel tablicu koja iscrta grafikon korištenja motora. Prilikom instalacije motora i puštanja u rad, bitno je ustvrditi okolnosti korištenja motora, tj. namjenu predmetnog motora, jer je upotreba za sport i rekreaciju daleko zahtjevnija od upotrebe motora u komercijalne svrhe (prijevoz putnika i slično). U odnosu na prijavu motora u sustav, vlasnik se izjasni kako je (u ovom slučaju komercijalne svrhe) u korištenju motora u maksimalnom opterećenju. U ovisnosti o nazivnom broju okretaja motora i načinu korištenja, STEYR MOTORS je u niže prikazanoj tablici izveo maksimalni broj okretaja punog opterećenja u odnosu na namjenu.

| Rating for Pleasure use | | Commercial Application | | |
|--|-----------|------------------------|-----------|-----------|
| Marine Duty Rating | Pleasure | HO | INT | MCD |
| year | <300 /Y | <300 /Y | <1500 /Y | <3000 /Y |
| rated power [h] | 1 of 8 | 1 of 8 | 2 of 8 | 3 of 12 |
| Per cent WOT use | 12,50% | 12,50% | 25,00% | 25,00% |
| Reduced Engine RPM from rated speed while Cruising | - 200 rpm | - 300 rpm | - 200 rpm | - 400 rpm |

Slika 31. Tablica korištenja motora [5]

U ovom slučaju motor se koristi do 1500 sati godišnje i nastavno na taj uvjet, maksimalni broj okretaja je 200 rpm niže od sjecišta krivulje propelera i krivulje snage (u našem slučaju oko 3950 rpm), te se smatra kako je motor na punom opterećenju kod 3750 rpm. Izračunom u excelu je jasno vidljivo kako je motor korišten 40,57% u području od 75-100% opterećenja motora što je više od 25%, odnosno izvan preporučenog režima. Nadogradnjom programa na noviju inačicu, omogućilo se direktno čitanje iz upravljačke jedinice vrijeme korištenja u pojedinim područjima u cilju izbjegavanja ručnog računanja



Slika 32. Prikaz unaprijeđenog programa [5]

8.1.2. Snimanje i obrada snimljenih pogreški

Za snimanje i obradu grešaka na glavnoj izbornoj traci koristimo se grupom naredbi za upravljanje pogreškama („Fault manager“). Očitavanje grešaka se prikazuje u prozoru (slika 26). U prozoru su navedeni brožčani kod („DTC“), tip pogreške („Error“), skraćeni opis sustava („Code“) i detaljni opis sustava („Error description“).

| Fault Manager | | | |
|---------------|---------|------------------|--|
| DTC | Error | Code | Error Description |
| 395 | Stored | PF20_RANGE_E-FER | PF20 - Fuel Pressure Sensor, fuel pressure is below the limit |
| 275 | Stored | ACT_E-MAX | Ambient Air Temperature Sensor, signal voltage to high, possible short circuit to battery |
| 8745 | Current | MAP_E-MAX | Manifold Air Pressure Sensor (Boost pressure Sensor, signal voltage to high, possible short circuit to battery |
| 395 | Current | PF20_RANGE_E-FER | PF20 - Fuel Pressure Sensor, fuel pressure is below the limit |

Slika 33. Detaljni prikaz prozora pogreški [5]

Temeljem prikazanog detaljnog opisa, moguće je reagirati i otkloniti navedeni nedostatak. Međutim ukoliko to nije moguće, potrebno je usporediti podatke sa tablicom kodova te iznaći rješenje. U nastavku je prikazana tablica svih kodova upisanih u upravljačku jedinicu motora.

Tablica 1. Pregled svih kodova upisanih u upravljačkoj jedinici motora

| LISTA KODOVA GREŠAKA SE serija motora sa mapom ubrizgavanja V50000.11 | | | | | | | |
|---|-----|--------------------|--|---|-------------------|----------------------|---------------------|
| DEC | HEX | OPIŠ | UKLJUČENA JEDINICA | MOGUĆI UZROK | VARIJABLA | OGRANIČENJA | |
| 70 | 46 | VTGHBRIDGE_E-FER | Upravljanje turbopuhalom | Funkcionalna pogreška upravljačke jedinice | | | |
| 71 | 47 | VTGHBRIDGE_E-MIN | Upravljanje turbopuhalom | Nizak napon moguć kratki spoj sa masom u spoju X25 | | | |
| 72 | 48 | VTGHBRIDGE_E-MAX | Upravljanje turbopuhalom | Nizak napon moguć kratki spoj sa pozitivnim polom u spoju X25 | | | |
| 263 | 107 | BARO_FP_E-MIN | Osjetnik tlaka okoline | Nizak napon, moguć kratki spoj sa masom | AdoCount BARO u16 | 20 ciklusa | 0,098V |
| 264 | 108 | BARO_FP_E-MAX | Osjetnik tlaka okoline | Visok napon, moguć kratki spoj sa pozitivnim polom | | 1000 ciklusa | 4,888V |
| 274 | 112 | ACT_E-MIN | Osjetnik temperature zraka prednabijanja | Nizak napon, moguć kratki spoj sa masom | AdoCount ACT u16 | 50 ciklusa | 0,244V |
| 275 | 113 | ACT_E-MAX | Osjetnik temperature zraka prednabijanja | Visok napon, moguć kratki spoj sa pozitivnim polom | | 1007 ciklusa | 4,922V |
| 279 | 117 | ECT_E-MIN | Osjetnik temperature rashladne tekućine | Nizak napon, moguć kratki spoj sa masom | AdoCount ECT u16 | 20 ciklusa | 0,108V |
| 280 | 118 | ECT_E-MAX | Osjetnik temperature rashladne tekućine | Visok napon, moguć kratki spoj sa pozitivnim polom | | 1000 ciklusa | 4,888V |
| 288 | 120 | PED_E-NPL | Potencijometar za ubrzavanje | Vjerojatna upotreba pogrešnog potencijometra | PED 1+2 | | ≠5V |
| 290 | 122 | PED1_E-MIN | Potencijometar za ubrzavanje | Nizak napon, moguć kratki spoj sa masom | AdoCount PED1 u16 | 20 ciklusa | 0,98V |
| 291 | 123 | PED1_E-MAX | Potencijometar za ubrzavanje | Visok napon, moguć kratki spoj sa pozitivnim polom | | 950 ciklusa | 4,643V |
| 374 | 176 | FUEL_DENSITY_E-NPL | Osjetnik gustoće goriva | Vrijednost gustoće izvan granica | | 1160kg/m^3 | $>480\text{kg/m}^3$ |
| 375 | 177 | FUEL_DENSITY_E-FER | Osjetnik gustoće goriva | Nepostojehć sigal osjetnika, proveriti spoj | | Nema signala za 90 s | |
| 395 | 18B | PF_20_RANGE_E-FER | Osjetnik tlaka goriva | Tlak goriva ispod dozvoljenog | | >2b za 10 s | |
| 396 | 18C | PF20_E-MIN | Osjetnik tlaka goriva | Nizak napon, moguć kratki spoj sa masom | | 20 ciklusa | 0,098V |
| 397 | 18D | PF20_E-MAX | Osjetnik tlaka goriva | Visok napon, moguć kratki spoj sa pozitivnim polom | | 1000,5 ciklusa | 4,890V |
| 544 | 220 | REM_PAD_E-SIG | Dodatni preijnosni potencijometar | Vrijeme primanja informacija sa potencijometra | | | |
| 545 | 221 | REM_PAD_E-NPL | Dodatni preijnosni potencijometar | Ulazni signal nije valjan | | | |
| 546 | 222 | PED2_E-MIN | Potencijometar za ubrzavanje 2 | Nizak napon, moguć kratki spoj sa masom | AdoCount PED2 u16 | 20 ciklusa | 0,098V |
| 547 | 223 | PEDE_E-MAX | Potencijometar za ubrzavanje 2 | Visok napon, moguć kratki spoj sa pozitivnim polom | | 1000 ciklusa | 4,888V |
| 594 | 252 | FMS_MALF_E-SIG | Solenoid za mjerenje goriva | Nepravilnosti u radu solenoida | | | |
| 595 | 253 | FMS_E-MIN | Solenoid za mjerenje goriva | Nizak napon, moguć kratki spoj sa masom | | <30/> 135 ciklusa | |
| 596 | 254 | FMS_E-MAX | Solenoid za mjerenje goriva | Visok napon, moguć kratki spoj sa pozitivnim polom | | <894/> 999 ciklusa | |
| 600 | 258 | RPOS_E-MAX | Osjetnik položaja poluge | Visok napon, moguć kratki spoj sa pozitivnim | | 1020 ciklusa | 4,985V |

| | | | | | | | |
|------|------|---------------------|---|---|--------------------|--------------|--------|
| | | | | polom | | | |
| 601 | 259 | RPOS_E-MIN | Osjetnik položaja poluge | Nizak napon, moguć kratki spoj sa masom | | 25 ciklusa | 0,117V |
| 899 | 383 | TLE_OUTL2_GPR_E-MIN | Relej grijača | Nizak napon, moguć kratki spoj sa masom | | | |
| 900 | 384 | TLE_OUTL2_GPR_E-MAX | Relej grijača | Visok napon, moguć kratki spoj sa masom | | | |
| 1029 | 405 | EXT_E-MIN | Osjetnik temperature isp. plinova | Nizak napon, moguć kratki spoj sa masom | | 22 ciklusa | 0,108V |
| 1030 | 406 | EXT_E-MAX | Osjetnik temperature isp. plinova | Visok napon, moguć kratki spoj sa pozitivnim polom | | 1000 ciklusa | 4,888V |
| 1314 | 522 | LPS_E-MIN | Osjetnik tlaka ulja | Nizak napon, moguć kratki spoj sa masom | | 20 ciklusa | |
| 1315 | 523 | LPS_E-MAX | Osjetnik tlaka ulja | Visok napon, moguć kratki spoj sa pozitivnim polom | | 1000 ciklusa | 4,888V |
| 1349 | 545 | T30_E-MIN | Osjetnik temperature isp. plinova | Nizak napon, moguć kratki spoj sa masom | | 50 ciklusa | 0,25V |
| 1350 | 546 | T30_E-MAX | Osjetnik temperature isp. plinova | Visok napon, moguć kratki spoj sa pozitivnim polom | | 700 ciklusa | 3,421V |
| 1378 | 562 | VBATTIN_E-MIN | Osjetnik napona baterije | Nizak napon baterije | | | |
| 1379 | 563 | VBATTIN_E-MAX | Osjetnik napona baterije | Visok napon baterije | | | |
| 1540 | 604 | RAMECC_E-FER | Upravljačka jedinica | Pogreška u radnoj memoriji upravljačke jedinice | | | |
| 1576 | 628 | TRE_RL1_FPR_E-MIN | Relej pumpe goriva | Nizak napon, moguć kratki spoj sa masom | | | |
| 1577 | 629 | TRE_RL1_FPR_E-MAX | Relej pumpe goriva | Nizak napon, moguć kratki spoj sa pozitivnim polom | | | |
| 1581 | 62D | FMS_E-FER | Solenoid protoka goriva | Nije kalibriran položaj poluge gasa | | | |
| 1592 | 638 | FMS_E-SIG | Solenoid protoka goriva | Signal nije moguće očitati | | | |
| 1602 | 642 | VREF1_E-MIN | Vref1 osjetnik | Nizak napon, moguć kratki spoj sa masom | AdoCount Vref1 u16 | 20 ciklusa | 0,098V |
| 1603 | 643 | VREF1_E-MAX | Vref1 osjetnik | Visok napon, moguć kratki spoj sa pozitivnim polom | | 1000 ciklusa | 4,888V |
| 1618 | 652 | VREF2_E-MIN | Vref2 osjetnik | Nizak napon, moguć kratki spoj sa masom | AdoCount Vref2 u16 | 20 ciklusa | 0,098V |
| 1619 | 653 | VREF2_E-MAX | Vref2 osjetnik | Visok napon, moguć kratki spoj sa pozitivnim polom | | 1000 ciklusa | 4,888V |
| 1688 | 698 | VREF3_E-MIN | Vref3 osjetnik | Nizak napon, moguć kratki spoj sa masom | AdoCount Vref3 u16 | 20 ciklusa | 0,098V |
| 1689 | 699 | VREF3_E-MAX | Vref3 osjetnik | Visok napon, moguć kratki spoj sa pozitivnim polom | | 1000 ciklusa | 4,888V |
| 1796 | 704 | HYB_CLUCH_E-FER | Kvačilo prijenosnika hibrida | Neppravilno pokretanje kvačila | | | |
| 1829 | 725 | RPM_PRECRANK_FER | Osjetnik okreatja vratila | Broj okretaja nije ispravan, moguć kvar na starteru | | | |
| 1831 | 727 | FM_FP_RPM_SIG_E-FER | Osjetnik okreatja vratila | Kvar na senzoru ili instalaciji | | | |
| 2586 | A1A | HCU_ERROR_E-FER | Upravljačka jedinica hibrida | Funkcionalna pogreška upravljačke jedinice | | | |
| 2673 | A71 | HCU_OVERLOAD_E-FER | Upravljačka jedinica hibrida | Visok napon upravljačke jedinice | | | |
| 2684 | A7C | HCU_OVERTEMP_E-FER | Upravljačka jedinica hibrida | Pregrijavanje upravljačke jedinice | | | |
| 4097 | 1001 | ITP_E-MIN | Osjetnik položaja trenutka ubrizgavanja | Nizak napon, moguć kratki spoj sa masom | AdoCountI TP u16 | 20 ciklusa | 0,098V |

| | | | | | | | |
|-----------|------|--------------------|---|--|--------------------|----------------------------|--------|
| 4098 | 1002 | ITP_E-MAX | Osjetnik položaja trenutka ubrizgavanja | Visok napon, moguć kratki spoj sa pozitivnim polom | | 1000 ciklusa | 4,888V |
| 4112 | 1010 | ITD_INVCALIB_E-FER | Jedinica za pomicanje ubrizgavanja | Pogrešna kalibracija jedinice | | <15/> 200 ciklusa | |
| 4113 | 1011 | ITD_FP_E-FER | Jedinica za pomicanje ubrizgavanja | Nije moguće pomicanje jedinice | | ITP odstupanje 3s u minuti | |
| 4181 | 1055 | T30FB_E-MIN | Osjetnik ispušnih plinova | Povratna informacija nedostupna | AdoCount T30Fb u16 | | |
| 4182 | 1056 | T30FB_E-MAX | Osjetnik ispušnih plinova | Neodgovarajuća vrijednost signala | | | |
| 8191 | 1FFF | FULPATH-FER | Pogreška u upravljačkoj jedinici | Primjećena neočekivana pogreška | | | |
| 8744 | 2228 | MAP_E-MIN | Osjetnik tlaka zraka prednabijanja | Nizak napon, moguć kratki spoj sa masom | AdoCount MAP u16 | 150 ciklusa | 0,733V |
| 8745 | 2229 | MAP_E-MAX | Osjetnik tlaka zraka prednabijanja | Visok napon, moguć kratki spoj sa pozitivnim polom | | 980 ciklusa | 4,790V |
| 8805 | 2265 | WIF_E-FER | Osjetnik vode u gorivu | Prevelik nivo vode u gorivu | | Visok nivo 3 sekunde | |
| 9572 | 2564 | VTGPOFB_E-MIN | Položaj turbopuhala | Nizak napon, moguć kratki spoj sa masom | AdoCount T30Fb u16 | | |
| 9573 | 2565 | VTGPOFB_E-MAX | Položaj turbopuhala | Visok napon, moguć kratki spoj sa pozitivnim polom | | | |
| 4981 1 | C293 | HCU_OFFLINE_E-FER | Upravljačka jedinica hibrida | Upravljačka jedinica je bez napona | | | |

Ukoliko uzmemo za primjer prvu snimljenu pogrešku sa slike 33 pod brojem 395 i usporedimo sa tablicom možemo zaključiti slijedeće:

- Radi se o osjetniku tlaka goriva sustava,
- Tlak goriva je ispod dozvoljenog,
- Niži je od 2 bar duže od 10 sekundi.

Iz navedenog se može zaključiti kako motor nema nužan tlak goriva sustava pa se pribjegava dijagnostici pumpe goriva i to preko sučelja za diagnosticiranje („Diagnostic“) u kojem se aktivira pumpa te očita status. Ukoliko je status promijenjen iz „0“ u „1“ znači da je pumpa pravna te je u tom slučaju vjerojatno došlo do nedostatka goriva u tanku ili postoji zrak u sustavu.

Ovo je glavni princip detekcije i dijagnostike motora tijekom održavanja i servisiranja motora, koji uvelike štedi vrijeme za

uspostavljanje pravilne dijagnoze kvara.

Kod pojave nepravilnosti u radu motora koje ograničavaju snagu motora, u status traci se pojavljuje „BETA limitation“.

Tablica 2. Prikaz uzroka smanjenja snage

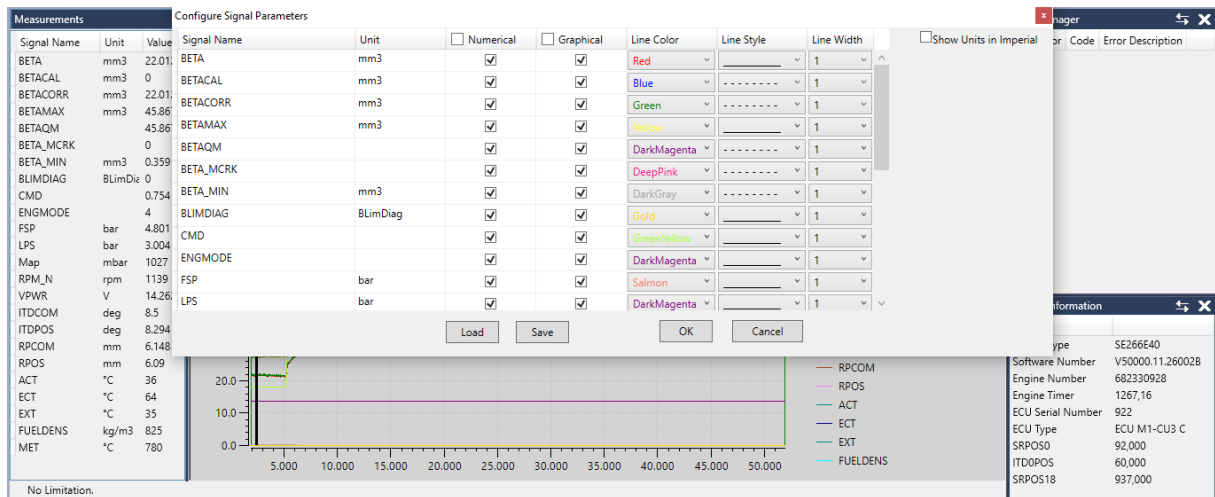
| RADNI PARAMETAR | ZAPAŽENI ISHOD | INDIKACIJA NA KONTROLNOJ PLOČI | OČITANJA DODATNIM UREĐAJIMA | POSTUPAK ILI MOGUĆI UZROK |
|--|--|---|---------------------------------|--|
| Prekoračenje granice visoke temperature rashladne tekućine | Smanjenje broja okretaja motora | Sirena UKLJ 2x u sekundi. Očitavanje mjerača >107 °C | Steyr Diag Ograničenje snage | Vidjeti tablicu pronalaženje kvarova: Rashladni sustav |
| Kvar – senzor rashl. sredstva motora ili priključak senzora | Smanjenje broja okretaja motora | Sirena UKLJ 2x u sekundi. Očitavanje mjerača >120 °C | Steyr diag kod pogreške | Kvar na osjetniku ili utičnici; vidjeti tablicu sa kodovima pogrešaka |
| Prekoračenje granične vrijednosti temperature ispušnih plinova | Smanjenje broja okretaja motora | Uključivanje sirene i indikatora „CEL“ 2 x u sekundi | Steyr Diag Ograničenje snage | Vidjeti tablicu pronalaženja kvarova: Sustav morske vode |
| Kvar – Senzor temp. ispuha ili priključak osjetnika | Smanjenje broja okretaja motora | Uključivanje sirene i indikatora „CEL“ 2 x u sekundi | Steyr diag kod pogreške | Kvar na osjetniku ili utičnici; vidjeti tablicu sa kodovima pogrešaka |
| Pad tlaka ulja za podmazivanje | Smanjenje broja okretaja motora | Svjetlosna i zvičn aindikacija je uključena konstantno | Steyr Diag Ograničenje snage | Vidjeti tablicu pronalaženja kvarova: Sustav za podmazivanje |
| Kvar osjetnika tlaka ulja ili utičnice | Smanjenje broja okretaja motora | Svjetlosni signal jednom u sekundi | Steyr diag kod pogreške | Kvar na osjetniku ili utičnici; vidjeti tablicu za pronalaženje kvarova |
| Nedovoljan tlak ispirnog zraka ili oštećenje osjetnika | Smanjenje broja okretaja motora | | Steyr Diag Ograničenje snage | Vidjeti tablicu pronalaženja kvarova: Sustav prednabijanja ispirnog zraka |
| Osjetnik brzine okretanja koljenastog vratila | Neravnomjeran rad motora uu praznom hođu ili ograničena radna svojstva | Nema prikaza broja okretaja koljenastog vratila na kontrolnoj ploči | Steyr diag kod pogreške | Vidjeti tablicu pronalaženja kvarova: Osjetnik broja okretaja |
| Broj okretaja motora se ne mijenja promjenom | Nema porasta broja okretaja motora | | Steyr diag kod pogreške | Vidjeti tablicu pronalaženja kvarova: |

| | | | | |
|--|--|--|---------------------------------|---|
| položaja upravljačke ručice | | | | Potenciometar za ubrzanje motora |
| Sustav pozicioniranja upravljača | Neravnomjerna brzina okretanja motora ili preopterećenje | | Steyr diag kod pogreške | Vidjeti tablicu pronalaženja kvarova: Upravljački sustav |
| Zaustavljanje rada motora u inverznom položaju (SOLAS) | Motor se zaustavlja nakon inklinacije od 70° | Nakon zaustavljanja motora zvučni alarm ostaje do resetiranja pokretanja | | Resetirati pokretanje pomakom kontakt ključa u položaj isključeno - uključeno |
| Za vrijeme rada motora prvih 20 sati | Uključen svjetlosni alarm kod postizanja 75% opterećenja | Svjetlosni alarm usključen | Steyr faza početnog rada motora | Vidjeti upute za postupak rada prvih 20 sati |

8.1.3. Mjerenje parametara rada motora

Svrha mjerenja i analize radnih parametara motora provodi se iz više razloga a najčešće iz dva razloga. Prvi je razvojni razlog snimanja tijekom testa motora na probnom stolu (kočnici) kako bi se dobili stvarni podaci koji se kasnije uspoređuju sa projektiranim, ali i zbog pojave raznih nepravilnosti tijekom opterećenja motora (pojava dima, veliko odstupanje snage u pojedinim režimima rada). Tijekom testiranja proizvedenog motora često se reagira u smislu zamjene ubrizgača, turbopuhala sa promjenjivom karakteristikom i slično, kako bi se zadovoljili pojedini režimi rada i krivulje zaokretnog momenta motora. Tijekom takvih promjena, mijenjaju se i pojedine vrijednosti u „mapi goriva“ tj. ubrizgana količina goriva u odnosu na količinu zraka i slično. Tijekom rada motora uvjeti su vrlo promjenjivi, što konačno utječe i na količinu ispirnog zraka (kisika) i količinu goriva, što predstavlja odstupanje od idealnog stehiometrijskog omjera izgaranja dizelskog goriva. Poznato je kako je omjer goriva i zraka 14,7:1 što znači da je za idealnu smjesu na 1 kg goriva potrebno dovesti 14,7 kg zraka. Kako se motori ugrađuju u različite strojarnice sa različitim uvjetima i temperaturama okoline, tako je motor opremljen sa osjetnikom tlaka na usisu i osjetnikom temperature ispirnog zraka. Temeljem tih podataka program trenutno korigira količinu goriva temeljem količine zraka pa ukoliko iz nekog razloga količina zraka padne, pada i ubrizgana količina goriva, tj. motor gubi snagu ali bez pojave dima i bez povećane količine goriva u cilindru koja se redovno zanemaruje. Time nastaju pregrijavanja košuljica i klipnih prstena, što uzrokuje i ubrzano trošenje i konačno havariju motora. Isto tako, moguće je ugraditi osjetnik kvalitete goriva (temeljem gustoće) kako bi se količina goriva još preciznije korigirala, a naročito kada se koriste druge vrste goriva kao što su kerozin ili naftni derivati.

Prije početka snimanja parametara, mogu se postaviti samo neki od parametara ali se isto tako mogu snimiti svi raspoloživi parametri, te se kasnije u analizi izostavljati. Na slijedećoj slici je prikazan primjer odabira promatranih signala i dodjeljivanje boje krivulje

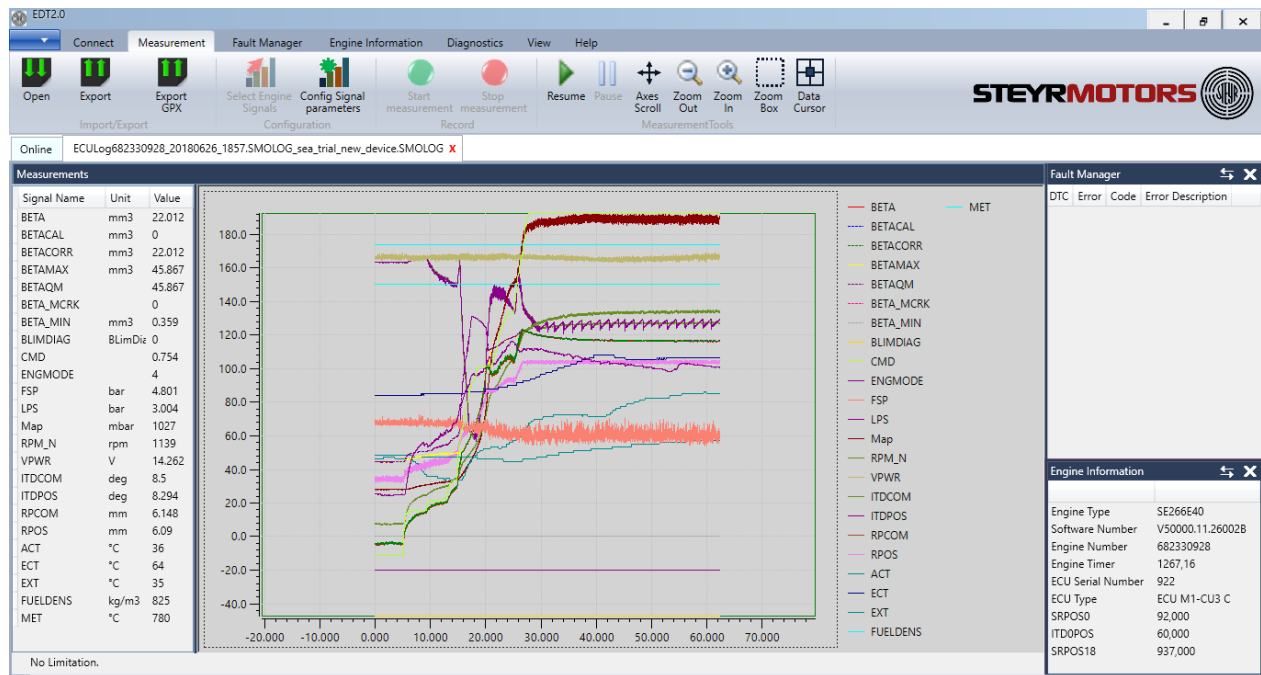


Slika 34. Postavljanje promatranih parametara [5]

Na slici 34 dostupno je 24 parametara za postavljanje i snimanje od kojih se 8 odnosi na ubrizgavanje (BETA). Kako bi nam promatranje bilo zornije, objasniti ćemo niže navedene parametre:

- BETA – naziv za ubrizganu količinu goriva,
- BETACAL – količina goriva tražena od potencijometra opterećenja (Pedal sensor),
- BETACORR – korigirana količina goriva nakon kompezacije gustoće,
- BETAMAX – maksimalna dostupna količina goriva za ubrizgavanje,
- BETAQM - trenutna moguća količina goriva izračunata iz stvarnog ponašanja motora,
- BETA_MCRK – maksimalna količina goriva tijekom pokretanja,
- BETA_MIN – minimalna količina goriva kod starta u hladnim uvjetima,

- BLIMDIAG – ograničenje ubrizgavanja (pojavom pogreške u radu motora),
- CMD – pozicija potenciometra opterećenja,
- ENGMODE – operacijski mod motora (pod naponom, u radu, bez napona),
- FSP – tlak sustava goriva,
- LPS – tlak sustava podmazivanja,
- MAP – tlak ispirnog zraka,
- RPM_N – brzina okretaja koljenastog vratila,
- VPWR – nazivni napon upravljačke jedinice,
- ITDCOM – zahtijevani položaj uređaja za pomicanje trenutka ubrizgavanja,
- ITDPOS – trenutna pozicija uređaja za pomicanje trenutka ubrizgavanja,
- RPCOM – tražena pozicija letve ubrizgača,
- RPOS – trenutni položaj letve ubrizgača,
- ACT – temperatura ispirnog zraka,
- ECT – trenutna temperatura motora,
- EXT – temperatura ispušnih plinova na ispušnom koljenu,
- FUELDENS – gustoća dizelskog goriva,
- MET – temperatura ispuha motora,



Slika 35. Prikaz snimljenih parametara motora [8]

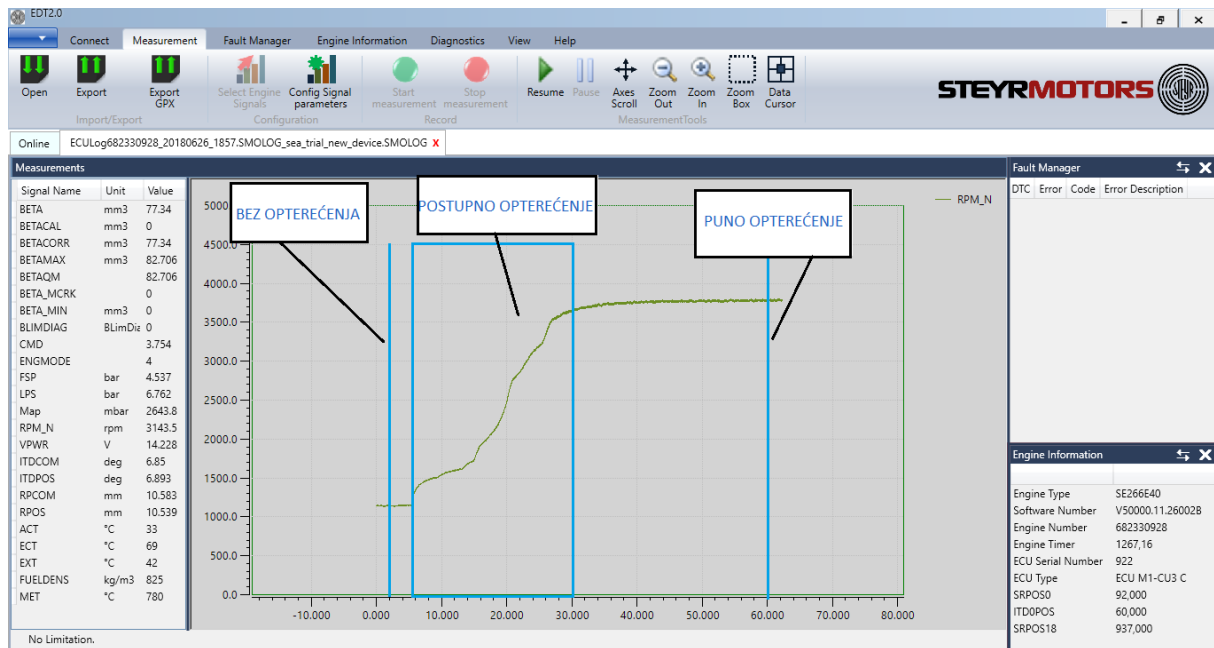
Na grafikonu parametara zajednička vrijednost za sve parametre je vrijeme koje je prikazano na apscisi, dok su na ordinati prikazane vrijednosti pojedinih promatranih parametara. Kako je područje vrijednosti za pojedine parametre višestruko brojčano različito, tako je prije promatranih vrijednosti potrebno kliknuti na parametar sa desne strane grafikona što mijenja vrijednosti ordinate. Sa lijeve strane grafikona prikazane su brojčane vrijednosti pojedinih parametara na odabranom dijelu grafikona.

Izvelo se snimanje parametara rada motora u duljini od oko 60 sekundi. Snimljene podatke ćemo razmotriti u tri skupine i to:

1. Područje testa za vrijeme rada bez opterećenja
2. Područje testa u podizanju opterećenja
3. Rad motora na punom opterećenju

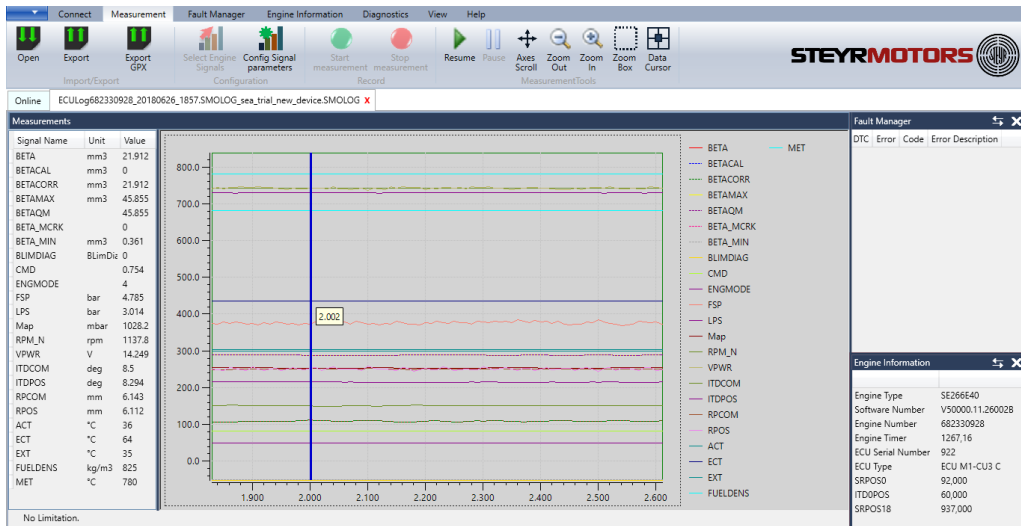
Na niže prikazanom grafikonu izdvojila se samo krivulja broja

okretaja motora kako bi se odredilo točno vrijeme u sva tri ranije spomenuta režima rada. Vidi se kako je drugoj sekundi broj okretaja bio 1140,9 0/min (vidljivo sa lijeve strane grafikona, a točne vrijednosti očitane su u programu).

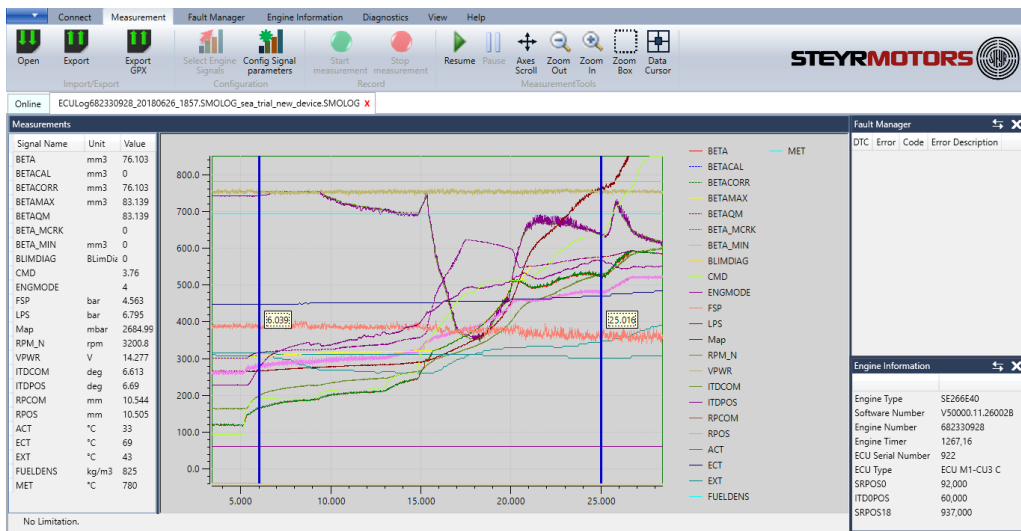


Slika 36. Prikaz broja okretaja u odnosu na vrijeme snimanja [8]

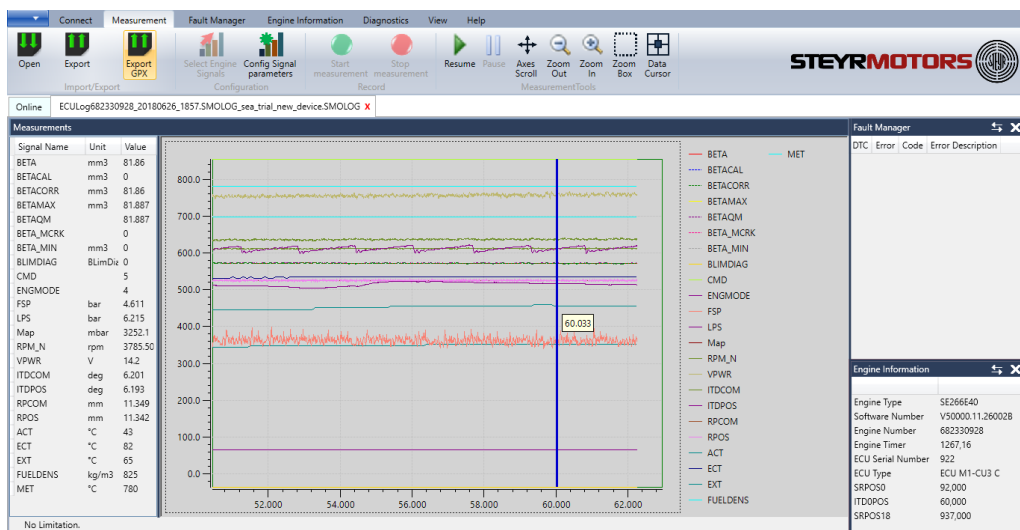
Odabiru se područja za analizu, i to u drugoj sekundi, od 6.-25. sekunde i u 60-toj sekundi. Odabrana područja biti će uvećana te će na grafikonu biti postavljene i ostale krivulje snimljene tijekom testne vožnje. Testirani motor nema ugrađen osjetnik kvalitete goriva, kao niti osjetnik temperature ispušnih plinova pa su u programu upravljačke jedinice ove dvije veličine postavljene automatski na srednje vrijednosti.



Slika 37. Uvećano promatrano područje u drugoj sekundi [8]



Slika 38. Uvećano promatrano područje do 6.-25. sekunde [8]



Slika 39. Uvećano promatrano područje u 60-joj sekundi [8]

Tablica 3. Prikaz vrijednosti dobivenih mjerenjem

| Naziv signala | Jedinica | Izmjerene vrijednosti | | | | |
|---------------|-----------------|-----------------------|---------|----------|---------|----------|
| | | 2. sek. | 6. sek. | 18. sek. | 25. sek | 60. sek. |
| BETA | mm ³ | 22,055 | 27,620 | 57,001 | 76,243 | 81,860 |
| BETACAL | mm ³ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| BETACORR | mm ³ | 22,055 | 27,620 | 57,001 | 76,243 | 81,860 |
| BETAMAX | mm ³ | 45,836 | 46,712 | 57,138 | 83,070 | 81,887 |
| BETAQM | - | 45,836 | 47,909 | 88,811 | 83,070 | 81,887 |
| BETA_MCRK | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| BETA_MIN | mm ³ | 0,363 | 0,171 | 0 | 0 | 0 |
| BLIMDIAG | <i>BLimDiag</i> | 0 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| CMD | - | 0,754 | 1,289 | 2,984 | 3,758 | 5 |
| ENGMODE | - | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| FSP | bar | 4,762 | 4,79 | 4,719 | 4,529 | 4,611 |
| LPS | bar | 3,012 | 3,485 | 5,969 | 6,807 | 6,215 |
| MAP | mbar | 1027 | 1031 | 1339 | 2686,5 | 3252,1 |
| RPM_N | o/min | 1136 | 1327,5 | 2126,4 | 3192 | 3785,50 |
| VPWR | V | 14,266 | 14,226 | 14,316 | 14,276 | 14,20 |
| ITDCOM | deg | 8,5 | 8,5 | 2,217 | 6,641 | 6,201 |
| ITDPOS | deg | 8,294 | 8,306 | 2,333 | 6,735 | 6,193 |
| RPCOM | mm | 6,152 | 6,465 | 8,699 | 10,545 | 11,349 |
| RPOS | mm | 6,176 | 6,512 | 8,719 | 10,544 | 11,342 |
| ACT | °C | 36 | 36 | 35 | 33 | 43 |
| ECT | °C | 64 | 64 | 66 | 69 | 82 |
| EXT | °C | 35 | 34 | 36 | 42,63 | 65 |

| | | | | | | |
|-----------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| FUELDENS | kg/m^3 | 825 | 825 | 825 | 825 | 825 |
| MET | $^{\circ}C$ | 780 | 780 | 780 | 780 | 780 |

9. ANALIZA IZMJERENIH PARAMETARA MOTORA

Analiza parametara provest će se sukladno sa prikazanim izmjerenim vrijednostima. Posebna pažnja posvetiti će se ubrizganoj količini goriva u cilindar za vrijeme rada motora, te promjeni ovisno o opterećenju motora. Naziv BETA dodijeljen je općenito za ubrizganu količinu goriva. Kako je ubrizgavanje veličina ovisna o nizu drugih parametara, tako i BETA ima nekoliko oblika (korigirane, postavljene i granične vrijednosti). BETA u principu ima dvije grupe parametara o kojima ovisi, posredni i neposredni parametri. U posredne parametre ubrajaju se razne kompenzacije kao što su kvaliteta, temperatura pokretanja i slično dok su neposredni parametri tlak prednabijanja, temperatura ispirnog zraka, zadano opterećenje motora. Opterećenje motora postiže se naredbom na potenciometru opterećenja što predstavlja traženi (postavljeni) položaj letve opterećenja RPCOM. U odnosu na traženi položaj letve ubrizgača, upravljačka jedinica pomiče, tj. povećava količinu ubrizganog goriva, dok letva ubrizgača ne postigne zadanu vrijednost. Tijekom tog procesa u svakom trenutku dolazi do promjene ostalih uvjeta rada motora koji moraju zadovoljiti parametre programirane unutar upravljačke jedinice kako bi se povećanje ubrizgane količine goriva i ostvarilo. Postupnim pomicanjem letve ubrizgača, povećava se količina ubrizganog goriva „BETA“ što posljedično znači porast broja okretaja koljenastog vratila, porast tlaka i temperature ispirnog zraka, porast temperature ispušnih plinova, porast temperature motora.

9.1. STANJE U DRUGOJ SEKUNDI

Uzme li se obzir stanje u drugoj sekundi, jasno je vidljivo kako je potencijometar zadao položaj letve ubrizgača $RPCOM=6,152$ mm, $RPOS=6,176$ mm i kako je taj položaj i postignut uz odstupanje od $0,024$ mm što je unutar dozvoljenih odstupanja budući nema pojave alarma (ograničenja ubrizgavanja, $BETALIMDIAG=0$). Ukoliko se promotri $BETACAL=0$, zaključuje se kako tražene količine goriva nema u odnosu na trenutno stanje, što znači kako se postigla točno tražena količina ubrizganog goriva, pa nema odstupanja postignute od tražene. Isto tako, nije prisutna korekcija količine goriva po kvaliteti goriva $BETACORR=BETA=22,055$ mm³ po otvaranju. Za ovaj položaj letve ubrizgača, u upravljačkoj jedinici je postavljena maksimalna količina goriva koju je moguće ubrizgati u cilindar $BETAMAX=45,836$ mm³, a $BETA_MIN = 0,363$ mm³ je iznos količine koja se dodaje na osnovnu traženu količinu goriva za ubrizgavanjem temeljem temperature motora. Što je motor hladniji, ova količina goriva je tim viša, odnosno porastom temperature niža, a potpuno se ukida na temperaturi motora od 65 °C. Nakon što je postignuta temperatura od 65 °C, ubrizgava se samo osnovna količina goriva BETA.

Za ovaj postavljeni režim rada, postignuto je $RPM_N=1136$ o/min, što odgovara 568 ubrizgavanja u minuti, odnosno 34080 ubrizgavanja u jednom satu. Ako se pomnoži količina sa brojem ubrizgavanja i brojem cilindara, dobije se $22,055 \cdot 6 \cdot 34080 = 4509806,4$ mm³, odnosno $4,5098064$ dm³ po jednom ubrizgavanju. Dakle, trenutna potrošnja goriva za ovaj režim rada je $4,5$ l/h. Dijagram potrošnje goriva prikazan je na slici 46.

Ova računalna potrošnja se odnosi isključivo za trenutno stanje i trenutno opterećenje, te ne može biti komparirano sa krivuljom prikazanom u dijagramu opterećenja jer je krivulja skicirana isključivo za maksimalna opterećenja za određene okretaje, tj. za maksimalno raspoloživu snagu na određenim okretajima koljenastog vratila.

Testirani motor je imao smetnje tijekom vožnje, što je i bio razlog testiranja i snimanja svih ovih podataka, te je cilj bio detektirati o kakvom se poremećaju u radu motora radi. Ograničenje ubrizgavanja u ovom trenutku BETALIMDIAG=0, što znači da ograničenja ne postoje.

Položaj potenciometra prikazan je kroz interval signala od 0-5, a za ovo stanje vidljivo je CMD=0,754.

Sustav goriva mora imati stalan tlak dotoka goriva preko 4 bara, te je u ovom trenutku osjetnik očitavao FSP=4,762 bar što je u redu. Osjetnik tlaka sustava za podmazivanje konstruiran je i programiran za područje rada od 0-5 V ,odnosno 0-10 bara. Radni tlak sustava ne može biti više od 8 bara, a niti niže od 0,8 bara. U ovom trenutku LPS=3,012 bara, što je prema tvorničkom ispitivanju - idealno. Grafički prikaz tlaka ulje za podmazivanje prikazan je na slici 45.

Tlak ispirnog zraka se mijenja ovisno o količini ispušnih plinova, tj. opterećenju motora. Iz tehničke dokumentacije maksimalni apsolutni tlak ispirnog zraka može biti 2840 mbar sa dozvoljenim odstupanjem od ± 75 mbar. U drugoj sekundi snimanja vidljiv je MAP=1027 mbar, što odgovara atmosferskom tlaku, odnosno motor je bio bez opterećenja sa niskim brojem okretaja pa je i količina ispušnih plinova bila nedovoljna za podizanje tlaka ispirnog zraka.

Parametar napona upravljačke jedinice je neovisan o režimu rada motora i on kao takav za vrijeme rada motora uvijek mora biti oko 14 V, a u ovom trenutku iznosio je $VPWR=14,266$ V.

Sustav za korigiranje trenutka ubrizgavanja je postavio vrijednost $ITDCOM=8,5^\circ$, a stvarna pozicija je $ITDPOS=8,294^\circ$ što je unutar odstupanja. Pomak kuta ubrizgavanja niti ne može biti u svakom trenutku postavljen na točno zahtijevanu vrijednost, jer postoje odstupanja u konstrukciji sustava pa se tijekom rada događaju minimalna odstupanja u pomaku.

Temperatura ispirnog zraka $ACT=36^\circ\text{C}$ je okvirno dobra vrijednost jer je u vrijeme testiranja temperatura morske vode iznosila oko 25°C , a motor je ipak podiže zbog strujanja zraka kroz turbinu i intercooler koji je topliji od okoline. Projektirana maksimalna dozvoljena temperatura ispirnog zraka je 60°C . Ovaj parametar je važan zbog dijagnoze eventualnih nedostataka izmjenjivača topline zraka u smislu slabe izmjene sa okolinom, što je bitno pri velikim opterećenjima gdje je tlak ispirnog zraka oko 3 bara i temperature oko 125°C .

Temperatura motora, $ECT=64^\circ\text{C}$, što je još uvijek nedovoljno zagrijan motor, ali je više nego dovoljna za normalan rad motora u mjerenim okolnostima.

Temperatura ispušnih plinova mjeri se na ispušnom koljenu u cilju detektaže učinkovitosti rashlada sustava slane vode, a vrijednost je iznosila $EXT=35^\circ\text{C}$. Ukoliko je ova vrijednost povećana preko 65°C znači kako je protok slane vode smanjen kroz rashladni sustav motora.

9.2. STANJE U PERIODU OD 6-25 SEKUNDE

Analizirajući period između 6.-25. sekunde koji se nalazi unutar perioda od vožnje bez opterećenja, pa do vožnje u punom opterećenju, uvidjet će se kako se traženi položaj letve ubrizgača mijenja promjenom položaja potenciometra pa su očitani $RPCOM_6 = 6,465$ mm, $RPCOM_{18} = 8,699$ mm i $RPCOM_{25} = 10,545$ mm. Sukladno traženom položaju, upravljačka jedinica mora sa naredbom izvesti pomak letve točno u zatraženu vrijednost, pa su očitane vrijednosti $RPOS_6 = 6,512$ mm, $RPOS_{18} = 8,719$ mm i $RPOS_{25} = 10,544$ mm. Očitanim vrijednostima ostvareni trenutni položaji neprijeporno odgovaraju zadanim, odnosno traženim pomacima letve ubrizgača, pa se zaključuje kako je sustav stabilan i bez nepravilnosti.

Pomakom letve ubrizgača ostvaruje se i povećanje ubrizganog goriva u cilindar, tj. dolazi do povećanja snage motora. Kako je motor namijenjen za poriv broda očekivati je porast okretaja motora sukladno izgaranoj smjesi pa će i očitane tražene vrijednosti BETA biti različite za sva tri promatrana trenutka, ali svaka trenutna vrijednost mora odgovarati svojoj traženoj vrijednosti, odnosno ne smije dolaziti do razlike traženog i dobijenog.

$$BETA_6 = 27,620 \text{ mm}^3, BETA_{18} = 57,001 \text{ mm}^3 \text{ i } BETA_{25} = 76,243 \text{ mm}^3$$

$$BETACAL_6 = BETACAL_{18} = BETACAL_{25} = 0$$

Svaka od očitanih BETA vrijednosti je različita zbog traženog povećanja snage potenciometrom, dok su BETACAL sve vrijednosti jednake nuli što znači kako je svaka zatražena količina za ubrizgavanje ujedno i izvedena, te nema

razlike u traženo-izvedeno. Ukoliko bi BETACAL imao nekakav iznos to bi značilo da sustav ne može postići traženu količinu goriva, odnosno moguće kako je motor u preopterećenju i ne može postići tražene zadane uvjete.

U ovom periodu postojana je i promjena temperature motora od 64 do 69 °C, pa je za očekivati i promjenu BETA_MIN.

$$BETA_MIN_6 = 0,171 \text{ mm}^3, BETA_MIN_{18} = 0 \text{ i } BETA_MIN_{25} = 0$$

Kako je došlo do porasta temperature motora preko 65 °C, tako je i ukinuta dodatna količina goriva pri hladnijim uvjetima.

Traženi uvjeti signaliziraju se ulaznim podatkom CMD. U ovom intervalu izvodi se kontinuirano pomicanje potencijometra pa su očitane vrijednosti:

$$CMD_6 = 1,289, CMD_{18} = 2,984 \text{ i } CMD_{25} = 3,758.$$

Iz ovih podataka može se zaključiti kako nije napravljen potpuni pomak potencijometra u krajnji položaj jer bi tada signal iznosio točno 5, ali je korisno imati podatke na umu kao naredbene i ulazne na temelju kojih upravljačka jedinica izvodi tražene promjene u opterećenju motora.

Ispravljena vrijednost ubrizganog goriva na temelju kvalitete goriva, odnosno gustoće, u ovom slučaju nije moguća te BETACORR mora biti jednaka BETA u svim trenucima rada motora jer osjetnik nije ugrađen na motor pa je vrijednost postavljena na zadanu.

$$\text{BETACORR}_6 = \text{BETA}_6 = 27.620, \text{BETACORR}_{18} = \text{BETA}_{18} = 57.001$$

$$\text{BETACORR}_{25} = \text{BETA}_{25} = 76.243$$

Ovisno o uvjetima rada, program upravljačke jedinice generira maksimalnu količinu i prema trenutnim parametrima moguću količinu goriva koja može biti ubrizgana u cilindar, pa je za očekivati i različite vrijednosti za pojedine intervale. Uočeno je kako je u šestoj sekundi vidljiva znatno manja BETA od maksimalne, dok je u 18. i 25 sekundi ubrizgana količina neznatno manja od maksimalne. Ovo upravo znači kako je u 10. i 25. sekundi, motor maksimalno opterećen za zadani režim rada motora, što upućuje na zaključak kako je tijekom intervala od 6-25. sekunde naglo zadano opterećenje motora na koje je upravljačka jedinica reagirala i to ubrizgavanjem maksimalne količine goriva.

$$\text{BETAMAX}_6 = 46.712, \text{BETAMAX}_{18} = 57.138, \text{BETAMAX}_{25} = 83.070$$

Analizirajući ubrizganu količinu goriva, u 6. i 18. sekundi BETALIMDIAG=4, što znači kako je ubrizgavanje trenutno ograničeno za određenu količinu ovisnu o parametru koji je ograničio ubrizgavanje. Ukoliko se promotri okvir status ekrana (donji dio prozora) vidjet će se status ograničenje po tlaku prednabijanja („Boost pressure limitation“). Znači kako je tijekom razvijanja snage došlo do manjka ili viška zraka, odnosno do nižeg ili višeg tlaka ispirnog zraka što ne odgovara zadanim vrijednostima mape goriva pa je sukladno tome ograničeno ubrizgavanje na vrijednost koja odgovara trenutnom tlaku ispirnog zraka. U 25. sekundi BETALIMDIAG=0, što znači kako je došlo do postizanja tlaka ispirnog zraka, a time i količine zraka potrebne za maksimalno ubrizganu količinu goriva.

Nakon postizanja tlaka ispirnog zraka u status prozoru pojavljuje se poruka nema ograničenja („No limitation“), odnosno ubrizgavanje se odvija po zadanoj mapi goriva.

Sukladno navedenom ograničenju za promatranje je stvarni tlak ispirnog zraka, odnosno:

$$\text{Map}_6 = 1031 \text{ mbar}, \text{Map}_{18} = 1339 \text{ mbar}, \text{Map}_{25} = 2686.5 \text{ mbar}$$

Imavši na umu kako je maksimalni tlak ispirnog zraka 2840 mbar sa odstupanjem od ± 75 mbar, može se zaključiti kako u 6. i 18. sekundi nije postignut dovoljan tlak ispirnog zraka. Analizirajući grafikon u programu, prestanak ograničenja ubrizgavanja događa se u 21,160 sekundi pri 2775 o/min, kada je tlak ispirnog zraka dosegao 2141 mbar. U šestoj sekundi očitano je 1327,5 o/min i tlak 1031 mbar, dok je u 18. sekundi motor okretao 2126,4 o/min pri tlaku od 1339 mbar, a u 25. sekundi okretaji su bili 3192 o/min i tlak 2686,5 mbar. Promotri li se krivulja snage prikazana na stranici 10, vidjet će se kako se nagli porast snage (momenta) događa na oko 1800 o/min, što znači kako se mora događati i porast tlaka prednabijanja, pa zaključujem kako ipak u 6. i 18. sekundi nedostaje mala količina zraka (nedovoljan porast tlaka) koja bi bila sukladna mapi goriva.

Tlak sustava goriva nadzire se osjetnikom tokom rada motora i kod ovih uvjeta očitane vrijednosti tlaka sustava su:

$$\text{FSP}_6 = 4.79 \text{ bar}, \text{FSP}_{18} = 4.719 \text{ bar}, \text{FSP}_{25} = 4.52 \text{ bar}$$

Povećanjem okretaja koljenastog vratila povećava se i broj okretaja pumpe sustava za podmazivanje u motoru, a zadani interval tlaka ulja za podmazivanje za motor u opterećenju je od 3-8 bara. Očitane vrijednosti su

unutar zadanog intervala:

$$LPS_6 = 3.485 \text{ bar}, LPS_{18} = 5.969 \text{ bar}, LPS_{25} = 6.807 \text{ bar}$$

Uređaj za pomicanje trenutka ubrizgavanja postavlja ubrizgavanje u ranije ili kasnije, temeljem trenutnih uvjeta rada motora. Položaj definira program unutar upravljačke jedinice koji obradom trenutno prikupljenih parametara postavlja i trenutno vrijeme ubrizgavanja, pa je sukladno tome i kut promjenjiv. Treba sagledati postavljeni položaj u odnosu na traženi:

$$\begin{aligned} ITDCOM_6 &= 8.5 \text{ mm}, ITDCOM_{18} = 2.217 \text{ mm}, ITDCOM_{25} = 6.641 \text{ mm} \\ ITDPOS_6 &= 8.306 \text{ mm}, ITDPOS_{18} = 2.333 \text{ mm}, ITDPOS_{25} = 6.735 \text{ mm} \end{aligned}$$

Vidljivo je minimalno odstupanje u položaju kuta ubrizgavanja što je još uvijek u granicama dopuštenih vrijednosti jer nema snimljenih grešaka u upravljačkoj jedinici.

Temperature ispirnog zraka ne smiju prelaziti 60 °C, jer se pri dizajniranju motora koristi navedena vrijednost kao maksimalna jer je u ljetnim mjesecima temperatura morske vode i preko 25 °C, a obzirom da strujanje zraka kroz topla kućišta motora (usisnih elemenata) i bez obzira na izmjenjivač topline zraka koji podiže temperaturu za nekoliko stupnjeva, projektna vrijednost je 60 °C. Uvidom u ove parametre jasno se zaključuje kako ima nepravilnosti u radu izmjenjivača zraka:

$$ACT_6 = 36 \text{ °C}, ACT_{18} = 35 \text{ °C}, ACT_{25} = 33 \text{ °C}$$

Uvidom u parametre vidljiv je pad temperature ispirnog zraka motora povećanjem opterećenja, odnosno broja okretaja koljenastog vratila. Povećanjem opterećenja povećava se i strujanje morske vode kroz izmjenjivač topline zraka, te je izmjena topline povećana čime je ostvaren pad temperature ispirnog zraka što znači kako je izmjenjivač topline čist bez nedostataka u radu.

Temperatura motora („ECT“) raste sukladno opterećenju sve do maksimalnih 82-88 °C što je ujedno i radna temperatura motora. Regulacija izmjene topline izvodi se preko termostatskog ventila koji regulira izmjenu kako bi se radna temperatura održala oko 84 °C.

$$ECT_6 = 64 \text{ °C}, ECT_{18} = 66 \text{ °C}, ECT_{25} = 69 \text{ °C}$$

Porastom opterećenja raste i količina ispušnih plinova u ispuhu motora, ali i strujanje morske vode kroz sustav rashlada. Morska voda nakon izmjene ima nešto povećanu temperaturu u odnosu na ulaznu vrijednost, te ista kroz ispušno koljeno izlazi u okolinu. U ispušnom koljenu je osjetnik temperature ispušnih plinova koji registrira temperaturu u ispušnom koljenu zbog kontrole strujanja morske vode koja ga tijekom rada motora oplakuje i ne dopušta pregrijavanje osjetnika. Ukoliko se iz nekog razloga protok morske vode smanji, a opterećenje zadrži poraste temperatura ispuha, te se signalizira pogreška koja ograničava ubrizgavanje, pojavljuje se kao BLIMDIAG vrijednost:

$$EXT_6 = 34 \text{ °C}, EXT_{18} = 35 \text{ °C}, EXT_{25} = 42.77 \text{ °C}$$

Parametar kvalitete goriva („FUELDENS“) i stvarna temperatura ispušnih

plinova („MET“) ostaju u zadanim vrijednostima jer osjetnici nisu ugrađeni na motor.

9.3. STANJE U 60-toj SEKUNDI

Najprije treba razmotriti traženi režim rada položajem potenciometra za regulaciju opterećenja („CMD“). Očitana vrijednost $CMD_{60}=5$, što znači kako je potenciometrom zatražena maksimalna snaga motora. Temeljem traženog maksimalnog opterećenja upravljačka jedinica postavlja letvu ubrizgača u maksimalan položaj, odnosno ostvaruje ubrizgavanje maksimalne količine goriva (slika 40):

$$RPCOM_{60} = 11,349 \text{ mm}, RPOS_{60} = 11,342 \text{ mm}$$

Letva ubrizgača postavljena je na traženu vrijednost upravljačke jedinice čime motor mora razviti punu snagu.

Temeljem zatražene maksimalne snage (slika 41), motor je postavio maksimalnu količinu goriva koju je moguće ubrizgati parametrom $BETAMAX=81,887 \text{ mm}^3$ pa je nužno da i ubrizgana vrijednost odgovara traženom maksimumu $BETA_{60} = 81,860 \text{ mm}^3$.

Iz ovih parametara neprijeporno se da ustvrditi kako je motor ostvario potpuno opterećenje što ne znači da je i razvio potpuni nazivni broj okretaja od 4000 rpm.

Kako se već ranije spomenulo, $BETACAL_{60} = 0 \text{ mm}^3$ jer nema odstupanja od tražene vrijednosti potenciometra. Isto tako nema korekcije ubrizgane količine temeljem osjetnika kvalitete goriva pa je

$$\text{BETACORR}_{60} = \text{BETA}_{60} = 81,860 \text{ mm}^3$$

Trenutna moguća količina goriva je $\text{BETAQM}_{60} = 81,887 \text{ mm}^3$ što odgovara i maksimalnoj količini goriva, pa je upravljačka jedinica sve parametre postavila za postizanje maksimalne snage motora.

Korekcije količine goriva temeljem hladnog starta također nema pa je $\text{BETAMIN}_{60} = 0$.

Promatrajući parametar ograničenja ubrizgavanja $\text{BLIMDIAG}_{60} = 0$ jasno se zaključuje kako nema ograničenja, što znači da su svi parametri zadovoljeni za postizanje maksimalne snage na motoru.

Kako je na motoru postignuto potpuno opterećenje, očekivan je i minimalan pad tlaka goriva sustava jer je potrošnja goriva maksimalna.

U ovom trenutku postignuto je $\text{RPM}_N_{60} = 3785.50 \text{ o/min}$ što znači da ima 1892 ubrizgavanja u minuti, odnosno 113565 ubrizgavanja u jednom satu po cilindru. Kako se radi o 6-cilindričnom motoru lako je izračunati trenutnu potrošnju goriva. Dakle, ubrizgana količina jednog ubrizgača množi se sa 6 i sa brojem ubrizgavanja na sat, te se dobije; $81,860 \times 6 \cdot 113565 = 55778585.4 \text{ mm}^3$ što je 55,78 l/h. Krivulja potrošnje u dijagramu snage za navedeni broj okretaja prikazuje oko 50 l/min, pa se vidi povećana potrošnja obzirom na dobivene okretaje, čime se zaključuje kako je motor u preopterećenju, odnosno ima potrošnju kao na maksimalnim okretajima, premda iste nije postigao.

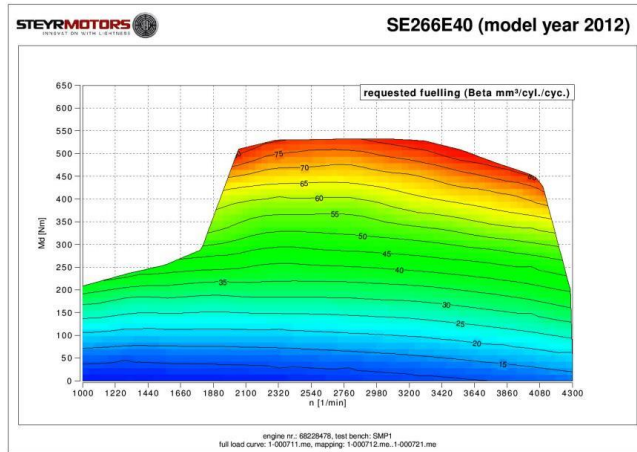
Tlak ispirnog zraka $MAP_{60} = 3252,1$ mbar što je povišeno u odnosu na maksimalni propisani tlak od 2840 mbar. Grafički prikaz promjene tlaka ispirnog zraka prikazan je na slici 42 dok je maseni protok zraka prikazan na slici 44. Ovaj parametar daje na znanje kako sustav za rasterećenje tlaka turbine ima nedostatke u radu pa je isti za provjeriti. Kako motor daje maksimalnu količinu goriva u cilindar, a tlak ispirnog zraka je veći od propisane vrijednosti, jasno se može zaključiti kako je u smjesi povišen udio zraka u odnosu na količinu goriva.

Uređaj za pomicanje trenutka ubrizgavanja upravljačke jedinice je postavio na $ITDCOM_{60} = 6,201$ °, dok je u trenutku rada stvarno postavljen na $ITD_{60} = 6,193$ °.

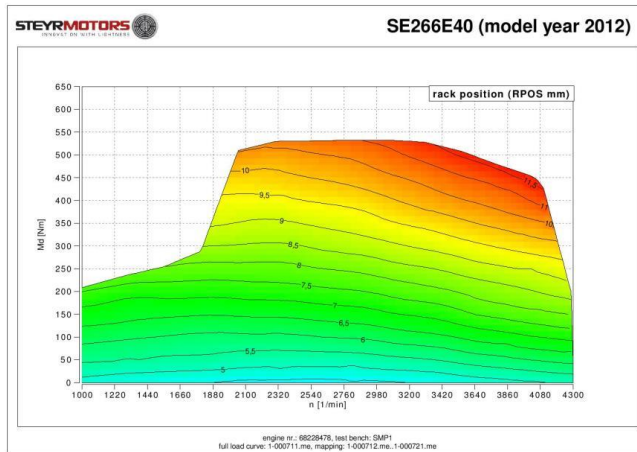
Povećanim tlakom ispirnog zraka za očekivati je i povećanje temperature zraka na usisu, pa je $ACT_{60} = 43$ °C što je minimalno više od polovine konstrukcijske vrijednosti (60 °C).

Ovim režimom postignuta je i potpuna radna temperatura motora $ECT_{60} = 82$ °C što je idealna radna temperatura motora na potpunom opterećenju temeljeg čega se zaključuje kako je sustav izmjene topline potpuno funkcionalan i ispravan.

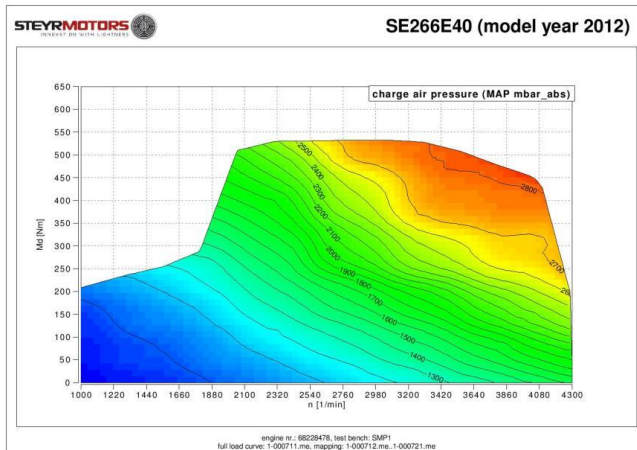
Ranije spomenutnim vrijednosti osjetnika kvalitete goriva i ispušnih plinova postavljene su na zadane vrijednosti jer isti nisu ugrađeni na testirani motor pa su $FUELDENS_{60} = 825$ °C i $MET_{60} = 780$ °C. Grafički prikaz promjene temperature ispušnih plinova prikazan je na slici 43.



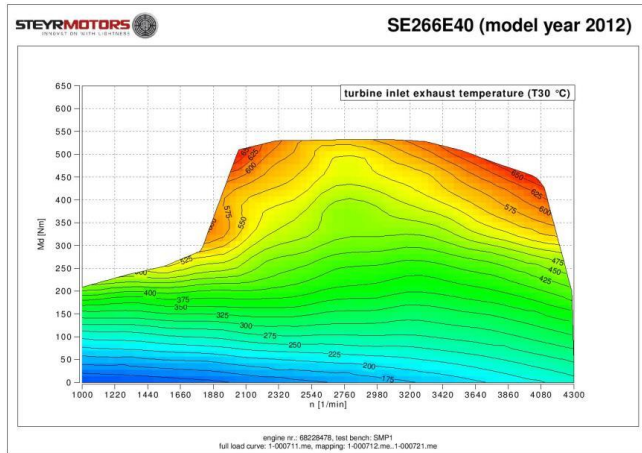
Slika 40. Krivulja zahtijevane količine goriva [6]



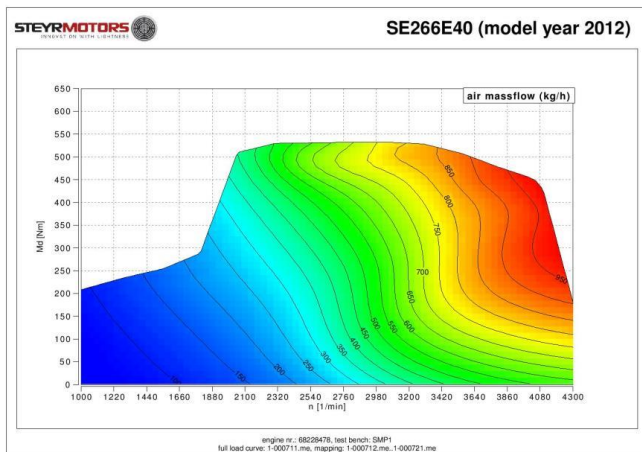
Slika 41. Krivulja položaja letve ubrizgača [6]



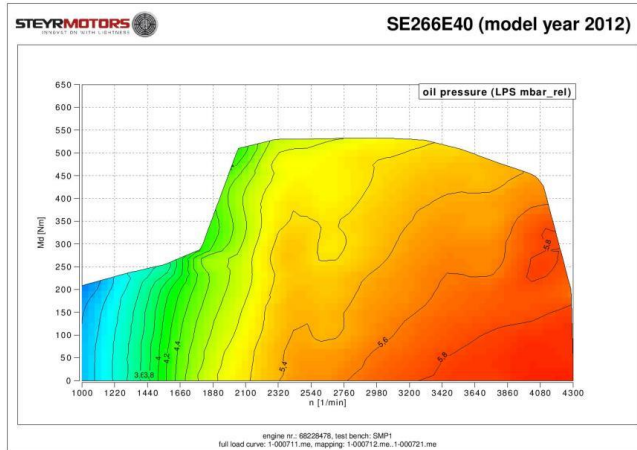
Slika 42. Krivulja tlaka ispirnog zraka [6]



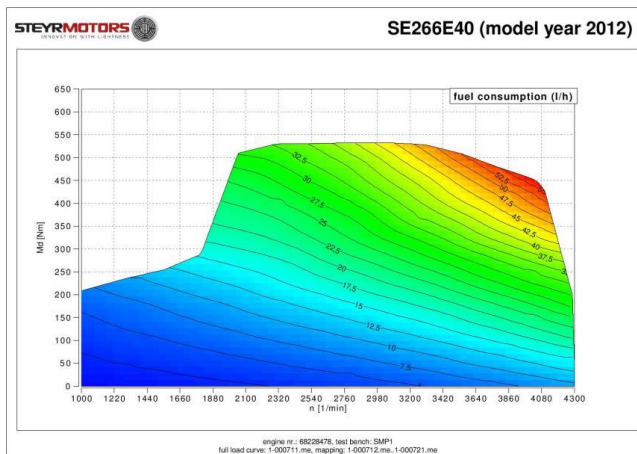
Slika 43. Dijagram temperature ispušnih plinova [6]



Slika 44. Maseni protok zraka [6]



Slika 45. Tlak sustava podmazivanja [6]



Slika 46. Dijagram potrošnje goriva [6]

10. OPTIMIRANJE RADA

Kako je nemoguće jednostavno podići tlakove u motoru i riješiti probleme niske efikasnosti, pribježe se drugim načinima povećanja efikasnosti ciklusa. Modernim dizelskim motorima se može manipulirati mijenjanjem različitih parametara, od kontrole ispušnih i usisnih ventila, tlaka i načina ubrizgavanja goriva, količine smjese u cilindru, kompresijskog omjera, itd. Za optimalan rad motora iz termodinamičkog gledišta, potrebna je kontrola navedenih i ostalih čimbenika pri različitim opterećenjima i zahtjevima korisnika.

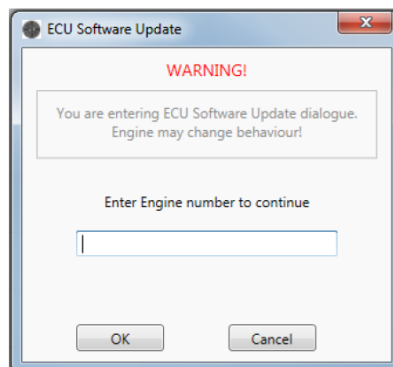
Mapa goriva je program koji je sastavljen od niza varijabli koje su međusobno ovisne. Sami program je vrlo zahtjevan jer uključuje upravljačke algoritme pohranjene u memoriji upravljačke jedinice.

Svaki od ranije spomenutih osjetnika kontroliranih sustava se pojedinačno modelira u nekom od programa te se njegov model pohranjuje u simulator kao dio jedne cjeline upravljačkog programa. Nakon proizvodnje motora upravljački program („mapa goriva“) se pohranjuje u upravljačku jedinicu koja kasnije upravlja radom motora. Motori prije eksploatacije prolaze testove na kočnici gdje se simuliraju svi uvjeti rada motora te se nadziru i snimaju svi parametri rada motora. Cilj ovih testova je ustvrđivanje odstupanja modela u simulatoru i motora u naravi. Tijekom testiranja motora na isti se postavlja još čitav niz posebnih osjetnika koji prate sve sekundarne reakcije motora kao što su torzijske vibracije, promjena nivoa buke u raznim režimima rada, mjerenje ispušnih plinova i slično. Ukoliko se pojave nekakve anomalije u sastavu ispušnih plinova ili devijaciji temperatura, vibracija i niza drugih parametara pribjegava se promjeni parametara u programu upravljačke jedinice čime se mijenja i

reakcija motora prvenstveno ubrizgavanjem goriva bilo da se radi o količini ili trenutku ubrizgavanja.

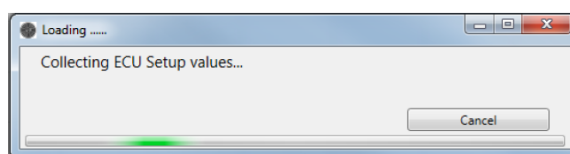
Ovim testiranjima programi dobivaju drugačije oznake i nazivaju se „flash files“. Takove izmijenjene mape goriva se pohranjuju u upravljačku jedinicu preko dijagnostičkog programa čime se mijenjaju i režimi rada motora. Svaki izmijenjeni program pohranjuje se isključivo za pojedini serijski broj motora ili seriju. Najčešće su izmjene na serijama koje su novoizašle iz proizvodnje jer sadrže podosta grešaka koje se vremenom ispravljaju i pohranjuju u upravljačku jedinicu motora.

Niže je prikazan postupak snimanja programa u upravljačku jedinicu STEYR motora. U EDT2 programu u glavnom padajućem izborniku se odbire „ECU Software Update“ nakon čega se otvara prozor gdje se upisuje serijski broj motora.



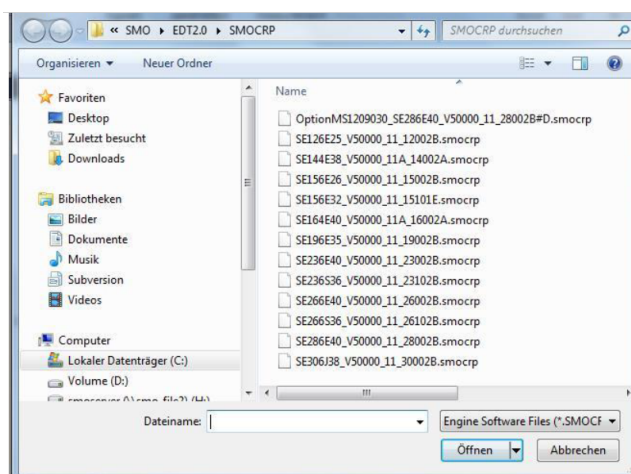
Slika 47. Prozor za upis serijskog broja motora [8]

Prije snimanja novog programa dijagnostički program prikuplja i snima osnovne matične podatke o motoru kao što su sati rada i osnovne postavke rada (prazni hod, dodatna oprema motora i slično) koje ugrađuje u novi program kako bi se zaštitili osnovni podaci motora.



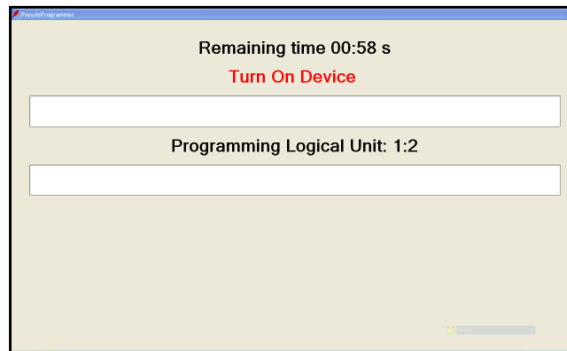
Slika 48. Prikupljanje osnovnih postavki motora [8]

Ovim postupkom su obavljene pripremne radnje za izmjenu programa u motoru i otvara se prozor za odabir novije verzije programa (izmijenjen program):



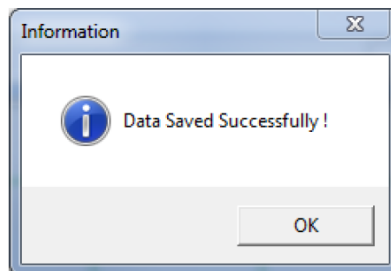
Slika 49. Odabir nove inačice programa [8]

Odabirom programa započinje programiranje motora odnosno pohranjivanje nove izmijenjene inačice mape goriva.



Slika 50. trenutak programiranja upravljačke jedinice [8]

Nakon pohranjivanja programa dijagnostički program javlja još nekoliko potvrdnih naredbi u smislu pomicanja prekidača za start motora u poziciju 0, 1 ili 2 kako bi se potvrdila izmjena programa. Završetkom spremanja dijagnostički alat nas izvještava o uspješnosti pohranjivanja programa.



Slika 51. Prikaz završetka pohrane programa [8]

11. ZAŠTITA MOTORA RASTEREĆENJEM

Brodski motor **STEYR MOTORS** opremljen je trima svjetlima upozorenja i jednim zvučnim alarmom (ugrađenim na stražnju stranu kontrolne ploče), koji ukazuju na slijedeće radne uvjete ili nedostatke pojedinih sustava:

- Upozorenje na fazu predgrijanja; kombinirana indikacija preko lampice tlaka ulja,
- Upozorenje na nisku temperaturu okoline i rashladnog medija,
- Upozorenje rada u intervalu od 0 do 20 radnih sati pri ošterećenju većem od 75%,
- Upozorenje na nizak tlak u sustavu z apodmazivanje
- Upozorenje na visoku temperaturu rashladne tekućine
- Ukazivanje na nepravilnosti instalacije i osjetnika

Svjetlosni indikatori i sirena upozorenja ostaju uključeni 5 s nakon uključjenja kontakta ako se otkrije kvar na senzoru ili strujnom krugu senzora i pogreška ostaje upamćena u upravljačkoj jedinici motora, ECU. Ako je tlak motornog ulja prenizak, upalit će se svjetlo upozorenja za „tlak motornog ulja“ i uključit će se zvučni alarm i snaga motora bit će ograničena. U slučaju pregrijavanja rashladnog sustava ispušnih plinova, svjetlo upozorenja za „kontrolu motora“ treperi i uključuje se zvučni alarm (2 puta u sekundi); a snaga motora se smanjuje.

12. ZAKLJUČAK

U diplomskom radu provedeno je mjerenje parametara motora tijekom više režima rada u cilju prikupljanja podataka koji će kasnije služiti kao materijal za analizu u cilju optimiranja motora. Analizom parametara motora promatranih u drugoj sekundi snimanja vidljiva je pravilna promjena ubrizgane količine goriva temeljem zahtjeva potencijometra upravljanog od strane korisnika. Nikakve anomalije u smislu zabilježenih grešaka nije prisutna u upravljačkoj jedinici motora. Daljnjim porastom opterećenja na traženje potencijometra povećava se i ubrizgana količina goriva čime raste i količina ispušnih plinova koji povećavaju brzinu okretaja turbopuhala. Promatranim periodom od šeste do osamnaeste sekunde pojavljuje se ograničenje ubrizgavanja i to napomenom „Boost pressure limitation“ što znači da je nepravilna promjena tlaka ispirnog zraka. Daljnjim povećanjem opterećenja povećava se ubrizgana količina goriva, raste opterećenje, tlak ispirnog zraka, temperatura i naravno potrošnja. Nakon osamnaeste sekunde ograničenje ubrizgavanja prestaje i opterećenje dalje raste sve do maksimuma. U promatranj šezdesetoj sekundi opterećenje je potpuno, okretaji motora su 37850/min i dalje se ne povećavaju, tlak ispirnog zraka je 3252,1 mbar. Konačno je zaključiti kako je motor u potpunom opterećenju u nemogućnosti postizanja maksimalnog deklariranog broja okretaja a tlak ispirnog zraka je iznad deklariranog za 2840 odnosno za 14,51%. Temeljem analizom dobivenih rezultata za provesti je korekciju upravljanja geometrijom turbopuhala i to na način da se poveća tlak od šeste do osamnaeste sekunde a konačno smanji u potpunom opterećenju. Ovom optimizacijom mape goriva postići će se pravilniji rad motora bez pojave anomalija u radu i grešaka spremljenih u kontrolnoj jedinici motora.

Upotrebom sofisticiranih dijagnostičkih sustava može se postići precizno podešavanje parametara motora u cilju optimiranja radnih karakteristika, koje nije moguće postići standardnim servisnim alatima. Preduvjet za izvođenje dijagnostike i optimiranja je poznavanje sustava koji se provjeravaju te je nužno biti ekspert na predmetnim područjima za što su potrebni specijalistički treninzi i radno iskustvo.

LITERATURA

- [1] Komar Ivan; Radica Gojmir, Brodski motori, PFST, 2012.
- [2] prof.dr.Ivan Mahalec, Mehanički gubici u klipnom motoru, skripta, 2012.
- [3] Diesel Tehnology guide, skripta, pdf.
- [4] Grljušić Mirko, doktorski rad, Termodinamička analiza i optimizacija rada brodskog pogonskog sporohodnog dizelskog motora sa korištenjem otpadne topline, 2012.
- [5] STEYR MOTORS – Motoren Training, 2016.,
<http://www.steyr-motors.com/download/extranet/training/>
- [6] STEYR MOTORS – Technical documentation,
<http://www.steyr-motors.com/download/extranet/service-literature/>
- [7] Wikipedia, https://hr.wikipedia.org/wiki/Dieselov_ciklus
- [8] Dijagnostički alat STEYR MOTORS

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1. Teoretski dijagram dizel procesa P-V dijagram..... | 5 |
| Slika 2. Rad četverotaktnog motora u P-V dijagramu (realni proces)..... | 6 |
| Slika 3. Krivulje momenta snage i potrošnje goriva | 12 |
| Slika 4. Mehanički stupanj korisnosti..... | 13 |
| Slika 5. Izvedba Steyr motora..... | 16 |
| Slika 6. Presjek bloka motora..... | 16 |
| Slika 7. Prikaz sapnice ubrizgača..... | 16 |
| Slika 8. Ubrizgač..... | 17 |
| Slika 9. Prikaz elektroničke opreme motora..... | 17 |
| Slika 10. Upravljačka ploča motora..... | 17 |
| Slika 11. Modul za spajanje motora i dijagnostičkog alata..... | 18 |
| Slika 12. Upravljačka jedinica | 19 |
| Slika 13. Prikaz sustava upravljanja ubrizgačima..... | 20 |
| Slika 14. Osjetnik okretaja koljenastog vratila | 21 |
| Slika 15. Osjetnik položaja letve ubrizgača..... | 21 |
| Slika 16. Osjetnik položaja pomaka trenutka ubrizgavanja..... | 22 |
| Slika 17. Osjetnik tlaka prednabijanja..... | 23 |
| Slika 18. Osjetnik tlaka ulja..... | 24 |
| Slika 19. Osjetnik temperature sustava rashlada..... | 24 |
| Slika 20. Osjetnik temperature prednabijenog zraka..... | 25 |
| Slika 21. Osjetnik temperature ispušnih plinova..... | 26 |
| Slika 22. Potencijometar za regulaciju opterećenja..... | 26 |
| Slika 23. Osjetnik tlaka dobave goriva..... | 27 |
| Slika 24. Prikaz početnog zaslona dijagnostičkog programa..... | 27 |
| Slika 25. Prikaz grupa na glavnoj izornoj traci..... | 28 |
| Slika 26. Prikaz odjeljka sa snimljenim pogreškama..... | 29 |

| | |
|--|----|
| Slika 27. Prikaz zamrzavanja ekrana..... | 29 |
| Slika 28. Prikaz primjera aktiviranja pumpe goriva..... | 30 |
| Slika 29. Prikaz funkcije pokretanja spajanja na upravljačku jedinicu..... | 31 |
| Slika 30. Prikaz statistike profila motora..... | 31 |
| Slika 31. Tablica korištenja motora..... | 32 |
| Slika 32. Prikaz unaprijeđenog programa..... | 32 |
| Slika 33. Detaljni prikaz prozora pogreški..... | 33 |
| Slika 34. Postavljanje promatranih parametara..... | 37 |
| Slika 35. Prikaz snimljenih parametara motora..... | 39 |
| Slika 36. Prikaz broja okretaja u odnosu na vrijeme snimanja..... | 40 |
| Slika 37. Uvećano promatrano područje u drugoj sekundi..... | 41 |
| Slika 38. Uvećano promatrano područje do 6.-25. sekunde..... | 41 |
| Slika 39. Uvećano promatrano područje u 60-oj sekundi..... | 42 |
| Slika 40. Krivulja zahtijevane količine goriva..... | 52 |
| Slika 41. Krivulja položaja letve ubrizgača..... | 53 |
| Slika 42. Krivulja tlaka ispirnog zraka..... | 53 |
| Slika 43. Dijagram temperature ispušnih plinova..... | 53 |
| Slika 44. Maseni protok zraka..... | 54 |
| Slika 45. Tlak sustava podmazivanja..... | 54 |
| Slika 46. Dijagram potrošnje goriva..... | 54 |
| Slika 47. Prozor za upis serijskog broja motora..... | 56 |
| Slika 48. Prikupljanje osnovnih postavki motora..... | 56 |
| Slika 49. Odabir nove inačice programa..... | 57 |
| Slika 50. Trenutak programiranja upravljačke jedinice..... | 57 |
| Slika 51. Prikaz završetka pohrane programa..... | 57 |

POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Pregled svih kodova upisanih u ECU motora | 34 |
| Tablica 2. Prikaz uzroka smanjenja snage..... | 36 |
| Tablica 3. Prikaz vrijednosti dobivenih mjerenjem..... | 42 |