

# Utjecaj načina prebacivanja goriva na rad glavnog motora

---

**Vlašić, Dominik**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:626469>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-24**



**Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**  
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



**uniri** DIGITALNA  
KNJIŽNICA



**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**POMORSKI FAKULTET**

**DOMINIK VLAŠIĆ**

**UTJECAJ NAČINA PREBACIVANJA GORIVA NA RAD**  
**GLAVNOG MOTORA**

**ZAVRŠNI RAD**

Rijeka, 2022.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**

**POMORSKI FAKULTET**

**UTJECAJ NAČINA PREBACIVANJA GORIVA NA RAD  
GLAVNOG MOTORA**

**THE INFLUENCE OF THE FUEL OIL CHANGE-OVER  
METHOD ON THE MAIN ENGINE OPERATION**

**ZAVRŠNI RAD**

Kolegij: Rad na simulatoru 1

Mentor: Dean Bernečić

Student: Dominik Vlašić

Studijski smjer: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112078112

Rijeka, Kolovoz, 2022.

Student: Dominik Vlašić

Studijski program: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112078112

## IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom "UTJECAJ NAČINA  
PREBACIVANJA GORIVA NA RAD GLAVNOG MOTORA"  
izradio samostalno pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Deana Bernečića

U radu sam primijenio metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo/la u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao/la sam i povezao s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student



(potpis)

Student: Dominik Vlašić

Studijski program: Brodostrojarstvo

JMBAG:0112078112

## IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom "UTJECAJ NAČINA PREBACIVANJA GORIVA NA RAD GLAVNOG MOTORA" izradio samostalno pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Deana Bernečića

U radu sam primijenio metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezao s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student: Dominik Vlašić



(potpis)

## **SAŽETAK**

U ovom radu provedeno je istraživanje o tome kako brzina tj. vremenski interval prebacivanja goriva utječe na specifičnu potrošnju goriva, viskozitet goriva, temperaturu goriva i ostale praćene parametre motora. Svi podaci su prikupljeni analitički i grafički, te je sustav, nad kojim se izvršavalo ispitivanje, opisan.

Analizom podataka dobio se uvid u veličine i ponašanje mjernih parametara. Konačni rezultati ispitivanja pokazuju da se gorivo može brže promijeniti ručno nego automatskim načinom prebacivanja. Također se saznalo da je ručno prebacivanje puno zahtjevnije, te da je potrebno više znanja i opreza kod takvog prebacivanja.

Ključne riječi: ručno prebacivanje goriva, automatsko prebacivanje goriva, specifična potrošnja goriva, temperatura ispušnih plinova, viskozitet goriva, temperatura goriva.

## **SUMMARY**

This paper represents the research conducted about how the fuel oil change-over method has effect on specific fuel oil consumption, viscosity of fuel, fuel temperature and main engine parameters. All data has been presented analytically and graphically, and the system, on which the test was performed, has been described.

By analysis of collected data insight was provided into the magnitude and behavior of measured parameters. Final results of the test show that fuel can be changed over faster manually than automatically. It is also showed that manual fuel change over is more demanding, and it takes more knowledge and caution.

Key words: manual fuel change-over, automatic fuel change-over, specific fuel oil consumption, exhaust gas temperature, fuel viscosity, fuel temperature.

## SADRŽAJ

<b>SAŽETAK .....</b>	<b>5</b>
<b>1. UVOD .....</b>	<b>7</b>
<b>2. OPĆENITO O GORIVU .....</b>	<b>8</b>
2.1 KARAKTERISTIKE GORIVA .....	8
<b>3. SUSTAV GORIVA GLAVNOG MOTORA.....</b>	<b>13</b>
3.1. AUTOMATSKI NAČIN PREBACIVANJA GORIVA.....	17
3.2. RUČNO PREBACIVANJE GORIVA .....	18
<b>4. PREBACIVANJE S DIZELSKOG NA TEŠKO GORIVO .....</b>	<b>19</b>
4.1. INTERVAL 1 – 40 MINUTNO PREBACIVANJE.....	20
4.2. INTERVAL 2 – 20 MINUTNO PREBACIVANJE.....	23
4.3. INTERVAL 3 – 10 MINUTNO PREBACIVANJE.....	25
4.4. USPOREDBA SPECIFIČNE POTROŠNJE GORIVA KROZ INTERVALE.....	28
4.5. NAGLO PREBACIVANJE GORIVA .....	29
<b>5. PREBACIVANJE S TEŠKOG (HFO) NA DIZELSKO (DO) GORIVO .....</b>	<b>32</b>
5.1. INTERVAL 1 – 40 MINUTNO PREBACIVANJE.....	32
5.2. INTERVAL 2 – 20 MINUTNO PREBACIVANJE.....	35
5.3. INTERVAL 3 – 10 MINUTNO PREBACIVANJE.....	37
5.4. USPOREDBA SPECIFIČNE POTROŠNJE GORIVA KROZ INTERVALE.....	39
5.5. NAGLO PREBACIVANJE.....	40
<b>6. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>44</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>45</b>
<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>45</b>
<b>POPIS TABLICA .....</b>	<b>46</b>

## 1. UVOD

Kroz završni rad prikazati će se kako brzina prebacivanja goriva utječe na rad motora i na neke bitne parametre motora. Istraživanje će se vršiti na simulatoru strojarnice proizvođača Kongsberg, model MC-90V. U svakom scenariju brod na simulaciji je pun tereta i plovi svom snagom naprijed.

Opisom sustava goriva glavnog motora, te mogućim načinima prebacivanja goriva, biti će objašnjen svaki element u sustavu, te će njegova funkcija biti opisana. Svaki element će također biti numerički prikazan na shemi sustava goriva glavnog motora.

Kroz različite intervale bit će prikazani razni parametri motora, te će se pratiti njihove promjene kroz cijeli interval. Tako će se vidjeti kako je brzina prebacivanja goriva povezana s viskozitetom i temperaturom goriva, te specifičnom potrošnjom goriva. Od ostalih parametara glavnog motora pratiti će se snaga, brzina vrtnje motora, maksimalan tlak, udio NO<sub>x</sub>-a, kut početka ubrizgavanja i sl.

Cilj je otkriti u kojem najkraćem vremenu je moguće sigurno prebaciti s jedne vrste goriva na drugu, uz optimalne parametre glavnog motora i najmanju specifičnu potrošnju goriva.



## **2. OPĆENITO O GORIVU**

Brodski dizelski motor može sagorijevati goriva do viskoziteta od 700Cs-a pri 50°C koja su bazi ugljikovodika, ukoliko je to gorivo prethodno ispravno tretirano. Vrsta i kvaliteta goriva će imati utjecaj na učestalost izvođenja popravaka te na procese potrebne za pripremu goriva za sagorijevanje [1].

Teško gorivo mora biti tretirano u odgovarajućem postrojenju na brodu. Pri ukrcaju goriva na brod (bunkeru), moguće je da dobavljač goriva priloži samo neke od vrijednosti goriva, na listi na kojoj pišu neke specifikacije koje ukazuju na kvalitetu goriva. Često dobavljač daje samo podatke o gustoći i maksimalnom viskozitetu. Time nastaju poteškoće jer se ne znaju vrijednosti ostalih karakteristika goriva i zato je vrlo važno da dobavljač priloži listu u kojoj su navedene sve karakteristike goriva na svakom bunkeru. Dobavljač isto tako mora garantirati stabilnost goriva te njegovu otpornost na formiranje taloga. Gorivo ne smije djelovati korozivno na uređaje u sustavu goriva, te u sebi ne smije sadržavati rabljeno ulje, kemijski otpad ili ne pripadajuće tvari. Goriva se ne smiju miješati jer može doći do zaprljanja filtara i stvaranja taloga zbog različitog sastava dvaju goriva. Novo gorivo se mora smjesti u posebne tankove u kojima ne bi trebalo biti starog goriva [1].

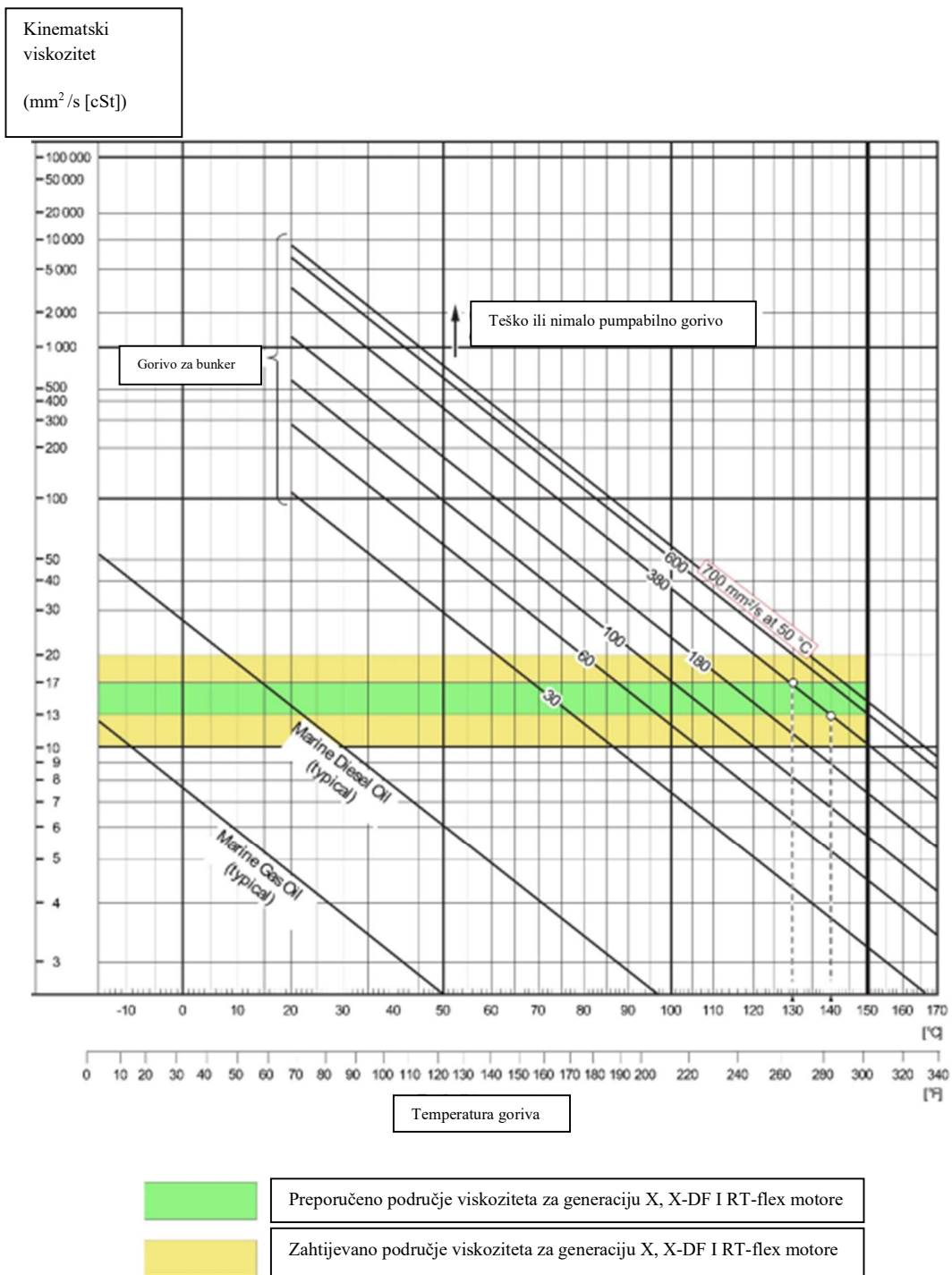
### **2.1 KARAKTERISTIKE GORIVA**

Goriva koja se koriste u brodskim dizelskim motorima nastaju miješanjem različitih naftnih derivata. Da bi se dobio potreban viskozitet kao što je navedeno u specifikacijama opskrbe, teško gorivo se miješa s lakšim gorivima. Moderne rafinerije primjenjuju i sekundarni proces pretvorbe kao što je razbijanje viskoznosti i kreiranje [1].

Tablica 1. Specifikacije teškog dizelskog goriva [1]

Parametri	Vrijednost pri bunkeru	Vrijednost pri ulazu u motor	Mjerna jedinica
Kinematski viskozitet pri 0°C	Max. 700	13 do 17 (nije vezano za temperaturu)	mm <sup>2</sup> /s [cSt] 2
Gustoća pri 15°C	Max. 1010	Max. 1010	kg/m <sup>3</sup>
CCAI - cetanski broj	Max. 870	Max. 870	-
Sadržaj sumpora	Zadano od strane klasifikacijskog zavoda	Max. 3.5	masa %
Temperatura plamišta	Min. 60	Max. 60	°C
Hidrogen sulfid	Max. 2.0	Max. 2.0	mg/kg [ppm]
Kiselinski broj	Max. 2.5	Max. 2.5	mg KOH/g
Sadržaj taloga	Max. 0.1	Max. 0.1	masa %
Sadržaj ugljika	Max. 20	Max. 20	masa %
Gornja granica tečnosti	Max. 30	Max. 30	°C
Sadržaj vode	Max. 0.5	Max. 0.2	volumen %
Sadržaj pepela	Max. 0.15	Max. 0.15	masa %
Sadržaj vanadija	Max. 450	Max. 450	mg/kg [ppm]
Sadržaj natrija	Max. 100	Max. 30	mg/kg [ppm]

VISKOZITET - Maksimalan dopušteni viskozitet teškog dizelskog goriva koje smijemo koristiti je povezan s dostupnim sustavom za grijanje i pripremu goriva. Protok i temperatura goriva, koje prolazi kroz separator goriva, moraju biti usklađeni s obzirom na viskozitet goriva da bi se dobilo što čišće gorivo na izlazu iz separatora. Temperatura se ne smije dizati za više od 150°C da bi se dobio zadani viskozitet goriva na ulazu u motor. Razlog tome je to što bi se inače gorivo počelo molekularno razdvajati, mogle bi se stvoriti krute čestice, te bi temperatura mogla preći temperaturu zapaljenja. Na dijagramu prikazanom na slici 1. se može vidjeti kakav tip goriva će pri kojoj temperaturi imati koji kinematski viskozitet. Npr. gorivo od 700mm<sup>2</sup>/s pri 50°C, će pri temperaturi od 145°C, imati kinematski viskozitet od 16cSt-a. Tada je to gorivo u zelenom području na dijagramu. Zeleno područje označava preporučeni viskozitet goriva, a žuto područje označava obavezni viskozitet goriva za X, X-DF I RT-flex motore [1].



Slika 1. Dijagram viskoziteta i temperature [1]

**GUSTOĆA** - Sastav goriva daje gustoću goriva. Nije uvijek moguće konvencionalnim metodama izmjeriti gustoću goriva pri 15°C, ali tada se gustoća mjeri pri višoj temperaturi i onda se pretvara i prilagođava referentnoj temperaturi. Uobičajena maksimalna gustoća goriva iznosi 1010.0 kg/m<sup>3</sup>. Ako se koristi gorivo veće gustoće od 991 kg/m<sup>3</sup>, onda je potrebno znati da je na brodu dostupno postrojenje koje može tretirati takvo gorivo [1].

**CETANSKI BROJ** - Cetanski broj je vrijednost koja određuje karakteristike zapaljenja goriva i kašnjenje zapaljenja goriva zbog viskoziteta i gustoće. Cetanski broj ne daje indikacije o svojstvima izgaranja. Granica cetanskog broja je korisna da se analiziraju goriva s neobičnim odnosima gustoća-viskozitet [1].

**SUMPOR** - Granice sumpora u gorivu su određene statutarnim specifikacijama. Zato se koristi gorivo s visokim i niskom udjelom sumpora. Odabire se alkalnost cilindarskog ulja u odnosu na udio sumpora u gorivu se koristi, te se koristi potrebna oprema vezana za statutarna ograničenja [1].

**TEMPERATURA PLAMIŠTA** - Temperatura plamišta je važna karakteristika goriva zbog sigurnosti i zbog mogućnosti požara na brodu. U tankovima, iznad preostalog goriva, nastaju zapaljive pare. Ako se temperatura preostalom gorivu podigne iznad temperature plamišta, može doći do zapaljenja para goriva [1].

**VODIKOV SULFID (H<sub>2</sub>S)** - Hidrogen sulfid je vrlo toksičan plin. Duža izloženost može dovesti do smrti. Treba biti oprezan pri otvaranju tankova i cjevovoda goriva. Mala količina miriši kao trula jaja. Ne može se osjetiti u većim koncentracijama, uzrokuje mučnine i vrtoglavicu [1].

**KISELINSKI BROJ** - Goriva s velikim kiselinskim brojem mogu uzrokovati oštećenja na sustavu za ubrizgavanje goriva. Kiselinski broj iznad 2,5 mg KOH/g može prouzrokovati probleme. Neka naftenska goriva imaju kiselinski broj veći od 2,5 mg KOH/g, ali ipak su dozvoljena. Visok kiselinski broj se može izmjeriti jedino potpunom laboratorijskom analizom [1].

**SADRŽAJ TALOGA** - Velik sadržaj taloga, ugljika i asfaltena negativno utječe na kvalitetu zapaljenja i izgaranja goriva. Također utječe na trošenje i može oštetiti

komponente motora. Asfalteni utječu i na stabilnost goriva pri miješanju i mogu uzrokovati nastajanje puno nečistoća u separatorima i filtrima. Ako pomiješano gorivo nije stabilno, čestice se mogu sakupljati na dnu tanka. Zato se gorivo od dva različita bunkera ne miješa. Teško dizelsko gorivo može sadržati do 14% asfaltena i neće uzrokovati probleme pri zapaljenju i izgaranju goriva kod dvotaktnih motora, ako je priprema goriva pravilno učinjena [1].

**GRANICA TEČNOSTI** - Radna temperatura goriva mora biti 5-10°C iznad donje granice tečenja goriva, kako bi gorivo bilo pumpabilno [1].

**SADRŽAJ VODE U GORIVU** - Separator goriva, ispravna lokacija drenaže vode, tank za taloženje i servisni tank služe da bi se smanjio udio vode u gorivu. Preporučljivo je ukloniti svu vodu iz goriva da bi se smanjila količina hidrofilnih katalitičkih čestica i natrija u gorivu. Natrij se ne nalazi u gorivu, ali dizelsko gorivo je često kontaminirano morem, gdje se nalazi natrij. Udio od 1% mora u gorivu je jednak 100ppm-a natrija.

Da bi separator dobro obavljao svoju funkciju, protok i temperatura goriva moraju biti namješteni s obzirom na viskozitet. Za goriva s većim viskozitetom temperatura mora biti veća, a protok mora biti manji u odnosu na gorivo s manjim viskozitetom [1].

**SADRŽAJ PEPELA I TRAGOVA METALA** - Preporuča se korištenje goriva s manjim udjelom pepela, vanadija, aluminijskog, silicijevog, kalcijevog, fosfora i cinka. Prevelike količine ovih materijala mogu uzrokovati povećano mehaničko trošenje elemenata sustava goriva, visoko-temperaturnu koroziju, povećanje nepoželjnih čestica (taloga) u turbo-puhalu, ispušnom sustavu i generatorima pare [1].

Tablica 2. Specifikacije Dizelskog goriva [1]

Parametri	Vrijednost pri bunkeru	Vrijednost pri ulazu u motor	Mjerna jedinica
Kinematski viskozitet pri 40°C	Max. 11.0, min. 2.0	Min. 2.0 (nije vezano za temperaturu)	mm <sup>2</sup> /s [cSt] 1
Gustoća pri 15°C	Max. 900	Max. 900	kg/m <sup>3</sup>
CCAI - cetanski broj	Min. 35	Min. 35	-
Sadržaj sumpora	Max. 1.5	Max. 1.5	mass %
Temperatura plamišta	Min. 60	Min. 60	°C
Sadržaj hidrogen sulfida	Max. 2.0	Max. 2.0	mg/kg [ppm]
Kiselinski broj	Max. 0.5	Max. 0.5	mg KOH/g A
Sadržaj taloga	Max. 0.1	Max. 0.1	masa %
Stabilnost oksidacije	Max. 25	Max. 25	g/m <sup>3</sup>
Taloženje ugljika- mikro metodom	Max. 0.3	Max. 0.3	mass %
Gornja temperatura tečenja - zimi	Max. 0	Max. 0	°C
Gornja temperatura tečenja - ljeti	Max. 0.6	Max. 6	°C
Sadržaj vode	Max. 0.3	Max. 0.2	volumen %
Sadržaj pepela	Max. 0.01	Max. 0.01	masa %

### 3. SUSTAV GORIVA GLAVNOG MOTORA

Sustav goriva glavnog motora se sastoji od više podsustava. Prije nego što gorivo, koje je ukrvano s kopna dođe do glavnog motora, ono mora proći kroz pripremne faze kao što su taloženje, grijanje i filtracija. Te faze su potrebne zato što gorivo, u stanju u kojem je ukrvano na brod, nije spremno za potrošnju zbog raznih nečistoća i zbog udjela vode u sebi.

Sustav goriva je prikazan na slici 2. Nakon što gorivo prođe kroz sve pripremne faze te se nečistoće i voda uklone iz goriva, ono ide u dnevni tank goriva. Tamo se gorivo, da bi bilo zadovoljavajućeg viskoziteta, održava na zadanoj temperaturi pomoću parnog grijača (3). Sustav može pripremati teško gorivo kojem je početno stanje viskoziteta 700cSt pri 50°C. Tlak se održava konstantnim da bi se spriječila kavitacija visokotlačne pumpe goriva i pjenjenje goriva, a višak goriva podmazuje i hladi pumpi. Dnevni tank goriva ima brzo-zatvarajući ventil (4) koji služi za prekid dovoda goriva u slučaju požara ili neke druge opasnosti u strojarnici. Brzo-zatvarajući ventil se može zatvoriti daljinski izvan strojarnice. Na dnevnom tanku se nalazi i drenažni cjevovod koji služi da se provjeri gorivo. Sustav se sastoji od 2 dnevna tanka od kojih je jedan za teško gorivo (1), a drugi za dizelsko gorivo (2).

Cijev goriva koja izlazi iz dnevnog tanka teškog goriva vodi prema sustavu za loženi generator pare i prema sustavu goriva za glavni motor. Na obje linije se nalazi nepovratni ventil koji služi da bi se spriječilo vraćanje goriva. Prije sustava goriva za glavni motor se

nalazi troputni ventil (5), čija je uloga odabir vrste goriva koju će koristiti glavni motor. Sustav ima dvije dobavne pumpe (6) koje uzimaju gorivo iz dnevnog tanka te ga šalju u tank za miješanje (7). Uz njih je izveden i dodatni mimovod koji omogućava kontroliranu dobavu goriva prema tanku za miješanje, a uz to služi i za zaštitu pumpi kad motori ne rade. Obje pumpe imaju nepovratni ventil kao i prekotlačni ventil, te filter na usisu pumpe koji štiti pumpu od raznih nečistoća u gorivu. Svaka pumpa pojedinačno ima kapacitet veći od maksimalnog potrebnog kapaciteta za glavni i za pomoćne motore, što bi značilo da je jedna pumpa dovoljna za rad, a druga stoji u stanju pripravnosti (eng. „Stand by“) Količinu goriva koje dolazi u tank za miješanje mjeri se mjeračem protoka (8), a on je izveden paralelno s mimovodnim ventilom (9). Ispred mjerača protoka se nalazi filter koji ga štiti od raznih prljavština i nečistoća u gorivu, a u slučaju velikog zaprljanja filtra ili zamjene tj. čišćenja filtra, otvara se mimovodni ventil. To se radi kako bi sustav goriva ostao u neprekidnom radu dok se filter mijenja. Prije nego što gorivo ide u tank za miješanje, mora proći kroz uređaj za miješanje (emulzifikaciju) goriva i vode (10). Uređaj u gorivo dodaje destiliranu vodu i tako smanjuje količinu NO<sub>x</sub>-a u ispušnim plinovima.

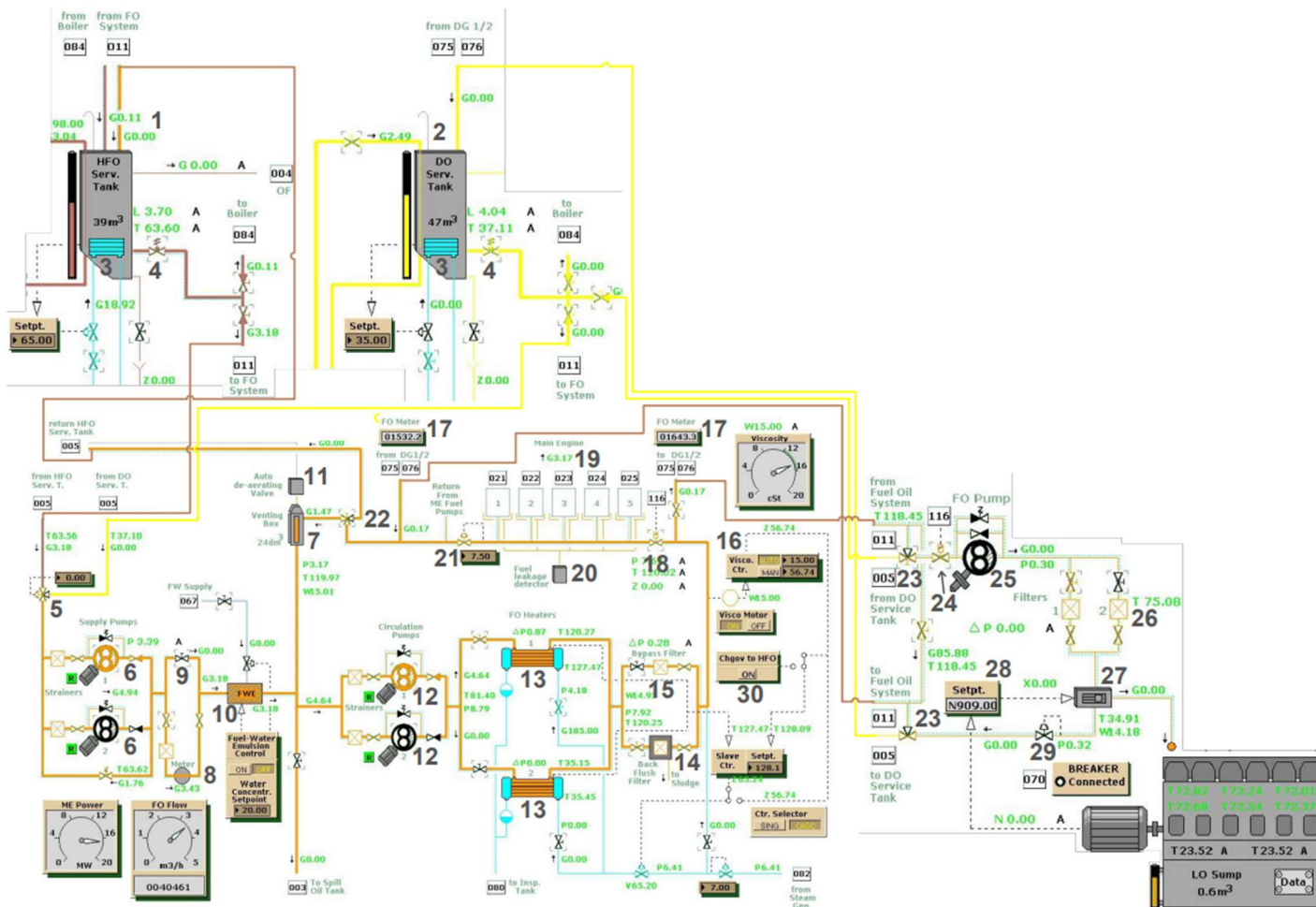
Uloga tanka za miješanje je postepeno miješanje goriva iz dnevnog tanka s gorivom koje se vraća iz motora. Time se također povećava temperatura gorivu koje dolazi iz dnevnog tanka, jer je gorivo na povratku iz motora na većoj temperaturi. Tank za miješanje služi i za otpjenjivanje, a to je moguće zahvaljujući automatskom odzračnom ventilu (11). Tim postupkom oslobađaju se lako hlapljivi plinovi i zrak koji nastaju uslijed cirkulacije goriva.

Iz tanka za miješanje gorivo se šalje na visokotlačne pumpe (12) pomoću dvije cirkulacijske pumpe, čiji kapacitet je veći od ukupne potrošnje goriva glavnih i pomoćnih motora, stoga je jedna pumpa dovoljna za nesmetan rad dok druga stoji u stanju pripravnosti. Cirkulacijske pumpe podižu tlak u sustavu goriva na približno 7-10 bara, kako bi visokotlačne pumpe dobile predviđenu količinu goriva za rad [2]. Povećanjem tlaka se visokotlačne pumpe štite od kavitacije dok višak goriva podmazuje i hladi visokotlačnu pumpu. Nakon cirkulacijskih pumpi se nalaze i dva parna zagrijača (13) uz dva filtra. Parni grijači griju gorivo da bi se održao viskozitet goriva u području koje se zahtjeva. Pri normalnim radnim uvjetima jedan zagrijač goriva radi, dok je drugi u stanju

pripravnosti. Prije svakog zagrijača nalazi se ventil čijim otvaranjem se bira koji će zagrijač biti u upotrebi. Nakon zagrijača gorivo prolazi kroz filter koji je samočistivi (14). Paralelno uz samočistivi filter nalazi se mimovodni ventil (15) koji služi za neometan rad sustava kada se vrši održavanje samočistivog filtra. Samočistivi filter se ručno čisti po potrebi. Prije filtra se nalazi ventil kojim se odabire koji će se filter koristiti. Ti su filteri vrlo fini jer moraju spriječiti i najmanje nečistoće koje mogu oštetiti visokotlačnu pumpu. Zadnji stadij pripreme goriva se izvodi pomoću kontrolera viskoziteta (16), čija je funkcija da senzorom mjeri viskozitet goriva, te prema dobivenoj informaciji, djeluje na sustav grijanja parom i korigira viskozitet goriva. Postoje dvije vrste djelovanja, a to su jednostruko i kaskadno. Jedno komponentnim djelovanjem viskozimetar djeluje izravno na prigušni ventil pare, te tako djeluje vrlo brzo, ali s manjom točnošću. Kaskadni način djelovanja je precizniji jer se upravljanje prigušnim ventilom pare vrši pomoću praćenja viskoziteta goriva na dobavnoj liniji goriva te praćenjem temperature goriva na izlazu iz parnog zagrijača. Mana kaskadnog djelovanja je to što je brzina djelovanja manja. Cijeli sustav glavnog motora ima izvedene cijevi za grijanje parom uz liniju goriva (eng. "Steam tracing") u svrhu održavanja željenog viskoziteta goriva na ulazu u glavni motor.

Na brodu koji je simuliran postoji mogućnost automatskog prebacivanja s dizelskog goriva na teško gorivo. To je moguće pomoću kontrolera za automatsko prebacivanje na teško gorivo (30). Kontroler djeluje na troputni ventil goriva i usput prati parametre kao što su viskozitet i temperatura goriva. Mjerenjem navedenih parametara, uređaj štiti visokotlačne pumpe od previsokih temperatura, a time i od mogućih oštećenja. Prebacivanje s teškog goriva na dizelsko gorivo se na ovom sustavu mora izvoditi ručno.





Slika 2. Shema sustava goriva glavnog dizel motora [2]

### 3.1. AUTOMATSKI NAČIN PREBACIVANJA GORIVA

Na brodu sa simulatora Kongsberg MC-90V postoji opcija automatskog prebacivanja gorivo, no samo s dizelskog goriva na teško gorivo. Proces prebacivanja goriva automatikom traje 35 minuta i u to vrijeme se svi parametri održavaju u normalnim vrijednostima. Prednosti automatskog prebacivanja goriva su to što nema utjecaja ljudskog faktora koji može dovesti do pogreške kod prebacivanja goriva. Prilikom prebacivanja s teškog goriva na dizelsko gorivo, termalna opterećenja komponenti u dodiru s gorivom moramo održavati na najmanjoj mogućoj razini. Termalna naprezanja nastaju zbog nagle i velike promjene temperature. Prebrza promjena temperature može dovesti do propuštanja visokotlačne pumpe i do propuštanja cijevi sustava goriva, te do puknuća oštećenja ili zaribavanja vitalnih pokretnih dijelova sustava goriva.

Tijekom procesa prebacivanja goriva, temperatura goriva se ne smije promijeniti za više od 2°C u minuti [1]. Tako se štiti oštećenje sustava, posebno kad se gorivo često prebacuje. Spora promjena temperature je također dobra zbog razlike viskoziteta između teškog i dizelskog goriva.

Gorivo se može prebacivati kad motor radi ili kad ne radi. Kad motor ne radi prebacivanje goriva mora se obaviti tako da pumpa za dobavu goriva i cirkulacijska pumpa rade, te cirkuliraju gorivo kroz sustav da se prethodno korišteno gorivo zamjeni željenim gorivom. Povrat goriva se odvodi u servisni tank teškog goriva.

Automatsko prebacivanje goriva sprječava nastajanje problema tijekom prebacivanja goriva tako što:

- smanjuje termalno opterećenje komponentama koje su u dodiru s gorivom,
- sigurnosne upute smanjuju rizik nastajanja štete zbog velikih razlika u temperaturi,
- prebacivanje goriva se može obavljati pri opterećenju glavnog motora od 100% [2].

### 3.2. RUČNO PREBACIVANJE GORIVA

Ručno prebacivanje goriva se obavlja tako da se ručno otvara troputni ventil za odabir goriva. Kad je ventil na 0% znači da u sustav ulazi čisto teško gorivo, a kad je na 100% onda ulazi čisto dizelsko gorivo. Kad se obavlja ručno prebacivanje goriva, troputni ventil se treba postepeno otvarati/zatvarati. Naglim otvaranjem troputnog ventila dolazi do naglih oscilacija u viskozitetu i temperaturi goriva, što konačno može dovesti do kvara visokotlačne pumpe ili nekog drugog elementa u sustavu goriva, aktiviranja zaštite motora usporavanjem ( eng. "slow-down") i kasnije do aktiviranja zaštite motora zaustavljanjem (eng. "shut-down"). Regulator viskoziteta može biti na automatskom ili ručnom režimu rada. Ako je na automatskom režimu rada, u slučaju da se ventil naglo otvori/zatvori, regulator viskoziteta će djelovati tako da pokušava povišiti ili sniziti temperaturu gorivu i tako dobiti željeni viskozitet. Ako je ta nagla promjena položaja ventila ujedno i velika, onda regulator viskoziteta ne može dovoljno brzo djelovati na temperaturu goriva, a time i viskozitet, te će gorivo koje ulazi u motor biti prevelikog ili premalog viskoziteta za normalan rad motora.

## 4. PREBACIVANJE S DIZELSKOG NA TEŠKO GORIVO

Postupak prebacivanja goriva s dizelskog na teško gorivo:

- separator teškog goriva mora raditi,
- količina goriva u servisnom tanku teškog goriva mora biti dovoljna i gorivo mora biti zagrijano na odgovarajuću temperaturu da bi gorivo bilo odgovarajućeg viskoziteta,
- treba ispustiti vodu iz servisnog tanka teškog goriva,
- otvoriti ventile na cjevovodu teškog goriva između servisnog tanka i troputnog ventila,
- ventili pare na grijaču goriva moraju biti otvoreni,
- ventil za grijanje cjevovoda goriva parom mora biti otvoren,
- regulator tlaka pare u parnom vodu mora biti postavljen na željenu postavku i treba provjeriti tlak pare,
- regulator viskoziteta treba biti postavljen na automatski režim rada u granicama od 11 do 15cSt,
- postepeno otvarati troputni ventil za miješanje goriva prema teškom gorivo i obratiti pozornost da regulator viskoziteta ispravno radi tj. održava viskozitet u zadanim granicama.

Brža promjena goriva se može obaviti tako da je povrat u servisni tank teškog goriva otvoren, međutim to može uzrokovati da se igličasti ventili u rasprskaćima goriva zaglave [2].

U istraživanju, koje će se provoditi na simulatoru Kongsberg MC-90V, će se obratiti pozornost na parametre motora u fazama prebacivanja goriva. Promatrati će se više intervala te će se kroz intervale pratiti parametri motora, kao što su: snaga, specifična potrošnja goriva, sadržaj NO<sub>x</sub>-a, brzina vrtnje motora, indeks otvorenosti visokotlačne pumpe, srednji indicirani tlak, indicirana snaga na cilindru, maksimalni tlak u cilindru, kut zapaljenja goriva, kut maksimalnog tlaka, tlaka kompresije, maksimalni tlak ubrizgavanja, kut početka ubrizgavanja, trajanja ubrizgavanja, viskozitet goriva i temperaturu goriva. Na

temelju tih parametara će se pokušati analizirati kako vrijeme prebacivanja goriva utječe na motor i njegov rad, te zašto se gorivo mora pravilno prebacivati.

#### 4.1. INTERVAL 1 – 40 MINUTNO PREBACIVANJE

Automatika odradi prebacivanje s dizelskog goriva na teško gorivo u 35 minuta. Parametri motora i goriva će se pratiti kroz 40 minuta, a podaci mjerenih parametara će se bilježiti u među intervalima od 0, 10 i 20 minuta.

Tablica 3. Praćeni parametri tijekom prebacivanja goriva automatikom (40 minuta)

Parametri	0. minuta	10. minuta	20. minuta	35. minuta	Mjerne jedinice
Power	16.51	16.51	16.5	16.51	[MW]
ME specific fuel consumption	164.83	169.3	178.21	184.41	[g/kWh]
Nox content	13.47	13.99	14.79	15.16	[g/kWh]
ME speed	74	74	73.99	74	[RPM]
Index	56.49	56.61	56.05	56.46	[%]
MIP	15.94	15.9	15.86	15.9	[BAR]
IKW	3648	3639	3631	3639	[kW]
TIGN	3.04	1.73	2.15	3.36	[DGR]
PMAX	132.1	131.3	132.3	131.6	[BAR]
TMAX	10.75	9.75	10	11	[DGR]
PCOMPR	108.3	104.3	106.5	108.3	[BAR]
PINJO	420	420	420	420	[BAR]
PINJM	717.8	718.1	716.8	717.8	[BAR]
TINJO	-2	-1.89	-2.4	-2.02	[DGR]
LINJ	15.25	15.29	15.13	15.25	[DGR]
Exhaust gas temperature	315.28	317.71	320.66	323.06	[°C]
Exhaust gas temperature before TC	359.9	362.57	366.56	369.93	[°C]
Viskozitet goriva	10.69	11.49	15.47	15	[cSt]
Temperatura goriva	53.87	72.89	93.69	120.01	[°C]

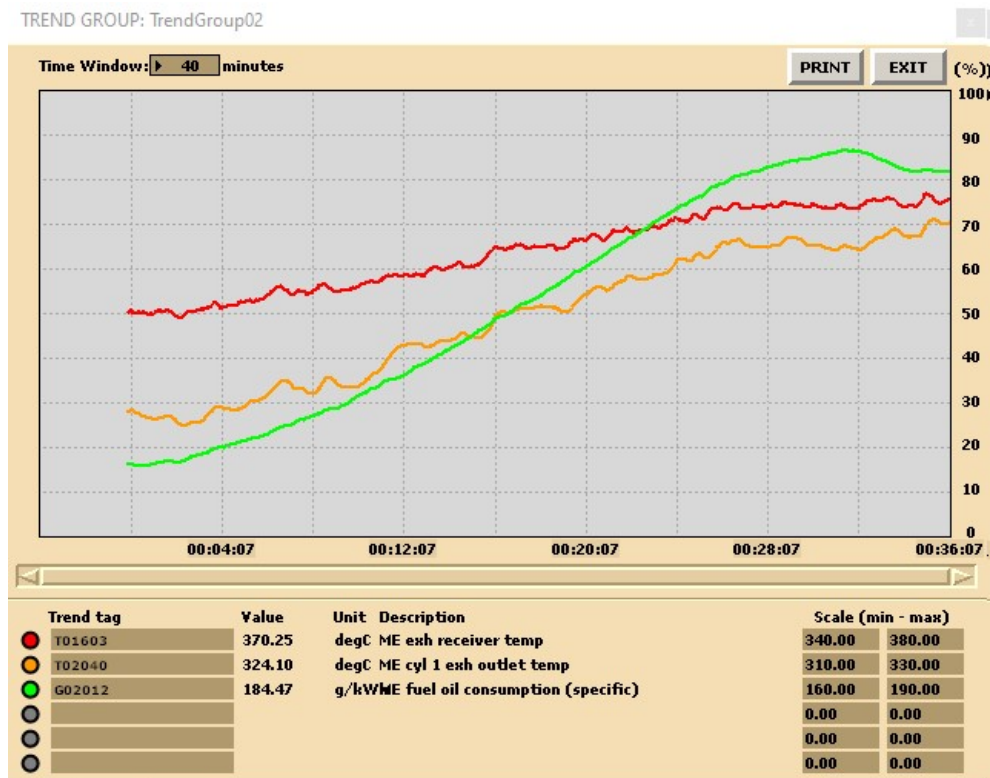
Iz tablice 3. može se primijetiti da se većina parametara, kroz automatsko prebacivanje, neznatno mijenja. Ti parametri ostaju konstantni tijekom cijelog intervala prebacivanja jer se automatika brine da se prebacivanje goriva obavi što efikasnije uz što manje oscilacija. Međutim, parametri poput specifične potrošnje goriva, udio NO<sub>x</sub>-a, temperature ispušnih plinova na izlazu iz cilindra i prije turbo puhala, viskoziteta goriva i temperature goriva su se mijenjali kroz interval. Prebacivanjem s dizelskog na teško gorivo, viskozitet goriva i temperatura goriva su očekivano porasli, jer teško gorivo ima veći viskozitet od dizelskog i ulazi u motor pri većoj temperaturi nego dizelsko gorivo. Tijekom prebacivanja goriva viskozitet je prešao gornju zadanu granicu, te se oglasio alarm u strojarnici. Razlog tome je bila preniska temperatura goriva i viskozitet je izašao iz alarma kad se gorivo zagrijalo.



Slika 3. Graf viskoziteta i temperature goriva tijekom prebacivanja goriva

Na slici 3. crvenom bojom je prikazana krivulja viskoziteta goriva tijekom prebacivanja, a žutom bojom je prikazana krivulja temperature goriva tijekom prebacivanja. Kroz interval zamjetno je da viskozitet i temperatura konstantno rastu. Viskozitet goriva je u određenom trenutku premašio gornju graničnu vrijednost te se oglasio alarm. Tako je sve do trenutka kada se troputni ventil otvori 100% na HFO. U tom trenutku temperatura goriva poraste za 20°C i sukladno tome viskozitet goriva padne na 15cSt tj. u granicu normalne vrijednosti.

Na slici 4. može se primijetiti kako temperatura ispušnih plinova na cilindru 1 (označeno žutom bojom) konstantno raste, uz oscilacije, tijekom prebacivanja goriva. Maksimalna temperatura ispušnih plinova na cilindru 1 je bila 325°C, i nakon prebacivanja je ostala konstantna. Crvenom bojom je naznačena temperatura ispušnih plinova prije turbo-puhala.



Slika 4. Graf temperature na cilindru 1, temperature prije turbo puhala i specifične potrošnje goriva tijekom prebacivanja goriva

U grafu se vidi da je temperatura porasla od početka prebacivanja goriva od 360°C sve do 370°C. Zelenom bojom je označena specifična potrošnja goriva. Kroz proces prebacivanja goriva može se primijetiti da specifična potrošnja goriva raste sve dok se prebacivanje ne završi. Kad se prebacivanje goriva završi može se primijetiti blagi pad u krivulji specifične potrošnje goriva. Naime, temperatura ispušnih plinova na cilindrima raste jer dolazi teško gorivo koje ima manji cetanski broj, tj. kasnije se pali. Što je paljenje kasnije manji je i maksimalan tlak na cilindru, ali rastu temperature ispušnih plinova budući da je zakašnjela ekspanzija. S druge strane pada iskoristivost jer pada srednji indicirani tlak i maksimalan tlak na cilindru, što se vidi iz povećanja specifične potrošnje goriva. Specifična potrošnja raste i zato jer je ogrijevna vrijednost dizelskog goriva 42700 kJ/kg, a teškog oko 41000 kJ/kg. Budući da rastu temperature ispušnih plinova na izlazu iz cilindra raste i zajednička temperatura ispušnih plinova u kolektoru ispušnog plina koji dolazi na turbo-puhalo što se manifestira porastom temperatura ispušnih plinova na ulazu u turbinu.

## 4.2. INTERVAL 2 – 20 MINUTNO PREBACIVANJE

Prebacivanje goriva s dizelskog na teško gorivo je u ovom slučaju obavljeno u dvadeset minuta. Podatci su uzeti svakih pet minuta, da bi se kako bi se dobio bolji uvid u trend promijene promatranih podataka.

Troputni ventil za prebacivanje goriva je otvaran po 5% svakih 60 sekundi da bi se prebacivanje odvijalo na što ispravniji način. Treba napomenuti da se prilikom prebacivanja goriva u ovom periodu nije javio nikakav alarm, čak ni očekivani - za viskozitet goriva.

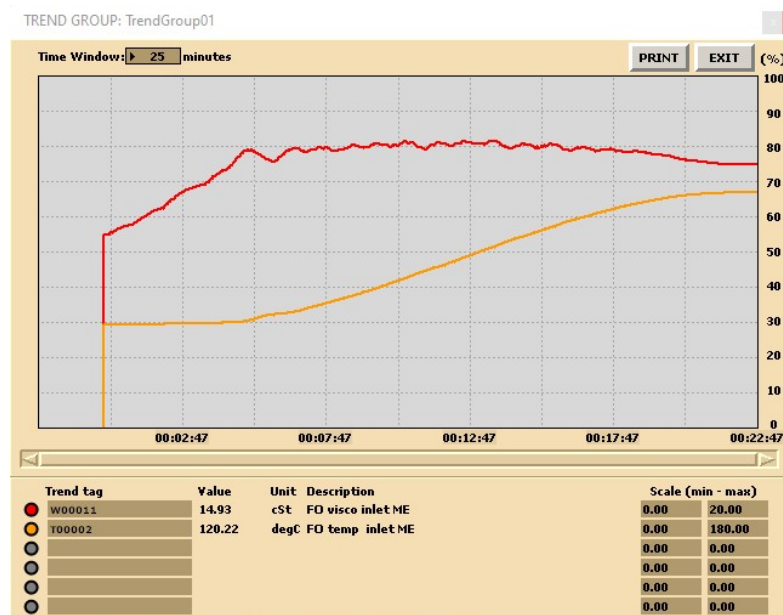
Iz tablice 4. može se primijetiti da je specifična potrošnja goriva porasla prilikom prebacivanja goriva, s početnih 164,74 g/kWh na 184,36 g/kWh. Isto se dogodilo i sa sadržajem NO<sub>x</sub>-a koji je porastao s početnih 13,56 g/kWh na završnih 15,16 g/kWh. Također, prilikom prebacivanja goriva, primjećujemo da se vrijeme zapaljenja goriva promijenilo za 1,10° na koljenastom vratilu.

Tablica 4. Praćeni parametri tijekom prebacivanja goriva (20 minuta)

Parametri	0. minuta	5. minuta	10. minuta	15. minuta	20. minuta	Mjerne jedinice
Power	16.54	16.53	16.51	16.51	16.51	[MW]
ME specific fuel consumption	164.74	169.12	174.15	180.11	184.36	[g/kWh]
Nox content	13.56	14.05	14.4	17.91	15.16	[g/kWh]
ME speed	74.02	74.01	73.99	74	74	[RPM]
Index	57	56.34	56.13	56.13	56.25	[%]
MIP	15.91	15.9	15.91	15.88	15.9	[BAR]
IKW	3641	3639	3642	3635	3639	[kW]
TIGN	1.74	1.69	2.22	2.62	2.84	[DGR]
PMAX	130.1	131	131.1	131.8	132.5	[BAR]
TMAX	9.75	9.75	10	10.5	10.75	[DGR]
PCOMPR	103.1	104.1	105.3	107	108.2	[BAR]
PINJO	420	420	420	420	420	[BAR]
PINJM	719	717.5	717	717	717.2	[BAR]
TINJO	-1.52	-2.16	-2.27	-2.34	-2.22	[DGR]
LUNJ	15.39	15.21	15.15	15.16	15.19	[DGR]
Exhaust gas temperature	315.6	316.78	318.98	322.06	323.68	[°C]
Exhaust gas temperature before TC	360.21	361.85	363.91	367.45	369.75	[°C]
Viskozitet goriva	11.07	15.71	15.94	15.99	15.09	[cSt]
Temperatura goriva	51.91	54.02	73.43	99.48	119.57	[°C]

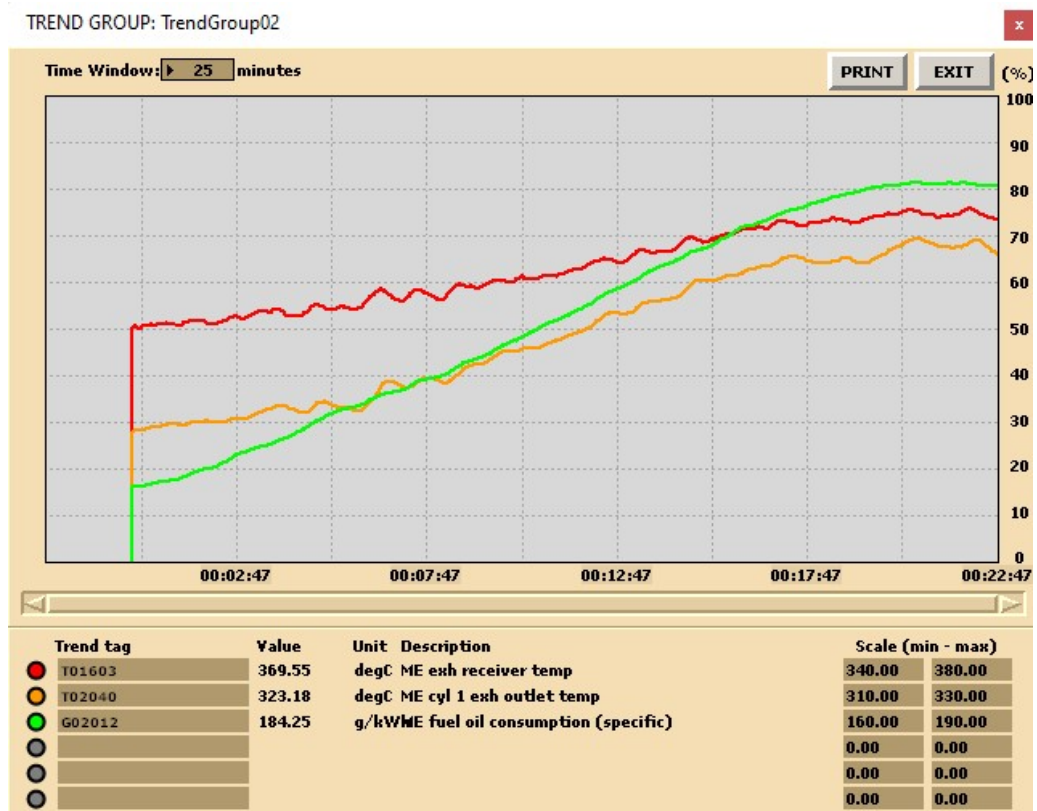
Na slici 5. su grafički prikazane krivulje viskoziteta goriva (crvena krivulja) i temperature goriva (žuta krivulja) iz dijagrama može se zaključiti da je viskozitet goriva na početku mjerenja bio 12cSt. Tijekom prebacivanja goriva viskozitet je rastao uz blage oscilacije. U prvih 5 minuta viskozitet je dosegao vrijednost od 16cSt, i sljedećih 15 minuta mjerenja se kretao oko 16cSt-a. Tada je krenula rasti temperatura gorivu s 54°C, te je rasla tijekom prebacivanja goriva da bi na kraju temperatura goriva iznosila 126°C. Na kraju prebacivanja viskozitet je pao na 15cSt-a, te su se krivulje viskoziteta i temperature goriva stabilizirale.





Slika 5. Graf viskoziteta i temperature goriva tijekom 20-minutnog prebacivanja goriva

Na slici 6. crvenom krivuljom je prikazana temperatura ispušnih plinova prije turbo puhala, žutom krivuljom je prikazana temperatura ispušnih plinova prvog cilindra i zelenom krivuljom je prikazana specifična potrošnja motora. Iz dijagrama se vidi da temperatura ispušnih plinova prije turbo puhala, prilikom prebacivanja goriva raste s početnih 364°C na završnih 370°C, tijekom rasta temperatura je blago oscilirala. Krivulja temperature ispušnih plinova prvog cilindra je strmije rasla. Temperatura je porasla s početnih 316°C na konačnih 324°C. Specifična potrošnja goriva raste tijekom prebacivanja goriva te je veća kad se koristi teško gorivo nego dizelsko gorivo, a razlozi su objašnjeni prije.



Slika 6. Graf temperature na cilindru 1, temperature prije turbo puhala i specifične potrošnje goriva tijekom 20-minutnog prebacivanja goriva

#### 4.3. INTERVAL 3 – 10 MINUTNO PREBACIVANJE

Prebacivanje goriva na trećem scenariju je obavljeno u deset minuta. Troputni ventil, za prebacivanje goriva s dizelskog goriva na teško gorivo, se otvarao 5% svakih 30 sekundi.

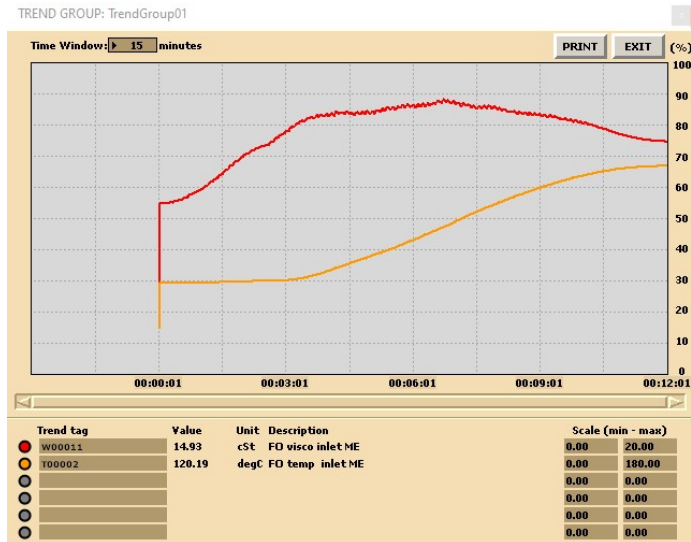
U tablici 5. mogu se vidjeti praćeni parametri. Od bitnijih podataka može se primijetiti da se vrijeme zapaljenja goriva promijenilo za  $1,31^\circ$  na koljenastom vratilu. Isto tako se i vrijeme ubrizgavanja goriva promijenilo s  $-1,51^\circ$  KV na  $-2,21^\circ$  KV (koljenastog vratila). Udio NO<sub>x</sub>-a je porastao s početnih 13,47 g/kWh, na 15,16 g/kWh na kraju mjerenja, dok su snaga i okretaji motora ostali konstantni. Snaga kroz mjerenje iznosi 16,5kW, a okretaji motora su cijelo vrijeme 74 RPM-a. Indeks otvorenosti visokotlačne

pumpe se promijenio za 1. Maksimalan tlak na cilindru 1 je porastao s 130,3 bar, na 131,6 bar.

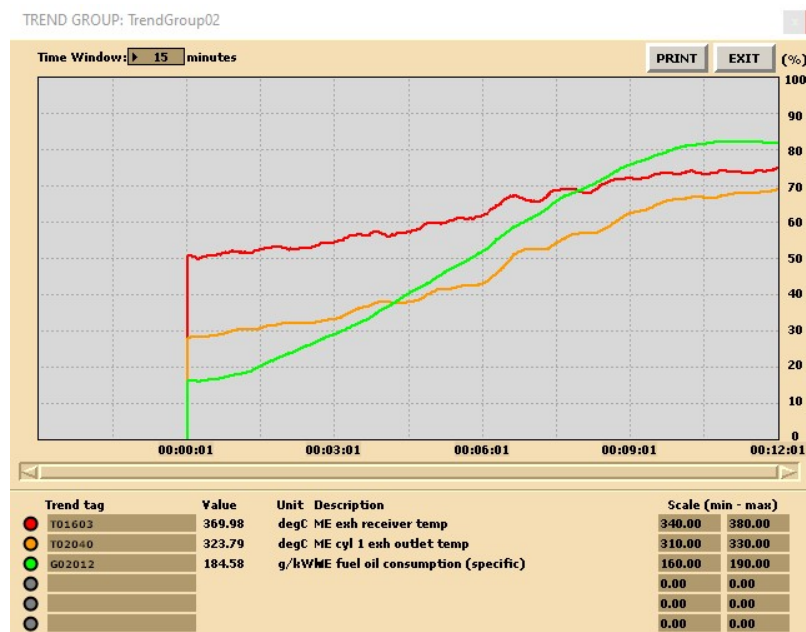
Tablica 5. praćeni parametri tijekom prebacivanja goriva (10 minuta)

Parametri	0.minuta	2. minuta	5. minuta	7. minuta	10. minuta	Mjerne jedinice
Power	16.5	16.56	16.53	16.51	16.51	[MW]
ME specific fuel consumption	164.76	167.03	173.14	179.68	184.58	[g/kWh]
Nox content	13.47	13.95	14.43	14.9	15.16	[g/kWh]
ME speed	73.98	74.03	74.01	74	73.99	[RPM]
Index	57.06	56.35	55.98	56.14	56.26	[%]
MIP	15.9	15.91	15.92	15.93	15.87	[BAR]
IKW	3639	3642	3645	3646	3631	[kW]
TIGN	1.75	1.36	1.89	2.71	3.06	[DGR]
PMAX	130.3	131.1	131.5	131.6	131.8	[BAR]
TMAX	9.75	9.25	9.75	10.25	11	[DGR]
PCOMPR	103.1	103.7	105	106.8	108.1	[BAR]
PINJO	420	420	420	420	420	[BAR]
PINJM	719.2	717.5	716.7	717	717.3	[BAR]
TINJO	-1.51	-2.1	-2.56	-2.33	-2.21	[DGR]
LUNJ	15.4	15.21	15.12	15.16	15.19	[DGR]
Exhaust gas temperature	315.51	316.37	318.08	320.79	323.3	[°C]
Exhaust gas temperature before TC	360.1	361	363.87	367.48	369.41	[°C]
Viskozitet goriva	10.93	14.04	16.72	17.1	15.6	[cSt]
Temperatura goriva	51.88	52.99	67.66	93.34	117.74	[°C]

Slika 7. prikazuje kako su se viskozitet i temperatura goriva mijenjale kroz proces prebacivanja goriva. Crvena krivulja označava viskozitet goriva, dok žuta krivulja označava temperaturu goriva. Iz slike može se vidjeti da je viskozitet goriva na početku prebacivanja iznosio 10,9 cSt-a, od kada viskozitet goriva raste sve do sedme minute prebacivanja goriva, gdje doseže maksimalnu vrijednost od 17 cSt-a. Nakon toga viskozitet goriva blago pada. Te se stabilizira na 15,6 cSt-a. Temperatura goriva na početku prebacivanja iznosi 52°C i prvih 3 minute prebacivanja ostaje skoro nepromijenjena. Nakon treće minute temperatura goriva kreće linearno rasti sve do 117,74°C na kraju prebacivanja. Zbog temperature na kraju scenarija da se zaključiti da je u sustavu još ostalo dizelskog goriva, što znači da potpuno prebacivanje s dizelskog na teško gorivo nije moguće obaviti u 10 minuta.



Slika 7. Graf temperature na cilindru 1, temperature prije turbo puhala i specifične potrošnje goriva tijekom 20-minutnog prebacivanja goriva



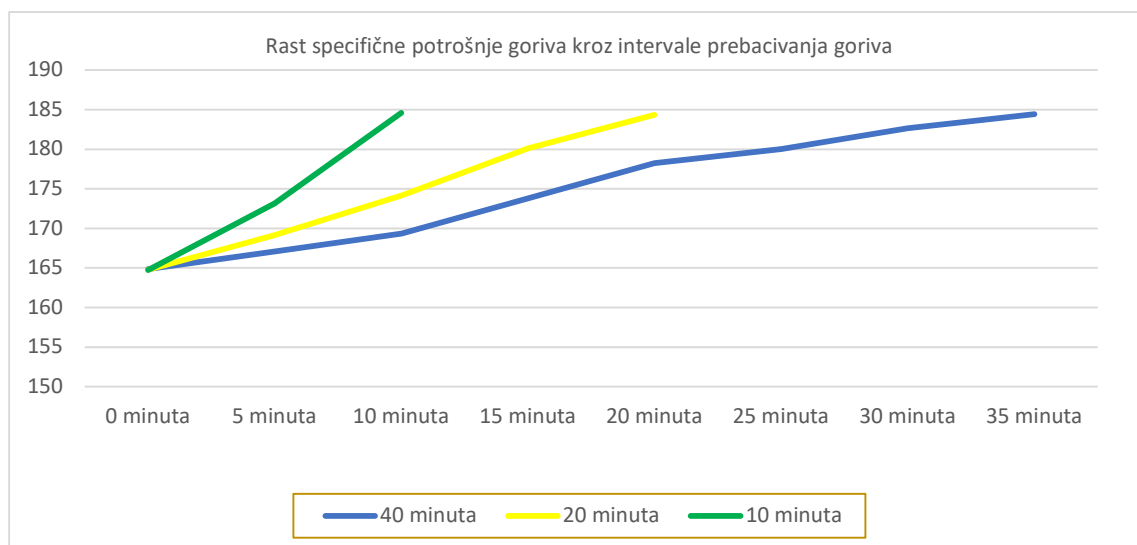
Slika 8. Graf temperature na cilindru 1, temperature prije turbo puhala i specifične potrošnje goriva tijekom 20-minutnog prebacivanja goriva

Na slici 8. prikazane su promjene temperature ispušnih plinova prije turbo-puhala (crvena krivulja), promjene temperature ispušnih plinova na cilindru broj 1 (žuta krivulja) i specifična potrošnja goriva (zelena krivulja) kroz proces promjene goriva. Temperatura ispušnih plinova prije turbo-puhala na početku prebacivanja iznosi  $360^{\circ}\text{C}$  i kroz cijelo

trajanje procesa raste da bi na kraju iznosila 367,5°C. temperatura ispušnih plinova prvog cilindra se također povećala. Na početku promjene goriva je iznosila 315°C, a na kraju je iznosila 320,8°C, što predstavlja povećanje od 5°C. Specifična potrošnja goriva je na početku mjerenja iznosila 164,76 g/kWh, te je rasla do desete minute procesa gdje je iznosila 184,57 g/kWh. Nakon toga je malo pala te se stabilizirala na kraju prebacivanja na 185,2 g/kWh.

#### 4.4. USPOREDBA SPECIFIČNE POTROŠNJE GORIVA KROZ INTERVALE

Slika 9. prikazuje kako je specifična potrošnja goriva rasla, tijekom prebacivanja s dizelskog na teško gorivo, u svakom mjerenom intervalu. Interval od 40 minuta je prikazan plavom krivuljom te se može primijetiti da specifična potrošnja raste od 165 g/kWh sve do 184,41 g/kWh. Porast specifične potrošnje se odvija blagim usponom. Žuta krivulja prikazuje interval od 20 minuta. Početna specifična potrošnja goriva iznosi 164,75 g/kWh i raste sve do 184,36 g/kWh.



Slika 9. Rast specifične potrošnje goriva kroz intervale prebacivanja goriva

Krivulja intervala od 20 minuta je strmija od krivulje intervala od 40 minuta, ali krajnja specifična potrošnja je jako slična. Zelena krivulja prikazuje interval od 10 minuta. Početna specifična potrošnja iznosi 164,74 g/kWh dok krajnja iznosi 184,58 g/kWh. Krivulja raste strmije od ostala dva intervala.

Da se zaključiti da je specifična potrošnja goriva na kraju prebacivanja slična u svakom intervalu. Razlika je u tome što čim je kraće vrijeme prebacivanja goriva, to je krivulja strmija, što znači brži rast specifične potrošnje goriva.

#### **4.5. NAGLO PREBACIVANJE GORIVA**

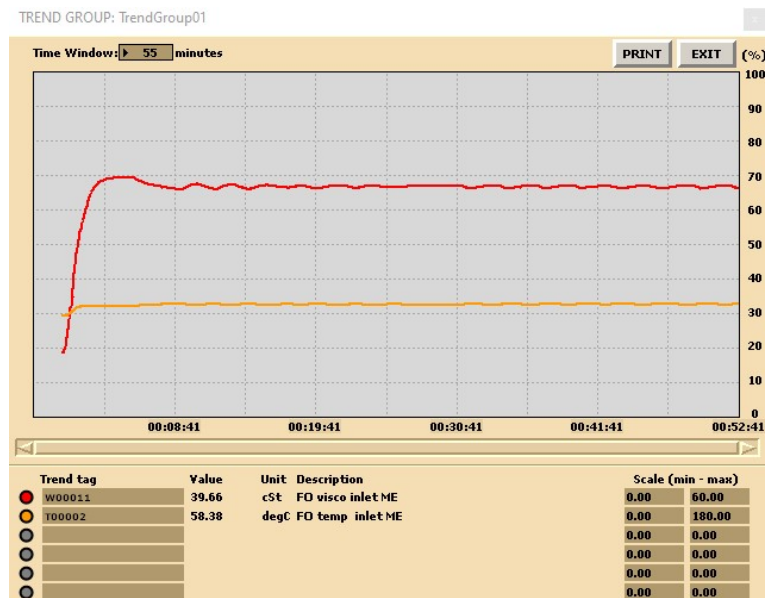
Sljedeće mjerenje prikazuje što se događa kad se prebrzo prebaci s dizelskog na teško gorivo. To znači da se troputni ventil koji služi za prebacivanje goriva otvorio s 100% na 40%. Također, u ovom scenariju je regulator viskoziteta isključen pa viskozitet raste bez da išta utječe na njega da ga smanji. Prikazan je scenarij koji je moguć samo zbog ljudske pogreške. Regulator viskoziteta mora uvijek biti u funkciji, a ako ne radi treba se ručno održavati viskozitet.

U tablici 6. su prikazani parametri koji se prate tijekom operacije prebacivanja goriva. Po veličinama snage možemo zaključiti da se motor u jednom trenutku ušao u "slow-down" zbog prevelikog viskoziteta goriva i preniske temperature goriva. Nakon što se motor opet upalio nije radio na maksimalnoj snazi od 16,5 MW već na 10 MW, što je znatno manje od normalne snage. Može se primijetiti da je otvorenost visokotlačne pumpe oscilirala te da je pumpa znatno manje otvorena nego pri normalnim uvjetima. Do toga je došlo jer je motor u "slow-down"-u zbog velikih oscilacija ispušnih plinova svih cilindara. Tlak kompresije je znatno otpao s početnih 103 bar na 73,78 bar. Kut maksimalnog tlaka u cilindru također se znatno promijenio, s početnih 9,75° KV na 15,75° KV. Kut paljenja se promijenio zbog lošeg raspršivanja, zbog prehladnog goriva pa je atomizacija loša. Maksimalan tlak ubrizgavanja goriva je pao s 719,2 bara na 662 bara zbog pada okretaja motora.

Tablica 6. praćeni parametri tijekom prebacivanja goriva kod naglog prebacivanja goriva

Parametri	0.minuta	5. minuta	10. minuta	15. minuta	30. minuta	Mjerne jedinice
Power	16.52	-1.36	10.61	8.89	6.99	[MW]
ME specific fuel consumption	164.78	2.2	186.62	197.82	228.71	[g/kWh]
Nox content	13.46	1.73	11.75	11.45	12.44	[g/kWh]
ME speed	74	54.88	61.5	57.47	53.82	[RPM]
Index	57.08	52.42	61.55	43.88	43.16	[%]
MIP	15.9	-0.01	12.66	11.5	9.89	[BAR]
IKW	3639	-2.3	2410	2047	1648	[kW]
TIGN	1.75	78.25	6.04	7.4	7.88	[DGR]
PMAX	130.3	0	98.25	92.38	89.5	[BAR]
TMAX	9.75	0	14.25	15.5	15.75	[DGR]
PCOMPR	103.1	78.25	78.35	74.82	73.78	[BAR]
PINJO	420	414.7	416.6	415.6	414.6	[BAR]
PINJM	719.2	683.9	677.2	667.6	662	[BAR]
TINJO	-1.51	-5.4	-1.94	-0.57	-0.1	[DGR]
LINJ	15.4	14.15	12.4	11.85	11.65	[DGR]
Exhaust gas temperature	315.57	280.11	303.64	302.68	289.55	[°C]
Exhaust gas temperature before TC	360.2	209.03	326.45	316.69	320.21	[°C]
Viskozitet goriva	10.93	41.56	40.29	40.2	40.13	[cSt]
Temperatura goriva	51.88	57.2	57.89	57.96	58.03	[°C]

Slika 10. grafički prikazuje krivulju viskoziteta i temperature goriva. Crvena krivulja prikazuje viskozitet goriva i po njoj se može primijetiti da je viskozitet na početku iznosio 11 cSt. Naglim otvaranjem troputnog ventila viskozitet je naglo porastao na 41,5 cSt. Ta vrijednost je zadržana do kraja mjerenja jer je regulator viskoziteta bio isključen. Žutom krivuljom je prikazana temperatura goriva kroz mjerenje. Iz grafa se vidi da je temperatura jako blago rasla, ali nedovoljno brzo da bi motor mogao normalno raditi. Temperatura je na početku iznosila 52°C i podigla se do temperature od 58°C kroz period od 30 minuta.



Slika 10. Graf viskoziteta i temperature goriva tijekom prebacivanja goriva kod naglog prebacivanja goriva

Slika 11. grafički prikazuje kretanje temperature ispušnih plinova prije-turbo puhala (crvena krivulja), temperature ispušnih plinova prvog cilindra (žuta krivulja) i specifične potrošnje goriva (zeleno krivulja). Temperatura ispušnih plinova prije-turbo puhala je na početku promjene goriva iznosila 360°C, a kroz proces promjene goriva je jako oscilirala te padala čak do 206°C zbog nepravilnog rada motora. Isto se događalo i s temperaturom ispušnih plinova prvog cilindra koja je na početku iznosila 315°C, te su te velike promjene u temperaturi ispušnih plinova dovele do toga da motor uđe u "slow-down". Dozvoljeno odstupanje temperature ispušnih plinova je oko 50°C. Početna vrijednost specifične potrošnje goriva je iznosila 164 g/kWh, nakon čega je rasla do 184 g/kWh i nakon toga se motor isključio. Tada dolazi do velikih oscilacija u grafu.



Slika 11. Graf temperature na cilindru 1, temperature prije turbo puhala i specifične potrošnje goriva tijekom prebacivanja goriva kod prenamernog prebacivanja goriva



## 5. PREBACIVANJE S TEŠKOG (HFO) NA DIZELSKO (DO) GORIVO

Postupak prebacivanja goriva s teškog goriva na dizelsko gorivo:

- treba polako smanjiti temperaturu teškog goriva tako da prilagodimo regulator viskoziteta ručno,
- kada temperatura padne treba postepeno miješati dizelsko gorivo s teškim gorivom tako da podešavamo troputni ventil za miješanje,
- promatrati pad temperature goriva. Prebrzi pad temperature može uzrokovati prenglu promjenu viskoziteta, pa se klip u visokotlačnoj pumpi može zaglaviti zbog nedovoljnog podmazivanja i neadekvatnih zazora između klipa i košuljice.

U svakom ispitivanju je regulator viskoziteta uključen na automatskom načinu rada, a brod je pun tereta u navigaciji i plovi svom snagom naprijed.

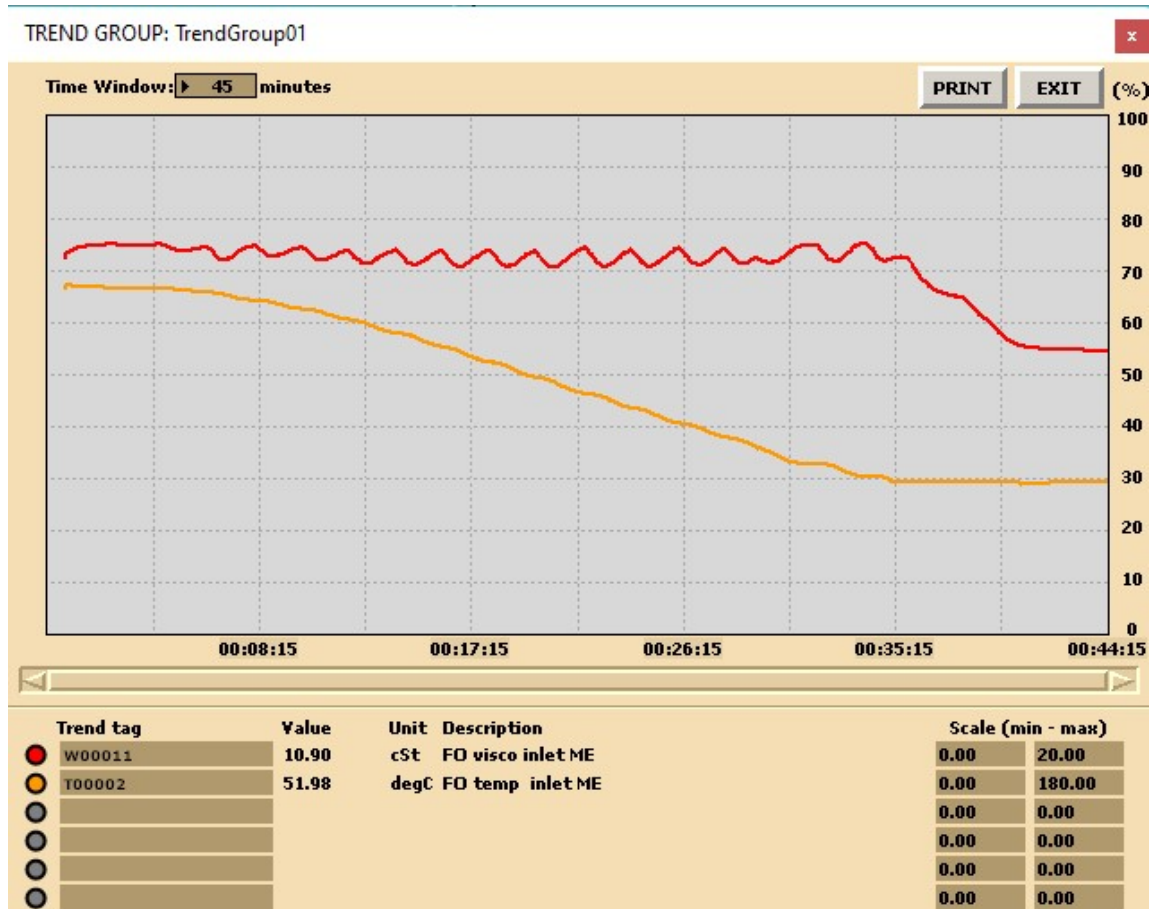
### 5.1. INTERVAL 1 – 40 MINUTNO PREBACIVANJE

Prvo ispitivanje se provodi u periodu od 40 minuta. Kroz period će se pratiti isti parametri kao i kod prijašnjih ispitivanja.

U tablici 7. su veličine koje su praćenje kroz ispitivanje. Može se primijetiti da je snaga motora kroz period prebacivanja ostala ista, kao i brzina vrtnje motora, dok je udio NO<sub>x</sub>-a pao s 15,05 g/kWh na 13,39 g/kWh. Vrijeme zapaljenja goriva se pomaknulo za 1 stupanj koljenastog vratila unatrag u odnosu na teško gorivo. najveći tlak ubrizgavanja goriva je porastao sa 718,2 bara na 720,1 bara. Indeks otvorenosti visokotlačne pumpe je porastao s 56,66% na 57,45%

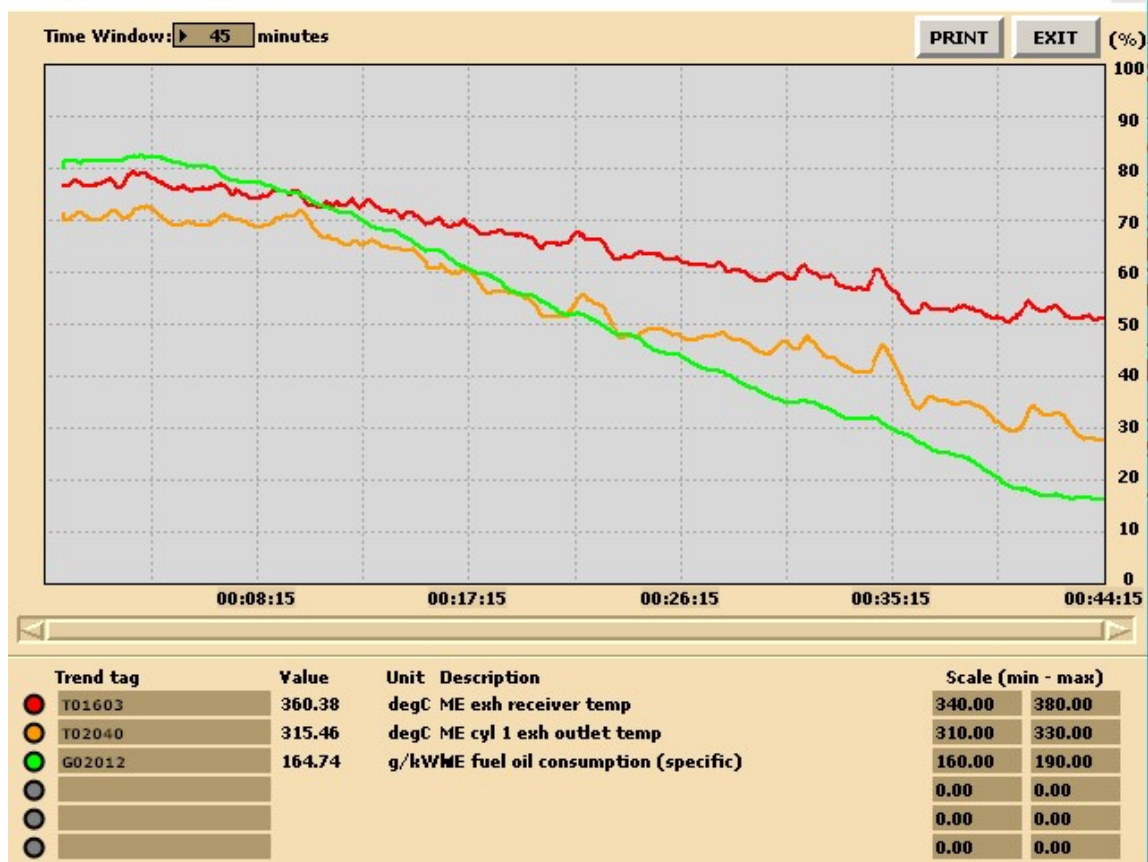
Tablica 7. praćeni parametri tijekom prebacivanja goriva (40 minuta)

Parametri	0. minuta	10. minuta	20. minuta	30. minuta	40. minuta	Mjerne jedinice
Power	16.51	16.53	16.52	16.53	16.52	[MW]
ME specific fuel consumption	184.38	182.49	176.58	171.23	165.76	[g/kWh]
Nox content	15.05	14.92	14.49	13.93	13.39	[g/kWh]
ME speed	74	74	74	74	74	[RPM]
Index	56.66	56.63	56.79	57.23	57.45	[%]
MIP	15.99	15.98	15.97	16	15.96	[BAR]
IKW	3659	3658	3654	3662	3653	[kW]
TIGN	3.11	2.96	2.6	2.57	2.1	[DGR]
PMAX	132.4	132.5	131.6	130.4	129.5	[BAR]
TMAX	11	10.75	10.5	10.5	10	[DGR]
PCOMPR	108.7	108.3	106.7	105.3	103.6	[BAR]
PINJO	420	420	420	420	420	[BAR]
PINJM	718.2	718.2	718.5	719.6	720.1	[BAR]
TINJO	-1.86	-1.87	-1.75	-1.35	-1.17	[DGR]
LUNJ	15.3	15.29	15.33	15.45	15.51	[DGR]
Exhaust gas temperature	324	324.27	320.5	318.95	315.07	[°C]
Exhaust gas temperature before TC	370.61	369.65	365.94	363.33	360.1	[°C]
Viskozitet goriva	14.67	14.84	14.44	14.42	10.96	[cSt]
Temperatura goriva	121.06	112.38	88.33	63.93	51.89	[°C]



Slika 12. Graf viskoziteta i temperature goriva tijekom prebacivanja goriva

Slika 12. prikazuje graf viskoziteta goriva (crvena krivulja) i temperature goriva (žuta krivulja) tijekom prebacivanja s teškog na dizelsko gorivo. Tijekom prebacivanja goriva mogu se primijetiti manje oscilacije u krivulji viskoziteta goriva, ali cijelo vrijeme je viskozitet bio oko 14 cSt. Tek u 40. minuti je viskozitet pao na 10,96 cSt-a, kad je prebacivanje bilo gotovo. Temperatura goriva je od početka prebacivanja padala s početnih 121,06°C sve do 51,89°C na kraju prebacivanja goriva. Zadnjih 10 minuta procesa temperatura je bila konstantna dok je viskozitet padao.



Slika 13. Graf temperature na cilindru 1, temperature prije turbo-puhala i specifične potrošnje goriva tijekom prebacivanja goriva

Na slici 13. crvenom bojom je prikazana krivulja temperature ispušnih plinova prije turbo-puhala. Prema kretanju krivulje se može zaključiti da je kroz period prebacivanja goriva temperatura ispušnih plinova prije turbo-puhala pala s 370°C na 360°C. Žutom bojom je prikazana krivulja temperature ispušnih plinova prvog cilindra motora i vidi se da je temperatura, kroz proces, padala. Temperatura je pala s početnih 324°C na 315°C. Zelena krivulja prikazuje specifičnu potrošnju goriva koja promjenom s teškog goriva na dizelsko gorivo pada. Na teškom gorivu specifična potrošnja goriva je iznosila 184,3 g/kWh dok je na dizelskom gorivu, na kraju prebacivanja, iznosila 165,7 g/kWh.

## 5.2. INTERVAL 2 – 20 MINUTNO PREBACIVANJE

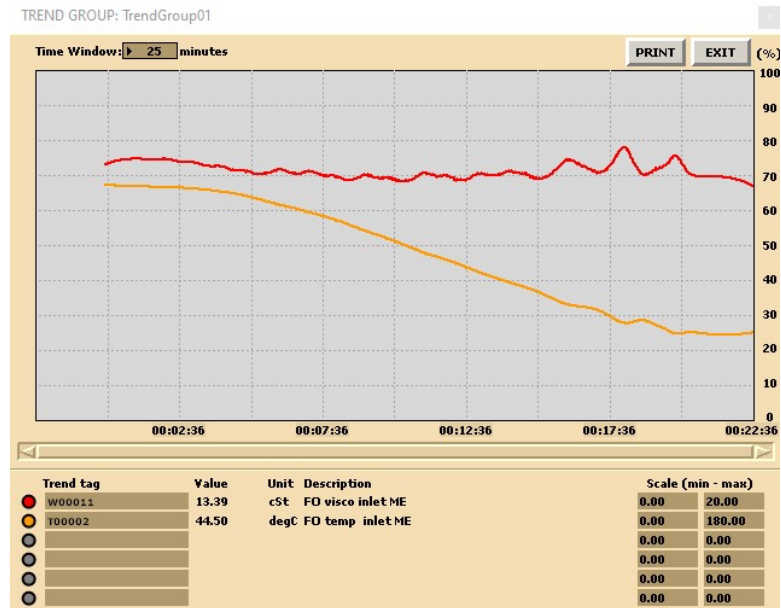
Prebacivanje goriva se odvija u periodu od 20 minuta. Tablica 8. prikazuje praćene parametre tijekom prebacivanja goriva. Srednji indicirani tlak i indicirana snaga na prvom cilindru ostaju kroz cijeli proces jednaki. Tlak kompresije je pao s 108,7 bar na 103,4 bar, dok se kut početka ubrizgavanja promijenio s  $-1,83^\circ$  KV na  $-1,4^\circ$  KV, što je malo manja razlika nego kod prebacivanja goriva u periodu od 40 minuta.

Tablica 8. Praćeni parametri tijekom prebacivanja goriva (20 minuta)

Parametri	0.minuta	5. minuta	10. minuta	15. minuta	20. minuta	Mjerne jedinice
Power	16.49	16.5	16.52	16.5	16.52	[MW]
ME specific fuel consumption	184.36	182.9	177.07	171.65	166.2	[g/kWh]
Nox content	15.05	14.86	14.41	13.93	13.51	[g/kWh]
ME speed	73.97	73.99	74	73.99	74	[RPM]
Index	56.65	56.8	56.99	57.32	57.17	[%]
MIP	15.98	15.98	15.99	15.99	15.94	[BAR]
IKW	3659	3658	3659	3660	3648	[kW]
TIGN	3.15	3.1	2.71	2.52	2.11	[DGR]
PMAX	132.5	132.3	131.9	130.5	129.5	[BAR]
TMAX	11	10.75	10.5	10.5	10	[DGR]
PCOMPR	108.7	108.3	107	105.4	103.4	[BAR]
PINJO	420	420	420	420	420	[BAR]
PINJM	718.2	718.5	719	719.8	719.4	[BAR]
TINJO	-1.83	-1.74	-1.56	-1.32	-1.4	[DGR]
LINJ	15.3	15.34	15.39	15.48	15.44	[DGR]
Exhaust gas temperature	324	323.24	321.13	318.49	315.6	[°C]
Exhaust gas temperature before TC	370.61	370.22	367.41	363.7	360.14	[°C]
Viskozitet goriva	14.65	14.28	13.84	13.89	13.91	[cSt]
Temperatura goriva	121.13	115.91	92.62	66.86	43.38	[°C]

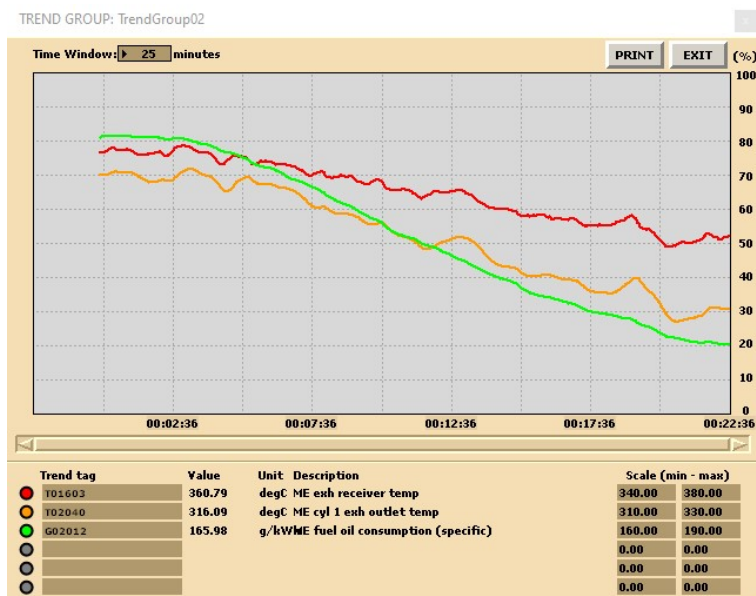
Slika 14. crvenom krivuljom prikazuje viskozitet goriva. Viskozitet nije pao koliko kod promjene u 40 minuta, ali je pao s početnih 14,63 cSt na 13,9 cSt. Između 14. i 20. minute prebacivanja goriva vide se povećane oscilacije u krivulji viskoziteta. Žuta krivulja prikazuje temperaturu goriva kroz promjenu goriva. Temperatura na početku prebacivanja goriva je iznosila  $121,13^\circ\text{C}$  te je kroz period od 20 minuta pala na  $43,38^\circ\text{C}$  već u 17. minuti. Nakon toga je temperatura održana konstantnom.

Slika 15. prikazuje graf na kojem je crvenom krivuljom prikazana temperatura ispušnih plinova prije turbo-puhala, žutom bojom je prikazana krivulja temperature ispušnih plinova prvog cilindra, dok je zelenom bojom prikazana krivulja specifične potrošnje goriva tijekom prebacivanja goriva. Krivulja temperature ispušnih plinova na prvom cilindru i prije turbo-puhala prate jedna drugu u padu. Temperatura ispušnih plinova prije turbo-puhala je iznosila  $370,61^\circ\text{C}$ , te je pala na  $360,14^\circ\text{C}$ , što je razlika od skoro  $10,47^\circ\text{C}$ .



Slika 14. Graf viskoziteta i temperature goriva tijekom prebacivanja goriva

Temperatura ispušnih plinova prvog cilindra je također pala s razlikom od 8°C, s početnih 324°C na 315.6°. Specifična potrošnja goriva je manja na dizelskom gorivu nego na teškom gorivu i pala je s 184,36 g/kWh na 166,2 g/kWh.



Slika 15. Graf temperature na cilindru 1, temperature prije turbo-puhala i specifične potrošnje goriva tijekom prebacivanja goriva

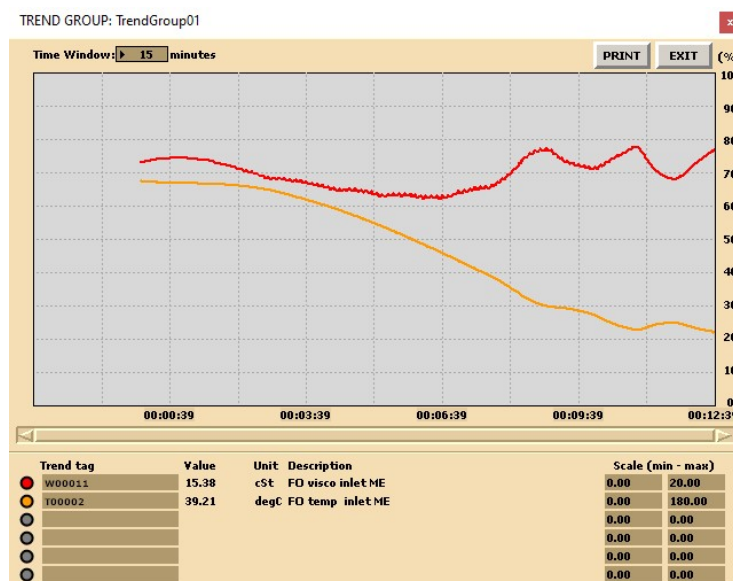
### 5.3. INTERVAL 3 – 10 MINUTNO PREBACIVANJE

Tablica 9. prikazuje praćene parametre tijekom prebacivanja goriva u periodu od 10 minuta. Može se vidjeti da je snaga motora konstanta kroz prebacivanje goriva, kao i brzina vrtnje motora.

Tablica 9. Praćeni parametri tijekom prebacivanja goriva (10 minuta)

Parametri	0.minuta	2. minuta	5. minuta	7. minuta	10. minuta	Mjerne jedinice
Power	16.51	16.48	16.52	16.52	16.52	16.53 [MW]
ME specific fuel consumption	184.38	183.31	177.97	171.92	171.92	166.82 [g/kWh]
Nox content	15.05	14.83	14.38	13.92	13.92	13.49 [g/kWh]
ME speed	74	73.97	74	74	74	74 [RPM]
Index	56.66	57.09	57.16	57.31	57.31	57.6 [%]
MIP	15.99	16.02	16.01	15.98	15.98	16.06 [BAR]
IKW	3659	3664	3664	3657	3677	3677 [kW]
TIGN	3.11	3.3	2.83	2.38	2.56	2.56 [DGR]
PMAX	132.4	131.9	131.6	131.3	129.5	129.5 [BAR]
TMAX	11	10.75	10.5	10	10.25	10.25 [DGR]
PCOMPR	108.7	108.5	107.2	105.7	104.3	104.3 [BAR]
PINJO	420	420	420	420	420	420 [BAR]
PINJM	718.2	719.2	719.4	719.8	720.5	720.5 [BAR]
TINJO	-1.86	-1.53	-1.4	-1.31	-1	-1 [DGR]
LINJ	15.3	15.41	15.43	15.47	15.55	15.55 [DGR]
Exhaust gas temperature	324	323.94	322.16	319.12	316.77	316.77 [°C]
Exhaust gas temperature before TC	370.61	370.47	367.89	364.62	361.38	361.38 [°C]
Viskozitet goriva	14.67	13.91	12.94	12.96	14.57	14.57 [cSt]
Temperatura goriva	121.06	117.8	100.13	73.01	40.77	40.77 [°C]

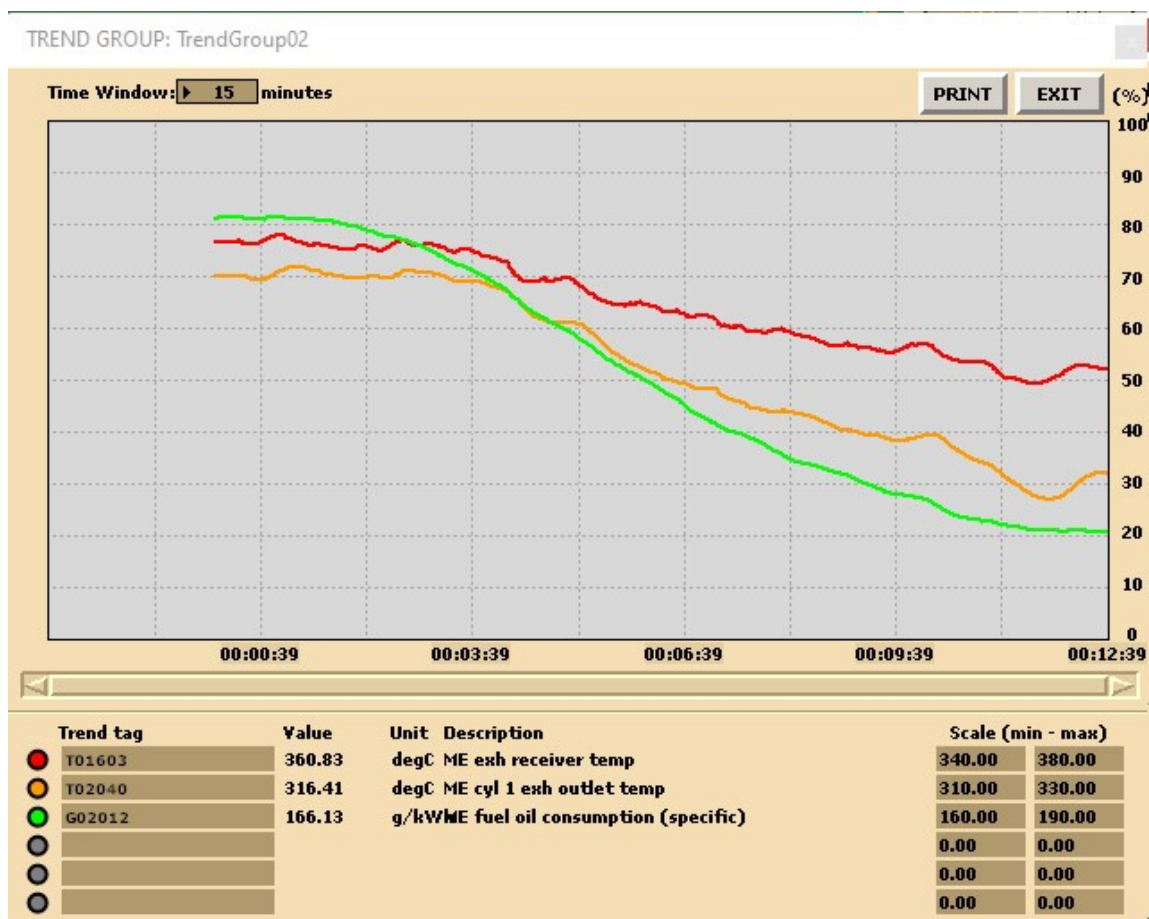
Udio NO<sub>x</sub>-a je pao s 15,05 g/kWh na 13,49 g/kWh. Indeks otvorenosti visokotlačne pumpe je porastao za 1%. Maksimalan tlak na prvom cilindru je pao s 132,4 bar na 129,5 bar, a tlak kompresije s 108,7 bar na 129,5 bar. Maksimalan tlak ubrizgavanja goriva je porastao s 718,2 bar na 720,5 bar. Kut zapaljenja goriva se promijenio s 3,11° KV na 2,56° KV, a kut maksimalnog tlaka u prvom cilindru se promijenio s 11° KV na 10,25° KV. Kut početka ubrizgavanja se promijenio s -1,86° KV na -1° KV.



Slika 16. Graf viskoziteta i temperature goriva tijekom prebacivanja goriva



Na slici 16. crvenom bojom je prikazana krivulja viskozitet goriva. Analizom krivulje se može zaključiti da tijekom prebacivanja viskozitet goriva oscilira, ali ipak raste. Na početku prebacivanja je iznosio 14,67 cSt-a, dok je na kraju prebacivanja iznosio 14,57 cSt-a. Viskoziitet goriva bi na kraju prebacivanja trebao biti veći od onog na početku pošto se prebacuje s teškog na dizelsko gorivo. Po tome se da zaključiti da prebacivanje goriva nije moguće izvesti u 10 minuta, jer se sistem ne stigne isprati od teškog goriva. Žuta krivulja prikazuje temperaturu goriva tijekom prebacivanja. Krivulja cijelo vrijeme pada. Temperatura goriva na početku prebacivanja je iznosila 121,06°C, a na kraju je iznosila 40,77°C.



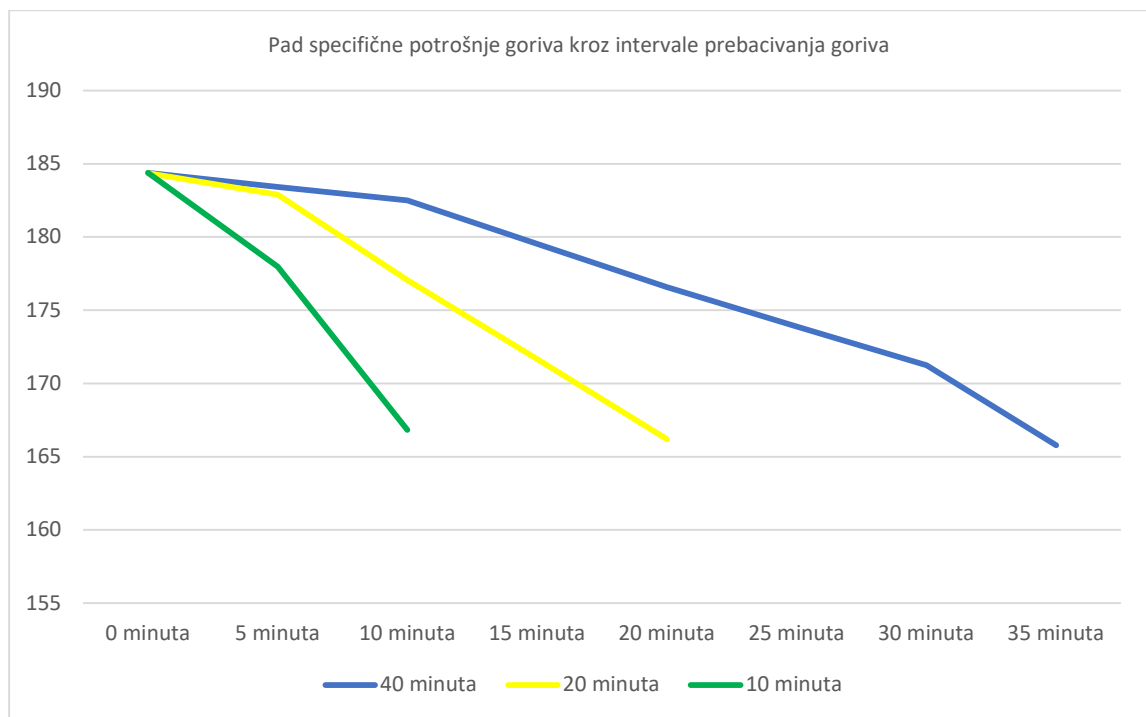
Slika 17. Graf temperature na cilindru 1, temperature prije turbo-puhala i specifične potrošnje goriva tijekom prebacivanja goriva

Na slici 17. crvenom krivuljom je prikazana temperatura ispušnih plinova prije turbo-puhala. Početna temperatura je iznosila 370,61°C. Tijekom prebacivanja goriva ta temperatura cijelo vrijeme pada pa na kraju iznosi 361,88°C što je razlika od 8,73°C. Žuta

krivulja prikazuje temperaturu ispušnih plinova prvog cilindra. Ona također pada kroz cijelu operaciju prebacivanja goriva, s početnih 324°C na 316,77°C, što je razlika od 7,23°C. Zelenom krivuljom je prikazana specifična potrošnja goriva. Specifična potrošnja goriva pada kroz prebacivanje s teškog na dizelsko gorivo. Početna vrijednost je iznosila 184,38 g/kWh, dok je na kraju iznosila 171,92 g/kWh.

#### 5.4. USPOREDBA SPECIFIČNE POTROŠNJE GORIVA KROZ INTERVALE

Slika 18. prikazuje pad specifične potrošnje goriva kroz intervale prebacivanja goriva s teškog na dizelsko gorivo. Plava krivulja prikazuje pad specifične potrošnje goriva u intervalu od 40 minuta.



Slika 18. Pad specifične potrošnje goriva kroz intervale prebacivanja goriva

Vidi se da je na početku prebacivanja specifična potrošnja iznosila 184,38 g/kWh. Kroz period od 40 minuta specifična potrošnja padne na 165,78 g/kWh. Žuta krivulja prikazuje pad specifične potrošnje goriva u intervalu prebacivanja goriva od 20 minuta. Početna specifična potrošnja je također 184,38 g/kWh, i pada ali strmije nego kad je interval prebacivanja goriva 40 minuta. Krajnja specifična potrošnja iznosi 166,2g/kWh. Zelena krivulja prikazuje pad specifične potrošnje goriva u intervalu od 10 minuta.



Također, početna specifična potrošnja iznosi 184,38 g/kWh, ali u intervalu od 10 minuta, ona pada na 166,82 g/kWh. Iz ovih podataka se može zaključiti da je najmanja specifična potrošnja na kraju prebacivanja kad se gorivo prebacuje 40 minuta. Isto tako može se zaključiti da što se brže prebaci gorivo, brže će pasti i specifična potrošnja goriva. Za pretpostaviti je da će specifična potrošnja goriva nakon stabilizacije (nakon određenog vremena) biti jednaka kod svakog načina prebacivanja, osim u slučaju kada se zbog neadekvatnog prebacivanja ošteti visokotlačna pumpa što ima direktan utjecaj na kvalitetu ubrizgavanja, odnosno izgaranja.

## 5.5. NAGLO PREBACIVANJE

U ovom scenariju je prikazano naglo prebacivanje goriva. To je izvedeno tako da se troputni ventil koji služi za odabir goriva naglo otvorio s potpuno teškog goriva (položaj ventila na 0%) na ravnopravno miješanje teškog i dizelskog goriva (položaj ventila na 50%). To nije preporučljivo raditi jer može doći do kvara visokotlačne pumpe goriva. Nakon 3 minute od trenutka prebacivanja motor ulazi u "slow-down" te se snaga motora smanjuje da ne bi došlo do veće štete. U ovom scenariju regulator viskoziteta je ostao uključen i na automatskom režimu rada

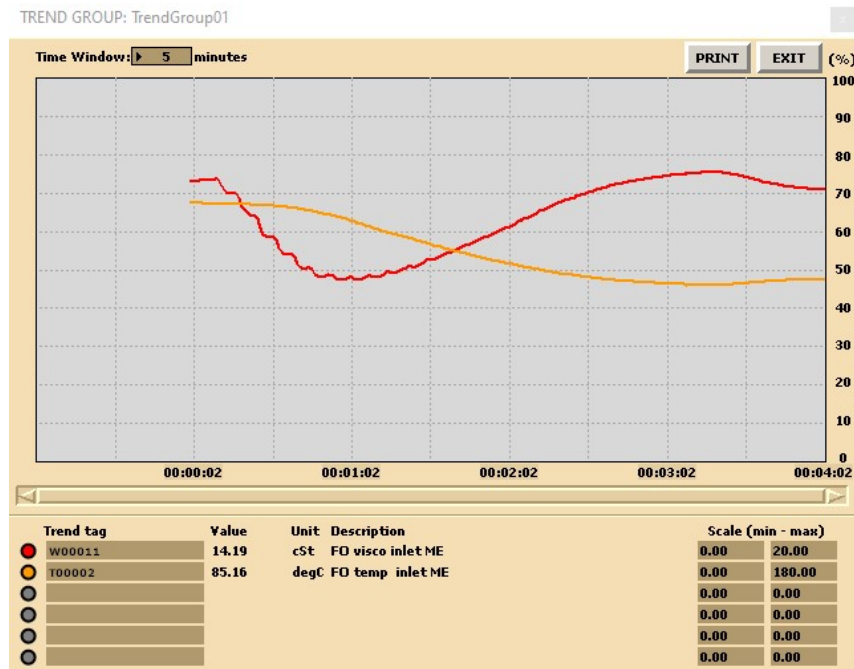
Tablica 10. prikazuje kretanje parametara ako se izvede naglo prebacivanje goriva. U 0. minuti motor radi na 100% teškom gorivu i nakon toga se troputni ventil otvara 50%. Iz tablice se može primijetiti da naglim prebacivanjem goriva dolazi do velikog pada snage motora s 16,51 MW na 11,3 MW, a kad motor uđe u "slow-down" gubi svu snagu. Udio NO<sub>x</sub>-a je pao s 15,05 g/kWh na 12,37 g/kWh zbog manje snage i dolaska dizelskog goriva. Indeks otvorenosti visokotlačne pumpe se povećao za 5,16% (pumpa dobavlja više goriva).

Tlak kompresije je pao s 108,7 bara na 100,8 bara nakon kvara visokotlačne pumpe, a nakon ulaska u "slow-down" pada i na 40 bar. Kut početka ubrizgavanja se promijenio s početnih -1,86° KV na 2° KV, što je razlika od 3,86° KV i ostaje isti i kad motor ima negativnu snagu. Kut maksimalnog tlaka ubrizgavanja goriva se promijenio s 11° KV na 13,75° KV a ulaskom motora u "slow-down" na 0,75° KV.

Tablica 10. praćeni parametri tijekom prebacivanja goriva tijekom naglog prebacivanja

Parametri	0.minuta	3. minuta	5. minuta	Mjerne jedinice
Power	16.51	11.3	-1.1	[MW]
ME specific fuel consumption	184.39	207.77	0	[g/kWh]
Nox content	15.05	12.37	0	[g/kWh]
ME speed	74	69.28	50	[RPM]
Index	56.66	61.82	0	[%]
MIP	15.99	14.97	0	[BAR]
IKW	3659	3213	0	[kW]
TIGN	3.11	6.25	7.03	[DGR]
PMAX	132.4	116.4	39.88	[BAR]
TMAX	11	13.75	0.75	[DGR]
PCOMPR	108.7	100.8	40	[BAR]
PINJO	420	418.8	413.5	[BAR]
PINJM	718.2	723.7	413.5	[BAR]
TINJO	-1.86	2	2	[DGR]
LINJ	15.3	16.69	0	[DGR]
Exhaust gas temperature	324	68.38	42.2	[°C]
Exhaust gas temperature before TC	370.61	367.3	80.65	[°C]
Viskozitet goriva	14.67	12.18	14.19	[cSt]
Temperatura goriva	121.06	92.88	85.16	[°C]

Slika 19. prikazuje viskozitet goriva kroz promjenu goriva (crvena krivulja). Može se primijetiti da viskozitet goriva pada naglo s 14,67 cSt-a na vrijednost ispod 10 cSt-a, nakon čega kreće rasti, te raste sve do 14,8 cSt-a i nakon toga opet pada. Do toga dolazi jer regulator viskoziteta pokušava djelovati na temperaturu goriva, a time i viskozitet, no ne može pratiti brzinu promjene viskoziteta zbog naglog prebacivanja goriva.



Slika 19. Graf viskoziteta i temperature goriva tijekom naglog prebacivanja goriva

Žuta krivulja prikazuje kretanje temperature goriva. Kroz operaciju prebacivanja goriva temperatura pada konstantno. Početna temperatura je iznosila 121,06°C, nakon

kvara visokotlačne pumpe je iznosila 98,88°C, dok je tijekom "slow-down"-a iznosila 85,16°C. Iako je temperatura padala, nije padala dovoljno brzo da bi viskozitet goriva dovoljno pao, da motor ne uđe u "slow-down".

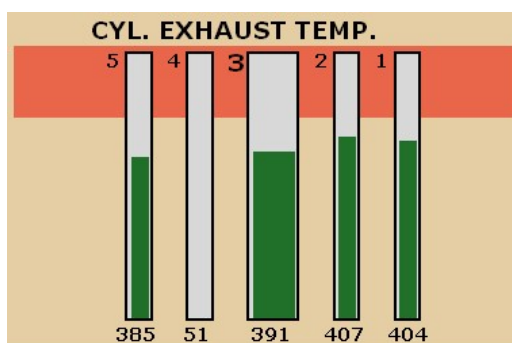
Slika 20. prikazuje, crvenom krivuljom, kretanje temperature ispušnih plinova prije turbo-puhala. Primjetno je da s početne temperature od 370,61°C temperatura blago pada. Nakon 1 minute, kad motor počne dobivati više goriva, a viskozitet goriva krene rasti, temperatura naglo pada na 340°C. Nakon kratkog perioda motor počne dodavati više goriva u cilindre, te tako podiže temperaturu ispušnih plinova prije turbo-puhala na 368,8°C i održava ju neko vrijeme dok motor ne uđe u "slow-down", a tada temperatura pada na 80,65°C.



Slika 20. Graf temperature na cilindru 1, temperature prije turbo-puhala i specifične potrošnje goriva tijekom naglog prebacivanja goriva

Žuta krivulja prikazuje temperaturu ispušnih plinova četvrtog cilindra na kojem je došlo do kvara visokotlačne pumpe goriva. Početna temperatura ispušnih plinova četvrtog cilindra je 324°C i konstantna je prvu minutu prebacivanja goriva. Kad motor počne dobivati više goriva temperatura ispušnih plinova na četvrtom cilindru raste do 380°C, i onda naglo pada zbog kvara visokotlačne pumpe goriva. Zelena krivulja prikazuje

specifičnu potrošnju goriva koja je na početku 184,36 g/kWh. Specifična potrošnja goriva blago pada od početka prebacivanja te, nakon naglog porasta viskoziteta, ona raste na 208 g/kWh, te je konstantna sve dok motor ne uđe u "slow-down". Tada se primjećuje kratki, nagli rast i potom nagli pad na 0 g/kWh.



Slika 21. Temperature ispušnih plinova svih cilindara glavnog motora

Slika 21. prikazuje temperature ispušnih plinova svih cilindara nakon kvara visokotlačne pumpe goriva. Temperatura ispušnih plinova na četvrtom cilindru je pala na 51°C jer u tom cilindru ne dolazi do zapaljenja i izgaranja goriva. Zbog toga ostali cilindri dobivaju više goriva, a time rastu temperature njihovih ispušnih plinova. Devijacije temperature ispušnih plinova su dovele do toga da je motor ušao u "slow-down"

## 6. ZAKLJUČAK

Iz završnog rada može se primijetiti da vrijeme prebacivanja goriva ima veliki utjecaj na parametre glavnog motora. Najsigurniji, najjednostavniji i najefikasniji način prebacivanja goriva je automatikom. Ukoliko postoji potreba za bržim prebacivanjem goriva to se može obaviti ručno, ali parametri motora poput kuta ubrizgavanja, udjela NO<sub>x</sub>-a, kuta zapaljenja, viskoziteta i temperature goriva i temperature ispušnih plinova na praćenom cilindru i prije turbo-puhala imaju veće oscilacije.

Najprimjetnija promjena je u brzini povećanja ili smanjenja specifične potrošnje goriva. Što je kraći interval prebacivanja goriva, to će specifična potrošnja goriva brže rasti ili padati. U kraćim intervalima viskozitet goriva i temperatura goriva također naglo padaju ili rastu, ali zahvaljujući regulatoru viskoziteta motor nastavlja s radom normalno. Naglo prebacivanje goriva može dovesti do kvara elementa u sustavu goriva poput visokotlačne pumpe ili začepjenja rasprskavača, a u nekim slučajevima može dovesti i do "slow-down"-a motora. Do toga dolazi zato jer regulator viskoziteta, iako na automatskom režimu rada, ne može popratiti tako veliku količinu novog goriva s drugačijim viskozitetom, pa njegovo djelovanje neće pomoći da se kvar izbjegne.

Iz istraživanja se da zaključiti da na promatranom brodu nije moguće potpuno prebaciti s jedne vrste goriva na drugu u periodu manjem od 20 minuta, zato što treba 20 minuta da bi se sustav isprao od starog goriva u sustavu i zamijenio ga drugim gorivom.

## LITERATURA

- [1] <https://www.wingd.com/en/documents/w-2s/tribology/fuel-lubricants-water/diesel-fuels-for-wingd-engines-v2/>
- [2] Kongsberg Maritime Operator's Manual K-Sim ERS L11 5L90MC – VLCC Version MC90-V

## POPIS SLIKA

Slika 1. Dijagram viskoziteta i temperature [1] .....	10
Slika 2. Shema sustava goriva glavnog dizel motora [2] .....	16
Slika 3. Graf viskoziteta i temperature goriva tijekom prebacivanja goriva.....	21
Slika 4. Graf temperature na cilindru 1, temperature prije turbo puhala i specifične potrošnje goriva tijekom prebacivanja goriva.....	22
Slika 5. Graf viskoziteta i temperature goriva tijekom 20-minutnog prebacivanja goriva.	24
Slika 6. Graf temperature na cilindru 1, temperature prije turbo puhala i specifične potrošnje goriva tijekom 20-minutnog prebacivanja goriva .....	25
Slika 7. Graf temperature na cilindru 1, temperature prije turbo puhala i specifične potrošnje goriva tijekom 20-minutnog prebacivanja goriva .....	27
Slika 8. Graf temperature na cilindru 1, temperature prije turbo puhala i specifične potrošnje goriva tijekom 20-minutnog prebacivanja goriva .....	27
Slika 9. Rast specifične potrošnje goriva kroz intervale prebacivanja goriva .....	28
Slika 10. Graf viskoziteta i temperature goriva tijekom prebacivanja goriva kod naglog prebacivanja goriva .....	30
Slika 11. Graf temperature na cilindru 1, temperature prije turbo puhala i specifične potrošnje goriva tijekom prebacivanja goriva kod prebrzo prebacivanja goriva .....	31
Slika 12. Graf viskoziteta i temperature goriva tijekom prebacivanja goriva.....	33
Slika 13. Graf temperature na cilindru 1, temperature prije turbo-puhala i specifične potrošnje goriva tijekom prebacivanja goriva.....	34
Slika 14. Graf viskoziteta i temperature goriva tijekom prebacivanja goriva.....	36
Slika 15. Graf temperature na cilindru 1, temperature prije turbo-puhala i specifične potrošnje goriva tijekom prebacivanja goriva.....	36

Slika 16. Graf viskoziteta i temperature goriva tijekom prebacivanja goriva.....	37
Slika 17. Graf temperature na cilindru 1, temperature prije turbo-puhala i specifične potrošnje goriva tijekom prebacivanja goriva.....	38
Slika 18. Pad specifične potrošnje goriva kroz intervale prebacivanja goriva.....	39
Slika 19. Graf viskoziteta i temperature goriva tijekom naglog prebacivanja goriva.....	41
Slika 20. Graf temperature na cilindru 1, temperature prije turbo-puhala i specifične potrošnje goriva tijekom naglog prebacivanja goriva .....	42
Slika 21. Temperature ispušnih plinova svih cilindara glavnog motora .....	43

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Specifikacije teškog dizelskog goriva [1] .....	9
Tablica 2. Specifikacije Dizelskog goriva [1].....	13
Tablica 3. Praćeni parametri tijekom prebacivanja goriva automatikom (40 minuta).....	20
Tablica 4. Praćeni parametri tijekom prebacivanja goriva (20 minuta).....	23
Tablica 5. praćeni parametri tijekom prebacivanja goriva (10 minuta).....	26
Tablica 6. praćeni parametri tijekom prebacivanja goriva kod naglog prebacivanja goriva .....	30
Tablica 7. praćeni parametri tijekom prebacivanja goriva (40 minuta).....	32
Tablica 8. Praćeni parametri tijekom prebacivanja goriva (20 minuta).....	35
Tablica 9. Praćeni parametri tijekom prebacivanja goriva (10 minuta).....	37
Tablica 10. praćeni parametri tijekom prebacivanja goriva tijekom naglog prebacivanja .	41