

UNIVERZITET CRNE GORE
POMORSKI FAKULTET KOTOR
Doktorske studije Pomorske nauke

MIROSLAV VUKIČEVIĆ

**METODOLOGIJA SMANJENJA UTICAJA
KATALITIČKIH OSTATAKA NA
TRAJNOST PRSTENOVA
SPOROHODNIH BRODSKIH MOTORA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Kotor, 2022.

UNIVERSITY OF MONTENEGRO
FACULTY OF MARITIME STUDIES
Doctoral studies maritimes sciences

MIROSLAV VUKIČEVIĆ

**METHODOLOGY FOR REDUCING THE
IMPACT OF CATALYTIC RESIDUES ON
THE PISTON RINGS DURABILITY IN
MARINE LOW-SPEED ENGINES**

DOCTORAL DISSERTATION

Kotor, 2022.

PODACI O DOKTORANDU

Ime i prezime: Miroslav Vukičević

Datum rođenja: 16.09.1981. god.

Naziv završenog postdiplomskog studijskog programa i godina završetka:

Postdiplomske magistarske akademske studije na smjeru Pomorske nauke, Pomorski fakultet Kotor, Univerzitet Crne Gore, 2016. godine.

PODACI O MENTORU

Prof.dr.sc. Nikola Račić, redovni profesor, Pomorski fakultet Sveučilišta u Splitu.

ČLANOVI KOMISIJE:

Prof. dr. sc. Nikola Račić, redovni profesor, Pomorski fakultet Sveučilišta u Splitu, Hrvatska

Prof. dr. sc. Lazo Vujović, redovni profesor, Pomorski fakultet Kotor, Univerzitet Crna Gora

Izv. prof.dr. sc. Žarko Koboević Pomorski odjel Sveučilišta u Dubrovniku, Hrvatska

DATUM ODBRANE:

PODACI O DOKTORSKOJ DISERTACIJI

Naziv doktorskih studija: Pomorske nauke

Naslov doktorske disertacije: Metodologija smanjenja uticaja katalitičkih ostataka na trajnost prstenova sporohodnih brodskih motora

Rezime

Ploveći na tankerskim brodovima, istraživanjem literature i brodske cirkularne korespondencije, razmjenom iskustava i ličnim iskustvom u vezi sa motorom *Sulzer 6RTA58T*, primjećena je učestala opasnost zbog abrazivnih istrošenja na samom motoru. Istrošenja koja su se dešavala u jako kratkom periodu pokrenula su na dublju analizu same problematike. Nakon praktičnih ispitivanja, istraživanja i komunikacijom sa proizvođačima brodskih motora uočen je problem koji su uzrokovale tvrde, a sitne katalitičke nečistoće koje se nalaze u brodskom gorivu. Ovaj problem postao je čest i kod ostalih motora, te je bio povod za detaljnije istraživanje i osmišljavanje metodologije kojom bi se moglo preventivno uticati, naročito imajući u vidu da ova istrošenja mogu da nanesu veliku štetu, kako motoru, tako i samoj posadi broda i brodovlasnicima.

Štete koje nastaju direktno zbog katalitičkih nečistoća u brodskom gorivu najbolje se tumače procjenama u različitim slučajevima, a koje iznose od 900 000 \$ do 1 500 000 \$ [1] ili pak od 300 000\$ do 1 500 000 \$ u slučaju Alfa Laval [1] . Cijena popravke samog motora iznosi oko 500 000\$, a postoji i dodatni gubitak zbog nemogućnosti eksploatacije broda u tom periodu, koji se procjenjuje na još toliko [1]. Osim navedenih troškova, štetu trpe i osiguravajuće kuće, o čemu će više riječi biti u samom radu.

Na početku rada, bliže je objašnjena problematika nastajanja katalitičkih nečistoća u gorivu nakon prerade u rafinerijama, te kako je moguće dijagnostikovati problem. Da bi se dobila prava slika stanja, analiziralo se preko 100.000 uzoraka brodskih goriva, a podaci su obrađeni primjenom adekvatne statističke metode.

Kako bi se dobile precizne informacije o količini abrazivnih nečistoća na brodu, bilo je neophodno da se istraže trenutno dostupne savremene metode uz pomoć kojih se može dokazati njihovo prisustvo u gorivu, a onda i na samim djelovima broskog motora. U radu je fokus bio na jednostavnim uređajima i tzv. pokretnim laboratorijama kojima mogu

jednostavno da rukuju oficiri mašine, ali se ukazalo i na manjkavost iste. Takođe, uzeti su u obzir i složeni, precizni sistemi koji se mogu ugraditi na brodovima, te je prikazana i opravdana njihova upotreba.

Nakon opisanih metoda za detekciju katalitičkih nečistoća u brodskom sistemu goriva (kako bi se utvrdila njihova količina te ocijenila otpornost prstenova i košuljice na habanje), neophodno je bilo istražiti materijale koji se koriste za savremene klipne prstenove. Uz pomoć laboratorijskih ispitivanja obavljenih u Sloveniji i Crnoj Gori, analizirana je struktura i sastav klipnih prstenova i košuljice cilindra koji su se koristili tokom istraživanja. Metodologija ispitivanja klipnih prstenova obuhvata: ne destruktivnu tehniku „*XRF (X-ray fluorescence)*“, „*ICP (Inductively Coupled Plasma)*“, „*SEM (Scanning Electron Microscopy)*“, hemijske analize slojeva premaza, baze i same debljine premaza, analizu mikročvrstoće klipnih prstenova baze i premaza, te analizu dobijenih podataka. Dobijeni rezultati dali su odgovor u vezi sa materijalom koji bolje podnosi abrazivni uticaj ukoliko se nečistoće nađu u unutrašnjosti dizel motora.

Kako bi se smanjio uticaj abrazivnih nečistoća na trošenje vitalnih djelova glavnog motora, ukazala se potreba za produblivanjem istraživanja, te se zbog toga pristupilo daljem istraživanju metodologije i izradi modela koji može da utiče na preventivno održavanje motora. Kako model sam po sebi predstavlja realni sistem ili objekat, u izradi modela su se isključivo koristila saznanja u vezi sa tankerskim brodovima na kojima su obavljena i testiranja. Upotrebom programa Visio predstavljen je dijagram toka brodskog goriva od tanka za skladištenje do ulaska prečišćenog goriva u glavni dizel motor. Uz pomoć njega predstavljen je i složeni model preventivnog održavanja. Analizom dostupnih, ispitivanih brodskih sistema, došlo se do opštih zaključaka koji se odnose na osnovu samog modela. Kako pouzdanost induktivnog zaključivanja zavisi i od broja istraženih činjenica i slučajeva, u radu su opisani svi brodski sistemi na kojima je testirana oprema korišćena u razvijanju modela.

Fokus je prvenstveno na tretmanu brodskog goriva i sistemima (filtracije i separiranja abrazivnih nečistoća) koji su sastavni dio svakog broda, što ovaj model čini univerzalnim. U pogledu autonomnosti, autor disertacije smatra važnim razvijanje automatskog načina dreniranja (oslobađanje vode i nečistoća iz goriva), pogotovo u periodu kada nema dežurstva u mašinskom prostoru. Za potrebe modela, preporučeno je kapacitivni senzor oznake

BSC011L. Na osnovu ovog senzora razrađen je i šematski dijagram sa objašnjenjima, te apostrofirana važnost upotrebe ovog senzora u brodskim uslovima. Pored navedenog sistema, u disertaciji je posebno objašnjen i sistem koji će automatski uticati na finu regulaciju protoka goriva kroz separator. Simuliranje i način rada ovog automatskog sistema odrađen je u programu *Simulink*. Uz pomoć ovog programa, dat je precizan odgovor u smislu važnosti i potrebe fine regulacije protoka kroz separator kako bi se velika količina nečistoća otklonila iz goriva. Simuliranje je postavljeno za tri različita brodska scenarija kod kojih je moguća najveća potrošnja goriva. Model ima mogućnost da izračuna neophodnu količinu goriva i automatski reguliše protok kroz separator sa aspekta najboljeg prečišćavanja. Dok u slučajevima minimalne potrošnje goriva, regulacija je jednostavnija u vidu programiranog minimalnog protoka goriva kroz separator, sa prelivnom cijevi (pri dnu tanka) iz servisnog u taložni tank. Treba napomenuti da vremensko izbacivanje nečistoća na kontrolnoj jedinici separatora se podešava u zavisnosti od dostupne analize goriva.

Takođe, u nastavku disertacije opisana je i dodatna oprema koja se može instalirati na dizel motor kao vid preventivnog održavanja. Predstavljena metodologija na najbolji način odvaja abrazivne nečistoće iz goriva, te u sprezi sa dodatnom opremom čini moćan sistem zaštite dizel motora.

Osim modela napravljenog u softveru *Visio*, ukazala se potreba da se uradi i matematički model i algoritam za simulaciju, koji će precizno izračunati količinu prečišćenosti goriva za određeni period. Da bi simulacija u matematičkom modelu bila vjerodostojna, korišćeni su stvarni podaci o kapacitetima tankova goriva, kapacitetu separatora i o potrošnji glavnog motora. Za ovu potrebu, koristio se softverski paket *Wolfram Mathematica* koji prikazuje numeričke rezultate prečišćenosti i protoka goriva kroz elemente. Osim toga, on ima mogućnost i da grafički prezentuje pomenutu čistoću goriva i protok kroz analizirane elemente u datom vremenu.

Analiza prečišćavanja goriva odrađena je za period od 24h pri maksimalnom protoku kroz separator i pri simulacijskom modelu sa smanjenim protokom koji se kasnije potvrdio na brodu uz pomoć analize goriva u jednoj od svjetski priznatih laboratorija. Odstupanje između simuliranog i modela koji je služio za provjeru simulacije (sa brodskim podacima) iznosilo je svega 0.20% nepročišćenog goriva tj. 0.06 ppm ulazne nečistoće u motoru. Primjenom matematičkih metoda u naučnoistraživačkom radu moguće je na egzaktan način

prikazati i objasniti zakonitosti pojava te dati ključni odgovor na koje faktore sve treba uticati kako bi se smanjila količina nečistoća u gorivu.

U posljednjem dijelu istraživanja, urađen je i model (u programu *Simulink*) koji ima mogućnost ranijeg alarmiranja (slanja poruke) oficirima mašine, kako bi preventivno djelovali ukoliko nastane naglo istrošenje klipnih prstenova i/ili košuljica cilindara.

Analizirani su i predstavljeni različiti uticaji koji mogu uzrokovati istrošenja na pomenutim brodskim djelovima dizel motora. Za ovu analizu se koristio *Ishikawa* dijagram (uzročno-posljedični dijagram). Kako bi se objasnio ovaj dijagram, neophodno je koristiti metodu deskripcije, kroz postupak što jednostavnijeg opisivanja ili tumačenja stručnih činjenica, procesa i uticaja njihovih međusobnih složenih odnosa, tj. veza. Uz pomoć dijagrama, sagledaće se kompleksnost problematike u ovom istraživanju.

Cilj disertacije jeste pravljenje modela na kojemu će se ispitati predložena metodologija, a koja može kvalitetno da odgovori na potrebe za poboljšanjima u brodskim sistemima kako ne bi nastala milionska šteta po motor i kompaniju. Težnja metodologije jeste da osigura trajnost vitalnih elemenata na motoru, barem dok brod ne pođe u planirani remont, s obzirom da veći radovi održavanja na samom motoru gotovo da nisu moguća za tankerske brodove dok je brod u luci ili na sidru (zbog sigurnosti i strožih propisa kompanija i luka). Ukoliko bi se predstavljeni model primijenio na sistemima goriva brodskih dizel motora, dobilo bi se gorivo sa najmanjom koncentracijom abrazivnih nečistoća.

Ključne riječi; katalitičke nečistoće, analiza brodskog goriva, metodologija, model, materijali klipnih prstenova, materijali košuljice cilindra, istrošenja, brodski motor, preventivno održavanje, simulacija.

Naučna oblast: Pomorske nauke

Uža naučna oblast: Brodsko inženjerstvo

UDK:

UDK broj dodjeljuje fakultetska ili Univerzitetska biblioteka, kao jedinstvenu stručnu klasifikaciju publikacije prema pravilima Univerzalne decimalne klasifikacije.

PhD Study programme: Maritime Sciences

Dissertation Title: Methodology for reducing the impact of catalytic residues on the durability of piston rings in low-speed marine engines

Summary

Through the navigating on tanker ships, research in literature and circular mail information, exchange of information, and personal experience with Sulzer 6RTA58T engine, a serious danger was determined caused by abrasive wear on the engine. The wear occurring within a very short period called for a more thorough investigation into the problem. After some empirical examination, research, and communication with marine engine manufacturers, a problem was spotted caused by solid catalytic particles found in fuel oil. The problem became frequent with other engines, as well, thus leading us towards further research and designing of methodology for preventive actions, especially since serious damages had been reported therefrom, not only to the engine but also to the crew and shipowners.

Damages caused directly by catalytic impurities in marine fuel are best illustrated by the estimates done in various cases, ranging from \$ 900,000 to \$ 1,500,000 [1] or from \$ 300,000 to \$ 1, 500, 000 in the case of Alfa Laval [1]. The engine repair cost amounts to about \$ 500,000, with the additional loss due to the lack of ship exploitation for the period, estimated to be as much [1]. In addition to the cost stated afore, the expenses are also borne by insurance companies, which will be further discussed in the dissertation.

At the beginning of the dissertation, we provide an insight into the problem of catalytic impurities in fuel after the refinery process and the possible diagnostics. In order to obtain the state of play, we analyzed over 100,000 samples of marine fuel, and the data was processed by an appropriate statistical method.

In order to obtain precise information on the quantity of abrasive impurities onboard, it was necessary to examine currently available methods for detecting their presence in the fuel and on the engine components. The thesis focuses on simple appliances and the so-called

portable laboratories that are easily handled by marine engineers, but also points to the disadvantages thereof. In addition, we took into consideration complex and precision systems that could be installed on ships, and their prospective use has been presented and justified.

After the methods described for the detection of catalytic impurities in the ship's fuel system (in order to determine their quantity and evaluate the wear resistance of rings and liners), it was necessary to examine the materials used in modern piston rings. Owing to the laboratory analysis carried out in Slovenia and Montenegro, we analysed the structure and composition of the piston rings and cylinder liners that were used during the research. The methodology used for examining the piston rings comprises: non-destructive *XRF (X-ray fluorescence) technique* “, “*ICP (Inductively Coupled Plasma)* “, “*SEM (Scanning Electron Microscopy)*“, chemical analysis of coating layers, their base and thickness, analysis of micro-strength of the piston rings, their base and coatings, and the analysis of the obtained data. The results provided us with the answer in terms of the material best enduring the abrasive impact in case of impurities inside a diesel engine.

The above presented called for further research in terms of methodology and design of a model that would be able to influence the preventive maintenance of the engine. Since the model itself is a real system or object, the model utilized the findings exclusively related to tanker ships that were used for the testing. By using the *Visio* programme, we presented the diagram of the fuel flow from the storage tank to the entrance of the purified fuel into the main diesel engine. It enabled the presentation of a complex model of preventive maintenance. By analysing the available and examined ship systems, we came to a general conclusion related to the fundamentals of the model. As the reliability of the inductive conclusions depends on the number of examined facts and cases, the dissertation describes all the ship systems that were tested during the model development.

The primary focus was put on the fuel oil treatment and systems (filtration and separation of abrasive impurities) which are an integral part of every ship and which makes this model universal. In terms of autonomy, the author believes that the development of automatic drainage of water and impurities from the fuel is important, especially during the period of unmanned machinery space. For the purpose of the model, we recommend the capacitive sensor marked BSC011L. Upon this sensor, a schematic diagram has been developed, along with the explanations, and the emphasized importance of the sensor

utilization in ship's conditions. In addition to the described system, the dissertation provides a special explanation of the system that would automatically influence the fine regulation of the fuel flow through the separator. The simulation and manner of operation was processed in the *Simulink* programme. The programme provided a precise answer in terms of the importance of fine regulation of flow through the separator in order to remove a major quantity of impurities from the fuel. The simulation was conducted for three different ship scenarios with the highest prospective fuel consumption. The model has the ability to calculate the required amount of fuel and automatically regulates the flow through the separator from the aspect of the best purification. While in cases of minimum fuel consumption, regulation is simpler in the form of a programmed minimum fuel flow through the separator, with an overflow pipe (at the bottom of the tank) from the service to the settling tank. It should be noted that the time for sludge discharge can be adjusted on the control unit of the separator, depending on the available fuel analysis.

In the continuation, we described the additional equipment that could be installed on a diesel engine as a manner of preventive maintenance. In this way, we present the methodology that separates the impurities from the fuel in the best way, thus, together with the additional equipment, it makes a powerful protection system for a diesel engine.

In addition to the model developed in the *Vision* software, there was also a need to do a mathematical model and algorithm for the simulation, which would do accurate calculations on the purification rate for a certain period. In order to make the mathematical model simulation credible, we used real data on the fuel tank capacities, separator capacity and main engine consumption. For this purpose, we used the *Wolfram Mathematica* software package providing numerical results of the fuel purification and flow through the elements. Moreover, it enables us to graphically present the fuel purity and flow through the analysed members in the given time.

The fuel analysis was conducted for the period of 24 hours with maximum flow through the separator and in the simulator model with a reduced flow that was later confirmed onboard by fuel analysis conducted at one of the world-renowned laboratories. The difference between the simulated and the simulation testing model (with the data from the ships) was only 0.20% of impurified fuel, i.e. 0.06 ppm of impurities entering the engine. By applying mathematical methods in scientific research, it is possible to determine the regularities in an

exact way and give key answers to what factors should be influenced in order to reduce the quantity of impurities in the fuel.

In the last part of the research, a model has been developed (in the *Simulink* programme) with the possibility of an early alarm (notification) sent to marine engineers so that they would be able to act preventively in case of sudden wear in piston rings and/or cylinder liners.

At the very end, it was necessary to analyse and present various impacts that could cause wear on the marine diesel engine components mentioned above. For this analysis, we used the Ishikawa diagram (cause-and-effect diagram). In order to explain the diagram, it is necessary to use the method of description and to do it as simply as possible as regards the description and interpretation of the scientific facts, processes, and the effects of their mutual interrelations. This diagram will help us present the complexity of the subject of research.

The goal of this dissertation was to design a model upon which the proposed methodology would be tested and which could provide a reliable response to the needs for improvements in marine systems and avoid millions of dollars worth of damage to the engine and to the company. The methodology aims to ensure the durability of vital engine elements, at least until the ship is taken to the scheduled overhaul, taking into account that extensive maintenance work on the engine is hardly feasible onboard tanker ships while the vessel is in port or at anchor (due to safety issues and stricter regulations of the companies and the ports). In case the presented model would be applied to the fuel systems of marine diesel engines, it would provide fuel with a reduced concentration of abrasive impurities.

Keywords: catalytic impurities, marine fuel analysis, methodology, model, piston rings, materials, wear, marine engine, preventive maintenance, modern equipment, simulation.

Scientific field: Maritime Sciences

Scientific subfield: Marine engineering

UDK code:

Sadržaj

Rezime	i
Summary	v
1. UVOD	1
1.1. PREDMET I OBJEKT ISTRAŽIVANJA	2
1.2. OPIS PROBLEMA, CILJ ISTRAŽIVANJA I HIPOTEZE	2
1.3. METODE I PLAN ISTRAŽIVANJA.....	4
1.4. STRUKTURA DISERTACIJE.....	6
2. POGONSKA GORIVA ZA GLAVNI DVOTAKTNI DIZEL MOTOR, KARAKTERISTIKE I MEĐUNARODNI PROPISI	9
2.1. NEČISTOĆE U GORIVU I TROŠKOVI POPRAVKI PROUZROKOVANIH NJIMA	14
2.1.1. Nastanak katalitičkih nečistoća i njihova količina u gorivu	14
2.1.2. Troškovi popravki i intervencija na brodu uslijed lošeg uticaja katalitičkih nečistoća u gorivu.....	18
2.2. ANALIZA KATALITIČKIH NEČISTOĆA U GORIVIMA DOSTUPNIM U SVJETSKIM LUKAMA ZA PERIOD 2017 - 2020. GOD.	24
3. METODE ZA MJERENJE PRISUSTVA KATALITIČKIH NEČISTOĆA I UKLANJANJE ISTIH	30
3.1. METODE IDENTIFIKACIJE PRISUSTVA I UKLANJANJA KATALITIČKIH NEČISTOĆA IZ GORIVA	31
3.1.1. Uzimanje otiska sa košuljice cilindra – <i>replica test</i>	32
3.1.2. NMR senzor za detekciju katalitičkih nečistoća u brodskom gorivu	33
3.1.3. <i>Parker Kittiwake</i> portabilni test za mjerenje katalitičkih nečistoća	34
3.1.4. <i>SIPWA, Mapex -PR</i> senzori i tehnologija za praćenje habanja klipnih prstenova.....	35
3.1.5. <i>SEA -Mate® XRF</i> uređaj za mjerenje katalitičkih nečistoća (Al+Si).....	37
3.1.6. Nadgledanje količina katalitičkih čestica sa više bitnih pozicija – <i>Catguard</i>	38
3.1.7. Uklanjanje nečistoća, ispravan i efikasan rad brodskih separatora	40
3.1.8. Pravilna upotreba brodskih filtera u sistemima goriva i njihovo održavanje	42
3.1.9. Touch – Nadgledanje čišćenja goriva.....	43
3.1.10. Pravilno uzorkovanje i analiza goriva u brodskom sistemu i CSD (distribucija katalitičkih nečistoća) metoda	44
4. KLIPNI PRSTENOVI U BRODSKIM DIZEL MOTORIMA I NJIHOVE SPECIFIČNOSTI (Federal - Mogul i brend GOETZE)	47
4.1. KLIPNI PRSTENOVI KOD DVOTAKTNIH DIZEL MOTORA	52

4.2. INOVACIJE KOMPANIJE WÄRTSILÄ SULZER NA MOTORIMA RTA OZNAKE.....	53
5. UZROCI KOJI UTIČU NA ISTROŠENJA KLIPNIH PRSTENOVA I KOŠULJICE CILINDRA.....	57
6. MJERENJA I ISPITIVANJA UZORAKA KLIPNIH PRSTENOVA.....	67
6.1. PODACI O TESTIRANOM MOTORU I OPERATIVNI PODACI POTREBNI ZA ANALIZU	67
6.2. MJERENJE I RAČUNANJE POHABANOSTI OBLOGE KLIPNIH PRSTENOVA.....	69
6.3. LABORATORIJSKO ISPITIVANJE, MJERENJA NA KLIPNIM PRSTENOVIMA I KOŠULJICI CILINDRA	71
6.3.1. Svjetlosni mikroskop za istraživanje površine prstenova i SEM (<i>scanning electron microscope</i>) analiza hemijskog sastava nanosa.....	73
6.3.2. Analiza debljine nanosa klipnih prstenova.....	76
6.3.3. Analiza mikro čvrstoće baze i obloge klipnih prstenova.....	79
6.3.4. ASTM standardne metode ispitivanja za određivanje prosječne veličine zrna i SEM analiza.....	81
7. STRUKTURA SISTEMA ZA PREČIŠĆAVANJE GORIVA I PREVENTIVNE MJERE ZAŠTITE GLAVNOG MOTORA	84
7.1. BLOK ŠEMA SISTEMA ZA PREČIŠĆAVANJE GORIVA NA BRODU.....	84
7.2. RAZRADA SISTEMA PREČIŠĆAVANJA GORIVA NA BRODU	88
7.2.1. Efikasnost separacije goriva na brodu	88
7.2.2. Rad transfer pumpe u svrhu bolje separacije goriva.....	89
7.2.3. Podešavanje rada separatora u cilju bolje efikasnosti	91
7.2.4. Upotreba niskog i visokog usisa na tankovima	105
7.2.5. Upotreba i pravilni tretman finih filtera na brodu	108
7.3. DODATNA OPREMA NA MOTORU KAO VID PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA	113
7.3.1. Upotreba online sistema za mjerenje pohabanosti klipnih prstenova.....	116
7.3.2. Upotreba temperaturnih senzora na košuljicama cilindara.....	117
7.3.3. Upotreba SDA (<i>Scavenging Drain Analysis</i>) metode analize otpadnog cilindričnog ulja i novi načini preciznih mjerenja otpadnog ulja	119
7.3.4. Označavanje klipnih prstenova i uvrštavanje u listu kritičnih djelova koji imaju EPN broj	130
7.3.5. Pravilnije i preciznije mjerenje istrošenja košuljice bez dobijanja dozvole za izolaciju motora kao kritične opreme	132
7.3.6. Pravilna i redovna kontrola ispirnog kanala.....	133

7.3.7. Upotreba hemikalija za poboljšanje separacije goriva i sprečavanje stvaranja taloga na dnu tanka	134
7.4. PREGLED ANALIZIRANIH SISTEMA KOJI SU PRIMJENJIVI NA GLAVNIM DVOTAKTNIM DIZEL MOTORIMA	135
8. SIMULACIJSKI MODEL ZA PREČIŠĆAVANJE ABRAZIVNIH NEČISTOĆA IZ GORIVA.....	138
8.1. OBJAŠNJENJE MODELA	138
8.1.1. Poboljšanje efikasnosti rada separatora goriva.....	141
8.1.2. Podešavanje rada transfer pumpe goriva i prelivanje iz servisnog tanka	143
8.1.3. Ugradnja automatskog drenažnog ventila na taložnom tanku goriva.....	144
8.1.4. Protok goriva od taložnog do servisnog tanka	147
8.1.5. Protok goriva od servisnog tanka do glavnog dizel motora	152
8.2. TESTIRANJE ANALIZIRANOG MODELA I OPISI SCENARIJA.....	153
8.2.1. Testiranje analiziranog modela na brodskom sistemu u eksploataciji sa stanovišta neophodne količine prečišćenog goriva	153
8.2.2. Analiza modela brodskog sistema prečišćavanja (pri maksimalnoj potrošnji goriva kod glavnog motora) i opis scenarija koji su korišćeni u modelu	159
8.3. MODELOVANJE SISTEMA ZA PREČIŠĆAVANJE ABRAZIVNIH NEČISTOĆA IZ GORIVA	166
8.3.1. Ilustracija parametara za simulacije	166
8.3.2. Opis modela.....	169
8.3.3. Funkcije i procedure modela	171
8.3.4. Prikaz rezultata simulacijskog modela	176
8.3.5. Provjera rezultata – Validacija simulacijskog modela	180
8.3.6. Analiza učinkovitosti brodskog sistema za prečišćavanje goriva koji imaju katalitičke nečistoće.....	184
8.4. OPTIMIZACIJA RADA SEPARATORA GORIVA U CILJU BOLJEG ELIMINISANJA SITNIH NEČISTOĆA IZ GORIVA	188
8.5. SIMULACIJSKI MODEL ZA ALARMIRANJE U SLUČAJU NAGLE ISTROŠENOSTI KLIPNIH PRSTENOVA PROUZROKOVANE ABRAZIVNIM NEČISTOĆAMA IZ GORIVA	192
ZAKLJUČAK.....	199
Literatura:	205

1. UVOD

Nestabilna cijena goriva i globalna ekonomska kriza usloveli su da brodovlasnici počnu da preduzimaju drastične mjere u cilju smanjenja operativnih troškova. Osim toga, internacionalne konvencije, među kojima i konvencija o sprečavanju zagađenja MARPOL¹ [2] preko svojih Anexa pokušava da reguliše i da podigne svijest o stepenu zagađenja sa broda. Konkretno sastav goriva, kvalitet pa čak i sadržaj sumpora u gorivu koji utiču na rad motora (emisija), promjene koje su nastupile u pojedinim ekološkim zonama, a od 2020-te godine i globalno. Sve te promjene jako utiču na eksploataciju brodskog motora i preventivno održavanje prave još kompleksnijim. Neprosvećenost i nepoznavanje mogućeg negativnog uticaja ovom novonastalom tematikom može u kratkom periodu da dovede do otkaza glavnog brodskog motora sa ogromnim troškovima i dovođenja brodske posade u životne opasnosti a samo okruženje u ekološku opasnost, pogotovo kad je riječ o tankerima ili brodovima koji prevoze opasne terete.

U prvom dijelu rada je obrađena problematika kvaliteta goriva i važećeg ISO standarda koji svojim sastavom utiču na rad motora. Posebno je sagledana i analizirana problematika abrazivnih nečistoća iz goriva koja dovodi do neplaniranih troškova na brodu. Za nesmetani rad brodskog pogona potrebno je kvalitetno gorivo dobijeno iz sirove nafte. Zbog toga je potrebno da se vrši prerada u rafinerijama uz pomoć procesa odvajanja, pretvaranja i obrade. Procesi pretvaranja sastoje se od razbijanja (krakovanja) većih molekula na manje tj. sa manjim brojem atoma ugljenika u molekuli. Ovo je moguće uz pomoć katalizatora kao čvrstih jedinjenja aluminijuma i silicijuma.

Iako u rafinerijama pokušavaju da smanje gubitak tih katalizatora, prenos katalitičkih čestica na gorivo je neizbježan, a kako su izuzetno abrazivna jedinjenja, moraju se otkloniti iz goriva prije nego što izazovu ozbiljna oštećenja u dizel motoru. Kako je 1.01.2020. godine stupilo na snagu globalno pravilo sa smanjenim procentom sumpora u gorivu, a time i povećanom količinom krakovanja, neophodno je analizirati svjetsko tržište brodskog goriva i utvrditi količinu ovih abrazivnih nečistoća.

¹ MARPOL- Internacionalna konvencija o sprečavanju zagađenja sa brodova

1.1.PREDMET I OBJEKT ISTRAŽIVANJA

Zbog same pogodnosti i dostupnosti za testiranje je korišćen tankerski brod sa ugrađenim 6RTA58 -T tipom motora kojeg je proizvela firma Wärtsilä. Na ovom brodu su urađena praktična mjerenja, analiza rada samog motora, te uzeti uzorci potrebni za laboratorijska ispitivanja. Kako na trenutnom tržištu dvotaktnih dizel motora, dominiraju dva proizvođača (Wärtsilä i MAN), tako je bio logičan izbor da za predmet istraživanja bude jedan od ova dva proizvođača . Iako oba proizvođača koriste različite sisteme klipnih prstenova, kod oba proizvođača jedno je isto, a to je da koriste površinske slojeve koji su otporni na habanje. Kod Wartsile se koristi uglavnom sistem koji je i razvijen za upotrebu u dvotaktnim motorima sa galvanskim premazom dok MAN koristi termičke sprejane premaze. Oba proizvođača koriste asimetrične konveksne radne površinske profile i bitno im je da postižu duži radni vijek klipnih prstenova od oko 30.000 radnih sati. Proizvođači klipnih prstena očekuju duži vijek kod motora koji imaju antipolirajući prsten (18 - 20.000 radnih sati).

Ukoliko se uzme maksimalni broj radnih sati motora u toku tri godine, može se zaključiti da ovi prstenovi treba da budu kvalitetni i da traju između dva odlaska broda u suvi dok. Međutim to se često ne dešava, već istrošenja klipnih prstenova i košuljica cilindra mogu da nastanu i u toku nekoliko radnih sati. Kada se to desi nastaju veliki problemi koji se ogledaju: u nemogućnost upotrebe glavnog dizel motora, opasnost od oštećenja broda, otežan ili nemogući remont u zavisnosti od uslova na moru, dodatni pritisak i opasnost od povreda brodske posade, problem sa unajmiteljom ili čak njegov gubitak te otežana isporuka rezervnih djelova u zavisnosti od regiona gdje se trenutno brod nalazi. Sve navedeno je bio glavni razlog za detaljnije istraživanje.

1.2. OPIS PROBLEMA, CILJ ISTRAŽIVANJA I HIPOTEZE

U polaznim istraživanjima identifikovani su problemi koji dovode do oštećenja na elementima u cilindru motora, a uzrokovani su krutim nečistoćama u pogonskom gorivu, kao i neprimjerenim kvalitetom materijala klipnih prstenova. Trenutno se na brodovima vrši analiza otpadnog cilindarskog ulja svakih 1000 radnih sati, što nije dovoljno, jer je praksa pokazala da do oštećenja motora i zastoja u radu može doći i za manje od 48 sati.

Primjenom novih tehnologija za ispitivanje materijala i analizu goriva i ulja obavljena su neophodna mjerenja. Rezultati mjerenja predstavljaju osnovu za izradu optimalnog algoritma za izbor materijala klipnih prstenova, kao i za praćenje parametara u gorivu (količine katalitičkih nečistoća) i ulju (u vidu sadržaja metala u otpadnom cilindarskom ulju).

Takođe u radu su predloženi novi brodski sistemi koji imaju mogućnost brze i česte analize uticajnih parametara u gorivu i ulju, kao i mogućnost utvrđivanja stanja elemenata u cilindru motora. Ovi sistemi mogu pomoći u pravovremenom zaustavljanju daljeg trošenja košuljice i klipnih prstenova u cilindru motora nastalih uslijed abrazivnog djelovanja nečistoća u gorivu.

Istraživanje se zasniva na sledećim hipotezama:

1) Trenutni problemi sa pogonskim gorivom uslijed veće količine katalitičkih nečistoća uslijed krakovanja u rafinerijama dovode brodski motor u opasnosti od oštećenja i otkaza. Pravilnim tretmanom broskog goriva i pravilnim preventivnim sistemskim održavanjem može se uveliko smanjiti uticaj abrazivnih katalitičkih nečistoća na motoru i povećati pouzdanost motora.

2) Uslijed sve strožih svjetskih regulacija (IMO regulacija-smanjenja dozvoljenog procenta sumpora u gorivu), pretpostavlja se da će svjetske rafinerije i dalje koristiti katalitičke katalizatore (Al,Si), te se očekuje njihova prisutnost u velikom procentu i u pogonskom gorivu (možda i u većoj količini). Zbog navedenog će predstavljati još veću - češću opasnost za brodske motore ukoliko kompanije ne porade na kvalitetnom preventivnom održavanju.

3) Laboratorijskom analizom potvrdiće se da su kvalitetniji klipni prstenovi koji imaju keramički premaz u odnosu na ostale analizirane prstenove.

4) Implementacijom savremenih tehnologija i analizom trenutnog stanja u unutrašnjosti motora može se pomoći preventivnom održavanju motora i spriječiti otkaz motora. Na ovaj način vlasnik broda dobija pouzdani sistem, a cijena održavanja istog motora vremenom biva znatno niža. Ugradnja adekvatne savremene tehnologije može se višestruko isplatiti vlasniku broda, naročito na duži period.

1.3. METODE I PLAN ISTRAŽIVANJA

Na osnovu uvida u postojeća brodomašinska rješenja i svjetske zahtjeve, definisan je cilj doktorske disertacije i plan istraživanja. Istraživanje se zasniva na analizi performanse broskog motora, periodičnog snimanja činjeničnog stanja i optimizacije motora, kao i na laboratorijskoj verifikaciji materijala datog dizajna koji može da izdrži veća opterećenja uslijed katalitičkih nečistoća.

Stručna analiza materijala klipnih prstenova je obavljena na „Univerza v Mariboru, Fakultet za strojništvo“ pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Rebeka Rudolf kroz Bilateralni projekat između Crne Gore (Univerzitet Crne Gore, Pomorski fakultet Kotor) i Slovenije, broj projekta BI-ME/18-20-024 pod nazivom „Razvoj tehnika ispitivanja i kontrole metalnih materijala na brodovima - *Development of examination techniques and controle of metallic materials on ships* u periodu 1.8..2018 do 31.12.2020.

Ispitivanje klipnih prstenova i košuljice cilindra je obavljeno upotrebom sledećih analiza: „XRF“ i „ICP“ na istoimenom uređaju, uz pomoć kojih je utvrđen hemijski sastav uzoraka klipnih prstenova. Urađena je i neophodna analiza mikrostrukture slojeva na uzorcima. Mikro čvrstoća je mjerena uređajem oznake ZWICK 3212, a za laboratorijska mjerenja koristili su se mikroskopi oznaka: OM – Nikon EPIPHOT 300, FEI Quanta 200 3D, SIRION i STEM detektor. Poliranje je obavljeno uz pomoć BUEHLER Automet 250 i EcoMet 250. Rezanje uzoraka je izvršeno uređajima koji ne mogu izazvati njihovo oštećenje ili deformaciju, i u tu svrhu je korišćen STRUERS Labotom -5 (za veće uzorke) i BUEHLER IsoMet 1000 Precision Saw (za male uzorke).

Drugi dio laboratorijskih ispitivanja je obavljen na Institutu za crnu metalurgiju AD Nikšić u periodu 15.12.2020 do 15.01.2021. god.

U samom istraživanju i tumačenju dobijenih rezultata u doktorskoj disertaciji korišćene su odgovarajuće naučne metoda. Nakon obavljenih individualnih intervjuja sa brodskim inženjerima i inspektorima, registrovan je problem koji nastaje zbog abrazivnog trošenja u glavnom motoru. Upotrebom statističke metode analizirano je preko sto hiljada uzoraka goriva a pomoću grafikona je predstavljena prosječna količina ovih nečistoća u brodskom gorivu, te utvrđena trenutna efikasnost brodskih separatora. Takođe statističkom obradom podataka te komparativnom metodom, definisana je količina materijalne štete koja nastaje na brodovima kod kojih nastaje definisani problem. Zbog velike zastupljenosti RTA

dizel motora te same dostupnosti, uzeti su uzorci klipnih prstenova i košuljice cilindra. Pomenuta laboratorijska ispitivanja su dala odgovor na vrstu materijala koji su korišćeni tokom istraživanja, kao i na kvalitet samih materijala. Korišćenjem dostupnih softverskih programa za grafičko prikazivanja, te upotrebom metode deskripcije je pojednostavljen opis složenih brodskih sistema, samih procesa, njihovih odnosa i veza. Analizom brodskih sistema za preventivno održavanje i zapažanja na konkretnim pojedinačnim brodovima, došlo se do opštih - univerzalnih zaključaka (induktivna metoda).

Kako bi se dobili podaci o najefikasnijem eliminisanju abrazivnih nečistoća iz goriva neophodno je bilo sprovesti istraživanja na brodskim separatorima u realnim uslovima eksploatacije. Zbog toga je sproveden eksperimentalni rad, koji je na osnovu analize ulaznih parametara (protoka goriva i količine katalitičkih nečistoća) definisao optimalno opterećenje separatora pri čemu se izvršilo najbolje prečišćavanje goriva. Eksperiment se ogledao u konstantnom smanjenju protoka goriva do radnog minimuma, a koji se održavao upotrebom kalibrisanih metalnih umetaka. Na ovakav način su predstavljene moguće optimalne regulacije opterećenja separatora goriva na tankeru. I to sa aspekta: najboljeg prečišćavanja goriva (pri minimalnom protoku goriva), kao i odnosu na moguća scenarija u eksploataciji (pri definisanim maksimalnim potrošnjama goriva).

Upotrebom različitih metoda definisan je i matematički model za odgovarajući protok i prečišćavanje goriva (MPIFG) sa definisanim empirijskim konačnim brojem elemenata. Kako bi se dobili što precizniji rezultati uzimane su manje vrijednosti vremenskog intervala između koraka simulacije u algoritmu, te se koristio računar i odgovarajući softverski paket. Metodom komparacije utvrđeno je malo odstupanje između simuliranog modela i modela koji se koristio za provjeru.

Uz pomoć uzročno-posljedičnog dijagrama sagledan je veliki broj uzroka koji mogu uticati na ispravnost rada dizel motora, te dovesti do problema koji su analizirani u ovoj disertaciji.

U samom istraživanju je povezano više naučnih metoda a isto je realizovano u pet faza.

U prvoj fazi istraživanja, analizirani su problemi nastali uslijed povećanja količine nečistoća u gorivu, kao i troškovi koji nastaju na glavnom dizel motoru. Definisani su međunarodni propisi i standardi goriva koje moraju da ispoštuju sve svjetske rafinerije.

Preporučene su preventivne mjere, kako bi se smanjila mogućnost korišćenja goriva s prevelikom količinom nečistoća.

U drugoj fazi istraživanje je bilo usmjereno na trenutna svjetska riješena vezana za konfiguraciju klipnih prstenova, kao i na ispitivanju brodskog motora pri različitim opterećenjima u radu. Snimana su opterećenja motora i rađene su analize stanja na motoru, te su upoređeni i analizirani tipovi goriva koja su korišćena tokom trajanja ispitivanja.

Cilj treće faze istraživanja je implementacija savremenih tehnologija za brzu analizu otpadnog ulja, kako bi se preventivno mogle smanjiti posljedice nečistoća u gorivu. Definisani su i intervali potrebni za provjeru stanja klipnih prstenova i košuljice motora (često same mikrostrukture).

Četvrta faza u istraživanju odnosila se na laboratorijsku analizu uzoraka klipnih prstenova koji su korišćeni tokom istraživanja, kao i na obradu dostupne veće baze podataka brodskih goriva, kao i analize baze podataka iz sistema za planirano održavanje broda za potrebne uređaje.

Peta faza se odnosi na izradu modela i simulaciju istrošenja klipnih prstenova uslijed negativnog uticaja katalitičkih nečistoća. Za potrebu izrade ovih modela korišćeni su programi: *Matlab*, *Simulink*, *Wolfram Mathematica* i *Visio*.

Posljednja faza ispitivanja se odnosi na analizu i pravljenje uzročno posljedičnog dijagrama, kako bi se utvrdio i definisao mogući uticaj na istrošenje klipnih prstenova i košuljice motora.

1.4. STRUKTURA DISERTACIJE

Kako bi se mogao pratiti trend količine katalitičkih nečistoća u bunkerisanom gorivu, neophodno je da se uradi analiza uzoraka goriva. U ovom radu je obrađeno 100 699 uzoraka goriva iz svjetskih luka a analiza rezultata i grafički prikazi su predstavljeni u poglavlju 2.2. Kako bi se dobili što precizniji podaci analiza je usmjerena na najčešće primjenjivanim brodskim gorivima i to u dvanaest najvećih brodskih luka za isporuku pogonskog goriva. U ovom poglavlju su posebno obrađeni podaci najveće luke za isporuku brodskog goriva, luke Singapur. Analizom podataka je izveden opšti zaključak o prosječnoj vrijednosti nečistoća u gorivu, u periodu istraživanja. Takođe u ovom poglavlju su predstavljeni nastali troškovi prilikom oštećenja uslijed katalitičkih nečistoća.

Analizom goriva u nezavisnim laboratorijama te analizom pojedinačnih sistema (za taloženje, filtraciju i separaciju) uz pomoć induktivne metode došlo se do opšteg zaključka koji govori o trenutnoj količini abrazivnih nečistoća te pravilnoj pripremi pogonskog goriva (poglavlje 3). U ovom poglavlju je predstavljen niz metoda koje se koriste za utvrđivanje količine nečistoća te načini na koji se mogu iste dokazati.

Posljednji vid prevencije oštećenja na brodskom motoru se ogleda u izboru kvalitetnog materijala (poglavlje 4) za klipne prstenove, te upotreba novih tehnologija koje pomažu u dijagnostici stanja motora. Pored toga prikazane su inovacije od strane proizvođača motora koji je interes ovog istraživanja.

Da bi se predstavila složenost brodskog sistema te da bi se uočili koji to elementi utiču na sama istrošenja klipnih prstenova i košuljice motora, korišćena je *Ishikawa*² metoda (poglavlje 5). Ova metoda pruža jasni vizualni (uzročno - posljedični) prikaz koji olakšava analizu njihovog međusobnog odnosa i značaja. Ona grafički prikazuje odnos između datog izlaza i svih faktora koji utiču na izlaz. Kako je brodski sistem složen te se sastoji od mnogo promjenljivih, ovaj dijagram uz pomoć deskripcije predočava povezanost sistema, opisuju činjenice, procese, njihove zakonitosti te uzročne veze i odnose.

U poglavlju 6 je obavljeno neophodno ispitivanje uzoraka klipnih prstenova i košuljice cilindra, koji su korišćeni tokom ispitivanja. Korišćenjem širokog spektra neophodnih analiza, prikazani su rezultati ispitivanja. Ovi rezultati su korišćeni kako bi mogli utvrditi koji klipni prstenovi imaju bolje radne karakteristike, što ih preporučuje za korišćenje ukoliko se koristi gorivo sa povećanom količinom abrazivnih nečistoća.

Sistem za prečišćavanja goriva te preventivne mjere zaštite na glavnom dizel motoru su predstavljeni u poglavlju 7. Takođe analiziran je i rad transfer pumpe kroz dostupnu *Amos* bazu podataka. Neophodno je napomenuti da su analize obavljene za brodove u eksploataciji a da su analizirani tipovi brodova predstavljeni u ovom poglavlju. Metoda koja najbolje može da analizira stanje u cilindru motora je SDA (*Scavenging Drain Analysis*). Među brojnim dostupnim analizama u svijetu, u ovom poglavlju je poseban osvrt (i preporuka) dat

² *Ishikawa* dijagram (poznat i kao dijagram uzroka-posljedica i “riblja kost”) po prof. Kaoru Ishikawa. Ovaj dijagram predstavlja jednostavnu i veoma korisnu metodu. Uz pomoć nje je moguće sagledati veliki broj uzroka koji mogu dovesti do fatalnih posljedica tj. problema koji se kasnije detaljno analiziraju.

na analizi koja najbolje i najdetaljnije obrađuje podatke (o cilindričnom otpadnom ulju), te je kao takva najprihvatljivija za oficire mašine. Zbog pogodnosti za vizuelno predstavljanje, pomenuti sistem prečišćavanja je napravljen u *Visio* softveru. U ovom modelu gravitiraju dvije cjeline. Prva cjelina 7.2., se odnosi na detaljni tretman, analizu čistoće goriva, a druga cjelina 7.3., je spoj novih metoda, savremenih uređaja i instrumenata na samom brodskom motoru. U ovom modelu se vodilo računa da on bude ekonomski prihvatljiv, te uz minimalnu početnu investiciju dođe do najbolje zaštite motora. U ovu metodu modeliranja su uključeni praktični i konkretni modeli (rezultati ispitani u praksi – dio 7.4.), kao i realni modeli (model tankerskog broda na kojem su izvršena praktična ispitivanja). Zbog specifičnosti rada brodova u eksploataciji, sama ispitivanja su rađena na više dostupnih brodova.

Opisani model u *Visio* softveru, prati matematički model i algoritam za simulaciju, koji su programski implementirani u *Wolfram Mathematica* softverskom paketu. Objašnjenje i testiranje analiziranog modela (pri najekstremnijim scenarijima potrošnje goriva na tankerskim brodovima) su predstavljeni u poglavljima 8.1. i 8.2. dok sami opis, funkcije modela te analiza učinkovitosti broskog sistema za prečišćavanje goriva je opisano u poglavlju 8.3. U svim ostalim slučajevima potrošnja je znatno manja te stoga je neophodna automatska kontrola protoka kroz separator što je u radu predstavljeno modelom u *Simulink* programu.

U ovom poglavlju je prikazana važnost optimizacije rada separatora te mogućnost automatskog podešavanja u odnosu na trenutnu potrošnju goriva. Kako bi simulacija u ovom matematičkom modelu bila vjerodostojna, korišćeni su stvarni podaci o kapacitetima tankova goriva, kapacitetima separatora od (4 t/h, 3.2 t/h i 2.25 t/h) te o potrošnji najvećeg potrošača - glavnog motora. Takođe predstavljen je i simulacijski model za alarmiranje u slučaju naglog početka trošenja klipnih prstenova što može da pomogne oficire mašine u preventivnom održavanju glavnog dizel motora.

2. POGONSKA GORIVA ZA GLAVNI DVOTAKTNI DIZEL MOTOR, KARAKTERISTIKE I MEĐUNARODNI PROPISI

Kada se danas sagleda transport komercijalne robe širom svijeta prekooceanskim brodovima od preko 100 BT (bruto tona), lako se može zaključiti kako 90.000 brodova vrši transport nešto više od 90% komercijalne robe) [3].

Pogon kod tankerskih brodova uglavnom čine dizel motori (uglavnom dvotaktni motori), a mali broj parne i gasne turbine sa blagim trendom rasta, a sve zbog specifičnih ekoloških regulacija. Krajem 2020 god. ukupnu flotu tankerskih brodova je činilo 8 969 tankera iznad 5 000 BT. Bitno je napomenuti da kod tankera sa ukupnom dužinom do 185 m (hemikal i produkt tankeri), gotovo svi brodovi ovog tipa (95%) imaju dvotaktni dizel motor instaliran za pogon. [4].

Do 2020. god. se uglavnom koristilo teško gorivo *HFO (Heavy Fuel Oil)* sa većim ili manjim procentom sumpora u svom sastavu, što je bilo uzrokovano zonama u kojim brod plove. Goriva sa niskim sastavom sumpora *LSFO (Low Sulphur Fuel Oil max. 1% S)* odnosno ultra niskim procentom sumpora (*ULSFO 0.1% S*) ili dizel goriva (*MDO - marine diesel oil*) su uglavnom danas goriva koja mogu da ispunjavaju sadašnje norme. Problem kod ovog goriva je što je skuplje (proces dobijanja, prerada) i što je njegova dostupnost još uvijek limitirana. Zbog specifičnosti i sa aspekta ekologije, gorivo koje može da najbolje odgovori ovoj problematici je gas kao gorivo. Interes raste u alternativnim fosilnim gorivima kao što su *LNG (liquid natural gas)*, koja mogu smanjiti emisije ugljen - dioksida za 15% do 20 % ako se kontroliše 'skliz' metana (dio metana koji ne sagori u cilindru već „pobjegne“ sa ostalim izduvnim gasovima). Poređenjem dizel motora koji rade na *HFO* i *MDO* kao i motora koji rade sa dvostrukim gorivom, dolazi se do zaključka da su emisije najveće kod dizel motora koji rade na *HFO* (i do 100%). Dok kod dizel motora koji rade sa dvostukim gorivom, a sagorjevanje se vrši uz pomoć pogonskog gasa kao goriva, sve čestice u emisiji, *NOx* i *SOx*, su manje od 20%, dok procenat ugljen - dioksida zauzima i do 70% u emisiji [5]. U zavisnosti od kvaliteta samog gasa dešava se da postoji slaba kalorična moć. Kod brodova koji imaju dva motora i kada rade na maksimumu (prvi motor radi na gas, drugi na gorivo), dešava se smanjenje od 1000 obrtaja na turbini – kod motora koji sagorijeva gas. Ovo gorivo, osim spomenute mane, ima slabiju mogućnost pri istim okretajima i uslovima, fluktuacija pritiska rashladne vode (uzrok je zapravo to što se „gassing“/vaporiziranje dešava na najvišem dijelu

košuljice), a još uvijek nisu ugrađeni kvalitetni materijali, niti je najsrećniji izbor cijevi rashladne vode za košuljicu. Uprkos čestim izmjenama rashladne vode za košuljicu motora, ista zna biti crna usljed curenja gasa; nestabilniji i osjetljiviji rad u poređenju sa tečnim gorivom, previše elektronike i problema sa njom. Pored ovih mana, gas kao gorivo ima i svoje dobre osobine, a ekonomičnost (manja cijena u odnosu na tečno gorivo) je samo jedna od tih. Brodovi koji prevoze gas, zbog tkz. *BOG - Boil Off Gas*, odnosno isparavanja gasa koji se ne može ukapljiti, isti se svakako generišu u tankovima, pa se besplatno sagorijeva. Prilikom rada motora, razvijaju se manje temperature po cilindrima. Ekološki aspekt i to što su ovi motori u skladu sa najstrožom regulacijom (Tier 3) su najbolja preporuka za korišćenje ovog goriva kad je moguće. Postoji i znatna ušteda na cijelom sistemu, jer ne rade separatori, nema čišćenja filtera, mijenjanja rasprskivača, a takođe je znatno čistiji prijemnik vazduha za ispiranje i prostor ispod kipa motora.

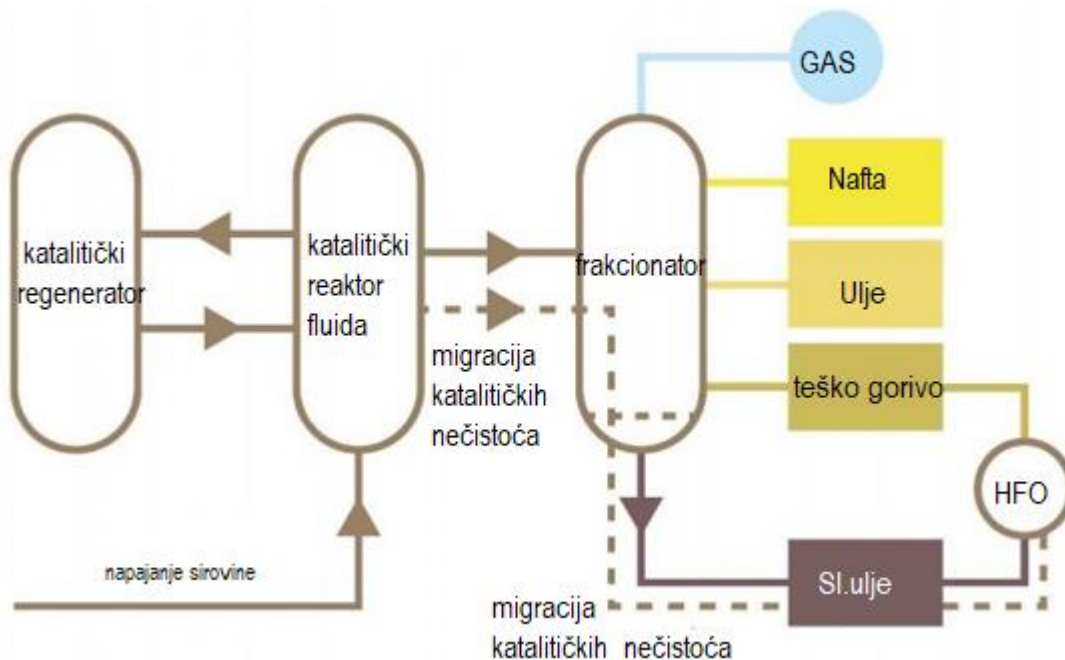
Da bi se napravio neki standard u gorivu, već 1976 se uveo internacionalni standard ISO sa oznakom 8217 koji govori o kvalitetu goriva, kao i limitirajućim količinama - primjesa (nečistoća u gorivu) u odnosu na vrstu goriva. Ovaj standard sa izmjenama iz 2017. utvrđuje zahtjeve za gorivima za upotrebu u brodskim dizel motorima i kotlovima, prije konvencionalne obrade na brodu (taloženje, centrifugiranje, filtriranje). Međutim treba napomenuti da brodovi koji i dalje koriste, sagorijevaju teško gorivo (a imaju prečišćivače izduhvnih gasova) kao i ranije morali su da ispunjavaju ISO Standard te da se i kod goriva sa smanjenim procentom sumpora u sebi nalaze abrazivne nečistoće koje utiču na pravilan, ispravan rad glavnog motora [6].

Na brodovima se najčešće koriste tečno naftno gorivo koje se može podijeliti na tri kategorije i to:

- a. Destilatna goriva
- b. Rezidualna goriva
- c. Kombinacija prethodna dva tipa goriva

Nafta se prerađuje u rafinerijama procesima odvajanja, pretvaranja i obrade. Proces odvajanja nazivaju se primarnim, a procesi pretvaranja i obrade sekundarnim procesima. Primarni procesi ili procesi odvajanja, u kojima se ne mijenja ni veličina, ni struktura ugljovodonikovih molekula, sastoje se od jediničnih operacija i to: atmosferske, vakumske,

ekstraktivne i azeotropske destilacije. Najvažnije su atmosferska i vakumska frakciona destilacija.



Slika 1. Postupak katalitičkog razbijanja i kretanje tih nečistoća do produkata goriva [7]

Sekundarnim procesima osim što se povećava oktanski broj benzina, cetanski broj dizela, povećava toplotna postojanost, gdje hemijskim putem dolazi do promjene veličine i/ili strukture ugljovodonikovih molekula itd., povećava se kvalitet proizvoda 30 do 35%, posebno benzina i dizela. Procesi pretvaranja sastoje se od cijepanja (krekovanja) svih većih molekula u mnogo manje, uz pomoć parnog i katalitičkog krekovanja.

Da bi se dobilo više goriva, frakcije sa višom temperaturom ključanja (veći molekuli) se katalitički krakuju uz pogodan katalizator na temperaturi do 500 °C i povišenom pritisku. Mijenjanje hemijskog sastava rezidualnog goriva se odvija uz pomoć katalitičkog procesa krakovanja. Hemijski katalizatori, umjesto visokog pritiska, koriste se za razbijanje kompleksnih ugljovodonika u jednostavnije molekule. Iako hemijska svojstva katalizatora ostaju konstantna tokom procesa, sami katalizatori su jako skupi i pokušavaju se recikliranjem ponovo koristiti.

Međutim, kontinuirano korišćenje katalizatora uzrokuje njegovo raspadanje na manje čestice, a jedan dio ovih čestica ostaje u dobijenom gorivu. Iako u rafinerijama

pokušavaju da minimiziraju gubitak katalizatora, prenos katalitičkih čestica na gorivo je neizbježno.

Ove katalitičke nečistoće se nazivaju „*cat fines*“, jedinjenja aluminijuma i silicijuma (Al+Si) koje odlikuje velika tvrdoća i po Mohovoj skali (*Frederich Mohs*) nalaze se ispod dijamanta. Iako standard goriva postoji od 1976.god, limitiranje količine ovih abrazivnih nečistoća u gorivu se postavilo tek 1996. godine i to relativno visoko - na 80 ppm (*parts per million*) po standardu. Kako se u narednim godinama dobijalo sve više informacija o štetnom uticaju i tako malih veličina katalitičkih nečistoća, tako se pokazala opravdanom potreba da se postroži standard ISO 8217:2010³, u kojem se smanjila dozvoljena maksimalna količina ovih nečistoća u gorivu, te je ono smanjeno sa 80 ppm na 60 ppm [7].

Iako proizvođači savremenih motora preporučuju prisustvo ovih čestica u motoru ispod 15ppm, lako se uočava prilična razlika između standarda i preporuka proizvođača. Iako rafinerije mogu isporučivati gorivo koje sadrži 15ppm katalitičkih nečistoća, one to ne rade jer ispunjavaju ISO standard 8217:2017(tabela 1), u kome se ova tačka nije mijenjala pa je tako i ostala iz prethodnog standarda. Maksimalna vrijednost od 60 ppm ili (mg/kg) je definisana za tipove goriva koji se najčešće koriste na brodovima (rezidualna brodska goriva - RMG i RMK). Problem je što je cijena tog procesa visoka i niko ne želi gubitke, a velika je i vjerovatnoća, da kad bi se pooštrio ISO standard (revidiran izlazi svakih 5 godina), da bi dostupnost goriva u svijetu bila ograničena i to bi napravilo još veće probleme u svjetskoj trgovini [9]. Ako kompanije mogu da rade sa jeftinijim i lošijim gorivima (zanemarujući problematiku koju prouzrokuju na samom motoru), kompanije će to i uraditi.

Ove abrazivne čestice koje se nađu u broskom gorivu ne moraju odmah da naprave problem na motoru. Mogu se taložiti u broskim tankovima i akumulirati, pa da se pri lošim vremenskim uslovima, koji će prouzrokovati ljuljanje broda, pojave u sistemu goriva.

Ukoliko separator ne može da eliminiše ovako male nečistoće, one dolaze u glavni motor i kao sitne, ali čvrste uzrokuju oštećenja, uglavnom na klipnim prstenovima, košuljici motora, a dešava se i na rasprskivačima i pumpi goriva.

³ ISO 8217:2010(2017) Internacionalni standard koji se zahtjeva za goriva koji se upotrebljavaju u broskim dizel motorima i kotlovima, prije obrade na brodu (taloženje, centrifugiranje, filtriranje) prije same upotrebe.

Tabela 1. Limiti sastojaka u rezidualnom gorivu koji moraju biti ispoštovani po ISO standard 8217 - 2017 [10]

Limiti	Parametri (jedinice)	RMA	RMB	RMD	RME	RMG				RMK		
		10	30	80	180	180	380	500	700	380	500	700
Max.	Viskozitet na 50°C (mm ² /s)	10.00	30.00	80.00	180.0	180.0	380.0	500.0	700.0	380.0	500.0	700.0
Max.	Gustina na 15°C (kg/m ³)	920.0	960.0	975.0	991.0	991.0				1010.0		
Max.	Mikro karbonski ostaci (% maseni udio)	2.50	10.00	14.00	15.00	18.00				20.00		
Max.	Aluminium + Silikon (mg/kg)	25	40	50	60							
Max.	Natrijum (mg/kg)	50	100	50	100							
Max.	Pepeo (% m/m)	0.040	0.070		0.100				0.150			
Max.	Vanadium (mg/kg)	50	150		350				450			
Max.	CCAI	850	860		870							
Max.	Voda (% zapreminski udio)	0.30	0.50									
Max.	Tačka isparavanja (gornja) u ljetu (°C)	6		30								
Max.	Tačka isparavanja (gornja) zimi(°C)	0		30								
Min.	Tačka paljenja(°C)	60.0										
Max.	Sumpor (% m/m)	Trebalo da bude u skladu sa zahtjevom kupca										
Max.	Totalni talog (% m/m)	0.10										
Max.	Kiselinski broj (mgKOH/g)	2.5										
	Iskorišćeno ulje za podmazivanje (ULO): Kalcijum i Cink (Fosfor) (mg/kg)	Gorivo treba da bude bez dodatka iskorišćenog ulja za podmazivanje, a treba da se smatra da se sastoji od ovog ulja kada se neke od navedenih stavki nađu: Kalcijum > 30 i cink > 15; ili Kalcijum > 30 i fosfor > 15.										
Max.	Hidrogen sulfat (mg/kg)	2.00										

2.1. NEČISTOĆE U GORIVU I TROŠKOVI POPRAVKI PROUZROKOVANIH NJIMA

2.1.1. Nastanak katalitičkih nečistoća i njihova količina u gorivu

Prethodno spomenute katalitičke nečistoće potiču od čvrstih keramičkih jedinjenja aluminijuma i silicijuma, koja su potrebna kao spomenuti katalizatori u procesu rafinisanja nafte. Naravno, ovo nisu jedine nečistoće (tabela 2) koje se nalaze u bunkerisanom gorivu (gorivu koje dobijaju brodovi), ali za ovaj rad je od vitalnog značaja nastajanje, praćenje, kontrolisanje, separiranje i filtriranje ovih nečistoća, te upotreba savremenih uređaja koji mogu da utiču na preventivno održavanje samih motora.

Tabela 2. Štetni uticaj pojedinih sastojaka u gorivu [11]

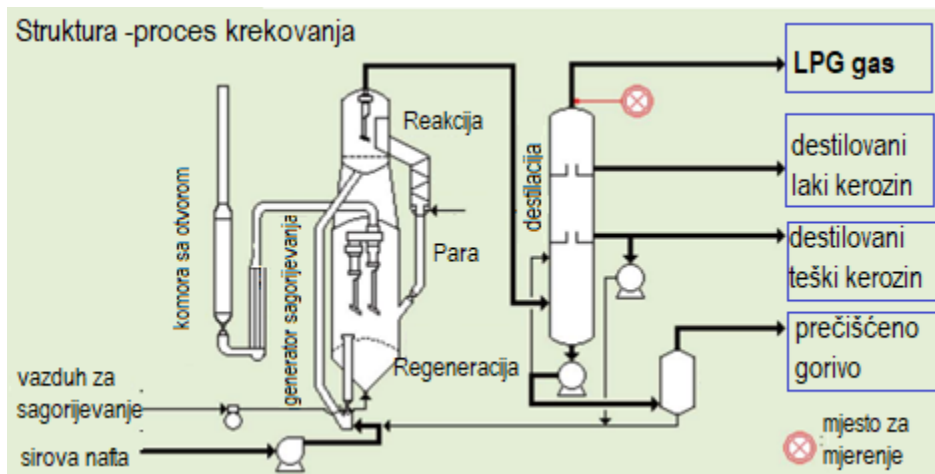
<i>Sastojak</i>	<i>Posljedica</i>
krute nečistoće Al+Si	uzrokuje trošenje: rasprskivača i pumpi za ubrizgavanje goriva (prije samog sagorijevanja); košuljice cilindra i klipnih prstenova (taloženjem)
voda	stvara kiseline sa sumporovim oksidima koje uzrokuju koroziju (nisko temperaturna korozija);
koksni ostatak	taloži se raspadanjem goriva, uzrokuje začepljivanje rasprskivača i ventila
S - sumpor	sam S je štetan i prije sagorijevanja - cijevi goriva ne smiju biti od Cu (bakra); sagorijeva u SO ² i SO ³ koji uzrokuju nisko temperaturnu koroziju (pogotovo pri upućivanju motora); SO ₃ pri temperaturama većim od 200 °C stvara naslage na košuljici cilindra, a stvara i korozivne kiseline s čađom → glavni uzrok istrošenja košuljica. Upotrebom goriva sa niskim procentom sumpora smanjena je i mogućnost stvaranja ove korozije.
V - vanadijum (u pepelu)	stvara spojeve koji se pri temperaturi većoj od 690 °C izlučuju u rastopljenom stanju i razaraju zaštitni sloj metala (visokotemperaturna korozija); pri nižim temperaturama djeluje kao katalizator pa S izgara u SO ³
Na - natrijum (otopljen u morskoj vodi)	stvara spojeve s V koji su jednako štetni kao već spomenuti, a čija je temperatura izlučivanja niža od 630 °C, u nekim slučajevima i niža od 420 °C

Proces tretiranja sirove nafte se obavlja metodom dodavanja katalizatora gdje se razlažu veliki molekuli na veći broj manjih molekula tj. molekula sa manjim brojem atoma ugljenika. Pri reakciji krekovanja dobijaju se ugljovodonici koji mogu biti zasićeni i nezasićeni.

To je učestali postupak koji je potreban kako bi se stvorila goriva kao što su dizel, benzin i kerozin iz sirove nafte. Osim najčešćim putem (gorivom) kojim ove nečistoće dolaze u prostor sagorijevanja, one mogu dospjeti u cilindru motora i putem vazduha potrebnog za sagorijevanje. Za ovaj slučaj je od vitalne važnosti ispravnost filtera vazduha kako bi se spriječio ulazak nečistoća u samom motoru.

U oba slučaja dolazi do habanja djelova tj. površinskog trošenja, a osim toga se javljaju naprsline na košuljici cilindra i klipnim prstenovima, što će uzrokovati neravnomjernosti u radu motora.

Problem katalitičkih nečistoća, kao što je ranije spomenuto, nije novijeg datuma, naprotiv - datira još od osamdesetih godina prošlog vijeka. Ako se sagleda istorija brodskih propulzora može se zaključiti da se sve do 1950. godine rezidualno gorivo sagorijevalo u kotlovima koji su proizvodili paru za pogon turbina, koje su tada bile najčešći pogoni na brodovima, te se tada nisu ni mogli javiti ovi problemi. Razvojem i implementiranjem sporohodnih dizel motora koji postaju sve popularniji u periodu od 1960 - 1970 god. te poboljšanja sposobnosti sagorijevanja rezidualnog dizel goriva, a praćeno ratnim stanjem na Bliskom istoku, i cijena sirove nafte raste i do tri puta. Tom novonastalom situacijom bila je pogođena rafinerijska industrija koja je trebala da stvori što više produkata kako bi opslužila brodarsku industriju. Sve ovo opisano dovodi do toga da se već početkom osamdesetih godina pojavljuju izvještaji u kojima se navode problemi nastali uticajem istih tih katalizatora.



Slika 2. Šematski prikaz tečnog katalitičkog krakovanja u rafineriji [12]

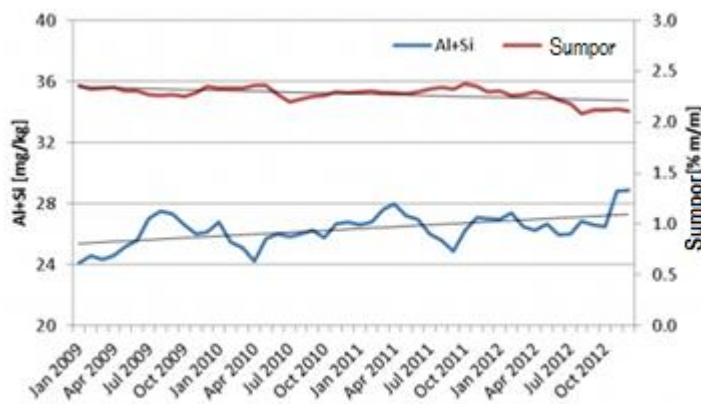
Dodatnu problematiku koju treba spomenuti, a kada su gorivo i kvalitet u pitanju, su dobijeni podaci. Naime, svaki proizvođač goriva radi svoju analizu i na osnovu tih podataka ispunjava ili pak ne ispunjava kriterijume propisane standardom. Međutim stvarna količina nečistoća koja se dobije na brodu se razlikuje od one u analizi kompanije. Ta razlika se može najbolje uočiti po analizi [13] prikazanoj u tabeli 3.

Tabela 3. Procentualni prikaz različitih veličina nečistoća koje se nalazi u istom gorivu

Veličina nečistoća u mikronima	Uzorak sa broda (%)	BP uzorak (%)
0-10	31	57
10-15	32	27
15-35	35	15
35-100	0.7	1

Iz date tabele je uočljiva razlika između analiziranog uzorka goriva a posebno kod čestica veličina od 0 - 10 i pogotovo od 15 - 35 μm koje na ulasku u motor mogu biti veoma opasne. Takođe i analiza urađena od strane Lloyd's Register Group Limited iz 2016. godine pokazuju da su samo 39% svih uzorkovanja ispod 80 mg/kg. Zatim, 34% svih uzoraka je imalo više od 80 mg/kg, a manje od 100 mg/kg, dok je čak 26% svih uzoraka imalo i preko 100 mg/kg katalitičkih nečistoća u sebi. Ukupno čak 60% svih uzoraka su imali veći procenat od dozvoljenog po standardu kada je važno da maksimalna količina katalitičkih nečistoća u

gorivu može da iznosi 80 mg/kg [14]. Uočavajući ovaj problem i kompanija Exxon Mobil je analizirala 400.000 uzoraka goriva i došla do podataka da čak 43% brodova imaju problematično gorivo sa velikim sadržajem katalitičkih nečistoća. Ukoliko se i mali procenat iz ove analize obistini, problemi i troškovi kod brodara će biti višestruki. Takođe i vodeća firma za proizvodnju pogonskih motora MAN je radila svoju analizu gdje je od 226 slučajeva oštećenja košuljice motora u 190 slučajeva oštećenja bila uključena katalitička nečistoća (odnosno, pri 84% slučajeva). Očekivanja po *OPEC World Oil Outlook 2040* su da će još u periodu 2017–2022 godine za krakovanje biti dodato još 138 miliona tona godišnje . Koliko sve ovo zabrinjava možda najbolje odslikavaju riječi Pola Hila iz navedenog članka Alfa Laval'a "Ne može se imati gorivo sa niskim sumporom i niskim procentom katalitičkih nečistoća" [15]. Na slici 3 se može uočiti kako se količina sumpora u gorivu smanjivala tako je rasla količina katalitičkih nečistoća u gorivu.



Slika 3. Prikaz uticaja smanjenja sumpora u gorivu na povećanje katalitičkih nečistoća [16]

Tome ide u prilog i *FOBAS*'ov izvještaj po kome su oni testirali uzorke goriva za pogon brodova u jednoj od najposjećenih svjetskih luka Singapur i rezultati pokazuju zabrinjavajućih 95% goriva koji su van limita. Rezultati su pokazali da će nečistoća u opsegu od 74 do 97 mg/kg praviti problem, a koje se neće moći eliminisati čak ni sa preporučenih 85% efikasnosti separatora, a sve u cilju smanjenja sadržaja nečistoća na prihvatljiv nivo koji proizvođači motora preporučuju [17].

2.1.2. Troškovi popravki i intervencija na brodu uslijed lošeg uticaja katalitičkih nečistoća u gorivu

Potrebno je sveobuhvatno predstaviti probleme i troškove koje katalitičke nečistoće mogu da naprave brodskom motoru. Ukupni troškovi koji su nastali zbog katalitičkih nečistoća na motorima Sulzer 8RTA i MAN B&W 6S50MC su prikazani u tabeli 4.

Tabela 4. Troškovi na brodskim motorima uslijed oštećenja zbog katalitičkih nečistoća [1]

Tip broda	Tonaža	Tip motora	Prečnik	Takt	Trošak
Tanker	302,986 DWT	Sulzer 8RTA84T	840 mm	3150 mm	900 000\$
Balk	54,000 DWT	MAN B&W 6S50MC -C	500 mm	2000 mm	1 500 000\$

Procjena štete nastale na motoru po [18,19] u iznosima od 420 000\$ i preko pola miliona dolara se odnose na popravke samog motora u vidu rezervnih djelova, poslova servisnog inženjera, poslova koje obavi stručno tehničko lice i svi ostali prateći poslovi u koje ne spadaju gubici zbog najma. Osim brodaru štetu trpe i osiguravajuće kuće. *Det Norske Veritas* je opisao slučaj kada je 2400 tona teškog gorivo uzeto (bunkerisano) sa Srednjeg istoka imalo katalitičke nečistoće veće od dozvoljene u datom periodu. Tada je maksimalna dozvoljena količina nečistoća iznosila 80 ppm, a analiza istog goriva je pokazala 91 ppm. Brod je bio na putovanju ka Francuskoj i pretrpio je velike štete na cilindru kao i na klipnim prstenovima i klipnjači. Cijena popravke motora je iznosila 500 000\$, a pretpostavlja se da je trošak što brod u tom periodu nije vozio iznosio još toliko [20].

Detaljna analiza troškova nastala zbog problema (otkaza motora) usljed oštećenja zbog visoke količine katalitičkih nečistoća u isporučenom gorivu je prikazana u tabeli 5, dok u ovaj proračun nisu ušli troškovi gubitaka zbog otkaza čartera, vozarine i operativnih troškova nastalih u periodu kad brod nije vozio.

Tabela 5. Detaljna cijena troškova nastala prilikom oštećenja glavnog motora zbog visoke količine katalitičkih nečistoća u gorivu [18]

Redni broj	Broj porudžbine	Opis troškova	Valuta	Iznos	USD
1	2032909	OEM posjeta zbog polomljenog klipnog prstena	EURO	7440.65	9586.98
2	2033809	OEM tehnički REPLICA test uz asistenciju jednog servis inženjera za kotao	EURO	2500	3221.15
3	2033187	Na brodu trošak	EURO	4083.46	5261.37
4	2033473	Rezervni filter elementi za glavni motor	JPY	385880	3762.33
5	2034011	Brodsko rezidualno gorivo	USD	600	600
6	2034012	Ukrcaj narudžbi na brodu za glavni motor	EURO	1257.15	1619.79
7	2033182	Kalibracija komparatora za mjerenje košuljice cilindra	EURO	33.3	42.91
8	2034095	"DA" Luka Amsterdam	EURO	35328.3	45519.1
9	2034124	Narudžbe	EURO	807.5	1040.43
10	2032633	Rezervni djelovi za glavni motor	EURO	9076.18	11694.3
11	2033077	Rezervni djelovi za glavni motor	EURO	65609.1	84534.7
12	2033082	Rezervni djelovi za glavni motor	EURO	63990	82448.6
13	2034258	Dodatni servis od strane OEM	EURO	9553.97	12309.9
14	2036929	Ukrcaj narudžbi na brodu od agenta u Antwerpen luci	EURO	473.12	609.6
15	2036233	Luka Amsterdam 01-04 Dec.12 (pilotaža, pomjeraje, troškovi)	EURO	1760	2267.69
16	2034864	Rezervni djelovi za glavni motor	EURO	25500	32855.7
17	2033476	Ukrcaj, isporuka košuljica od Klajpedije do Amsterdama (i klipova)	EURO	5205.25	6706.76
18	2035519	Čelo klipa	EURO	1061.25	1367.38
19	2035518	Pregled bunkerisanog goriva u luci Eemshaven	EURO	500	644.23
20	2034922	Popravlak glavnog motora, tehničara i menadžera i ostali troškovi	EURO	54465.4	70176.5
21	2038118	Troškovi sa trećim licima	EURO	11400	14688.4
22	2033452	Putni troškovi tehničara	EURO	2493.04	3212.18
23	2034748	Putni troškovi menadžera	EURO	324.11	417.6
24		Izjava za ulje	USD	33029.8	33029.8
25		Izjava o potrošnji goriva	USD	1018.3	1018.3
26		Izjava o potrošnji gasnog goriva	USD	50798.4	50798.4
27	2035521	Analiza uzoraka goriva	USD	1575	1575
28	2033087	Rezervni djelovi za glavni motor	JPY	7325658	71425.2
29	2033125	Rezervni djelovi za glavni motor	EURO	5067.9	6529.79
UKUPNO:					558964

Određivanje dnevne zakupnine tankerskog broda u čarteru je delikatno iz više razloga. Na zakupninu broda utiču starost, veličina, potreba za naftom i njenim derivatima, tržište itd. Da bi se dobila realna i optimalna zakupnina broda koji se iznajmljuje, a koja

varira i po mjesecu, korišćena je analiza *Allied Shipping Research* za period April 2018. u kojoj su cijene zakupnine tankera na dnevnom nivou oko 20 000 \$ za VLCC tanker, dok je zakupnina nešto niža za Suezmax i kreće se oko 15 500 \$, kada se brod iznajmljuje na period od jedne godine. Međutim, da bi se dobila realnija slika uzet je period od prošlih 5 godina i upoređeni su isti tipovi tankera (tabela 6). Ovdje treba napomenuti da je izbijanjem pandemije virusa Covid - 19 i globalne svjetske krize, vozarina tankera rasla nevjerovatnom brzinom (te ovaj slučaj nije uzimat u razmatranje).

Tabela 6. Vozarina iznajmljenog tankerskog broda za čarter u proteklih 5 godina [21]

<i>Tip broda</i>	<i>Period iznajmljivanja</i>	<i>Minimalna cijena</i>	<i>Srednja cijena</i>	<i>Maksimalna cijena</i>
VLCC	5 god.	18,000 \$	31,667 \$	57,750 \$
Suezmax	5 god.	15,250 \$	23,803 \$	42,500 \$

Uporedo sa detaljnim podacima o troškovima ovdje se mogu postaviti i podaci o troškovima dobijeni ljubaznošću *Viswa lab* - tabela 7 (<http://viswalab.net/>).

Tabela 7. Mogući slučajevi otkaza (zbog problema sa gorivom) koji su izbjegnuti sa cijenom troškova

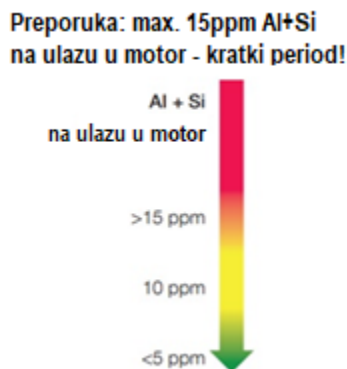
#	Izbjegnuta moguća šteta	slučajevi	Min.troškovi za brodskog operatera	Ukupni minimalni trošak	Prosječni trošak po Swedish P&I	Ukupni trošak po P&I
1	Lom klipnog prstena	17	\$15,000	\$255,000	\$438,488	\$7,454,296
2	Oštećenje košuljice	14	\$25,000	\$350,000	\$553,988	\$7,755,832
3	Problemi pumpe goriva	14	\$25,000	\$350,000	\$313,764	\$4,392,696
4	Ugušivanje / zaglavljivanje pumpe goriva	9	\$10,000	\$90,000	\$100,000	\$900,000
	Izbjegnuti ukupni trošak			\$1,045,000		\$20,502,824

U ovoj tabeli su predstavljeni slučajevi u kojima je moglo doći do problema zbog lošeg goriva, minimalne cijene troškova po brodare, ukupni minimalni troškovi koji su upoređeni sa cijenama troškova P&I cluba (*Protection and Indemnity insurance*).

Ukoliko se pak na vrijeme uoče nastale promjene, šteta može da bude i nešto manja a sami posao mogu da obave stručni brodski inženjeri. No i u tom slučaju zbog zastoja od samo 5 dana u oba slučaja trošak će biti 100 - 150 000 \$ (srednje vrijednosti) zbog gubitka čartera; zamjenom klipnih prstenova, košuljice na cilindru (pod uslovom da ih imamo na brodu), trošak će iznositi i do nekoliko stotina hiljada dolara. Troškovi mogu biti znatno niži ukoliko se zbog katalitičkih nečistoća oštete samo ventil i pumpa goriva sa svojim pokretnim djelovima [13].

Ono što je potrebno podvući u ovoj problematici da čak i vremenski relativno kratko korišćenje teškog goriva sa malo većim procentom Al+Si može da naprave ogromnu štetu gdje čak ni sama posada nema vremena da odreaguje i da proba da je umanja.

Posmatrajući motore generalno može se zaključiti da su najizloženiji djelovi u velikim sporohodnim glavnim brodskim dizel motorima. Kod njih su ubrizgači velikih dimenzija, čime se dozvoljava prolazak većih nečistoća u cilindar i pored velikog niza brodskih filtera. Osim toga, sami proizvođači motora su naveli da njihovi motori mogu da rade u uslovima kada su te nečistoće u motoru maksimalno 15ppm (crvena boja), a optimalno niže od 10 ppm (žuta boja), i to za kratki period (slika 4).



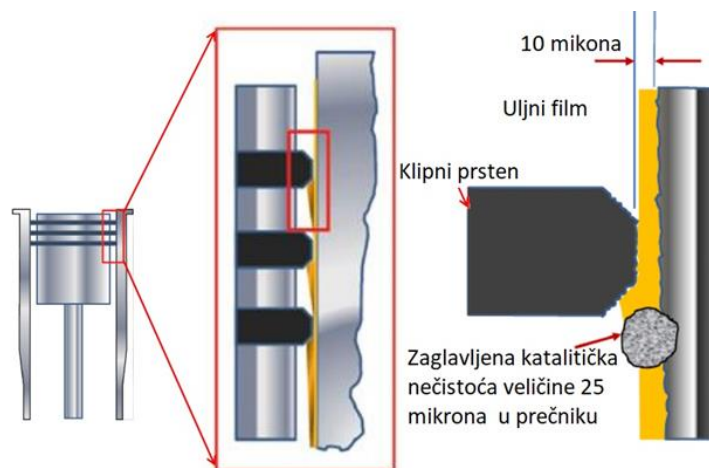
Slika 4. Prikaz maksimalne dozvoljene količine katalitičkih nečistoća na ulazu u motor za kratki vremenski period (ppm) [22]

Pri uslovima kada je debljina nečistoće veća od debljine uljog „filma“, koje se minimalno nanosi na površinu košuljice, zapravo i nastaje jedan od problema, jer se zbog toga nečistoće ne mogu isprati.

Ovaj problem je prezentovan na slici 5 uvećano, kako bi se dobila što jasnija slika nastalog problema. Na slici se može uočiti klip u cilindru sa uvećanim prikazom sloja cilindarskog ulja potrebnim za podmazivanje pokretnih metalnih djelova. Katalitičke nečistoće mogu biti raznih oblika, ali često su okruglog oblika i variraju u veličini, što zavisi od više faktora.

Navedeni su neki od bitnijih faktora:

- količine nečistoće u bunker gorivu (preuzetog od kompanije koja je isporučila gorivo brodu),
- taloga goriva u tanku u kojem se gorivo ukrvalo (količinom nečistoća u talogu),
- učestalost dreniranja vode, pa samim tim i nečistoća,
- ukoliko brod ima gornji i donji usis goriva, te koji se usis koristi,
- filtriranjem sistema goriva na brodu,
- učinkovitosti separatora goriva (efikasnosti), te način na koji su podešeni da rade (redno, paralelno ili je samo jedan separator u funkciji).



Slika 5. Prikaz cilindarskog ulja nanesenog na košuljici [23]

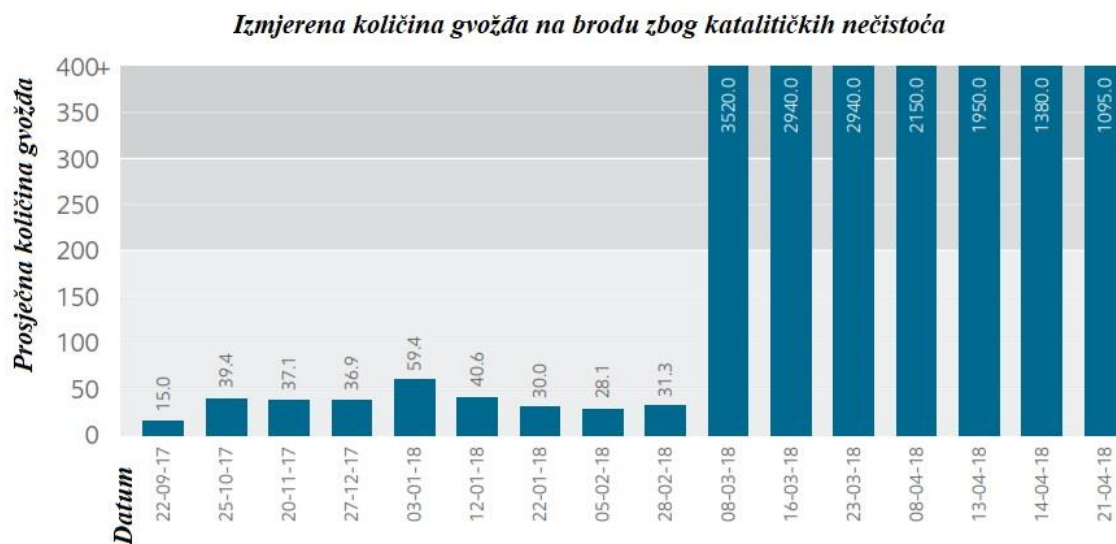
Bitan zadatak klipnog prstena je i da dozirani film ulja kvalitetno razmaže po košuljici cilindra, iz čega proizilazi da je od vitalne funkcije i ispravan rad lubrikatora na motoru. U protivnom će se anulirati ispravan rad prstena. U idealnim uslovima, klip će uz pomoć klipnih prstenova razmazati sloj ulja i vršiti podmazivanje.

Međutim može se desiti da čitav opisani proces zataji pa da katalitička nečistoća (npr. veličine 25 μ m), koja je deblja od filma ulja (10 μ m) ili koja je tek u gornjoj mrtvoj tački (do

5 μ m) [24] dođe u cilindar motora i da uslijed hermetičnosti sistema bude pogurana od strane klipnih prstenova. Svojim kretanjem ostaviće oštećenja na košuljici.

Osim opisanog problema, može se desiti da se same nečistoće zadrže i u žlijebovima klipnih prstenova. Tako zaglavljene nečistoće uz pomoć pravolinijskog kretanja klipa sporohodnog motora, ostaviće oštećenja (ogrebotine) na košuljici zbog kojih se košuljica mora mijenjati.

Pored spomenutih problema koje izazivaju katalitičke nečistoće, treba dodati i da su direktni krivac povećanog istrošenja i pojave gvožđa u otpadnom ulju. To se najbolje može vidjeti sa publikacije Exxon Mobile slike 6. U samoj analizi koja je obavljena uočava se da je čak 35% uzoraka imalo prisustvo katalitičkih nečistoća.



Slika 6. Prikaz povećanja gvožđa u analiziranim uzorcima zbog katalitičkih nečistoća [25]

2.2. ANALIZA KATALITIČKIH NEČISTOĆA U GORIVIMA DOSTUPNIM U SVJETSKIM LUKAMA ZA PERIOD 2017 - 2020. GOD.

Baza podataka je sakupljena uz pomoć ljubaznosti Danija Ozborna, Senior Tehnički Specijalista u *Lloyd's Register*.

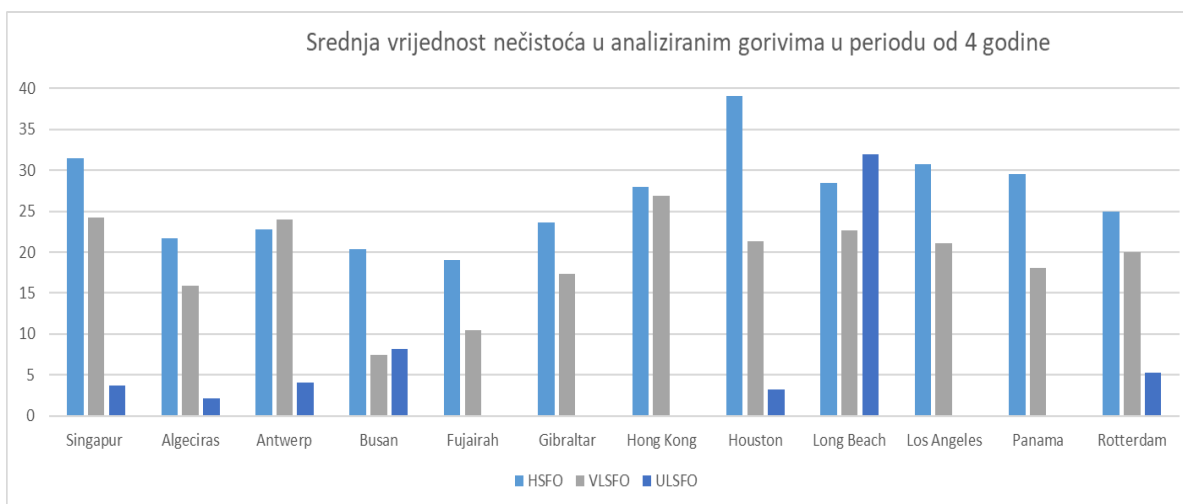
Analizom prikupljenih podataka od preko sto hiljada uzoraka⁴ o nečistoćama u gorivima za period 2017 - 2020 god. fokus je dat na goriva koja se najčešće primjenjuju na brodovima (i to rezidualna brodska goriva – RMG 380 i RMK 500 -700). Da bi se ušlo u srž problema, te da bi se ogroman broj podataka što bolje obradio kako bi se izvukli adekvatni zaključci, analiza je sužena na 12 najvećih brodskih luka koje isporučuju brodsko gorivo. Podatak da je iz ovih luka analizirano preko trideset osam hiljada uzoraka (što predstavlja preko 38% od ukupnog broja podataka) govori o tome da su se sa pravom uzele baš navedene luke. Među ovim lukama je, naravno, kao najveća luka za isporuku bunkerisanog goriva i luka Singapur, iz koje je za period od 4 godine obrađeno skoro osamnaest hiljada uzoraka, što predstavlja gotovo polovinu ispitanih uzoraka. Zbog ovog podatka luka Singapur je posebno analizirana u daljem dijelu teksta.

U ovom dijelu treba napomenuti da se fluktuacija u broju uzoraka na godišnjem nivou u velikoj mjeri dešava zbog strožih propisa koji se odnose na brodsku industriju. Tu se misli prvenstveno na Aneks VI Konvencije MARPOL, čiji je jedan od ciljeva bilo smanjenje globalnih emisija sumpornih oksida (SO_x) od strane pomorske industrije. Stoga je Međunarodna pomorska organizacija (IMO) uvela strože propise kojima se ograničava sadržaj sumpora u brodskim gorivima. S tim u vezi su i nastale podjele oko sadržaja sumpora u gorivima. Goriva koja sadrže količinu sumpora veću od 0.5% u analizi su predstavljena kao HFSO, dok su goriva koja u svom sastavu imaju vrlo niski sadržaj sumpora u gorivu (u opsegu od 0,10 - 0,50%) VLSFO. Iako se čine strogim, ova globalna pravila (koja su na snazi od 1.1.2020 god.), treba imati na umu da u ECA zoni (*Emission Control Areas*), zoni u kojoj se kontroliše emisija izduvnih gasova, još od 2015 važe stroža pravila. Po ovim pravilima iz 2015.god. brodovi mogu da koriste isključivo goriva koja imaju manju količinu sumpora u

⁴ Tačan broj uzoraka je poznat autoru a radu nisu precizirane jer su privilegovane informacije Lloyd's Registra.

svom sastavu i to najviše 0.1%. Tako je nastala i treća kategorija, a to su goriva sa ultra niskom količinom sumpora tj. ULSFO (*Ultra low sulphur fuel oil*).

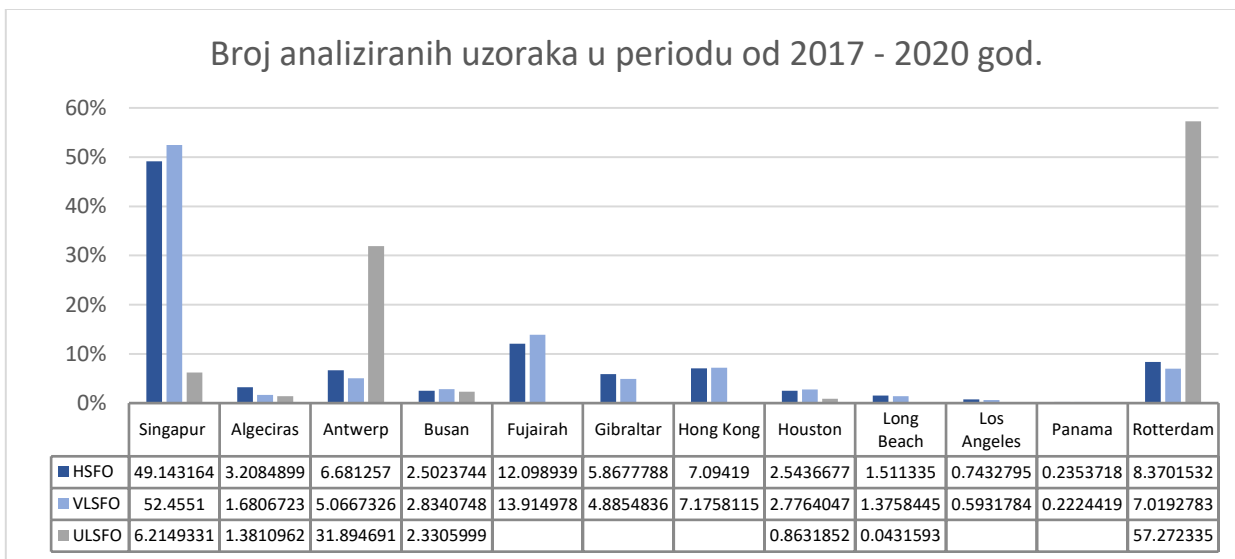
Analizom uzoraka kod dvanaest svjetskih luka, od preko trideset osam hiljada uzoraka pokazalo se da najveću količinu nečistoća imaju HFO i VLSFO, što je bilo i za očekivati. Za ULSFO je analiziran manji broj uzoraka (koji je bio dostupan), ali je evidentno da u svom sastavu imaju prilično nisku količinu katalitičkih nečistoća što se može vidjeti i na slici 7. U svim lukama je najzastupljenije rezidualno gorivo RMG380 sa čak 84%.



Slika 7. Količina katalitičkih nečistoća u gorivima izražena u srednjim vrijednostima (analiza 12 najvećih luka za bunkerisanje goriva)

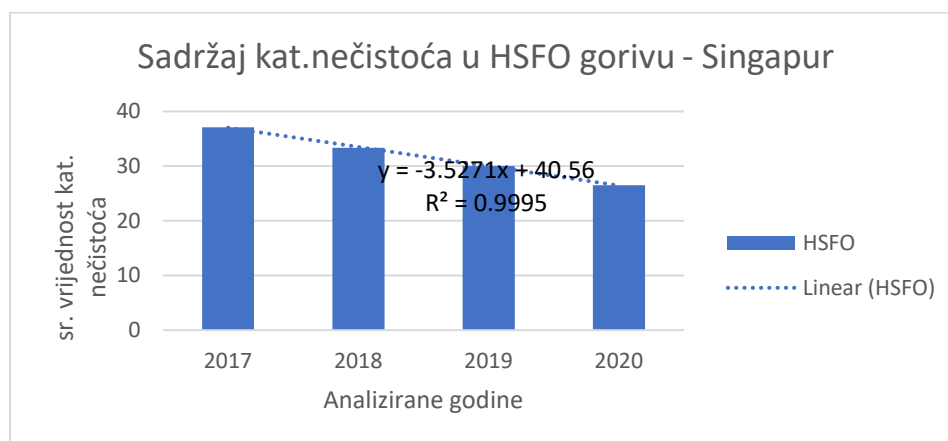
Na gornjoj slici se može primjetiti da i dalje najveću srednju vrijednost nečistoća ima upravo teško gorivo. Međutim, ukoliko se pogleda vrijednost goriva sa manjim procentom sumpora (VLSFO), može se zaključiti da i ovo gorivo u svom sastavu ima veliku količinu katalitičkih nečistoća, a u luci Antwerpen čak i više nego u HFO gorivu. Kako su ovdje analizirane srednje vrijednosti, možemo da kažemo da luke Hjuston, Singapur, Los Anđeles i Panama imaju najviše količina ovih nečistoća u teškim gorivima. Najviše nečistoća u VLSFO je definitivno bilo u luci Hong Kong.

Količina analiziranih uzoraka se najbolje vidi na slici 8, u kojoj prednjači luka Singapur, dok se u evropskim lukama (Rotterdam i Antwerpen) ubjedljivo najviše ukrcalo goriva koji u svom sastavu imaju najmanji procenat sumpora (ULSFO).

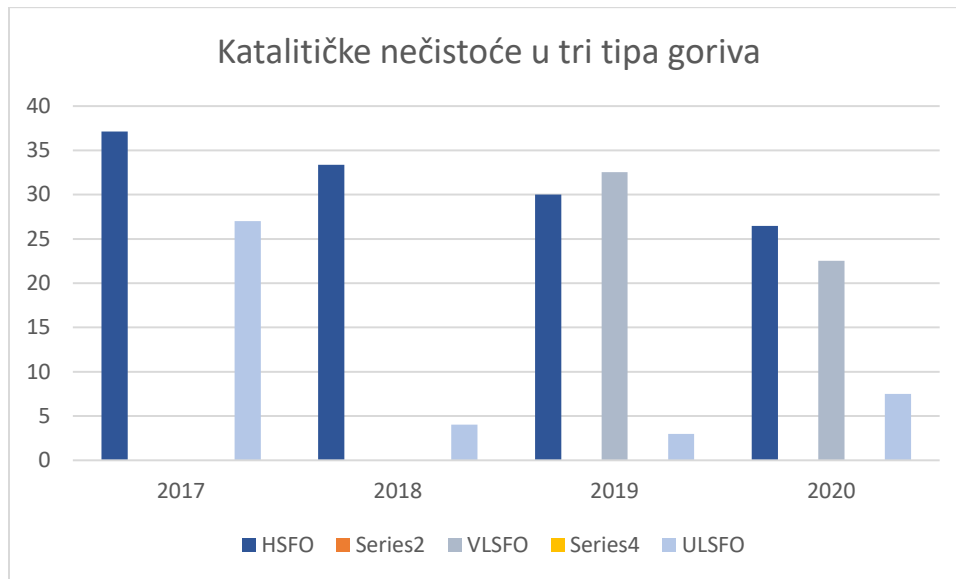


Slika 8. Količina analiziranih uzoraka katalitičkih nečistoća u gorivima (analiza 12 najvećih luka za bunkerisanje goriva)

Zbog svega ranije navedenog, luka Singapur kao luka u kojoj se ukrca najviše goriva, uzeta je za detaljniju analizu. U ovoj luci (ako se posmatra navedeni period od četiri godine) se može primjetiti blagi linearni pad katalitičkih nečistoća (slika 9), kada je u pitanju gorivo koje je najčešće analizirano (HSFO). Sa početnih 35.94 ppm nečistoća srednje vrijednosti u 2017 god. pad je nastao do 26.48 ppm u 2020 god. Takođe postoji trend smanjenja ovih srednjih vrijednosti (slika 10) i kad je u pitanju VLSFO, dok je količina ULSFO na niskom nivou (sem 2017 god.), što ne bi trebalo da ozbiljnije utiče na istrošenja u motorima.

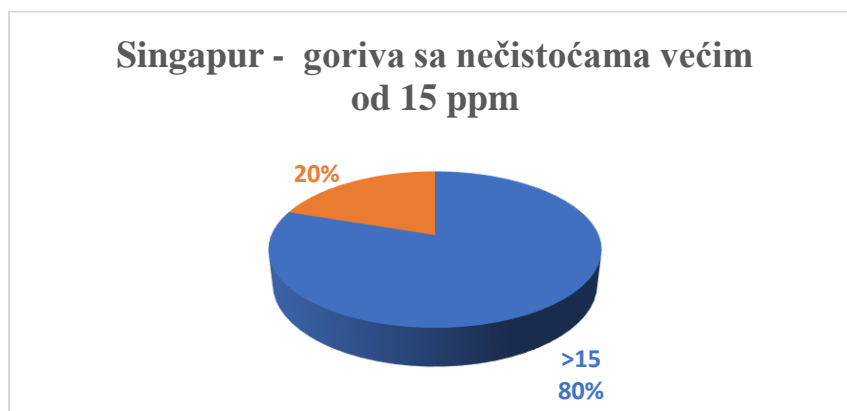


Slika 9. Srednja količina katalitičkih nečistoća u teškom gorivu u periodu 2017-2020 god. luka Singapur



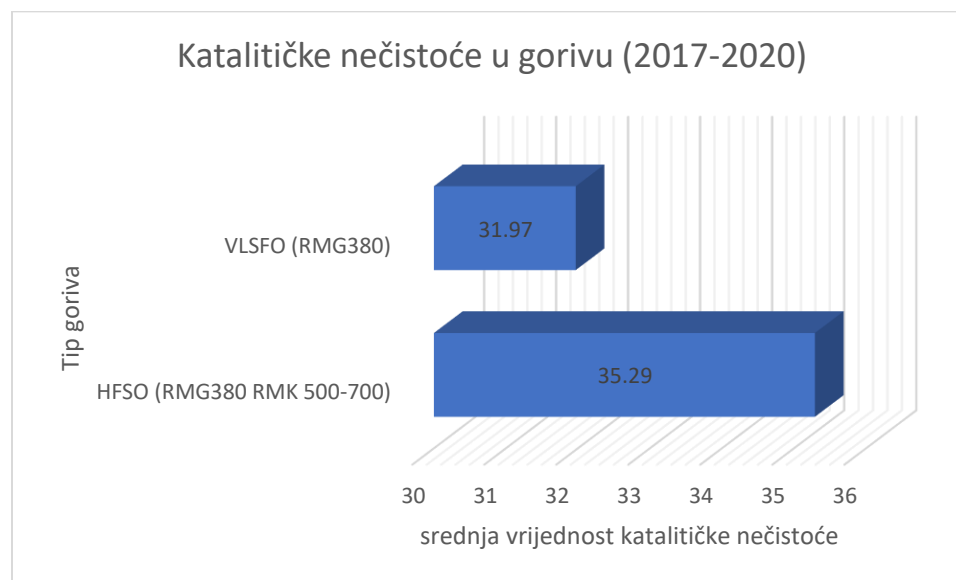
Slika 10. Količine katalitičkih nečistoća izražene u srednjim vrijednostima za luku Singapur (sa brojem analiziranih uzoraka)

Iako ovako predstavljene nečistoće ne izgledaju previše opasne po sami motor, više puta je naznačeno da su prikazane srednje vrijednosti. Ukoliko se pak uzme u obzir da proizvođači motora preporučuju da goriva moraju imati manje od 15 ppm nečistoća da bi motor ispravno radio bez istrošenja, onda treba pogledati sliku 11. U ovoj slici se vidi da čak 80% analiziranih goriva imaju količinu nečistoća koja nije prihvatljiva za proizvođače motora!



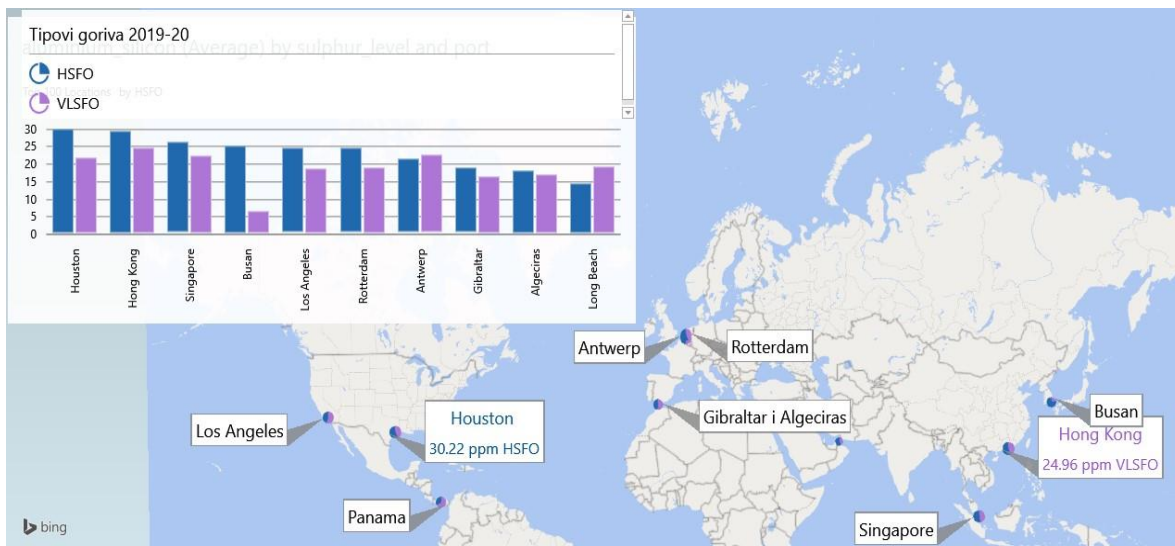
Slika 11. Analizirana goriva koja u sebi imaju veću količinu katalitičkih nečistoća od 15 ppm u luci Singapur

Sa druge strane, ukoliko se analiziraju najčešće korišćena goriva za brodske motore oznake RMG i RMK, došlo se do podataka da za teško gorivo HFSO (RMG380 i RMK 500 - 700) u nešto preko deset hiljada uzoraka ima nečistoća 35.29 ppm (srednje vrijednosti). Dok za VLSFO gorivo (RMG 380) ima 31.97 ppm nečistoća u preko četiri hiljade analiziranih uzoraka što je prilično veliki broj a najbolje se vidi na slici 12.



Slika 12. Srednje vrijednosti katalitičkih nečistoća u gorivima oznake RMG i RMK

Mapiranje podataka je moguće uz pomoć 3D Map (slika 13) koja je pogodna za prezentaciju rezultata. Uz podešavanje raznih filtera može se analizirati godina, tip goriva itd. Dio mogućnosti je prikazan na slici 15 gdje su analizirane samo godine 2019 -20 i to za goriva koja imaju najveći sadržaj nečistoća (HSFO i VLSFO). Luke koje su tih godina imale najviše katalitičkih nečistoća bile su : luka Hjuston za teško gorivo i luka Hong Kong za VLSFO gorivo.



Slika 13. Srednje vrijednosti katalitičkih nečistoća u gorivima HSFO i VLSFO za 2019 -20 god.

3. METODE ZA MJERENJE PRISUSTVA KATALITIČKIH NEČISTOĆA I UKLANJANJE ISTIH

U prethodnom poglavlju bilo riječi o nastanku i problemima koje prouzrokuju katalitičke nečistoće u gorivu, pa i onda kada ispunjavaju predviđeni ISO standard. Sam problem je kompleksan, pa sa tog stanovišta treba posmatrati i eventualna rješenja. Jedan od preduslova za kvalitetno uklanjanje nečistoća je i da se u bunkerisanom gorivu nađe što manje (*ppm*) nečistoća kako bi brodski separatori mogli da prečiste gorivo.

Separatori su obavezni dio brodske opreme i koriste se da smanje količine „*cat fines*“ koje ulaze u motor. Postavke separatora su od ključnog značaja za efikasnost čišćenja goriva. Za njihov ispravan rad su zaduženi brodski inženjeri. Pravovremeno postavljanje gravitacionog diska, podešavanje temperature goriva za separaciju (ispravan rad zagrijača goriva), česti intervali čišćenja filtera neposredno ispred separatora, kao i pridržavanje preporučenih intervala za čišćenje separatora, podešavanje količine protoka goriva te detaljno pranje tanjira separatora (kao i kontrolisanje distancera između tanjira) su samo preduslovi da separacija može biti kvalitetna.

Efikasnost rada separatora je jako bitna stavka u kontrolisanju rada separatora. Jedini pravi način definisanja efikasnosti rada separatora je upoređivanjem i analiziranjem količine „*cat fines*“ prije i nakon prečišćavanja teškog goriva.

U metode za mjerenje i utvrđivanje prisustva katalitičkih nečistoća spadaju; ručno uzimanje uzorka analizirane površine – replika test (uz pomoć navlaćenja silikonske gume koja se kasnije mikroskopski analizira), automatsko mjerenje nečistoća uz pomoć NMR senzora (nuklearne magnetnoj rezonanci) na jednom mjestu (NMR senzor) ili na više mjesta u sistemu (*CatGuard*), hemijski test uz pomoć centrifugalnog mješača i tabele za određivanje veličine nečistoća (*Cat Fines Test Kit*), XRF analiza sa SEA - Mate® XRF analizatorom (metoda za spektrohemijsko određivanje nečistoća prisutnih u uzorku).

Osim navedenih metoda, razvijene su i komercijalne metode CSD (*cat fines size distribuon*) kao alat koji traži specifično veličinu katalitičkih nečistoća u gorivu, kao i FSC provjera (*Fuel system check*) goriva, uz pomoć koje se može identifikovati problemi u radu tokom procesa otklanjanja katalitičkih nečistoća iz goriva.

3.1.METODE IDENTIFIKACIJE PRISUSTVA I UKLANJANJA KATALITIČKIH NEČISTOĆA IZ GORIVA

Napomena: dio ovog poglavlja je razvijen iz autorovog rada „Tretman teškog brodskog goriva sa aspekta štetnog djelovanja katalitičkih nečistoća“ [90]

Za identifikaciju količine nečistoća u bunkerisanom gorivu neophodno je pravilno uzimati referentni uzorak goriva (metoda kap po kap tokom čitavog ukrcanja bunker goriva). Tom prilikom posada sakuplja uzorak goriva i šalje ga na analizu u neku od svjetskih priznatih (sertifikovanih) laboratorija. Preporuka je da se ne koristi novo gorivo dok se ne dobiju izvještaji iz laboratorije, kao i da se spriječi miješanje sa ostacima ranijeg goriva ukoliko je to moguće. Prilikom bunkerisanja tankovi se mogu puniti do 90%, sem posljednjeg, kada ne bi trebalo da pređe 85%. Takođe, ukoliko zbog čartera ili operativnih potreba bude zahtijevano da se ipak izvrši miješanje dva različita tipa goriva preporuka je da se miješanje obavi u odnosu 80:20 i ovaj odnos ne treba da se pređe [26]. U ovom slučaju, treba obratiti pažnju i uraditi test kompatibilnosti na brodu da bi se moglo potvrditi da su oba goriva kompatibilna u slučaju miješanja (ovo se odnosi na miješanja *HSFO* i *LSFO* goriva).

Bitno je napomenuti da miješanje preostalog goriva različitog nivoa viskoziteta npr. (500 cSt, 380 cSt, 180 cSt, itd.) nije dozvoljeno u bilo kom odnosu. Takođe, miješanje više od dva tipa rezidualnog goriva nije dozvoljeno. Miješanje destilatnih goriva (*MDO*, *MGO* & *LSGO*) je dozvoljeno (miješanje bilo kog odnosa). Treba imati na umu da će tokom miješanja goriva doći do promjene količine sumpora u skladištenom gorivu. Prilikom planiranja prelaska na *LSFO* ili *LSGO* sa bilo kog drugog tipa goriva (a zbog strožih propisa) neophodno je odraditi temeljno ručno čišćenje rezervoara goriva. Upotrebom odgovarajućih hemikalija može se uticati na samo gorivo (npr. poboljšanjem sagorijevanja, sprečavanjem pravljenja taloga, eliminisanjem vode ili ulja, sprečavanje stvaranja buđi, poboljšanje separacije itd.).

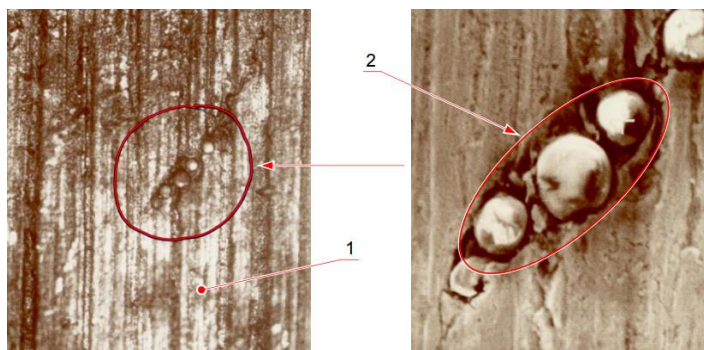
Kolika se važnost daje samim uzorcima goriva govori podatak da se tkz. Marpol uzorak na brodu mora čuvati 12 mjeseci od kada je gorivo isporučeno, a same analize goriva i svi dokumenti koji su vezani za gorivo čak 3 godine od dobijanja bunker goriva.

U praksi se često dešava da sami rezultati budu dostupni tek nakon što je brod daleko već isplovio, i nerijetko upravitelji mašine moraju početi koristiti novo gorivo iako nisu dobili rezultate. Za to vrijeme oštećenje motora već može biti u progresu. Ovaj problem može biti

riješen jedino ukoliko se na brodu nalazi portabilna laboratorija ili uređaji koji mogu da analiziraju samo gorivo, pogotovo kad je u pitanju mjerenje katalitičkih nečistoća u gorivu. Prednosti mjerenja nečistoća na samom brodu ogleda se u tome što je moguće često ili, u nekim slučajevima, konstantno nadgledanje koncentracije katalitičkih nečistoća koje stižu do raspršivača nakon što je bunkerisano gorivo sistemski prečišćeno [27].

3.1.1. Uzimanje otiska sa košuljice cilindra – *replica test*

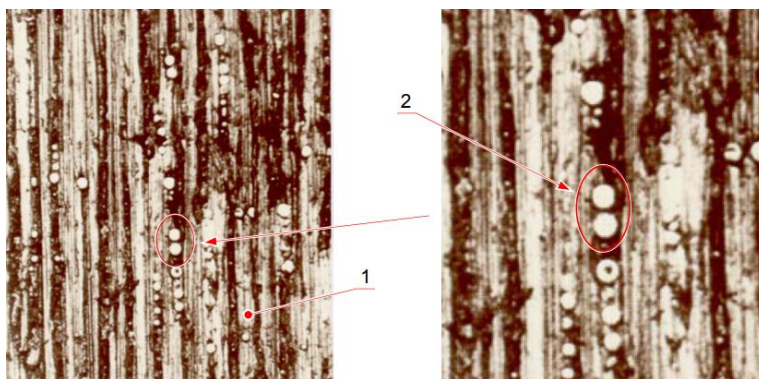
Naglo povećanje pretjeranog habanja klipnih prstenova i košuljice cilindra kod dvotaktnih dizel motora na svim cilindrima, često je prouzrokovano pomenutim nečistoćama u gorivu. Prisustvo katalitičkih nečistoća može se primijetiti po brojnim česticama koje su urezane ili udubljene u radne površine košuljice cilindra, a prilikom mikroskopskog pregleda uzetog otiska (*replica test*) sa klipnih prstenova i košuljica cilindra. Ovo se vidi na slici 14 i na slici 15.



Slika 14. Mikroskopski pregled površine klipnog prstena [28]

1. *Površina klipnog prstena, razmjera 280:1, 2. Katalitičke nečistoće zarobljene u grafitnoj površini, razmjera 1200:1*

Na slici 14 je prikazan klipni prsten koji pokazuje ozbiljnu abraziju radne površine. Katalitičke nečistoće su otprilike prečnika $10\ \mu\text{m}$ i čvrstoće od 800 do 1000 HV (tvrdoća po Vickersu).



Slika 15. Mikroskopski pregled površine košuljice cilindra [28]

(1) *Površina košuljice cilindra kod GMT, izduvna strana, razmjera 84:1, 2. Katalitičke nečistoće*

Velika koncentracija katalitičkih nečistoća na površini košuljice cilindra je vidljiva na slici 15, na istoj slici se vidi i ozbiljno abrazivno habanje zbog katalitičkih nečistoća. Ove nečistoće prvenstveno uzrokuju abraziju prstenova i košuljice, nakon njihovog ulaska u motor. Međutim može se desiti da ove nečistoće oštećuju i ostale djelove na motoru (npr. pumpe goriva itd.). Kada se radna površina starije košuljice mikroskopski ispita, često je moguće pronaći nekoliko katalitičkih nečistoća zarobljenih u površini strukture, a može se primijetiti i nivo habanja košuljice [28].

Katalitičke nečistoće su tvrde abrazivne čestice veličine od 5 do 200 μm . Čestice od 10 do 20 μm su najopasnije, jer se one najlakše hvataju u film ulja i glatke grafitne strukture košuljice. Takođe će povećati stopu abrazivnog habanja klipnih prstenova, nezavisno od vrste podmazivanja.

3.1.2. NMR senzor za detekciju katalitičkih nečistoća u brodskom gorivu

Imajući u vidu ekonomske posljedice habanja i mogućeg otkaza na motoru, od velikog je interesa uspostaviti sisteme za kontinuirano mjerenje na brodu, koji mogu spriječiti krcanje goriva na brodu koje sadrži katalitičke nečistoće. Takva mjerenja mogu se, npr. uzeti pri ukrcavanju goriva, prije i poslije sistema za prečišćavanje na brodu, da bi se obezbjedio bezbjedan rad. Senzor katalitičkih nečistoća se bazira na mobilnoj, nisko budžetnoj nuklearnoj magnetnoj rezonanci NMR (slika 16). On je pogodan za željeno mjerenje na

brodovima. Senzor je podešen za detekciju koncentracije aluminijuma, koji zajedno sa silicijumom (koji mjerimo drugim tehnologijama) čine glavne komponente katalitičkih nečistoća [29].



Slika 16. NMR senzor [29]

3.1.3. *Parker Kittiwake* portabilni test za mjerenje katalitičkih nečistoća

Parker Kittiwake test katalitičkih nečistoća dizajniran je za analiziranje uzoraka HFO -a koji mogu biti kontaminirani opasnim količinama katalitičkih nečistoća prije nego što se gorivo čak i ukrca. Test je jednostavan za izvođenje, ekonomičan i može se završiti za nekoliko minuta. Eksperimentalni rezultati pokazuju da je novi test sposoban da identifikuje one uzorke goriva koji imaju koncentraciju katalitičkih nečistoća > 60 ppm (Al + Si), i koji stoga premašuju granicu preporučenu prema ISO 8217: 2017. U stvari, test je specijalno dizajniran da pruži posadi odobrenje za plovidbu, u zavisnosti od kontaminacije goriva sa katalitičkim nečistoćama [30]. Pored očiglednih prednosti ovog portabilnog uređaja, postoji i manji nedostatak koji se ogleda u nepreciznoj mjeri (slika 17) ovih nečistoća (mala razlika između 20, 35 ili 50 ppm), dok u nekim slučajevima može doći do miješanja hemikalije sa gorivom, što onemogućava taloženje i odvajanje ovih nečistoća pri dnu. Stoga bi zaključak bio da je dobro imati ovaj “terenski” test koji bi približno pokazao ako se posumnja na ove nečistoće, ali je za preciznu informaciju potrebno uzorke goriva poslati na laboratorijsku analizu.

Ova analiza goriva je odrađena na brodu kojeg pogoni motor *MAN B&W 8S70MC -C*.



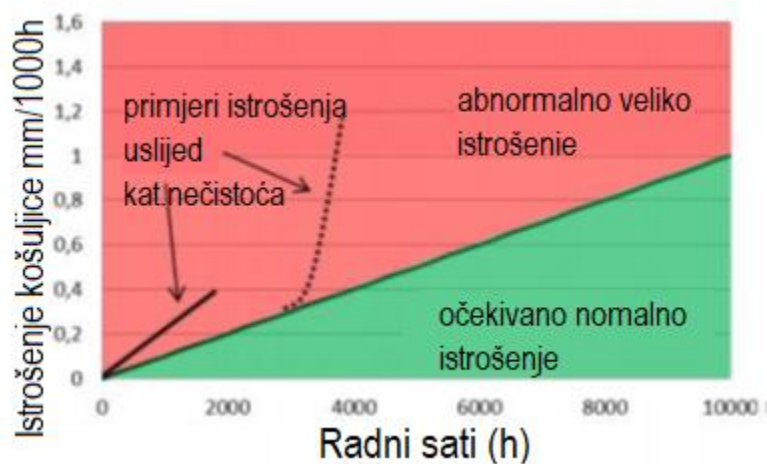
Slika 17. Parker Kittiwake test katalitičkih nečistoća FG - K30566 - KW i prikaz analiziranih rezultata u praksi

3.1.4. SIPWA, Mapex -PR senzori i tehnologija za praćenje habanja klipnih prstenova

SIPWA -TP predstavlja senzor koji mjeri istrošenje klipnih prstenova, dok Mapex -PR predstavlja senzor pouzdanosti rada klipa. Jedan od benefita je mjerenje istrošenja klipnih prstenova. MAPEX ili “Monitoring and maintenance Performance Enhancement with expert knowledge” predstavlja moćan sistem za praćenje tj. nadzor i održavanje performansi motora koji je poboljšán stručnim znanjem [20].

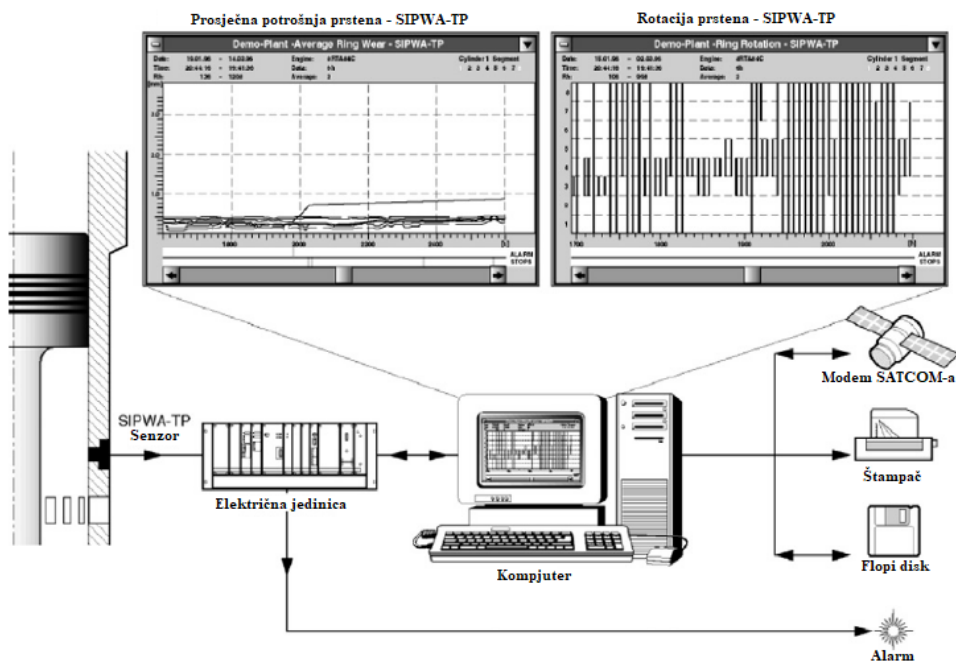
Habanje klipnih prstenova, kao i košuljice, je očekivano ako se održava u predviđenoj linearnoj ravni (slika 18). Svako odstupanje od ovog trošenja predstavlja mogući problem pri radu motora. MAPEX -PR (Pouzdanost klipnog pogona) predstavlja atraktivni, jedinstveni alat za održavanje dostupnosti motora nadgledanjem ispravnog rada klipa. Ukoliko se dese promjene po stanju klipnog sistema, aktiviraju se alarmi kako bi se ispravnost rada motora vratila na vrijeme.

Sipwa-TP je sistem koji se koristio za praćenje trenda trošenja klipnih prstenova. Korišćenje Sipwa uređaja garantuje produženi interval remonta klipa, prati se kvalitet tretmana sistemskog goriva, a prijavljene su i uštede u uljima za podmazivanje cilindara od samih korisnika ovog uređaja.



Slika 18. Šematski prikaz trošenja cilindra [31]

Sipwa-tp senzor i princip rada je prikazan na slici 19. Prednosti ovog sistema se ogledaju u jednostavnoj instalaciji i mogućnosti stalnog monitoringa sistema, mjernog namotaja koji je pomaknut od vruće površine košuljice cilindra, automatskog alarmiranja itd. Senzor se nalazi na svakoj košuljici cilindra, neposredno iznad otvora za ispiranje kako bi se izmjerila širina trouglasto oblikovanog mesinga koji se ubacuje u jedan od klipnih prstenova. Smanjenje širine ovog trouglastog presjeka direktno odgovara trošenju klipnog prstena [31]. Međutim, i pored velikih benefita ovaj sistem uglavnom nije zaživio u praksi.



Slika 19. *SIPWA -TP* (senzor habanja klipnih prstenova) [32]

U praksi se pored ovih sistema mogu koristiti i senzori košuljice cilindra koji bi trebalo da detektuju svako odstupanje od predviđene temperature košuljice. U ovom slučaju je od vitalnog značaja praćenje povećanja temperature košuljica, što može biti indicacija početnog trošenja. Postoji veliki broj proizvođača ovih senzora kao i sistema za monitoring temperature zidova košuljice cilindra (*Konsberg, Burmeister & Wain Scandinavian Contractor A/S, Maridis GmbH* itd.) o kojima će biti naknadno riječ.

3.1.5. *SEA -Mate® XRF* uređaj za mjerenje katalitičkih nečistoća (Al+Si)

Kao dopunu slanja uzoraka goriva za analizu u laboratorije na kopnu, *Wärtsilä* nudi rješenje za analizu goriva na brodu sa *SEA-Mate® XRF* (slika 20) analizatorom tipa M3000. Analizator *SEA - Mate® XRF* može se obezbjediti kao samostalna jedinica ili kao dio “*Blending on Board package*” koje se koristi za miješanje cilindarskog ulja za podmazivanje [33]. XRF analizator mjeri sadržaj Al i Si u ppm, u bilo kojem uzorku goriva. Ovo omogućava:

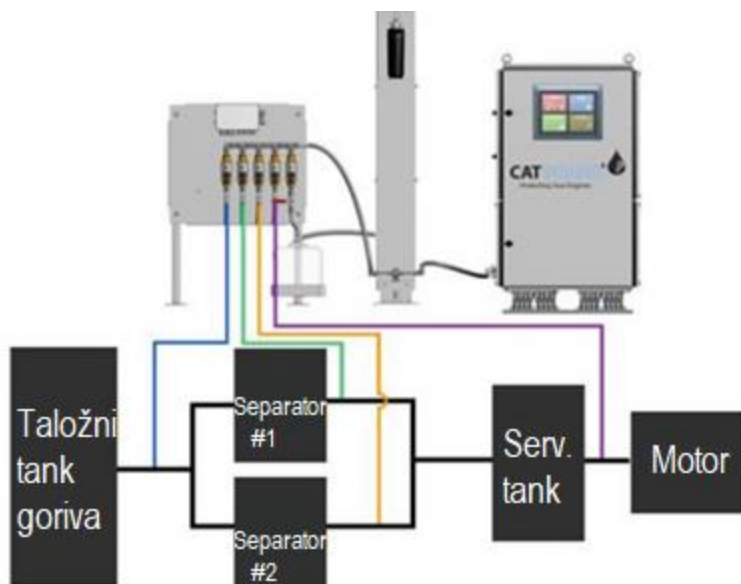
- praćenje kvaliteta ukrcanog proizvoda (Al i Si u gorivu)
- praćenje operacija i performanse postrojenja za tretman goriva



Slika 20. „SEA - Mate® XRF” analizator [33]

3.1.6. Nadgledanje količina katalitičkih čestica sa više bitnih pozicija – *Catguard*

Catguard proizvođača *NanoNord A/S* (slika 21) je sistem rednog nadgledanja katalitičkih čestica za proces prečišćavanja goriva. On funkcioniše kao dodatna zaštita, signalizirajući kada količina katalitičkih čestica u gorivu koje ulazi u motor pređe granicu. *Catguard* može automatski da izmjeri nivo katalitičkih čestica na različitim tačkama. Ako je dostignut nivo na koji je podešen alarm na ulazu u motor, moguće je trenutno prebacivanje na čistije gorivo iz drugog servis tanka. Još važnije, moguće je analizirati uzrok problema povećanih količina katalitičkih čestica u gorivu, i onda treba preduzeti kontra mjere za sprečavanje sličnih događaja od ponavljanja u budućnosti [31]. Najveća prednost ovog sistema je što omogućava analizu sa svih bitnih pozicija u sistemu pripreme i dobave goriva do motora. Na ovaj način se tačno može definisati kritična pozicija sa nečistoćama u brodskom sistemu.



Slika 21. *CatGuard* analizator nečistoća sa više pozicija na brodu [31]

Katalitičke čestice imaju tendenciju da se skupljaju na dnu tankova. Na nemirnim i burnim morima, akumulirane katalitičke čestice se mogu promiješati i podići nivo koncentracije u gorivu na izlazu iz tanka. Da bi se zaobišli ovi problemi, važno je očistiti tank čim uređaj za mjerenje količine pokaže povećane količine katalitičkih čestica na izlazu iz tanka (ulaz u separator), što je u praktičnom dijelu ograničavajuće (zbog samih brodskih uslova te specifičnog funkcionisanja broda).

Osim pomenutih pozitivnih karakteristika, upotrebom ovog uređaja možemo da utvrdimo efikasnost separacije samog separatora. Ukoliko je brzina uklanjanja katalitičkih čestica u separatoru preniska, količina ovih čestica na ulazu u motor će se povećati što će predstavljati i glavni problem ukoliko dođe do istrošenja. Glavni uzroci za slabo uklanjanje ovih čestica su:

- gorivo koje sadrži katalitičke čestice koje su manjih dimenzija (mogu biti male, ali duge i zašiljene),
- gorivo koje ima veći viskozitet nego što je očekivano,
- separatoru je potreban servis (zaprljanost unutar separatora) ili
- kombinacija prethodnih razloga.

Sa instaliranim *Catguardom*, posada može pratiti proces separacije i vršiti pravovremene ispravke potrebne da bi se osiguralo da čisto gorivo prispijeva u motor za sagorijevanje.

3.1.7. Uklanjanje nečistoća, ispravan i efikasan rad brodskih separatora

Kada je u pitanju ispravan rad separatora tu je potrebno postići efikasnost razdvajanja (separacije) od najmanje 80%, tj. 80% po masi uklonjenih nečistoća. Za nove i naknadne instalacije se preporučuju samo - podešavajući separatori bez gravitacionog prstena. U takvim slučajevima se preporučuje da se instalirani separatori upravljaju paralelno suprotno sljedećoj preporuci za separatore sa gravitacionim prstenovima.

Ako se koriste separatori sa gravitacionim prstenovima, dva separatora treba da rade paralelno sa približno 15% od nominalne stope protoka. Za takve separatore najbolja efikasnost bi se postigla sa dva paralelna prečistača gdje se najbolja separacije vrši baš u ovim prečistačima (70 do 80%). Međutim ovo često nije moguće zbog nedostatka rezervnih dijelova ili neispravnosti oba separatora (slika 22).



Slika 22. Separator prilikom održavanja

Katalitičke nečistoće se uklanjaju centrifugiranjem goriva. Separator nije jednako efikasan za sve veličine katalitičkih čestica. Najmanja čestica koja se uklanja u centrifugi dobija se kao funkcija razlike gustina, viskoziteta (zavisna od temperature) i brzine protoka. Kako viskozitet zavisi od temperature, a ona se održava konstantno, onda se može izvesti zaključak da samo brzinom protoka možemo uticati na efikasnost separacije. Najteže se uklanjaju katalitičke čestice prečnika manje od 10 µm. Gorivo koje dolazi do glavnog motora ne smije sadržati više od 15 mg/kg aluminijuma i silicijuma, prema preporukama vodećih proizvođača dvotaktnih motora. Za očekivati je da katalitičke nečistoće koje ostaju u gorivu nakon procesa separacije goriva treba da se sastoje uglavnom od manjih čestica. Iz ovog razloga proizvođači preporučuju da posljednji razmak između filtera kroz kojeg gorivo prolazi prilikom ulaska u glavni motor bude veličine 10 µm, dok bi sve veće nečistoće jednostavno morale biti uklonjene u separatoru. Treba napomenuti da i upotrebom ovako finog filtera nije moguće stoprocentno eliminisanje ovih nečistoća.

Efektivno uklanjanje katalitičkih nečistoća često je niže od izračunate teorijske efikasnosti. Kod teorijskog proračuna pretpostavljaju se čvrste sferne čestice i koristi se procijenjena gustina. Najopasnije katalitičke čestice podsjećaju na polomljene šuplje lopte. Princip rada centrifugalnog separatora baziran je na Stokesovom zakonu:

$$V_g = \frac{gd^2(\rho' - \rho)}{18\eta} \quad (1)$$

- V_g - gravitaciona brzina taloženja (m/s),
- g - gravitaciono ubrzanje (m/s²),
- d - prečnik čestice (m),
- ρ' - gustina čestica (kg/m³),
- ρ - gustina tečne faze (kg/m³),
- η - viskozitet tečne faze (dinamički viskozitet (Pas))

Ovi i drugi operativni parametri stvaraju efikasnost razdvajanja ili separacije [28].

Osim same efikasnosti jako je bitno obratiti pažnju na temperaturu medija koja utiče na viskozitet i gustinu. Da bi osigurali optimalnu separaciju nečistoća u gorivu, potrebno je ispoštovati preporuke proizvođača koji su uglavnom preporučivali da ulazna temperatura na

ranim tipovima separatora treba biti 98°C. Razlog je očit, jer se pri nižim ulaznim temperaturama ozbiljno remeti proces odvajanja. Na primjer, temperatura na ulazu od 90°C zahtijeva smanjenje protoka od najmanje 23% kako bi se postigla ista efikasnost razdvajanja.

3.1.8. Pravilna upotreba brodskih filtera u sistemima goriva i njihovo održavanje

Većina katalitičkih nečistoća se uklanja iz goriva u separatoru, a neke se uklanjaju i u filterima, te pravilnom drenažom. Npr. Wärtsilä standardni filter za gorivo sa veličinom propusta od maksimalnih 50 ili 34 µm, nije namijenjen za zaštitu motora od katalitičkih nečistoća.

Tabela 8. Apsolutna veličina promjera mreže filtera u 2 -taktim Wärtsilä motorima [28]

Apsolutna veličina promjera mreže filtera u 2 -taktim Wärtsilä motorima	
<i>Datum isporuke motora</i>	<i>Veličina promjera - apsolutna</i>
Prije ljeta 2005. godine	50 µm
Posle ljeta 2005. godine	34 µm
Posle proljeća 2012. godine	10 µm

Za nove projekte, počevši od proljeća 2012. god., u sistemu goriva određen je filter apsolutne veličine promjera mreže od 10 µm. Filter od 10 µm trebalo bi da se instalira kao automatski tip filtera u "cold" sistemu za napajanje. Ovaj položaj ugradnje se preporučuje pošto je protok u sistemu za napajanje manji, a rizik za zagušivanje filtera je veoma ograničen zbog manje temperature goriva u poređenju sa sistemom za povišenje pritiska. Ovaj filter se koristi za zaštitu motora od ozbiljnih oštećenja, jer bi trebalo da uhvati katalitičke nečistoće koje nisu bile uklonjene iz goriva separatorom. Pored toga, takav filter daje dobar uvid u to da li je efikasnost separatora dovoljna ili su potrebna poboljšanja.

Ukoliko postoji razlog za sumnju da gorivo sadrži prekomjernu količinu katalitičkih nečistoća, sedimente sa filtera treba izbaciti u kaljužni tank.

Dupleks filter sa apsolutnom veličinom promjera od 60 µm se preporučuje u sistemu za povišenje pritiska u blizinu ulaza u motor. Njegova funkcija je da štiti motor od stranih čestica koje dolaze iz sistema. Nezavisno od preporuke, kao minimum, potreban je jedan

filter koji se nalazi blizu ulaza u motor, a najmanje jedan filter mora pratiti veličine promjera mreže, prema preporuci koja se izdaje u trenutku instalacije [28].

U praksi se pokazalo da je čišćenje filtera od 30 μm težak zadatak uslijed asfaltena koji se taloži na otvorima mreže. Za normalno funkcionisanje i servisiranje (čišćenje) filtera od 10 μm neophodno je imati *ultra sonic* [34], uređaj sa potrebnim hemikalijama. Upotrebom hemikalija zajedno sa pomenutim uređajem filteri se maksimalno očiste što nije moguće uz standardno, konvencionalno ručno čišćenje.

Firma Alfa Laval je proizvela automatski filter goriva čija nominalna finoća filtera za teška goriva iznosi od 10 - 30 μm , dok je apsolutna finoća od 25 - 45 μm .

3.1.9. Touch – Nadgledanje čišćenja goriva

U cilju optimizacije opreme za čišćenje goriva, od ključne je važnosti korišćenje najnovije tehnologije za prečišćavanje goriva, kao i potrebno znanje. Današnje informacione tehnologije pružaju ogromne mogućnosti za optimizaciju performansi u pogledu energetske efikasnosti i kvaliteta goriva. *Alfa Laval 2touch* na primjer, zajedno sa kontrolnim sistemom nadgleda proces separacije [35].



Slika 23. Izgled Alfa Laval 2Touch HMI uređaja [35]

Alfa Laval 2touch HMI sadrži *touchscreen* u boji (slika 23). Koristi se za unošenje podataka o konfiguraciji sistema, za podešavanje i kalibriranje komponenti sistema, registrovanje alarma, pružanje sredstava za upravljanje vrijednostima parametara potrebnih za dijagnostiku sistema i optimizaciju procesa, i razne druge funkcije.

3.1.10. Pravilno uzorkovanje i analiza goriva u brodskom sistemu i CSD (distribucija katalitičkih nečistoća) metoda

Napomena: dio ovog poglavlja je razvijen iz autorovog rada „*Ways of reducing the content of catalytic fines in marine heavy fuel oil*“ [86]

Osnovna svrha sistema za provjeru goriva je da nadgleda i pravovremeno procijeni efektivnost tretmana goriva svih bitnih komponenti. U prethodnom dijelu je objašnjen sistem kontrole rada separatora, međutim to nije dovoljno. Brodska posada uzima uzorke za testiranje i šalju ih nekoj od svjetski sertifikovanih laboratorija gdje se analiziraju. Ti rezultati se procjenjuju, analiziraju i često eksperti laboratorije daju mišljenje o samim podacima kako bi pomogli brodskim inženjerima u što pravilnijem razumijevanju. Da bi analiza bila uspješna, uzorkovanje mora biti pažljivo izvedeno na glavnim lokacijama sistema goriva.

Studije ukazuju na to da nije bitna samo količina katalitičkih nečistoća, već i njihova veličina. Kao jedan od prvih komercijalnih metoda ovakve vrste, CSD (*cat fines size distribuon*) alat traži specifično veličinu katalitičkih nečistoća u gorivu. Ovaj metod je koristan za procjenu da li je tretman goriva na brodu bio uspješan u otklanjanju nečistoća svih veličina.

Sa druge strane, FSC provjerom goriva (*Fuel system check*) programom mogu biti identifikovani problemi u radu i mogući defekti tokom procesa centrifugiranja goriva. Da bi se razumjela specifičnost i složenost sistema separacije na brodu najbolje je posmatrati sliku 24. sa analiziranim podacima, koja se može povezati sa mjestima uzorkovanja kao što je su nakon taloženja u tanku, prije i poslije separatora te neposredno prije ulaska u motor. Analiza goriva je obavljena u laboratoriji *Veritas Petroleum Services BV* pri čemu su bila uključena dva separatora u linijsku vezu. Ovo ispitivanje je pokazalo efikasnost samog separatora kao i problem onečišćenja sistema goriva od tanka do samog motora.

Luka Singapur Jan. 2019.god.

Rezultati testa	Jedinica	Referenca	Transfer pumpa	poslije separatora 1	poslije separatora 2	prije glavnog motora
Gustoća @ 15°C	kg/m ³	988.8	988.5	988.6	988.5	988.5
Viskoznost @ 50°C	mm ² /s	316.8	311.6	320.4	320.1	319.6
Voda	%V/V	0.17	0.15	0.08	0.08	0.08
Sumpor	%m/m	3.01	3.11	3.04	2.98	3.01
Al+Si	mg/kg	59	54	6	6	10

Luka Port Elizabeth Dec. 2018.god.

	Jedinica	Referenca	Transfer pumpa	poslije separatora 1	poslije separatora 2	prije glavnog motora
Gustoća @ 15°C	kg/m ³	987.6	984.2	984.1	984.1	983.9
Viskoznost @ 50°C	mm ² /s	365.2	391.7	393.5	393.9	390.2
Voda	%V/V	0.20	0.20	0.19	0.17	0.17
Sumpor	%m/m	1.79	1.88	1.88	1.90	1.79
Al+Si	mg/kg	52	41	12	11	14

Slika 24. Tabelarni prikaz FSC provjere efikasnosti sistema goriva sa različitim procentom sumpora i količinom katalitičkih nečistoća

Kada se analiziraju oba uzorka sa većim (luka Singapur) i manjim procentom sumpora u gorivu (luka Port Elizabet), može se primjetiti da putem dreniranja taložnog tanka količina katalitičkih nečistoća može da se smanji od 21% - 9%, dok u zavisnosti od rada separatora (njegova efikasnost te otklanjanja ovih nečistoća se kreće od 71% - 89%). U oba slučaja se koristio i drugi separator zbog visoke kontaminacije katalitičkih nečistoća u bunkerisanom gorivu. Na izlazu is drugog separatora gotovo da nije bilo promjene tj. smanjenja ovih nečistoća, međutim u oba slučaja se pokazalo da se količina nečistoća neposredno prije ulaska u glavni motor lagano poveća (3 - 4 mg/kg). To bi moglo da znači da se prečišćeno gorivo nakon separatora kontaminira na putu do glavnog motora (servisni tank, *mixing*- cijevi (*venting box*) ili kućištima filtera cjevovoda.) te je jako bitno da se periodično čiste kako se nečistoće ne bi akumulirale. Kontaminacija unutar cjevovoda sama po sebi nije moguća jer je protok tekućeg goriva pod visokom brzinom, te je ispiranje zidova cijevi veoma zastupljeno. Predlaže se redovno dreniranje *mixing tub* -a kao i propisno čišćenje kućišta filtera itd. Na ovakav način se potvrdilo procentualno očišćenje goriva od taložnog tanka do izlaska iz separatora.

Ovo je jedan od pravih načina analiziranja efikasnosti sistema goriva gdje se nakon par dana mogu dobiti precizne informacije iz laboratorije goriva koje su pomogle u analizi

za ovaj rad. Sa druge strane portabilni uređaj spomenut u 2.1.3 poglavlju ne mogu dati precizna mjerenja kao kod laboratorijskog mjerenja dok sa druge strane postoji mogućnost momentalnog mjerenja na samom brodu.

4. KLIPNI PRSTENOV I U BRODSKIM DIZEL MOTORIMA I NJIHOVE SPECIFIČNOSTI (Federal - Mogul i brend GOETZE)

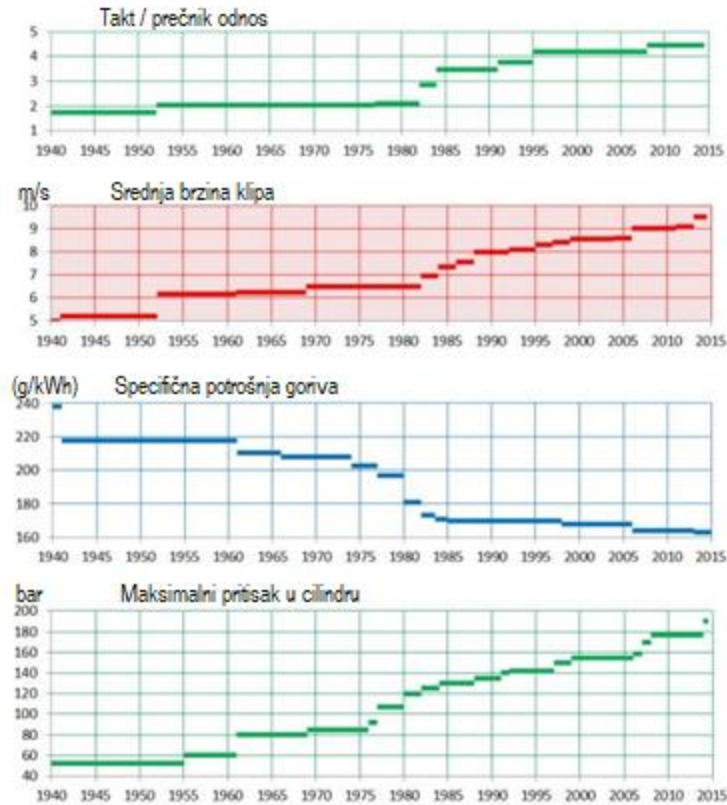
Opšti pravac razvoja motora u velikoj mjeri ogleda se ekonomskim i konkurentnim faktorima koji zahtijevaju smanjenje troškova u odnosu na cijeli vijek trajanja motora. Pred proizvođačima brodskih motora se postavlja dodatni problem koji se ogleda u tome da će motori koristiti lošije gorivo; da su materijali za proizvodnju klipnih prstenova, košuljice itd. prihvatljivi, ali ne skupi; da se potrošnja ulja za podmazivanje smanji što više a da efikasnost i pouzdanost motora poveća ili da bude na visokom stepenu.

Povećanjem ekološke svijesti u svijetu doprinijelo je postavljanju zakonske regulative kod emisije izduvnih gasova. Sa druge strane, sve veća dostupnost prirodnog gasa kao goriva je stvorilo nova tržišta i povećalo zahtjeve brodske industrije na razvoj kvalitetnih klipnih prstenova. Zbog svega navedenog izdvajaju se specifičnosti prilikom proizvodnje brodskih motora a time i klipnih prstenova na:

- Vijek trajanja
- Specifičnost u radu
- Potrošnja goriva
- Potrošnja ulja
- Emisija izduvnih gasova

Decenijama unazad bitni proizvođači klipnih prstenova su *Federal - Mogul* kao i brend *GOETZE*. Njihovi prstenovi i specijalni premazi *Federal - Mogula* su obilježili napredak u efikasnosti motora sa velikim prečnikom klipa. Razvoj ove firme se nastavlja i ogleda se sticanjem *DAROS* kompanije specijalizovane za proizvodnju klipnih prstenova u maloj i srednjoj proizvodnoj seriji (*DAROS* industrijskih prstenova).

Kako bi se postigle što bolje performanse motora, maksimalni pritisci u cilindru se povećavaju, kao i brzina broda, dok je tendencija da se smanji potrošnja goriva (slika 25).



Slika 25. Dijagram: Razvoj maksimalnih pritisaka[36]

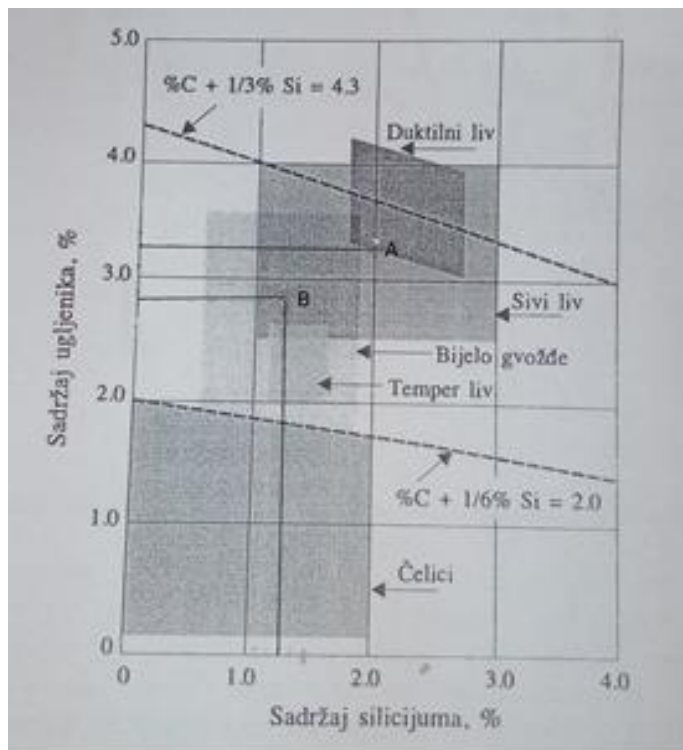
Povećanja maksimalnih pritisaka sagorijevanja (kao direktna posljedica) u cilindru su izraženi u vidu toplotnih i mehaničkih opterećenja koja rastu i za klipne prstenove. Sve ovo je praćeno porastom cijene goriva, a sami kvalitet se kontinuirano pogoršava. Ovo je posebno vidljivo sa pomenutim abrazivnim česticama koje povećavaju habanje na kliznom kontaktu površinskog klipnog prstena, klipnog žlijeba i površine košuljice cilindra.

Funkcija klipnih prstenova osim ravnomjernog raspoređivanja ulja za podmazivanje je i da zaptivaju komoru za sagorijevanje kako bi se spriječili prolazi sagorjelih gasova. Takođe, oni služe i da spriječe prolaz ulja za podmazivanje u komoru za sagorijevanje. Treba navesti, da iako klipni prstenovi zbog trenja rasipaju toplotu od klipa do cilindra, oni su neizbježan dio samog motora. Zbog svega navedenog proizilazi da kvalitetni klipni prstenovi moraju da ispune visoke zahtjeve koji se ogledaju u vidu visoke otpornosti na habanje (abraziju), koroziju i nizak pad elastičnosti na visokim temperaturama.

Da bi zadovoljili visoke zahtjeve za klipne prstenove, osnovni materijal koji se koristi u klipnim prstenovima je uglavnom sivi liv. Svakako da će izbor osnovnog materijala prstena

zavisiti od kvaliteta goriva (koje se stalno mijenja tj. pogoršava) i same primjene tj. uslova rada.

Materijal koji koristi firma Federal - Mogul je uglavnom liveno željezo tj. u zavisnosti od odnosa procenta silicijuma i ugljenika u baznom materijalu. Analizirani klipni prstenovi po procentualnom sastavu spadaju pod tkz. sivi liv što se može vidjeti na slici 26 u tačkama A i B.



Slika 26. Maurerov dijagram sivog liva u zavisnosti procentualnog sastava ugljenika i silicijuma [37]

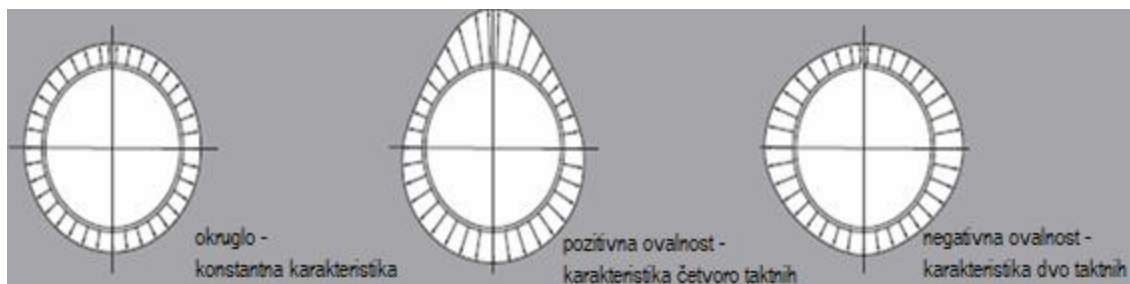
Sivi liv je našao široku upotrebu prvenstveno zbog povoljnog odnosa svojstava i cijene. Posjeduje nekoliko karakterističnih osobina koje potiču od prisustva i oblika grafitnih lamela u strukturi. On se lako lije, pa čak i u komplikovane oblike, a dobro se mašinski obrađuje. Sivi liv ima izvanredne osobine za primjenu u uslovima gdje se zahtjeva prigušivanje vibracija ili ublažavanje termičkih šokova što je izraženo u radu brodskog motora. Kako je čvrstoća limitirana, kao i duktilnost ovog materijala, može se legiranjem i primjenom odgovarajućeg termičkog tretmana poboljšati. Tim procesom se redukuje veličina

same lamele i rafiniše metalna struktura. U tabeli 9 su prikazani materijali koji se najčešće mogu naći kao izbor za klipne prstenove sa njihovim specifičnostima. Treba istaći da vodeće kompanije stalno razvijaju nove koncepte klipnih prstenova i zbog zaštićenih prava ne daju sa razlogom podatke o tek razvijenim materijalima.

Tabela 9. Materijali koji se koriste pri izradi klipnih prstenova za motore sa većim prečnikom[38]

Oznaka materijala	Vrsta materijala	Min.čvrstoća na savijanje	Modul elastičnosti	Opseg prečnika
STD	nelegirano liveno gvožđe	350 Mpa	85 - 115 GPa	700 mm
LP7		420 MPa	90 - 120 GPa	
IKA	legirano kaljeno liveno gvožđe	500 Mpa	100 - 130 GPa	700 mm
F14		650 MPa	130 - 160 GPa	
KV1	nelegirano kaljeno, kaljeno nodularno gvožđe	1300MPa	min. 150 GPa	600 mm
KV4				1000 mm
VP6	liveno gvožđe od vermikularnog grafita	900 MPa	min. 140 GPa	1000 mm
LP8	legirano lamelno liveno gvožđe	700 MPa	110 - 140 GPa	1000 mm

Jedna zajednička karakteristika svih klipnih prstenova je prorez i činjenica da su oni proizvedeni da budu ovalni. Ovaj ovalni oblik je neophodan da klipni prsten vrši tačno definisan pritisak preko cijelog obima prstena kada se ubaci u kružni cilindar (slika 27). Ovaj pritisak može biti raspoređen jednako prema obimu; međutim, negativna ovalna forma je generalno ciljana za dvotaktne motore, što dovodi do zaključka da pritisci nisu isti u svim područjima.

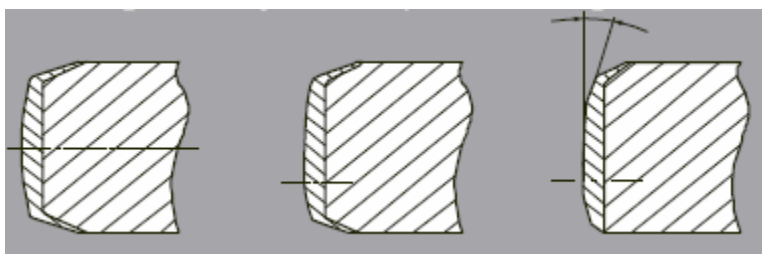


Slika 27. Distribucija pritiska na različitim oblicima [38]

Osim navedenog oblika klipnih prstenova treba napomenuti da i sama površina prstena varira. Tako se kod pravougaonih prstenova sa simetričnom ili asimetričnom pokretnom površinom koriste kao kompresioni prstenovi u prvom žlijebu i to da bi se osigurao dobar uljni film između prstena i cilindra. Ovaj oblik se može vidjeti na slici 28. Radna površina je kontura prstena okrenuta prema površini cilindra. Cilj ovog oblika površinskog profila je da se stvori podmazivanje sa hidrodinamičkim filmom kako bi klipni prsten klizio bez dodirivanja druge površine.

Niska potrošnja maziva pa čak i nakon veoma dugog vremena rada obezbjeđuju asimetrični prstenovi čija je radna površina optimizirana.

Problem prenosa ulja u komori za sagorijevanje se riješilo tako što se napravio dodatni ugao - zaobljenje na radnoj površini prstena. Osim ovoga, na ovaj način se i sprečava da gornja ivica prstena dodiruje cilindar.



Slika 28. Geometrijski profil kompresionih prstenova [38]

Sem navedenih geometrijskih karakteristika klipnih prstenova jako je bitan i sami način nanošenja premaza koji dolaze u kontakt sa uljnim filmom, pa sa košuljicom cilindra osiguravaju nepropusnost produkata sagorijevanja. Zbog povećanja pritiska sagorijevanja, lošijeg goriva za sagorijevanje itd. radilo se na razvoju klipnih prstenova koji mogu da ispune

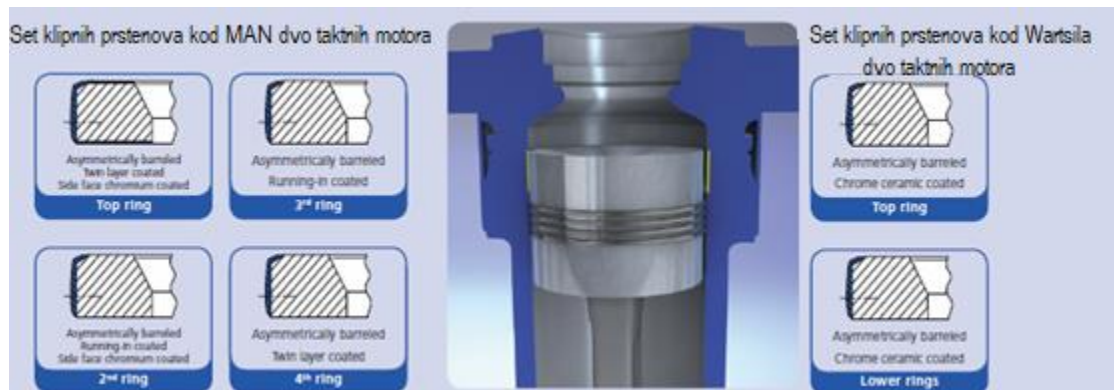
visoke zahtjeve brodske industrije. Kako bi se napravili što efikasniji prstenovi, proizvođači su razvijali i razne površinske premaze. U cilju poboljšanja otpornosti na habanje i tribološke (nauka o trenju metala) osobine prstenova, drugačiji premazi (galvanski, termički i PVD premazi) su korišćeni na površinama prstenova dugi niz godina.

4.1. KLIPNI PRSTENOVİ KOD DVOTAKTNIH DIZEL MOTORA

Kada je riječ o trenutnom tržištu dvotaktnih dizel motora, dominiraju dva proizvođača. Oni koriste različite sisteme prstena. Karakteristika je da oba proizvođača koriste površinske slojeve koji su otporni na habanje. *Wartsila* koristi uglavnom sistem koji je i razvijen za upotrebu u dvotaktnim motorima sa galvanskim premazom dok *MAN* koristi termičke sprejane premaze. Oba proizvođača koriste asimetrične konveksne radne površinske profile i bitno im je da postiču radni vijek prstena od oko 30.000 radnih sati. Ono što proizvođači očekuju vezano za vijek trajanja je ipak nešto niže (razmak od 12-14.000 sati između održavanja za motore koji nemaju anti polirajući prsten) i nešto duži vijek motora koji ima antipolirajući prsten i hrom - keramički gornji prsten (18 -20.000 radnih sati) [39]. Ukoliko se uzme maksimalni broj radnih sati motora u toku tri godine, može se zaključiti da ovi prstenovi treba da budu kvalitetni i da traju između dva odlaska broda u suvi dok.

Naravno, bitno je napomenuti da ove vrijednosti u velikoj mjeri fluktuiraju u zavisnosti od uslova rada i činjenice da su kritičniji klipni prstenovi sa većim prečnicima. Kada je u pitanju finalna obrada cilindara motora, koriste se oba klasična procesa (*wave - cut* obrada i *plateau honing*). Tako se nijedan proces ne može definitivno identifikovati kao dominantan u procesu obrade.

Moderni dvotaktni motori su dostigli relativno nisku potrošnju ulja od 0,8 g/kWh, čime gotovo postiču nivo 4 -taktnih motora. Prikaz setova klipnih prstenova koji se danas koriste kod dvotaktnih dizel motora je prikazan na slici 29. Iz slike se može zaključiti da je za analizu *Wärtsilä RTA58* dvotaktnog motora dovoljno analizirati hemijski sastav gornjeg i jednog donjeg prstena.



Slika 29. Setovi prstenova za dvotaktne motore[38]

4.2. INOVACIJE KOMPANIJE WÄRTSILÄ SULZER NA MOTORIMA RTA OZNAKE

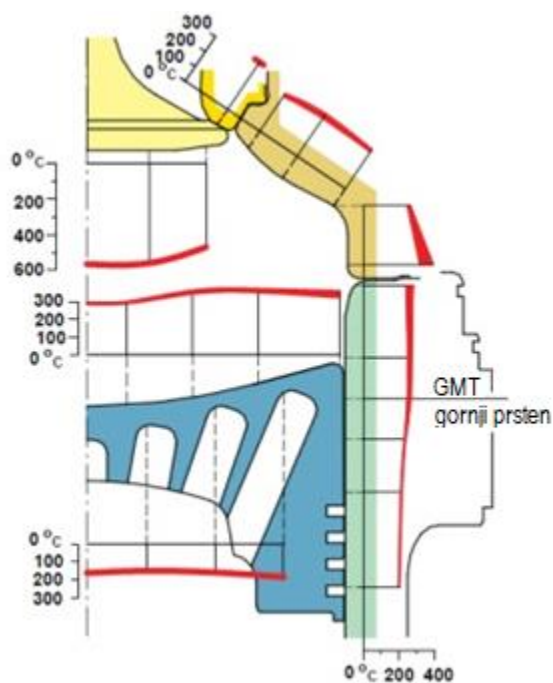
Brojne konstrukcijske mjere su uvedene od strane firme *Wärtsilä Sulzer* kao odgovor na sve zahtjevnije tržište brodskih motora. Inovacije se ogledaju u višestrukim poboljšanjima. Kod ovih motora je karakteristično da se podmazivanje vrši u nekoliko stepena. Jako je bitno da materijal košuljice cilindra mora da ima dovoljno tvrde faze u svojoj mikrostrukturi te se posebna pažnja posvećuje samoj tehnologiji obrade košuljice cilindra. Važna novina kod novih klipnih prstenova je što su predoblikovani i presvučeni (gornji hrom keramičkim profilom a donji RC -premazom). U cilindru motora se nalazi prsten koji sprečava poliranje (kao način za čišćenje klipa od naslaga pepela i ostalih krutih produkata sagorijevanja), a da je košuljica čitavim dijelom honovana i da na određenim djelovima posjeduje izolaciju.

Sve navedeno je dio tkz. “Sulzer TriboPack” – tribološkog paketa koji bi trebalo da popravi karakteristike klipova u eksploataciji, smanji intenzitet trošenja košuljice cilindra, a ako je moguće, da produži vrijeme između remonta na 3 godine te smanji potrošnju cilindarskog ulja.

Iako Sulzer ima tendenciju da produži vrijeme između remonta, većina kompanija još uvijek gleda da svoj brod odvede na remont unutar dvije i po godina, pogotovo tankere. Zbog složenosti remonta i kratkog vremena zadržavanja na sidru ili vezu (tokom složene operacije iskrcaja), a i u većini slučajeva lučke vlasti ne daju dozvolu da se izvode ikakvi radovi koji stavljaju glavni motor van funkcije. Zbog svega navedenog jedino vrijeme za pravi remont

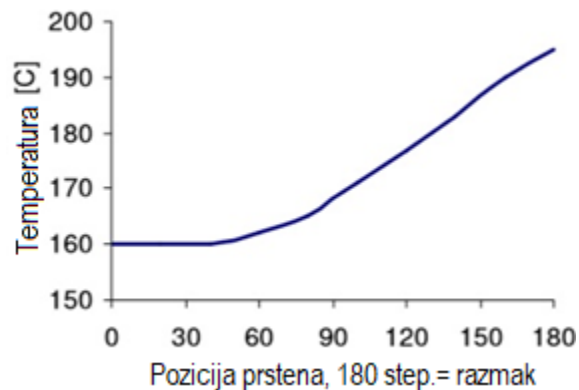
je kada je brod u doku pa planira da se tada odrade svi veći remontni na motoru kako bi brod bio spreman da u svakom trenutku odgovori zahtjevima tržišta, te se često i svi klipni prstenovi tada zamijene (pa čak i oni koji su u dobrom stanju!).

Prikaz raspodjele temperature na površinama kod Sulzer -ovog sporohodnog motora RTA58T je prikazano na slici 30. Kada se klip nalazi u gornjoj mrtvoj tački, na gornji klipni prsten utiče temperatura nešto iznad 250 °C. Takođe je vidljivo da je toplinski najopterećeniji izduvni ventil kod koga je temperatura u sredini i do 600 °C, a to je vrlo blizu temperature visokotemperaturne korozije. Dok je temperatura košuljice cilindra pri 75% i 100% opterećenja u gornjoj zoni (zoni sagorijevanja) oko 250 °C i više.



Slika 30. Testirani motor RTA58T pod punim opterećenjem [40]

Kod ispitivanog motora analizirane su tri vrste klipnih prstenova i to dva gornja i jedan donji prsten kodnih oznaka G17 SCP1RC16, GGV SCP1CC16 i GGIII SCP2CC16. Kod svih klipova međuprostor prstena ima tkz. ravni rez (SC); prstenovi sa oznakom GGV i G17 su asimetrični cjevkašti gornji prstenovi; GGIII je takođe asimetrični ali donji prsten. Distribucija temperature u odnosu na ugao tj. poziciju prstena može se sagledati na slici 31. Na ovoj slici se uočava da je distribucija toplote najveća u dijelu gdje se nalazi zazor klipnog prstena.



Slika 31. Distribucija temperature za klipne prstenove koji su ravno kidani SC (*straight cut*) [40]

Dodatna razlika između klipnih gornjih prstenova je i u samom premazu, te klipni prsten oznake GGV ima hrom keramički premaz (CC) dok je kod prstena G17 tkz. *Running in coating* premaz. Naravno, kod svih klipnih prstenova je ista visina od predviđenih 16mm. Treba istaći da se, osim visine klipnih prstenova, isti mogu razlikovati i po međuprostoru, te spomenutom načinu kidanja. Hemijski sastav gornjih klipnih prstenova G17 firme Goetze i GGV su objašnjeni u nastavku rada.

Ono što je Goetze uspio da uradi sa prstenom oznake G17 je da napravi *cast iron* (kaljeno željezo, legura LGI) koja je otporna na istrošenja koju karakteriše lamelarni grafit (poželjno tip “A”) (izvor; *Fedal Mogul.com product*).

Dok je klipni prsten oznake GGV metal, koji se po hemijskom sastavu proizvodi od magnezijuma (Mg) ili kalcium carbida (CaC_2). Nakon početnog tretmana mrvljenja – usitnjavanja, kasnije se tretira sa titanijumom (Ti) ili se dodaje mješavina cerium metala. (izvor: patent oznake US4544407A). Donji je hemijski sastav kod klipnog prstena sa oznakom GGIII nepoznat. Materijal od kojeg se najčešće prave košuljice je Tarkalloy -C [41]. Ovo su uopšteni podaci koji su bili dostupni tokom istraživanja; međutim, da bi dokazali koji su prstenovi bolji i koji su se pokazali u praksi, neophodno je bilo da se uradi detaljna analiza i ispitivanje materijala.

Ono što je trenutno, a i za očekivati kao budući trend, kod razvoja brodskih motora, je cilj zaštite životne sredine, pogotovo kroz emisiju izduvnih gasova. Tako se mogu očekivati sve stroži kriterijumi za brodske motore i dalji razvoj klipnih prstenova. Sada je

izazov pred proizvođačima brodskih motora da smanje zagađujuće materije kroz emisiju izduvnih gasova i da se smanji potrošnja goriva, pa čak i za velike motore. Da bi ispunili navedeni zadatak, proizvođači će koristiti trenutne i sve buduće tehnologije uz održavanje izbalansiranog odnosa troškova i koristi, koji je jako bitan. Osim toga zbog ekonomske krize, brodari se okreću alternativnim načinima da bi smanjili operativne troškove u početnoj fazi. Tako se očekuje da motor vozi ekonomskom brzinom od 60% MCR (maksimalne kontinuirane snage), kada se pazi da pritisak vazduha bude dovoljan da se ne bi palili pomoćni ventilatori motora. Samim tim često je dovoljan rad i samo jednog generatora. Međutim, ukoliko se odluči da se još smanji pogonska brzina broda na SSS (*Super Slow Steaming*) tj. 50% MCR ili ESS (*Extreme Slow Steaming*) sa svega 30 - 35% MCR, za očekivati je da se kroz određeno vrijeme pojave operacione poteškoće koja su prilično različite od onog što je zamišljeno tokom projektovanja broda i adekvatnog motora. Sve ovo prouzrokuje oštećenja, istrošenja brodskog propulzionog sistema tj. motora, a posebno na njegove djelove kao što su klipni prstenovi i košuljica cilindra [42].

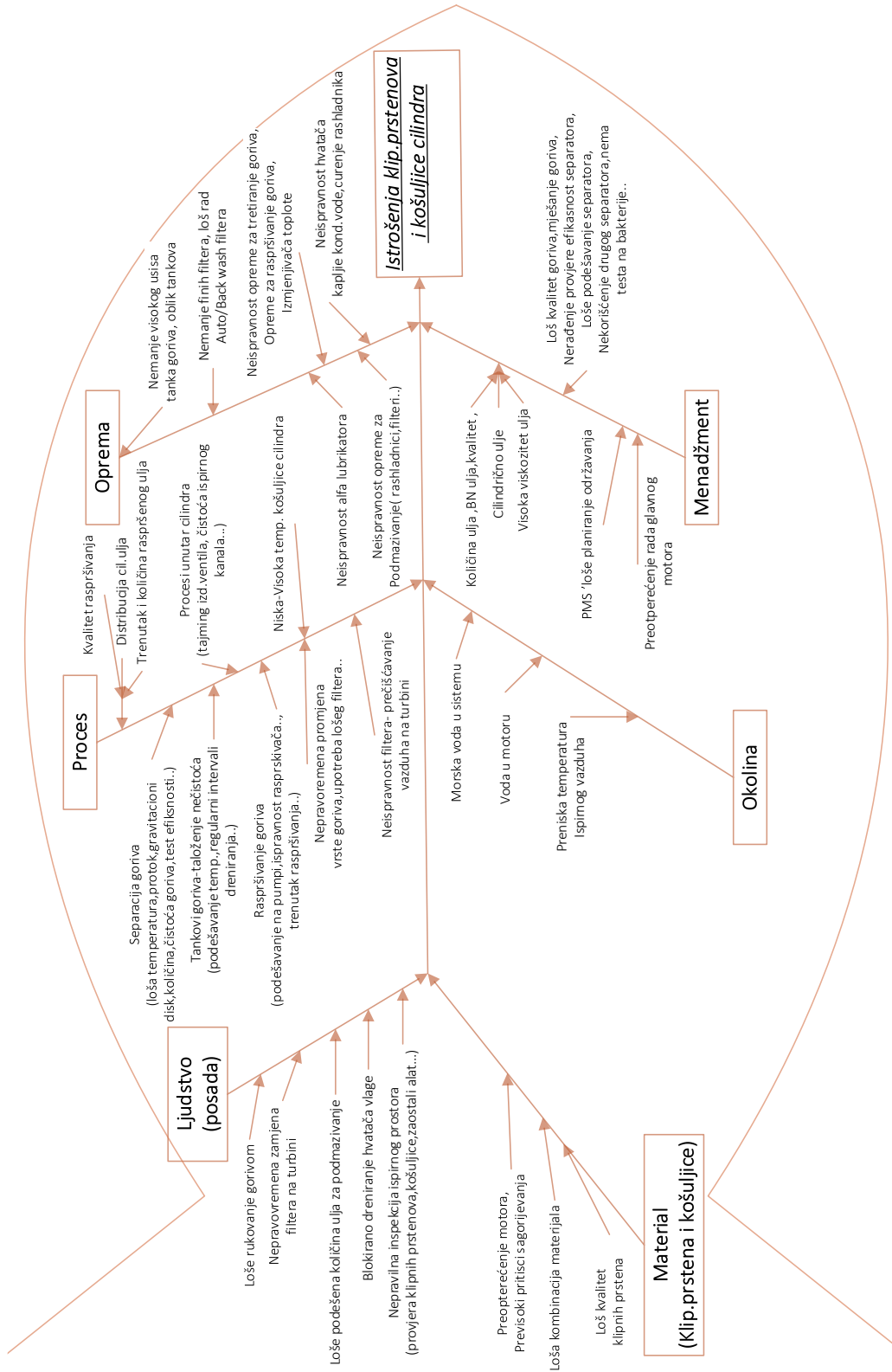
5. UZROCI KOJI UTIČU NA ISTROŠENJA KLIPNIH PRSTENOVA I KOŠULJICE CILINDRA

Kako bi se što bolje predstavila kompleksna problematika uticaja na istrošenje klipnih prstenova i košuljice cilindra koristi se tkz. Ishikawa dijagram koji nosi ime po svom pronalazaču Kaori Ishikawi. Dijagram se, zbog svog izgleda, u literaturi može naći pod nazivom dijagram riblje kosti. Cilj ove metode je da omogući uzročno - posljedičnu analizu. Kako više faktora može uticati na to da dođe do samog istrošenja, onda Ishikawa dijagram predstavlja pogodnu analizu za sistematizaciju i alat preko kojeg se mogu predstaviti rezultati uopštene analize uzroka koji uslovljavaju određeni ishod posmatranog procesa.

Zbog same preglednosti na slici 32 (rađene u programu MS Visio) su napisani samo osnovni uzroci koji dovode do posljedice, a sve one koje dovode do problematike koja se izučava u ovom radu.

Pomenuti dijagram se koristi za slučaj da se za posljedicu definiše određeni problem - loš kvalitet proizvoda, pojava stanja u otkazu itd. što je u razmatranom slučaju istrošenje klipnih prstenova (puknuće) i istrošenost košuljice koje je veće od dozvoljenog. Grupisanje glavnih uzroka je podijeljeno u šest kategorija koje će omogućiti dobro sagledavanje problema. Naravno zbog složenosti dijagrama u razradi istog, svaka od pojedinačne grupe uzroka formiraće svoje ogranke, što će samo po sebi usložiti prikaz, ali je neophodno da bi se dobio pravilan uvid u složenu problematiku.

Potrebno je napomenuti da je brodska posada kroz procedure koje su predviđene kompanijskim (*Safety Management System*, SMS -om) i preporukama proizvođača, dužna da na brodu osigura pravilnu primjenu istih. U zavisnosti od kvaliteta kompanije razlikuje se i kvalitet SMS sistema, kvalitet posade, kvalitet rezervnih djelova ali su izdvojeni najbitniji uticaji na moguće istrošenje. U radu [81] su prikazani najzastupljeniji otkazi, među kojima otkazi na košuljici motora i klipu iznose preko 40%. To je još jedan razlog bitnosti detaljne analize uzoraka koji mogu dovesti do trošenja koji će kasnije dovesti do otkaza na samom motoru. Prepoznati osnovni uzroci su podijeljeni na: posada broda, procesi, oprema, materijal, okolina te menadžment broda i kompanije.

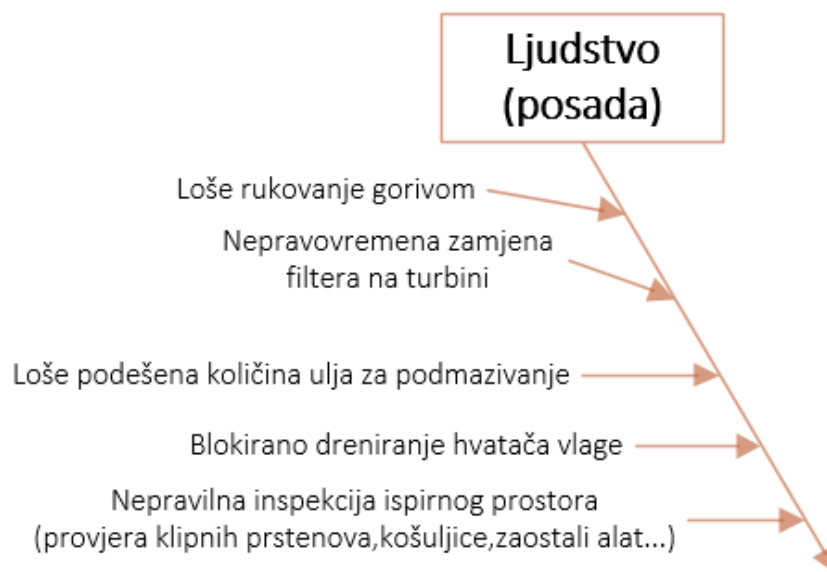


Slika 32. Ishikawa dijagram (“ riblja kost”) složeni uticaji na istrošenje prstenova i košuljice cilindra

a) Posada kao uzrok

Kada se govori o uzroku nazvan posada broda, najviše pažnje je posvećeno znanju (informisanošću posade tj. njenom obučenošću) slika 33.

U sistemu ulja za podmazivanje posada uglavnom, sem podešavanja i održavanja ispravnosti sistema, ne može previše da utiče. Jedan od bitnih faktora preko kojeg posada može uticati na istrošenja je loše rukovanje i tretman goriva na brodu.



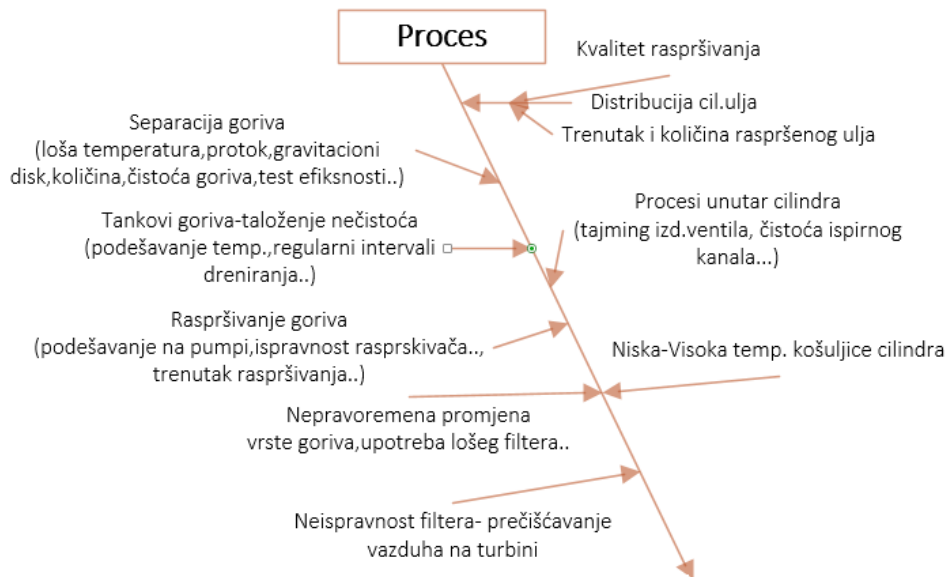
Slika 33. Posada kao uzrok koji utiče na istrošenje klipnih prstenova i košuljica

Posada mora da vodi računa i da ne dođe do propuštanje između ventila i sjedišta (rasprskivača) uslijed istrošenosti, što može dovesti do rasterećenja potisnog voda i ima za posljedicu nepravilno ubrizgavanje goriva. Neispravnosti ubrizgača se negativno odražavaju na rad motora: smanjuju se snaga i ekonomičnost motora, motor počinje da dimi, počinju da se formiraju naslage gareži na klipnim prstenovima, povećava se habanje cilindarsko - klipne grupe itd. Sa druge strane istrošenost elemenata pumpe za gorivo ima čisto mehanički karakter, i posljedica je abrazivnog djelovanja tvrdih čestica koje se nalaze u gorivu, a djelimično i trenja dodirnih površina. Stoga je bitno eliminisati ove nečistoće kako dugoročno ne bi napravili istrošenja i u pumpi goriva.

Posada takođe mora da obrati pažnju na filtere turbine glavnog motora, kako bi se spriječilo da kroz ispirni vazduh dođu abrazivne nečistoće, koje utiču na istrošenje. Posebnu pažnju posada mora da posveti ispravnosti rada hvatača kapljica vlage u ispirnom vazduhu (*water mist catcher*).

b) Proces kao uzrok

Sljedeći uticaj koji je prepoznat kao jako obiman i složen, a utiče na istrošenje je nazvan proces (slika 34).



Slika 34. Faktori u toku procesa koji utiču na istrošenja klipnih prstenova i košuljice cilindra

Faktori koji utiču kroz proces kao uzrok na istrošenje su višestruki, pa su podijeljeni u zasebne cjeline. Distribucija ulja za podmazivanje je bitna. Utiče se na podešavanje količine ulja za podmazivanje (previše ili premalo ulja), kvalitet distribucije ulja (bitno je da se ravnomjerno rasprši unutar cilindra kako bi bilo što bolje podmazivanje svih dijelova košuljice cilindra). Takođe, nepravilnim tajmingom (definisan trenutak raspršivanja mlaza ulja) se utiče na istrošenja; pravilan odabir i kontrola parametara uveliko utiče na ove procese.

Tretman goriva je jako važan sa gledišta procesa pa je u ovom istraživanju posebna pažnja posvećena upravo ovom procesu.

Faktori poput tretmana vazduha (proces filtracije, rashlade vazduha, separacije kapljica vode te neispravan rad turbine) mogu dovesti do problema u radu motora, a samim tim i do istrošenja.

Procesima unutar cilindra motora kao što su proces razmjene radnog medija (na koji se može uticati mijenjanjem tajminga izduvnog ventila, čistoćom ispirnih kanala itd.), i procesima sagorijevanja (podešavanjem tajminga), odnosom vazduh/gorivo pravilnim raspršivanjem se takođe može uticati.

Drenažom ulja iz prostora ispirne komore motora, te slanje na laboratorijsku analizu u cilju utvrđivanja količine partikala željeza i hroma, kao i uzorka viskoziteta ulja za svaki cilindar posebno se može kvalitetno pratiti u regularnim intervalima te pravovremeno i korektivno reagovati ukoliko očitavanja bivaju alarmantna. Treba napomenuti da postoje podaci o maksimalnoj dozvoljenoj količini željeza u analiziranom ulju u odnosu na prečnik cilindra prema kojem motori sa [26]:

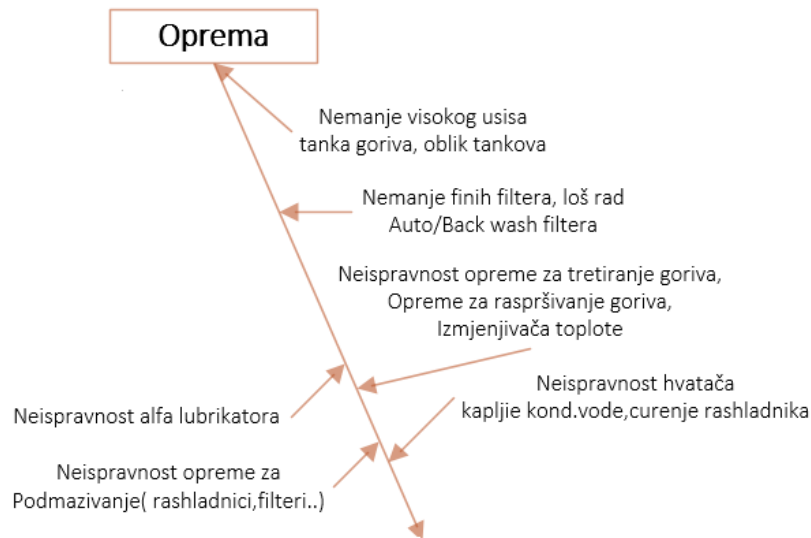
- prečnikom od 26 - 50cm mogu imati max. količinu željeza 100 ppm
- prečnikom od 60 - 70cm mogu imati max. količinu željeza 150 ppm
- prečnikom od 80 - 98cm mogu imati max. količinu željeza 200 ppm

Sve izmjereno preko ove količine smatra se povećanim trošenjem, te je bitno preduhitriti dalje trošenje u cilindru.

c) Oprema kao uzrok

Oštećenja na finim filterima, automatskim (auto back wash) filterima, neispravnost na radu hvatača kapljica, začepljeni drenažni ventili na tankovima goriva, curenje parnih zagrijača goriva, ulazak vode kroz odušnike na tankovima, neispravnost rada separatora, neispravnost opreme za raspršivanje goriva (pumpe, rasprskivači itd.) će jasno uticati na povećanje istrošenja i neispravan rad motora.

Oprema je jasno definisana kao uzrok a detalji su prikazani na slici 35.



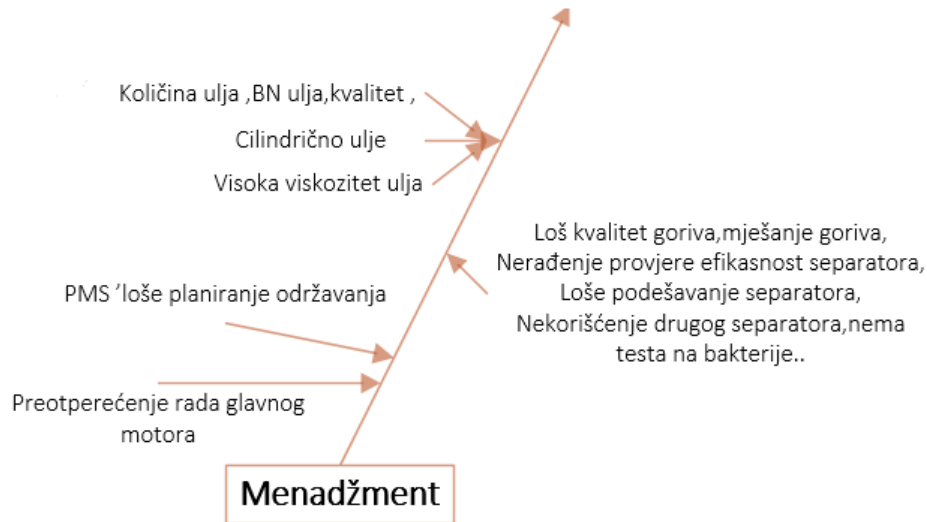
Slika 35. Oprema kao faktor koji utiče na istrošenja klipnih prstenova i košuljice cilindra

Osim navedene opreme takođe treba obratiti pažnju na opremu za podmazivanje cilindara (neispravno podmazivanje, začepljenje finih filtera itd.)

Ukoliko se pojavi neispravnost na rashladniku vazduha kroz koji vazduh povećanog pritiska prolazi može doći do sledećeg: oštećenje i curenje rashladnika, blokirana vodena strana rashladnika (dovodi do povećanja temperature), blokirana vazдушna strana (smanjen protok vazduha i tkz. *surging* turbine) što utiče na neispravan rad motora.

d) Menadžment kompanije kao uzrok

Posebna pažnja je posvećena menadžmentu kompanije (firme ili broda) čije odluke direktno mogu da utiču na istrošenje prstenova i košuljice cilindra, jer se nekad čak i svjesno ide na povećanje istrošenja kako bi se uštedilo na cijeni goriva ili ulja za podmazivanje (slika 36).



Slika 36. Menadžment (firme ili broda) kao faktor koji utiče na istrošenja klipnih prstenova i košuljice cilindra

Ukoliko brodar/menadžer nije u mogućnosti ugraditi nove separatore na brodovima koji garantuju efikasno odstranjivanje katalitičkih nečistoća, optimalan rad postojećih separatora treba obezbijediti kroz redovne kontrole rada i servise predviđene preporukama proizvođača. Adekvatna količina originalnih rezervnih djelova za separatore treba biti uvijek dostupna na brodu zbog same prirode nepredvidivosti problema a sve u cilju obezbjeđivanja kontinuiranog i efikasnog rada separatorskih uređaja.

Definisanjem preciznog perioda za monitoring kondicije motora, klipova/prstenova motora kroz regularne inspekcije, po mogućnosti što češće ili prvom prilikom nakon početka upotrebe novog goriva je od velike važnosti za praćenje stanja košuljica.

Kompanije nekad i svjesno poručuju gorivo lošijeg kvaliteta zbog ekonomičnosti. Iz istog razloga, ili zbog neinformisanosti, miješaju se različite vrste goriva, koje kasnije naprave problem brodskim inženjerima prilikom samog tretmana.

Ukoliko kompanije ne poruče, ili ne obuče svoje zaposlene da rade tkz.” *Onboard test for bacteria*”, može doći do problema u radu motora, a samim tim i do istrošenja. Ukoliko se na brodu ne čiste tankovi goriva a uz prisustvo akumulirane vode, mogu se razviti mikroorganizmi koji začepljuju filtere goriva te remete pravilan rad separatora.

Takođe treba obratiti pažnju na kvalitet podmazivanja, BN (bazni broj) u odnosu na tip goriva. Preporuka MAN -a i Wartsile da se za goriva sa većim sadržajem sumpora od

1.5% koriste ulja sa BN većim od 70 (oznaka motora Mk7 i raniji tipovi), dok je preporučena BN 100 (za motore sa oznakom Mk7.1, Mk8 i novije) dok za goriva sa nižim procentom sumpora ulja s BN 15 - 40 [81]).

Osim ove preporuke treba obratiti pažnji i na novu preporuku proizvođača motora MAN koji kategoriše ulja u dvije kategorije (CAT I i CAT II).

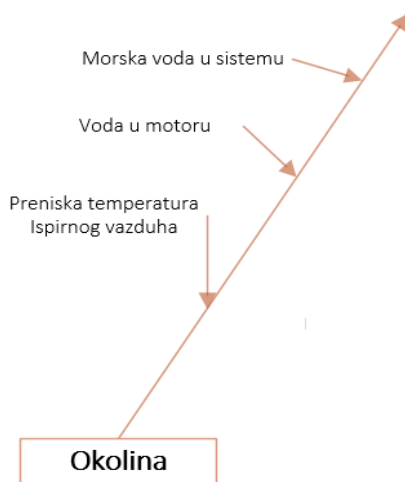
Postoji visok rizik pri upotrebi npr. cilindričnog ulja sa BN70 u vezi sa čestim punjenjem goriva sa niskim sadržajem sumpora (ispod 1,5%). Glavni problem bila je akumulacija neiskorištenih aditiva za ulje u cilindrima, što rezultira stvaranjem pretjeranog depozita na površini klipa. Ovo dovodi do povećanog istrošenja i situacije u kojoj povećana količina podmazivanja u stvari ne poboljšava stanje. Naprotiv, povećano podmazivanje uzrokuje povećanje akumulacije depozita što samo ubrzava proces [80].

Osim svega navedenog menadžment utiče i na radne uslove motora, te zbog ekonomskih razloga mogu tražiti da se motor preoptereći, što će u određenom vremenu uticati na stanje analiziranih elemenata u ovom radu.

Jako bitan faktor je i PMS (*Planned Maintenance System*), koji donosi menadžment kompanije, od kojeg se očekuje da napravi sistem za pravilno održavanje brodske opreme, a samim tim i glavnog motora.

e) Okolina kao uzrok

Pored navedenih faktora, važan je i faktor uticaja okoline (ambijenta) u kom motor radi, na koji se ne može previše uticati a prikazan je na slici 37.



Slika 37. Okolina kao faktor koji utiče na istrošenja klipnih prstenova i košuljice cilindra

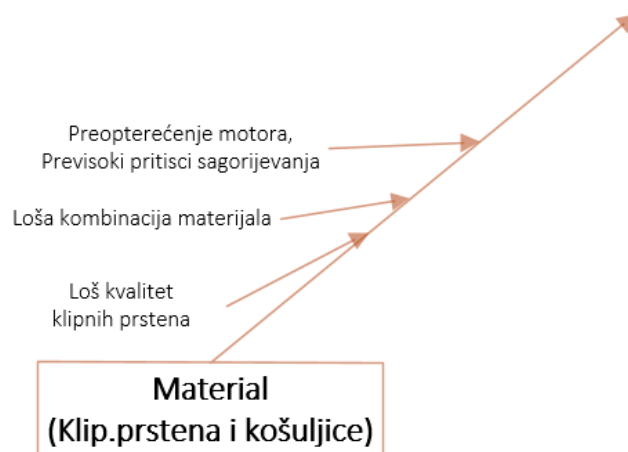
Ekstremno niska i visoka ambijentalna temperatura vazduha u mašinskom prostoru i visoka relativna vlažnost mogu da naprave probleme u vidu: kondenzacija unutar tankova goriva, pojava korozije pri vrhovima tankova, prevelike kondenzacije unutar rashladnika vazduha, uslijed ekstremnih temperatura mora, može doći i do previsokih - preniskih temperatura ispirnog vazduha (što će uticati na pravilan rad motora), začepljenje sistema za rashladu - sprečavanje protoka rashladnog medija (neispravnost M.G.P.S. „*marine groving prevention system*“) dugoročno mogu uticati na ispravnost rada motora, ekstremna temperatura morske vode će uticati na temperaturu ispirnog vazduha, te može dovesti do kondenzacije na zidovima košuljice.

Ukoliko dođe do zaprljanja (začepljenja) filtera na samoj turbini, doći će do smanjenog protoka vazduha tj. neće biti dovoljno vazduha za sagorijevanje. Sa druge strane, u samom vazduhu mogu biti komadi pijeska (silicijuma) koji će uticati na abrazivno istrošenje.

Ukoliko se pojave bakterije u gorivu, za očekivati je da utiču tako što će desiti degradacija (dekompozicija) goriva. Osim toga, mogu začeptiti filtere goriva, ili pak opremu za raspršivanje goriva, a mogu i da se akumuliraju na površinama razmjene toplote (grijačima). Pored goriva, i kod ulja postoji opasnost od kontaminacija bakterijama, što može dovesti do degradacije ulja za podmazivanje (nemogućnost pravilnog podmazivanja) i začepljenja opreme za raspršivanje ulja. Sa druge strane, rijetko, ali se dešava da bakterije mogu kontaminirati rashadnu vodu. One se akumuliraju na zidovima košuljice kao i u zagrijačima. Problem sa ovim bakterijama je taj da utiču na inhibitore koji se dodaju vodi protiv korozije, te ti inhibitori gube osnovnu funkciju.

f) Materijali kao uzrok

U ovom radu posebna se pažnja posvetila materijalima klipnih prstenova i košuljice cilindra, kao i uzrocima istrošenja (slika 38), te je ovom uzroku posvećeno jednog poglavlje u istraživanju. Osim pomenutih materijala, treba napomenuti i materijale cjevovoda, pumpi (dobavnih i pumpi visokog pritiska), ventila, grijača itd. jer moraju biti otporni na sve uticaje (korozija, erozija abrazija) kako njihovi djelovi ne bi dospjeli u cilindar i abrazivno djelovali na prstenove/košuljicu



Slika 38. Materijal kao faktor koji utiče na istrošenja klipnih prstenova i košuljice cilindra

Kvalitet materijala se ogleda i kroz otpornost na temperature (prstenovi košuljica), kompatibilnost materijala, kao i kroz poboljšana svojstva (čvrstoća, tvrdoća te za prstenove posebno elastičnost). Treba podsjetiti na složen zadatak klipnih prstenova: da zaptivaju ekspanzioni prostor, da prenose temperature sa čela klipa na cilindar, da imaju ograničeno habanje, ali ne na štetu habanja cilindra. Osim toga, potrebno je pobrojati i radne uslove koji utiču na istrošenje (prosječno opterećenja motora, prosječnog broja obrtaja, kvalitet goriva, kvalitet podmazivanja, kvalitet sagorijevanja koje je direktno povezano sa kvalitetom goriva, čistoćom, temperaturom i pritiskom kao i vlažnošću vazduha, itd.).

Prednosti uzročno - posljedične analize kao metode ogledaju se u jasnom, vizuelnom prikazu mogućih uzroka pojave koja je predmet posmatranja i posljedice njihovog djelovanja. Ona omogućuje detaljne analize međusobnog odnosa pojedinih uticaja-uzroka na analiziranom broskom sistemu, što se najbolje sagledalo kroz detaljnu analizu problema. Treba napomenuti da se jedan uzrok može i pojavljuje u više različitih grupa uzoraka zbog uticaja i povezanosti složenog sistema. Kada se ovako sagledaju veze u dijagramu, međusobne veze uzroka su, u opštem slučaju, kvalitativnog i hipotetičkog karaktera. One mogu poslužiti kao dobra podloga za efikasnije rješavanje datog problema uz pomoć neke druge metode, koja može biti odgovarajuća za dati slučaj.

6. MJERENJA I ISPITIVANJA UZORAKA KLIPNIH PRSTENOVA

Napomena: dio ovog poglavlja je preuzet iz rada *“Piston ring material in two-stroke engine which sustains wear due to catalyst fines”* [1]

U grupu najčešće korišćenih mašinskih materijala svakako spadaju čelici. Njihovo dobijanje se svodi na proces rafinacije gvožđa dobijenog u visokoj peći, te kasnim dodavanjem ferolegura. Takvo rastopljeno gvožđe se prerađuje u čeličnim pecima ili pak konvertoru. Kasnije oblikovanje se vrši tokom prelaza iz tečnog stanja u čvrsto.

Ugljenični čelici predstavljaju osnovni materijal u mašinskoj industriji. Struktura i mehanička svojstva ugljeničnih čelika zavise od sadržaja tj. procenta ugljenika. Pored ugljenika, u sastav čelika ulaze i drugi elementi koji se smatraju pratećim (Si, Mn, S), skrivenim ili slučajnim primjesama (Cr i Cu).

6.1. PODACI O TESTIRANOM MOTORU I OPERATIVNI PODACI POTREBNI ZA ANALIZU

Dio praktičnog ispitivanja je obavljen na brodu u eksploataciji, prilikom čega je obavljena detaljna analiza, pregled i inspekcija stanja klipnih prstenova i košuljice motora u nekoliko navrata. Detaljni pregled je obavljen prilikom boravka broda u luci kako bi se precizno izvršila kontrola donje strane klipa i košuljice nakon što je zabilježen incident trošenja na jedinicama cilindra. Tokom same analize, primijećeno je kako se javljaju problemi na motoru prilikom korišćenja G17 RC klipnog prstena u vidu puknuća prstena (slika 39) i oštećenja košuljice motora koje nije bilo moguće uočiti vizualnom inspekcijom.



Slika 39. Oštećenja klipnog prstena kod motora u eksploataciji

Zbog navedenog problema, bilo je potrebno da se pokuša sa drugim tipom klipnih prstenova i odluka je pala na GGV CC hromirani klipni prsten pri čemu je oštećena košuljica zamijenjena novom.

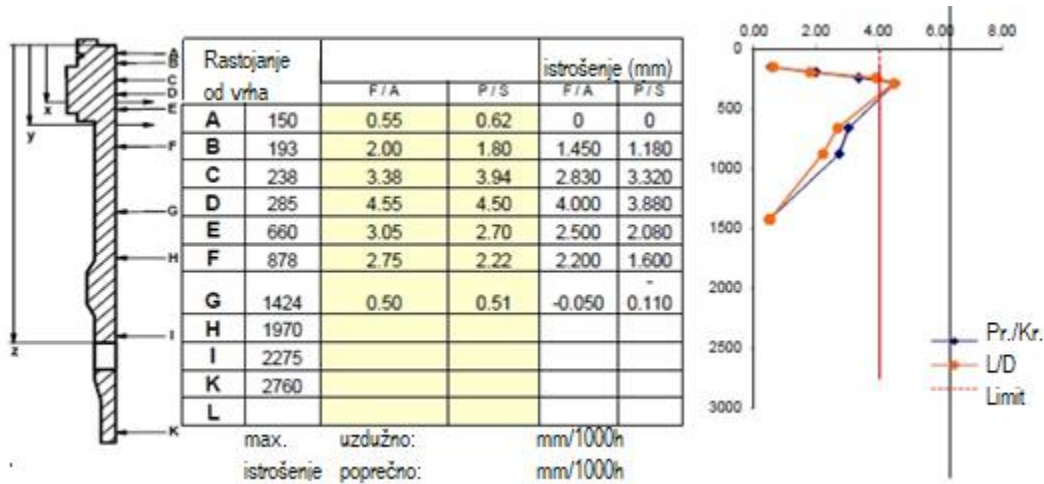
Podaci o analiziranom motoru su dati u tabeli 10.

Tabela 10. Podaci o testiranom motoru, vrsta goriva i ulja za podmazivanje

Tip motora	6RTA58-T
Godina	2015
Naziv posla	Inspekcija motora
Brodogradilište	SHI
Radni sati motora	43890
Optimizacija	CMCR
Gorivo	MGO
Viskozitet na 40 °C	5.7 mm ² /s
Gustina na 15 °C	885.3 kg/m ³
Sumpor	0.09 %
LCV	42300 kJ/kg
Cilindarsko ulje	Total Talusia LS25/HR70
Sistemska ulje	ELF Atlanta Marine 3005
Nominalna snaga	12000 kW
Nominalna brzina	103 min ⁻¹
Pritisak motora	18.3 bar
Servisna brzina	92 min ⁻¹
Cilindarsko ulje stopa razine	1.4 g/kWh
Sistemska ulje potrošnja	100 l/dan
Daljinski upr. sistem	Woodward
Sigurnosni sistem-nadgledanje	Terasaki WE300HG/Woods
Sistem za održavanje, kontrole i optimizaciju	DENIS-6

Na slici 40 su prikazani rezultati mjerenja istrošene košuljice cilindra uz pomoć kalibriranih mikrometara. Na lijevoj strani prikazan je presjek košuljice sa repnim tačkama A – L kojima su označena mjesta obaveznog mjerenja. Tabelarno su prikazane udaljenosti tačke za mjerenje od vrha košuljice, u drugoj i trećoj koloni izmjerene vrijednosti, dok su u zadnje dvije kolone unijeta odstupanja od graničnih vrijednosti. Mjerenja pokazuju da je

košuljica samo u gornjim dijelovima imala visok stepen istrošenja, što se vidi na dijagramu desno, a odgovara preporukama *WinGD* manuala za određivanje stanja košuljica, klipova i klipnih prstenova [43].

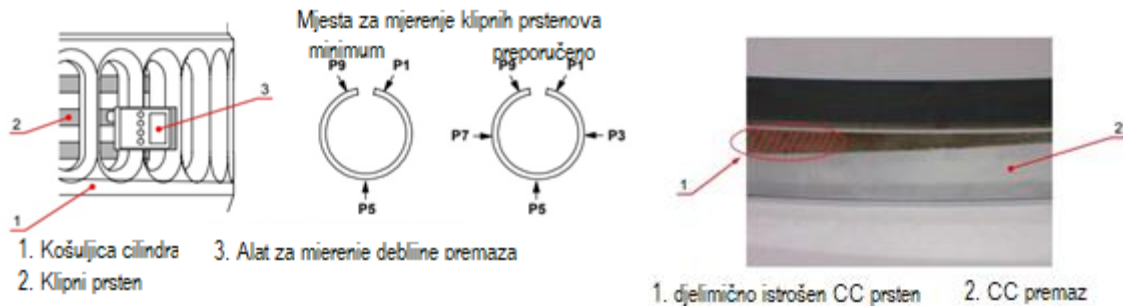


Slika 40. Izmjereno istrošenje košuljice cilindra

6.2. MJERENJE I RAČUNANJE POHABANOSTI OBLOGE KLIPNIH PRSTENOVA

Kako su limitirane mogućnosti za detaljnu analizu stanja košuljice cilindra i klipnih prstenova (sem kada je klip izvađen van cilindra), postoji mogućnost mjerenja istrošenja obloge klipnih prstenova. Za ovo mjerenje potreban je poseban mjerni instrument i prilaz prstenovima kroz ispirne kanale. Korišćenjem formula nakon mjerenja debljine može se izračunati prosjek trošenja, kao i preostali radni vijek prstenova.

Osim što je bitan izbor materijala za klipne prstenove i košuljicu motora, trošenje materijala je neminovno. Međutim, jako je bitno da materijal izdrži planiran radni vijek (najčešće razmak između dva remonta, tj. odlaska broda u dok). Kako ništa nije vječno, i zavisi od uslova rada, opterećenja motora, kvaliteta goriva koje se koristi, itd. sami premaz se može oštetiti i istrošiti. Istrošenje i stanje premaza se može mjeriti korišćenjem alata za mjerenje debljine CC premaza (*coating thickness measurement tool*) što se vidi na slici 41.



Slika 41. Prikaz instrumenta, mjesta za mjerenje kao i poluistrošen CC premaza na klipnom prstenu [44]

Wartsila preporučuje da se kontrola treba raditi nakon svakih 1500 - 2000 radnih sati glavnog motora [44]. Neophodno je da se alat kalibrira prije mjerenja prema instrukcijama. Zatim se očiste radne površine klipnih prstenova na mjernim tačkama P1 – P9 i senzor alata je potrebno prisloniti na sredinu visine klipnog prstena. Kada se izvrše sva mjerenja i zapišu dobijene mjere, onda je potrebno analizirati i vidjeti u kakvom su stanju klipni prstenovi.

Sa pravilno izvršenim mjerenjem, kao što je gore navedeno, može se odrediti tačno istrošenje svakog klipnog prstena. Prstenovi se mogu koristiti ako je preostala debljina premaza iznad dozvoljenih granica (prema standardima kompanije „Wärtsilä“):

- Gornji prsten > 0,05 mm
- Donji prstenovi > 0,02 mm

Ukoliko se dogodi da je istrošenje veće od predviđenog, onda je potrebno da se izvrši mijenjanje klipnih prstenova. Nakon izvršenih mjerenja i poznatih parametara, matematički se može izračunati prosječno trošenje klipnih prstenova na sat i njihov radni vijek. Formule koje mogu poslužiti za taj proračun su:

$$WR = \frac{(D_1 - D_2) \times 1000}{T_2 - T_1} \quad (2)$$

WR – prosjek trošenja [mm/1000 h]

T₂ – trenutni radni sati [h]

T₁ – radni sati prema zadnjem mjerenju [h]

D₂ – trenutna debljina premaza [mm]

D₁ – debljina premaza prema zadnjem mjerenju [mm]

Dok sa formulom (3) možemo izračunati koliki je preostali radni vijek klipnog prstena ukoliko su nam poznati svi parametri:

$$LT = \frac{(D2 - Dmin) \times 1000}{WR} \quad (3)$$

LT – preostali radni vijek [h]

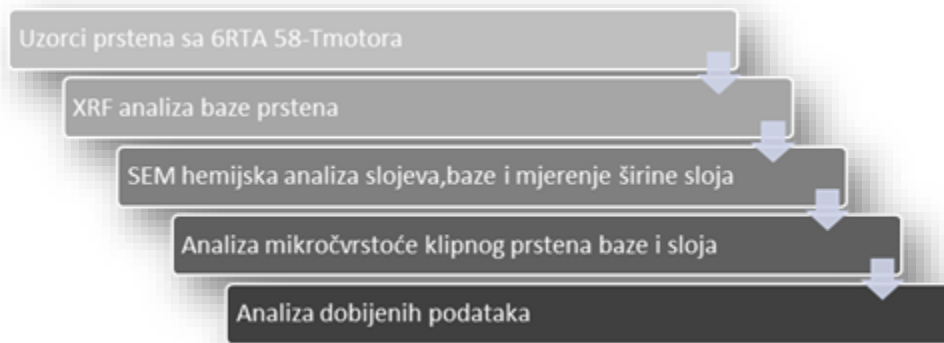
D2 – Trenutna debljina premaza [mm]

Dmin – minimalna debljina premaza [mm]

WR –izračunati prosjek trošenja [mm/1000 h]

6.3. LABORATORIJSKO ISPITIVANJE, MJERENJA NA KLIPNIM PRSTENOVIMA I KOŠULJICI CILINDRA

Za implementaciju analize hemijskog sastava osnove i slojeva klipnih prstenova koristile su se metode prema slici 42.



Slika 42. Metodologija analize testiranih uzoraka klipnih prstenova

Hemijska analiza baznog materijala i obloge klipnih prstenova koji se nalaze na gornjoj poziciji (GGV i G17) te prstenova koji se nalaze na drugoj poziciji su analizirani korišćenjem XRF i SEM analize.

Savremeni klipni prstenovi se uglavnom sastoje od osnovnog materijala i obloge koja se nanosi kako bi mu se poboljšala svojstva. Da bi utvrdili od čega su izgrađeni analizirani

klipni prstenovi neophodno je bilo da se uradi tkz. XRF (*X - Ray Fluorescence*) analiza. Kod XRF analize, analiziraju se kruti uzorci. Potrebno je, ukoliko je izvodljivo, izbrusiti uzorke kako bi se uklonili mogući slojevi oksida. To je nedestruktivna analitička tehnika za spektrohemijsko određivanje skoro svih elemenata periodnog sistema prisutnih u analiziranom uzorku, a podaci su dati u tabeli 11.

Tabela 11. Analiza hemijskog sastava uzoraka klipnih prstenova uz pomoć XRF analize

Naziv uzoraka	Procentualni sadržaj elemenata									
	%C-ugalj	%Si-silicijum	%Mn-mangan	%S-sumpor	%Cr-hrom	%Ni-nikal	%Cu-bakar	%Mo-molibden	%V-vanadijum	%Fe-gvožđe
<i>Gornji prsten</i>	3,29	2,0	0,80	0,005	0,11	<0,1	0,80	0,48		osnova
<i>Gornji prsten DAROS</i>	2,84	1,3	0,80	0,005	0,14	0,40	1,0	0,69	0,17	osnova
<i>Drugi prsten</i>	2,95	1,3	0,75	0,051	0,09	0,44	1,16	0,71		osnova

Iz tabele se može primijetiti kako uzorak gornjeg klipnog prstena ima najveći sastav ugljenika (3.29%) i silicijuma (2%) dok u svom sastavu ima najmanje nikla (<0.1), bakra (0.8%) i molibdena (0,48%). Ako se uporedi sa tabelom uticaja legiranih elemenata na svojstva čelika, uočiće se kako uzorak „Top ring“ ima pojačan uticaj na čvrstoću, tvrdoću i elastičnost kada je u pitanju visoki sadržaj ugljenika i silicijuma.

I „Top ring DAROS“ imaju povećanje odgovarajućeg svojstva čelika i to najviše u čvrstoći, tvrdoći i elastičnosti, dok su smanjena svojstva kao udarna žilavost i otpornost prema hemijskim uticajima.

U literaturi se kao materijal za izradu košuljica spominje specijalno liveno gvožđe, dok ga u laboratoriji tretiraju kao čelik sa navedenim hemijskim sadržajem. Košuljica cilindra je lijevana, tako da ima dovoljno udjela tvrde faze i fino je obrađena sama površina.

U tabeli 11 su dati rezultati ispitivanja hemijskog sastava uzoraka koji su analizirani uz pomoć metode ispitivanja: DM ICM 1 - 02–Izdanje 01/Verzija 07[45]. Kada se posmatraju analizirani podaci, ono što upada u oči je nepostojanje ugljenika (za očekivati je da bude od

2 - 3%, pa možda i nešto više), kao i prevelika količina bakra od čak 1.16%. Primjese kao što su hrom, nikal i molibden nisu pronađene, što mnogo otežava detaljnu analizu.

Urađena je naknadna analiza uzoraka košuljice cilindra. Kako je uzorak bio male širine, kovanjem je doveden na širinu od 20mm. Međutim, sam uzorak je bio porozan i sa pukotinama od kovanja, pa se nije mogla dobiti pouzdana varnica za određivanje hemijskog sastava uzorka u čvrstom stanju već se morao rastvarati. Uzorak je rastvoren sa smješom hlorovodonične kiseline, azotne kiseline i vode (3:2:2) uz zagrijavanje. Nakon toga se rastvorenom uzorku dodala smješa perhlorne kiseline, azotne kiseline i vode (6:1:1) i onda se nastavilo sa zagrijavanjem. Nakon hlađenja rastvor je dopunjen vodom. Iz ovog rastvora su rađeni svi elementi osim silicijuma. Uzorak za određivanje Si se rastvarao rastvorom sumporne kiseline (1:19). Nakon rastvaranja uzorka dodalo se par kapi 2% rastvora vodonik peroksida i zagrijavalo još par minuta. Nakon hlađenja uzorak je dopunjen vodom.

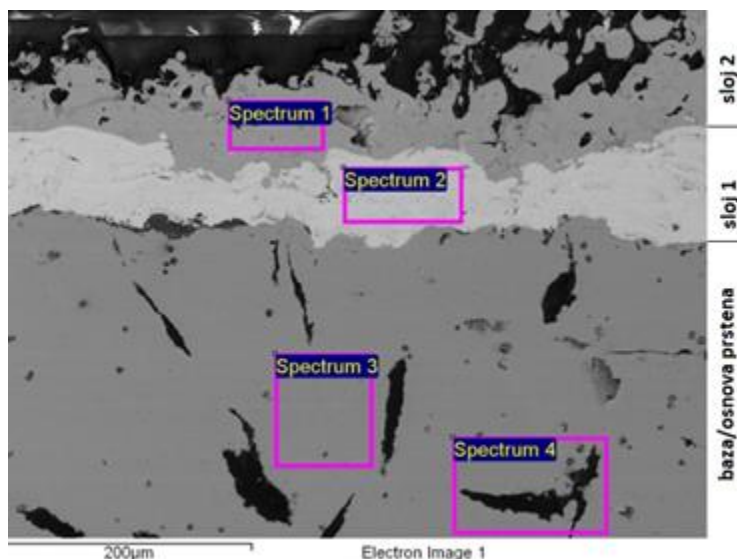
Određivanje hemijskog sastava rađeno je na atomsko emisionom spektrometru AES ICP Plasma 40. Upoređujući sa standardnim materijalima ova košuljica je vjerovatno iz grupe korozivno otpornih sivih livova.

6.3.1. Svjetlosni mikroskop za istraživanje površine prstenova i SEM (*scanning electron microscope*) analiza hemijskog sastava nanosa

Svjetlosna mikroskopija je osnovna metoda kojom se istražuje površina materijala. Njegova prednost je što imamo jasan utisak o cijeloj istraženoj površini uzorka. Svjetlosni snop putuje od izvora svjetlosti kroz sistem sočiva koji usmjerava mlaz paralelno sa optičkom osom. Zatvaračem otvora blende reguliše se količina svjetlosti za osvjetljenje kako bi se postigla optimalna oštrina i kontrast slike. Objektiv se sastoji od sistema sočiva koji povećava sliku istražene površine od 5 do 100 puta. Zatim se ova slika može vidjeti golim okom i snimiti kamerom na računaru. U ovu svrhu korišćen je OM – Nikon EPIPHOT 300, (camera OLYMPUS DP 12).

Korišćenjem skenirajućeg elektronskog mikroskopa SEM (*scanning electron microscope*) visoke rezolucije, tipa FEI Sirion 400 NC, dobija se slika uz pravilno pomjeranje snopa elektrona po površini uzorka. Ovaj mikroskop je idealan za proučavanje strukture i uz dodatni energetska disperzivni spektrometar EDS Oxford INCA 350 je moguće odrediti hemijski sastav materijala na posmatranoj - odabranoj mikro površini predstavljenoj na

slikama kao spektrum. Spektrumi su označeni ljubičastom bojom i ta površina je analizirana a rezultati su dati tabelarno.



Slika 43. Analiza klipnog prstena Top ring G17 područja elemenata u nanosima Spectrum 1 i 2 kao i baznog materijala Spectrum 3 i 4

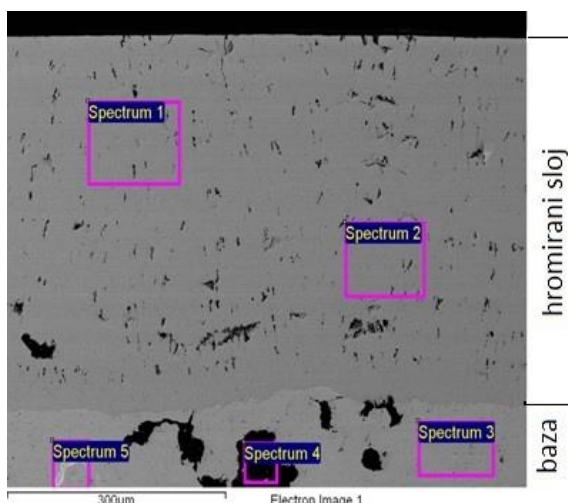
Na slici 43 su prikazana izabrana područja za hemijsku analizu vodeći računa da se izaberu svi vidljivi slojevi na oblozi prstena. Dobijeni rezultati su prikazani u tabeli br. 12, a pokazuju kako je baza prstena u osnovi od gvožđa (96,4 % i 68,2%) dok je naredni sloj molidben (96%), a posljednji sloj na prstenu u svom sastavu ima nikla (92,3%). Tako da možemo zaključiti da je ovo tkz. niklovani prsten.

Tabela 12. Procentualni hemijski sastav obloge Top ring G17

Spectrum	In stats.	C	O	Si	Fe	Ni	Mo	Total
Spectrum 1	Yes	5.73	1.93			92.33		100.00
Spectrum 2	Yes		3.94				96.06	100.00
Spectrum 3	Yes	2.04		1.51	96.45			100.00
Spectrum 4	Yes	30.86		0.93	68.21			100.00

Slika 44 prikazuje uvećanu površinu kao i izabrana područja za hemijsku analizu prstena GGV. Dok iz tabele 13 možemo uočiti da postoji samo jedan hromirani sloj (96,4%

i 98,9%) kao obloga, a da je baza prstena i u ovom prstenu od gvožđa (96,4 i 81,2%). I zbog toga ovaj prsten može zvati hromirani.

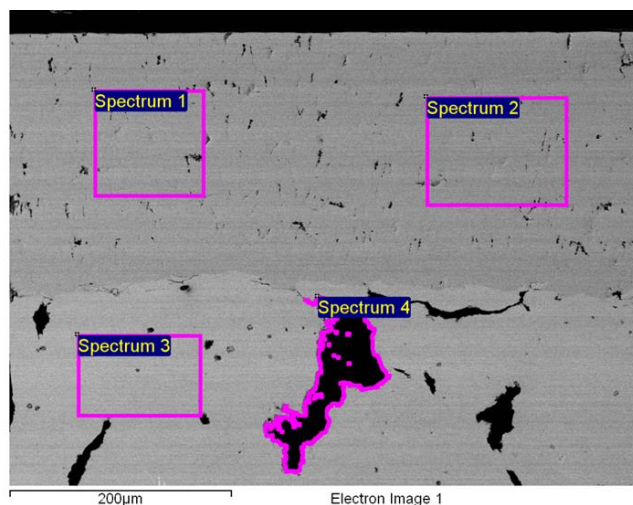


Slika 44. Analiza klipnog prstena Top ring GGIV, područja elemenata u nanosu Spectrum 1 i 2 kao i baznog materijala Spectrum 3,4 i 5

Tabela 13. Procentualni hemijski sastav obloge Top ring GGIV

Spectrum	In stats.	C	O	Si	P	Cr	Fe	Mo	Total
Spectrum 1	Yes	1.67	1.95			96.38			100.00
Spectrum 2	Yes	1.12				98.88			100.00
Spectrum 3	Yes	1.87		1.71			96.42		100.00
Spectrum 4	Yes	82.24	8.74				9.02		100.00
Spectrum 5	Yes	3.72		1.49	1.12		81.22	12.46	100.00

Slika 45 prikazuje uvećanu površinu prstena GGIII iz koje se može primijetiti sličnost sa prstenom GGIV. Razlog leži u tome da i ovaj prsten u svom nanosu ima veliki procenat hroma, što je vidljivo iz tabele 14 (97,14% i 97,51%) a da je baza i ovog prstena od gvožđa (95,56 %).



Slika 45. Analiza klipnog prstena Top ring GGIII, područja elemenata u nanosu Spectrum 1 i 2 kao i baznog materijala Spectrum 3

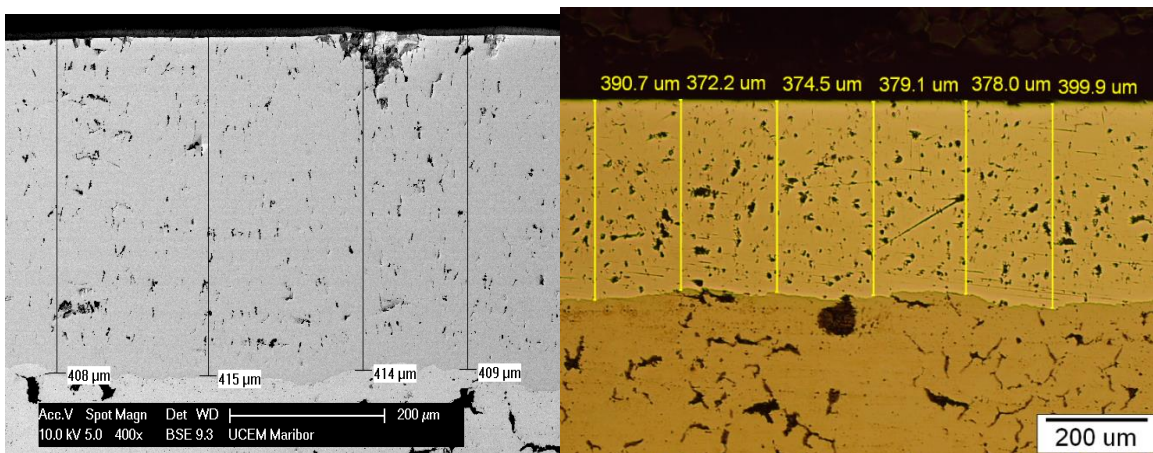
Tabela 14. Procentualni hemijski sastav obloge Top ring GGIII

Spectrum	In stats.	C	O	Si	Cr	Fe	Total
Spectrum 1	Yes	0.77	2.09		97.14		100.00
Spectrum 2	Yes	0.37	2.12		97.51		100.00
Spectrum 3	Yes	2.06		1.37		96.56	100.00
Spectrum 4	Yes	82.15	4.30			13.56	100.00

Potrebno je napomenuti da je za svaki prsten obavljeno više mjerenja sa različitim pozicija i da je u svim nalazima izmjerena visoka koncentracija elemenata prikazanih u tabelama. Stoga nije bilo potrebe da se sva mjerenja prikažu u ovom radu.

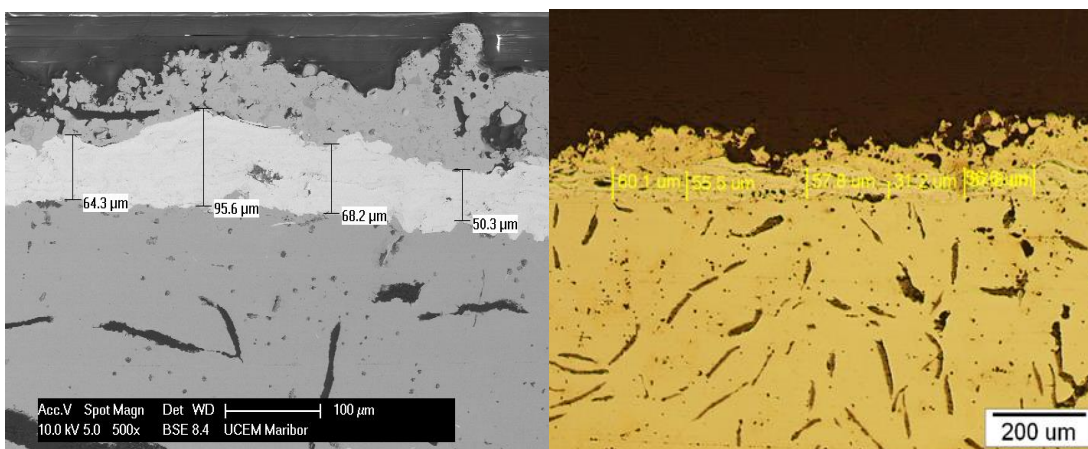
6.3.2. Analiza debljine nanosa klipnih prstenova

U ovom slučaju predmet analize su nanosi tj. slojevi na analiziranim klipnim prstenovima GGIV ,G17 i GGIII. Kada je u pitanju premaz *Top ringa* GGIV, može se vidjeti da kod ovog prstena postoji veći sloj hrom premaza i to od 370 do 399,9 µm dok uz pomoć mikroskopa on iznosi na pojedinim mjestima i 415 a u mikrostrukтури osnovnog - baznog materijala se vide prosti grafiti slika 46.

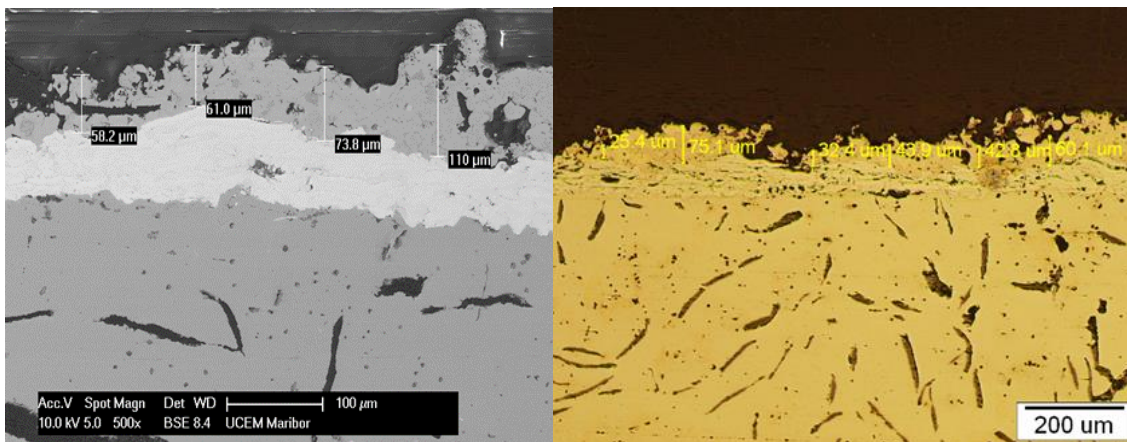


Slika 46. Debljine sloja premaza kod *Top ring* GGV uz pomoć elektronskog mikroskopa (SEM)

Za razliku od GGV prstena, kod *Top ring* G17 imamo sasvim drugačiju strukturu u slojevima premaza. Tako možemo uočiti na slikama 47 i 48 dva različita sloja koji su maksimalne širine 95,6 μm i 110 μm. Uočljivo je da ovaj prsten ima oblogu ukupne širine od 205 μm (oba sloja). To ujedno predstavlja duplo manju vrijednost od sloja kod hromiranog prstena. Kako je analizirani uzorak na pojedinim mjestima, istrošen pokušalo se naći najbolje mjesto kako bi se što bolje izmjerila debljina premaza.

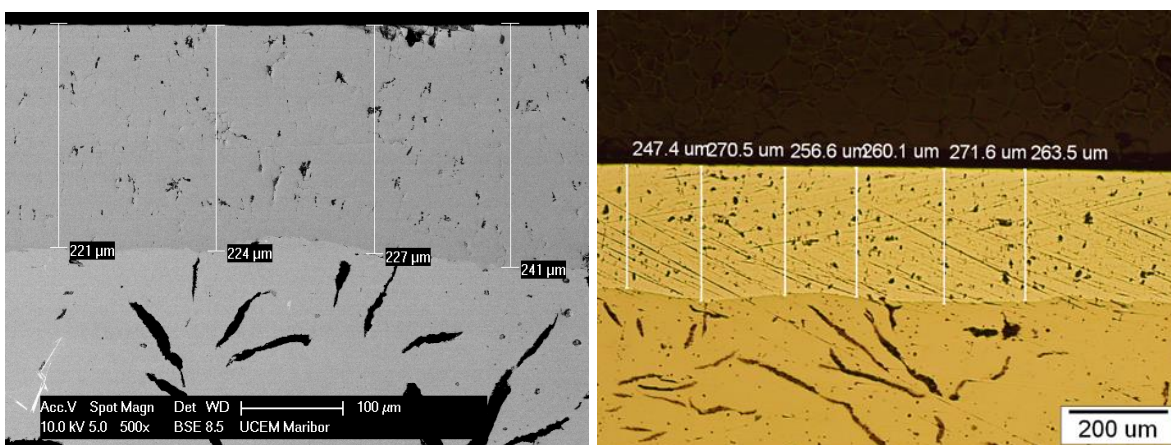


Slika 47. Debljina nanosa donjeg sloja prstena G17



Slika 48. Debljina nanosa u gornjem sloju prstena G17

Kada govorimo o premazu klipnog prstena GGIII koji se nalazi na drugoj poziciji na klipu, može se vidjeti da kod njega postoji veći sloj hrom premaza i to od preko 220 μm a na pojedinim mjestima on dostiže i 270 μm i strukturu osnovnog metala kao kod prethodnog analiziranog prstena (lamelarna struktura) slika 49.

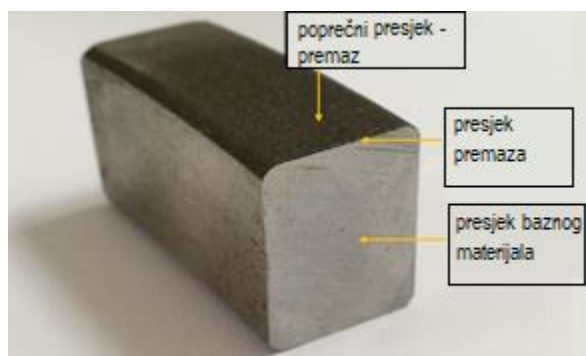


Slika 49. Debljina nanosa donjeg sloja prstena GGIII

Ono što se može zaključiti nakon ovih podataka da gornji prsten oznake GGIV ima najveći sloj premaza (koji je pri tome i hromiran), kao i prsten GGIII koji je za 150 μm tanji. G17 klipni prsten sa svoja dva sloja (nikl molidben) dostiže vrijednost od oko 205 μm što je najniža vrijednost od analiziranih prstenova.

6.3.3. Analiza mikro čvrstoće baze i obloge klipnih prstenova

Mjerenje mikro čvrstoće je rađeno na svim uzorcima klipnih prstenova uz pomoć testera Zwick 3212 po Vikersu (HV0.2). Kako uzorak *Top Ringa* G17 ima hrapave površine, mikro čvrstoća na “*transversal section of coating*” (slika 50) se nije mogla izmjeriti, kao što se može primjetiti u tabeli 15. Bilo je pokušaja i sa niskom snagom od HV 0.2 tj. 1.961 N kao i sa većom snagom od HV 5 tj. 49.03 N kako bi se otisnula piramida, ali se otisak nije mogao vidjeti ni na elektronskom mikroskopu zbog pomenute neravne, hrapave površine. Ukoliko bi se data površina polirala, sa njom bi se istrošio i premaz pa mjerenja ne bi bila zadovoljavajuća. Mjesta na kojima je mjerena mikročvrstoća su prikazana na slici 50.



Slika 50. Mjesta na kojima je mjerena mikro čvrstoća po Vikersu

Mjerenjem mikro čvrstoće utvrđeno je da klipni prsten *Top ring* G17 ima najveću prosječnu čvrstoću baznog materijala i da ona iznosi 306,5 (hv 0.2). Međutim, čvrstoća na nanosima „*cross section coating*“ iznosi 385,5 (hv 0.2). To dokazuje da je prsten u predjelu premaza samo malo čvršći u odnosu na čvrstoću baznog materijala.

Dok sa druge strane prsteni koji su hromirani GGV (217% veću čvrstoću u predjelu premaza i iznosi 838.17 (hv 0.2)) dok je još veća kod GGIII (i ona iznosi 899), što se može vidjeti u tabeli 15.

Tabela 15. Rezultati mikro čvrstoće ispitivanih klipnih prstenova

MIKROČVRSTOĆA HV 0,2								
Gornji prsten G17			Gornji prsten GGV			Drugi prsten GGIII		
	Poprečni presjek		površina	Poprečni presjek		površina	Poprečni presjek	
	premaz	bazni materijal	premaz	premaz	bazni materijal	premaz	premaz	bazni materijal
	337	353	909	802	418	937	883	278
	409	306	672	857	285	802	802	376
	401	325	557	825	274	825	909	312
	494	265	505	753	209	713	1006	260
	278	289	937	909	274	975	857	312
	394	301	753	883	206	883	937	274
Sr.vrijed.	385.5	306.5	722.17	838.17	277.67	855.83	899	302
Min.	278	265	505	753	206	713	802	260
Max.	494	353	937	909	418	975	1006	376
STDEV	72.86	30.21	178.31	56.77	76.97	95.68	69.89	41.95

Ovo je jako bitno kad su u pitanju abrazivna trošenja, jer obloga (*coating*) dolazi u dodir sa košuljicom cilindra, uljnim filmom i katalitičkim nečistoćama. Takođe, analizirani prsten GGIII ima veću mikro čvrstoću u površinskom predjelu, dok iz pomenutih razloga nije bilo moguće izmjeriti kod prstena G17. Sve ovo govori u prilog hromiranom premazu i znatnoj većoj mikro čvrstoći što nam je jako bitno kada katalitičke nečistoće dođu u dodir sa ovim prstenovima.

Zbog radnih procesa prilikom sagorijevanja i linijskog kretanja klipa (sa klipnim prstenovima) važno je uporediti i modul elastičnosti. Modul elastičnosti kod G17 klipnog prstena iznosi 110 - 140 kN/mm² [1], dok modul elastičnosti kod kompleksno legiranog hromom sivog liva prema DIN 1695 iznosi 154 - 196 kN/mm² [37]. I ovaj podatak ide u prilog hromiranim prstenovima i za očekivati je da kasnije dođe do pucanja - loma nego što će se desiti kod nikl molidben prstenova.

Treba dodati da se pokušalo na malim uzorcima odrediti približnija energija udara (KV) a podaci su dati u tabeli 16. Ispitivanje energije udara je izvršeno prema standardu EN

ISO 148 -1, na Šarpijevom klatnu, međutim pri snazi od KV 353/10 (J) svi uzorci su imali vrijednost 5.

Tabela 16. Mjerenje energije udara (KV) na uzorcima klipnih prstenova [47]

Oznaka uzorka	Temperatura ispitivanja °C	Energija udara KV 353/10 (J)
GGVSCP1CC16	sobna	5,0
G17SCP1RC16	sobna	5,0
GIII SCP2CC16	sobna	5,0

Iz analiza i mjerenja proizlazi, liveno gvožđe je isplativo kao osnovni materijal za motore velikog prečnika, jer je prikladan za obrađivanje, brušenje. Hrom keramički (CC) premaz nanesen na vrh baznog materijala klipnog prstena je izdržljiviji na abrazivno trošenje i ima dobro definisanu kontaktnu površinu. U analiziranom slučaju to su prstenovi oznake GGV (na gornjoj poziciji na klipu) i GG III (koji se nalazi ispod GGV prstena). Legure željeza koje imaju više od 2,0% ugljenika spadaju u tkz. livena gvožđa (što svakako ispunjavaju sva tri analizirana prstena). Njihova karakteristika je da imaju nisku plastičnost i relativno malu otpornost kada su u pitanju udari. Međutim ona se koriste zbog svojih dobrih osobina kao što su; livenje, širok raspon čvrstoće i tvrdoće, u većini slučajeva se lako obrađuju rezanjem, dostupnost i niska cijena. Da bi se popravila pojedina svojstva kao npr. otpornost prema habanju i koroziji, livena gvožđa se mogu dodatno legirati.

Livena gvožđa, prema načinu, sastavu i strukturi se dijele na više podjela. U analiziranom slučaju bazna osnova klipnog prstena GGV se označava kao vermikularno liveno gvožđe, gdje su grafiti izdvojen u tkz. crvastom obliku (vermiku - larnom). Klipni prsten na poziciji dva GGIII je urađen sa baznim materijalom tkz. lamelarnim grafitom dok im je premaz hromiran u oba slučaja. Ukoliko se pogledaju podaci u tabeli 15 sa analizom mikročvrstoće, može se primijetiti da drugi prsten na poziciju u cilindru ima čak veću mikrošvrstoću od prvog G 17 tj. nikl - molidbenog prstena.

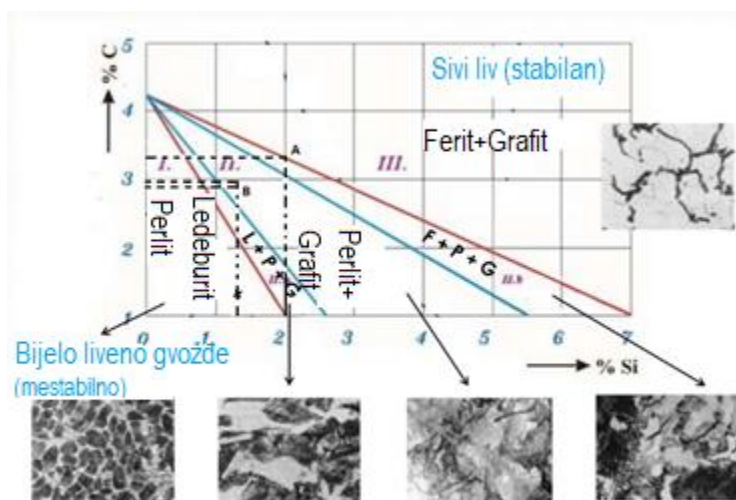
6.3.4. ASTM standardne metode ispitivanja za određivanje prosječne veličine zrna i SEM analiza

Ova ASTM metoda ispitivanja pokriva postupke za procjenu i pravila za izražavanje prosječne veličine zrna svih metala koji se u potpunosti ili uglavnom sastoje od jedne faze.

Dok uz pomoć mikroskopskog elektronskog skeniranja tkz. SEM i moćnog alata EBSD *Electron Backscatter Diffraction* možemo da vidimo kako je određeni sastav rasprostranjen po površini klipa.

U dokumentaciji koja je dostupna kroz manual motora se govori da je košuljica cilindra urađena od livenog gvožđa (*cast iron*) i specijalnog livenog gvožđa, dok za klipne prstenove nema ni uopšten sastav. Osim toga, prstenovi nemaju ni serijski broj kao ostali važni elementi motora (košuljica cilindra, rasprskivač, ventil itd.).

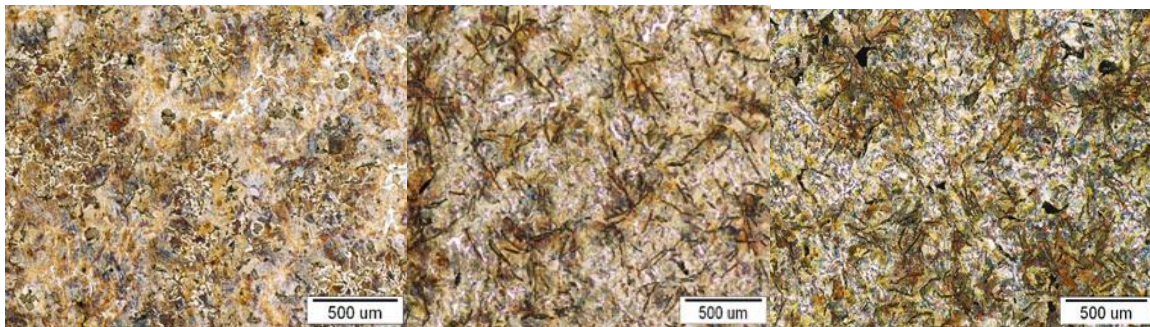
Po Maurerovom dijagramu CC gornji klipni prsten spada u feritno sivo liveno gvožđe (tačka A) na dijagramu dok klipni prstenovi RC i donji hromirani prsten CC zbog svog sastava spadaju u perlitno sivo liveno gvožđe (tačka B) na dijagramu slike 51 [46, 47]. U pozitivne osobine sivog liva se ubrajaju : relativno niska cijena proizvodnje, dobra livkost, imaju dobru mašinsku obradivost kao i otpornost na abraziju. Dobro prigušivanje oscilacija je omogućeno uz pomoć unutrašnjih grafitnih lamela kod sivog liva, što je jako bitno kod motora, a posjeduje i dobre klizne osobine jer grafit djeluje kao mazivo.



Slika 51. Maurerov dijagram sivog liva u zavisnosti od C i Si %

Iako je ferit mek i posjeduje relativno malu jačinu, sa druge strane je jako žilav i veoma duktilan. Iako je perlitno sivo liveno gvoždje (u koje spadaju RC i hromirani prsten na donjoj poziciji) najjače među navedenim vrstama sivih livova, to za bazu nije najbolje jer ona mora da bude žilava kako ne bi dolazilo do pucanja prstenova. Na slici 52 se može primijetiti kako izgleda struktura prstena tj. prikazane su mikrostrukture nakon poliranja kako

bi se eliminisale neravnine na površini. Metalografski rastvor za nagrizanje (kemijski postupak kojim se na površinu metala djeluje razrijeđenom kiselinom - jetkanje) koristi četvoroprocentni nital 5s koji se najčešće koristi za ugljenične čelike. Ova analiza je potrebna kako bi se ustanovila metalizirajuća struktura metala, zona fuzije i zone zahvaćene toplotom. Analiziraju se za karakteristike kao što su veličina zrna, sadržaj ugljenika i sadržaj ferita.



A) GGV

B)G17

C)GGIII

Slika 52. Mikrostrukture svih pretenova (chemical etched with 4% nital, 5S)

Iz datih analiza može se zaključiti da hromirani klipni prsten osim što ima veći modul elastičnosti (duži vijek trajanja, kasnije dolazi do loma) ima i veću mikročvrstoću na svojim oblogama. Sve ovo ga čini izdržljivijim od nikl-molibdenog klipnog prstena i pored neznatno veće čvrstoće baznog materijala. Hemijska analiza dostupnih prstenova je bila neophodna kako bi se utvrdio hemijski sastav i kako bi se nastavila analiza. Međutim i pored dokazanih kvaliteta koja ima hromirani prsten, prilikom dužeg abrazivnog uticaja katalitičkih nečistoća doćiće i do njegovog trošenja, tj. neće imati očekivano trošenje od 0.1 mm na 1000 radnih sati. U ovim situacijama klipni prstenovi neće moći izdržati predviđeni interval za remont (12-16.000 rh), a pogotovo neće izdržati očekivani servisni vijek trajanja (40-80.000 rh) [86] !

Stoga je neophodno da se razvije metodologija uklanjanja katalitičkih nečistoća kako bi klipni prstenovi, košuljice cilindra izdržali planirane intervale održavanja.

7. STRUKTURA SISTEMA ZA PREČIŠĆAVANJE GORIVA I PREVENTIVNE MJERE ZAŠTITE GLAVNOG MOTORA

Napomena: dio ovog poglavlja je razvijen iz autorovog rada „*Ways of reducing the content of catalytic fines in marine heavy fuel oil*“ [86]

Za prikazivanje sistema prečišćavanja goriva te elemenata koji se mogu ugraditi na glavnom motoru u cilju preventivnog održavanja, korišten je program MS Visio program-.

Brodskim kompanijama je neophodan pouzdan sistem kako bi izdržao period između obaveznog dokovanja (period od 5 god. iako manji broj kompanija se odluči na međudokovanje tj. svakih 2.5 god.). U radu je naveden veliki broj faktora koji utiču na pravilan rad motora a samim tim i na istrošenje klipnih prstenova i košuljice. Mnogo varijabli utiče na ovaj sistem da bi on bio pouzdan toliki period vremena. Stoga se uvidio prostor u modelovanju sistema i određivanju metodologije koji će dati jasniju sliku o preventivnom održavanju.

Naime treba spomenuti da danas postoje (ili su postojali) pojedini sistemi, uređaji koji bi pomogli preventivnom održavanju; međutim, treba voditi računa o ekonomskoj isplativosti ugradnje takvih sistema, koliko su pouzdani u brodskim uslovima rada, održavanje i servisiranje tih sistema itd. Njihovo gomilanje usložnjava rad jednog broskog oficira.

Stoga je pristupljeno razumnom sistemu koji će opravdati ulaganja i neće previše uticati na ekonomiju jednog preduzeća, a pravilnom primjenom će se sigurno izbjeći abnormalno trošenje.

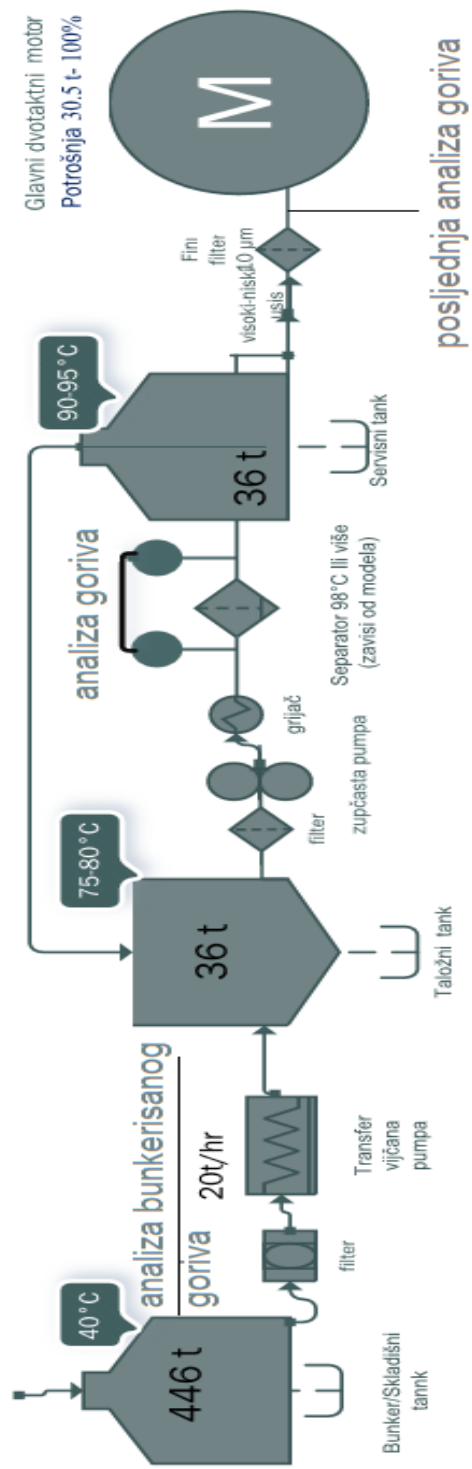
7.1. BLOK ŠEMA SISTEMA ZA PREČIŠĆAVANJE GORIVA NA BRODU

Sistem broskog goriva ima zadatak da pripremi, osigura dovoljnu količinu goriva (odgovarajućih svojstava) za rad broskog motora, kao i za ostale uređaje koji koriste ovako pripremljeno gorivo. Kada se govori o ovom sistemu, neophodno je spomenuti i sistem za ukrcaj i transferisanje goriva, sistem za skladištenje goriva, sistem za prečišćivanja goriva te sistem dobave i ubrizgavanja goriva. Kao najznačajni sistem u pripremi goriva je svakako sistem za prečišćavanje. Prečišćavanje je moguće osigurati uz pomoć gravitacije (taloženjem), filtriranjem te uz pomoć separacije goriva. Međutim sami sistem ima neke

specifičnosti kojima treba posvetiti posebnu pažnju. Svakako najbitniji element u prečišćavanju goriva je separator(i). Praksa je pokazala da se rijetko kad koriste oba separatora, a time se i smanjuje mogućnost boljeg separiranja goriva. U ovom dijelu će se obraditi procedura od trenutka ukrcaja pogonskog goriva u bunker tankove, pa sve do samog glavnog motora (slika 53).

U ovom sistemu gorivo se ukrcaje u skladišnom tanku kapaciteta 446 t i održava na temperaturi do 40°C. Zatim se uz pomoć transfer pumpe (kapaciteta 20 t/h) gorivo transferiše do taložnog tanka u kome može stati 36 t, a temperatura goriva se održava na 75-80°C. Ukoliko dolazi do većeg preliivanja goriva iz servisnog tanka u taložni, dodatno grijanje ovog tanka često nije potrebno jer se već ugrijano gorivo (koje je prošlo separator) preliiva iz servisnog tanka. Gorivo iz taložnog tanka uz pomoć napojne pumpe separatora, potiskuje ugrijano gorivo na 98°C (temperatura predviđena proizvođačem) do separatora. Prečišćeno gorivo odlazi do servisnog tanka, iz kojeg gorivo preko niskog (ili visokog usisa) prolazi do finog filtera od 10 µm do motora. Na slici 56 su prikazana i mjesta uzorkovanja tj. mjesta na kojima bi se trebala raditi analiza goriva, kako bi se utvrdio kvalitet prečišćavanja tj. efikasnost sistema. Posljednje mjesto provjere prečišćenosti goriva je svakako pred samim glavnim motorem. Maksimalna potrošnja glavnog motora u ovom sistemu je 30.5 t/danu, te je uzimana kao referentna potrošnja u daljim analizama.

Do sada se na brodovima uglavnom i jedino koristila analiza bunkerisanog goriva od strane licencirane laboratorije te u zavisnosti od njihovog izvještaja i razumijevanja izvještaja eventualno preventivno reagovalo. Problem manjka provjerenog goriva i moranje korišćenje novog goriva (tokom čekanja izvještaja o novom bunkerisanom gorivu), uticalo je na upravitelje mašine da koriste gorivo nepoznatog sadržaja.



Slika 53. Blok šema prečišćavanja goriva i analiza količine katalitičkih nečistoća u gorivu uvećati

Redovna drenaža skladišnih, taložnih i servisnih tankova je ostavljena po nahođenju dežurnog oficira ili mazača u plovidbenoj straži. U ovom radu će se dokazi važnost redovnog dreniranja kao vid eliminacije katalitičkih nečistoća iz goriva.

Na gotovo svim analiziranim brodovima punjenje taložnog tanka se zasniva na svjesnosti dežurnog oficira koji je zadužen da osigura dovoljnu količinu goriva u ovom tanku. Tako je moguće da u toku dana, nakon sviranja alarma niskog nivoa goriva, dežurni oficir dopuni ovaj taložni tank sa nekoliko tona novog goriva. Analizom iz AMOS⁵ baze podataka je dokazano da se transfer pumpa rijetko otkazuje, te da bi bilo bolje da se u više navrata dopuni taložni tank kako velika količina nečistoća ne bi odjednom došla u tank. Na ovakav način bi se izbjeglo opterećenje samog separatora sa ovim nečistoćama.

Posebna pažnja u ovom modelu je posvećena samom separatoru. Ovaj uređaj se na brodovima, kad radi (bez alarma), gotovo ne podešava, iako se vremenom promijene parametri. Vremenom se radi sa gorivom drugačijeg kvaliteta, a pogotovo se ne obraća dovoljna pažnja na adekvatno podešavanje protoka (količine goriva koje treba da se prečisti u toku jednog sata) u odnosu na samu potrošnju. U ovom radu ovaj segment je posebno analiziran kako bi se dobilo optimalno opterećenje separatora u zavisnosti od dnevne potrošnje goriva. Treba napomenuti da brod ima različitu potrošnju tokom plovidbe od potrošnje kada je na sidru ili vezu. Generalno je mišljenje oficira mašine da nema uticaja na separator ako je isti opterećen većom količinom goriva koju treba da prečisti u odnosu na potrošnju jer će se razlika svakako vratiti prelivanjem u taložni tank nakon “prečišćavanja”. Ovdje se svakako podrazumijeva da prelivna cijev počinje na najnižju tačku dnevnog tanka, te da će se kada dođe do prelivanja nečistoće akumulirane na dnu tanka potisnuti i prelići u taložni tank. Na ovakav način bi se omogućilo separatoru da pokuša da još jednom ukloni sitne nečistoće. Da bi se dobila jasnija slika kvaliteta prečišćavanja u ovom segmentu urađena je matematička simulacija, kao i neophodna podešavanja u sistemu prečišćavanja kako bi separator radio ispravno bez alarmiranja.

⁵ AMOS Maintenance je vodeći svjetski sistem upravljanja održavanja za pomorsku industriju, koji se svakodnevno koristi na hiljadama brodova. Softver je posebno dizajniran da udovolji zahtevima vlasnika brodova i menadžerima čiji je cilj poboljšanje operativnih performansi i profitabilnosti.

Takođe nije postojala (nije se koristila) metoda analize efikasnog rada separatora goriva, te rad očišćenog separatora i rad nakon nekoliko hiljada sati se smatrao efikasnim u otklanjanju katalitičkih nečistoća. Zbog pouzdanosti sistema smatra se opravdanim ugradnja kontinuiranog sistema za praćenje količine nečistoća uz pomoć kojeg se može pratiti efikasnost separatora i same filtracije goriva. Ostavlja se mogućnost kompaniji da analizu rade sami inženjeri na brodu ukoliko imaju portabilnu laboratoriju ili pak da se pripremljeni uzorci češće šalju ovlašćenim laboratorijama kako bi se pratila sama efikasnost prečišćavanja goriva.

Kao još jedan od načina na koji se mogu efikasno eliminisati katalitičke nečistoće iz goriva je upotreba separatora novijeg tipa *GEA Westfalia CatFineMaster* (koji nije mogao biti testiran u praksi), ali priloženi sertifikat DNV klasifikacionog društva dokazuje potrebni kvalitet odvajanja ovih nečistoća.

Kao jedina neophodna modifikacija smatra se ugradnja višeg usisa iz dnevnog tanka goriva. Jednostavna prepravka bi omogućila brodskim inženjerima da u slučaju povećane nečistoće izaberu viši usis. Na ovakav način ove sitne nečistoće opasne po sami motor bi imale vremena da se talože na dnu tanka, a motor bi nesmetano radio. Velika pažnja treba da se posveti redovnom odlasku u brodogradilištu kada bi se ovi tankovi detaljno očistili da bi se sigurno eliminisale akumulirane nečistoće u tankovima.

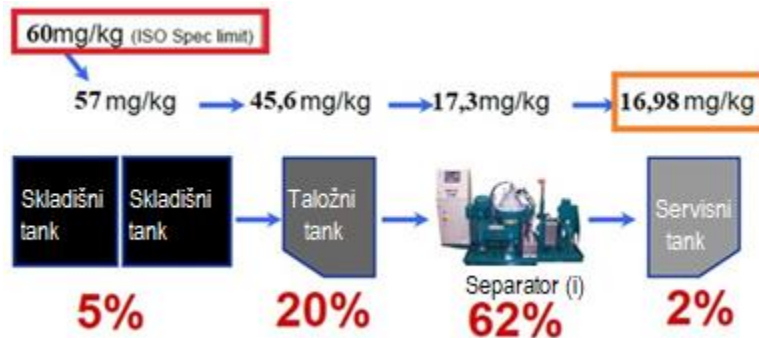
Posljednji vid preventivne zaštite predstavlja ugradnja finih 10 μ m filtera pred ulazak u sami motor. Treba pojasniti da zbog velike potrebne količine goriva za sagorijevanje, posada u mašinskom postrojenju zna da otvori tkz. *by - pass* ventil što definitivno nije dobra praksa sa gledišta kvalitetnog prečišćavanja goriva. Takođe, uz pomoć objavljenih stručnih radova, dokazana je djelimična apsolutna efikasnost samih filtera, te na primjeru iz prakse opravdana je upotreba uređaja za ultra sonično pranje filtera.

7.2. RAZRADA SISTEMA PREČIŠĆAVANJA GORIVA NA BRODU

7.2.1. Efikasnost separacije goriva na brodu

Da bi se uočila važnost pravilnog dreniranja neophodno je vidjeti sliku 54 na kojoj se može vidjeti da se ukupno čak 27% nečistoća može ukloniti (iz svih tankova) na ovaj način

što nije zanemarljivo. Naravno, najvažnija uloga u ovom lancu separacije čini separator o čemu će biti posebno govora u ovom radu.



Slika 54. Procentualno prečišćavanje goriva u procesu tretmana goriva na brodu [49]

Kada se pogleda slika 54 može se uočiti da, ukoliko se na brod ukrcava gorivo sa maksimalnom dozvoljenom količinom katalitičkih nečistoća, uz ispravnu drenažu iz tankova i efikasnost rada separatora od preko 60%, neće se dovoljno prečistiti gorivo za upotrebu. Međutim ova slika nam govori da redovno dreniranje, sem što ukloni akumuliranu vodu u tankovima, pomaže da se eliminišu i nataložene nečistoće u gorivu. Kvalitetno odvajanje vode i nečistoća je izvodljivo tim prije što se tankovi griju kako bi se poboljšala separacija unutar tankova.

Ukoliko brod posjeduje uređaje za analizu goriva, onda je od vitalnog značaja da se radi analiza goriva nakon dreniranja iz bunker tanka, zatim nakon taloženja i dreniranja u taložnom tanku, prije i nakon separatora (koji je pravilno održavan) te neposredno prije ulaska u glavni motor. Ova problematika je objašnjena u poglavlju 3.1.10. iz koje se može zaključiti da drugi separator u određenoj mjeri poboljšava proces separacije, ali se isto tako uvidio problem onečišćenja linije od servisnog tanka do samog motora (te se i ovaj dio sistema mora uzet u obzir za čišćenje, što u praksi se nije radilo).

7.2.2. Rad transfer pumpe u svrhu bolje separacije goriva

Princip dopune goriva iz skladišnih tankova se odvija tako što dežurni oficir dnevno daljinski upali transfer pumpu kojoj su uvijek otvoreni ventili od tankova i ventili do taložnog tanka, sem ako se radi neko održavanje. Stoga može se reći da se dopuna tanka obavlja

najčešće ujutro i tokom večernje kontrole mašinskog postrojenja. Ovaj sistem se praktično pokazao dobar jer se u toku 24h dopuni manja količina goriva, te ne utiče previše na stanje u skladišnom tanku i ne remeti sam proces taloženja. Gorivo koje se u večernjim satima prebacivalo, do jutra (8 - 9h) ima dovoljno vremena za pravilno taloženje i tada je pravo vrijeme da se obavi drenaža vode i nataložene nečistoće. Zatim se pristupa novom dopunjavanju tankova te se pri kraju radnog vremena ponovo dreniraju tankovi nakon taloženja od (8 - 9h). Ako se desi da zbog nevremena dođe do miješanja nečistoća koje su se nataložile u skladišni ili taložni tank, a dnevno bude samo jedno nadopunjavanje tankova, može se desiti da velika količina nečistoća odjednom dođe do samog separatora. Na ovakav način se povećava opasnost i stvara se mogućnost da separator ne stigne dovoljno dobro prečistiti veliku količinu nečistoća u gorivu. Stoga se smatra da je bolje češće i u manjim količinama dopunjavati taložni tank a to nikako neće uticati na rad transfer pumpe, koja po Amos bazi podataka rijetko otkazuje (tabela 17).

Tabela 17. Neplanirani otkazi na transfer pumpi tokom eksploatacije [48]

	Prosjek radnih sati HFO pumpe dnevno	Izgrađen	Neplanirani otkazi
Brod 1	0.59	1998	2008god. Zamjena električnog motora (pronađena krpa u cijevima!) 2011god. Zamjena mehaničke brtve zbog curenja.
Brod 2	0.82	2001	n/a
Brod 3	0.93	2010	n/a
Brod 4	0.57	2010	Jun 2017 – Zamijenjeni ležajevi električnog motora 22 mjeseca nakon regularnog intervala zamjene
Brod 5	0.67	2012	n/a
Brod 6	n/a	2001	n/a

Bitno je uraditi sledeće stvari kako bi motor imao što manju mogućnost oštećenja zbog katalitičkih nečistoća; Očistiti po mogućnosti prihvatne bunker tankove i isprati bunker liniju, prije samog bunkerisanja dodati po potrebi hemikalije koje će pospješiti proces separacije i filtracije goriva, uzeti pravilno uzorak bunker goriva (kako bi se dobila prava slika o nečistoćama u gorivu), uzorak čim prije poslati na analizu u nekoj od svjetski priznatih laboratorija i sačekati izvještaj, po mogućnosti tek nakon dobijanja izvještaja i dobrog

kvaliteta goriva početi sa pripremom i upotrebom istog, ukoliko je u mogućnosti uraditi samostalno provjeru i analizu goriva na samom brodu, pravilno zagrijavanje goriva radi kvalitetne separacije, redovno drenirati tankove goriva te koristiti savremena fine automatske filtere.

7.2.3. Podešavanje rada separatora u cilju bolje efikasnosti

Ispravnost rada separatora tokom godina eksploatacije varira jer na isti utiče veliki broj faktora. Pod pretpostavkom da se redovno održavaju i da koriste originalne dijelove, ovdje je akcenat dat na praktične probleme i predlog njihovog rješavanja.

Na samoj blok šemi je prikazan uopšteni sistem tretmana goriva kod brodskih motora. O dizajnu tankova ovdje neće biti riječi jer bi to iziskivalo velika ulaganja jedne kompanije. Ukoliko grijači goriva u tankovima ispravno rade a brodska posada pravilno podešava temperaturu goriva, ni tu neće biti prostora za veliko poboljšanje i unaprjeđivanje sistema. U razmatranom sistemu (slika 53) kapacitet skladišnog tanka (*bunker tk.*) iznosi 446 t, dok su taložni i servisni tankovi kapaciteta od 36 t, a kapacitet transfer pumpe iznosi 20 t/h. Dnevna potrošnja goriva na 100% iznosi 30.5 t, na 75% 22.9 t dok na 50% ona je svega 15.25 t.

Treba napomenuti da zbog specifičnosti rada brodova dolazi do veće potrošnje na brodu (što uglavnom zavisi od rada dizel generatora i broskog kotla). To su ulazni podaci i na njih se ne može previše uticati. U ovom sistemu razmatrana su 3 najčešća slučaja opterećenja glavnog motora (tj. njegove potrošnje) u odnosu na opterećenje samog separatora. Ovdje se ostavlja mogućnost da se zasebno za svaki model može detaljnije izračunati sama dnevna potrošnja u zavisnosti od tipa motora. Za preciznija računanja bi trebalo uzeti slučajeve potrošnje goriva dizel generatora i kotla. Međutim, oni su usko vezani sa funkcionisanjem broda. Ako je motor 100% opterećen, a ima kotao ekonomaizer, on bi trebao da proizvede dovoljno pare koja je potrebna za dnevnu potrošnju. U tom slučaju kotao neće dodatno raditi, te njegova potrošnja će biti svedena na nulu. Ako nema potrebe za dodatnom električnom energijom, uglavnom radi jedan dizel generator. Ali, sami proces je specifičan jer pojedini brodovi imaju turbo generator ili osovinski *shaft* generator što u mnogome usložnjava sami model. Ipak, nakon posmatranja mjesečne potrošnje goriva koji je adekvatan za ovaj analizirani tankerski brod koji ima *Sulzer RTA58T* motor, srednja

potrošnja kotla u različitim situacijama je iznosila svega 2.8 t/dan goriva dok je potrošnja za generatore iznosila u prosjeku 2.43 t/dan što za ovaj model nema velikog uticaja.

Iz tabele 18 je vidljivo da skoro u svim slučajevima separator prečisti nečisto gorivo iz taložnog tanka dva puta ili mnogo više. Jedino u slučaju kad separator radi na 50% opterećenja, kada za 24h prečisti 46 t/dan goriva i kada glavni motor radi na 100% opterećenja, samo prelivanje iz servisnog u taložni tank biva 1.51 puta.

Tabela 18. Upoređenje potrošnje goriva glavnog motora na tankeru pri različitim slučajevima opterećenja motora i različitim opterećenjima rada separatora

<i>1.scenario 100% separator</i>	<i>100% Opterećenje motora</i>		<i>75% Opterećenje motora</i>		<i>50% Opterećenje motora</i>	
Potrošnja goriva glavnog motora (t/dan)	30.5		22.9		15.25	
Rad separatora 100% (4t/h x 24=96t/dan)	96-4t ispiranje=92		92		92	
	<i>(ispiranje separatora -4 t)</i>					
Prelivanje goriva iz taložnog tanka (t/dan)	92- 30.5=61.5	3,02 puta	92-	4.02 puta	92-	7.51 puta
			22.9=69.1		15.25=76.7	
<i>2.scenario 75% separator</i>						
Potrošnja goriva glavnog motora (t/dan)	30.5		22.9		15.25	
Rad separatora 75% (3t/h x 24=72t/dan)	72- 3t ispiranje=69		69		69	
	<i>(ispiranje separatora -3 t)</i>					
Prelivanje goriva iz taložnog tanka (t/dan)	69- 30.5=38.5	2,26 puta	69-	3.01 puta	69-	4.52 puta
			22.9=46.1		15.25=53.75	
<i>3.scenario 50% separator</i>						
Potrošnja goriva glavnog motora (t/dan)	30.5		22.9		15.25	
Rad separatora 50% (2t/h x 24=48t/dan)	48-2t=46		46		46	
	<i>(ispiranje separatora -2 t)</i>					
Prelivanje goriva iz taložnog tanka (t/dan)	46- 30.5=15.5	1,51 puta	46-	2.01 puta	46-	3.02 puta
			22.9=23.1		15.25=30.75	

Napomena; dnevno je oduzet sat separatora koji se izgubi zbog procesa ispiranja. Uzeto je da se ispiranje obavlja svakih sat vremena i da ukupan proces traje 2.5min, što dovodi da dnevno ispiranje od 24 puta x 2.5min tj.60min, odnosno jedan sat se smanji rad separatora.

U analiziranom slučaju bi bilo poželjno da se separator još manje optereti jer će u tim slučajevima biti još bolje eliminisanje sitnih abrazivnih nečistoća.

U praksi se pokazalo da veći broj brodskih oficira gleda sa dozom „straha“ na često i fino podešavanja rada separatora, jer su svjesni specifičnosti uređaja i kompleksnosti. Jednom podešen separator ostavlja se da tako radi najčešće tokom x dana ili mjeseci, pa i duže. Kao najvažniji parametar koji bi trebalo da bude u podešavanju rada separatora je svakako količina goriva kojoj se dopušta da napuni separator *feed rate*. U daljem dijelu teksta će se detaljno objasniti da separatori koji imaju manju količinu goriva u svom bubnju mogu bolje prečistiti sitnije nečistoće nego kad je on prepunjen. Jako je bitno da se podešava protok i količina koju separator treba da prečisti na ukupnu brodsku potrošnju plus dodatnih 10% . Na ovakav način bi osigurali da uvijek ima više prečišćenog goriva nego što je sama potrošnja, pa i ako se desi neki trenutni otkaz biće dovoljno vremena da se otkloni ili da se startuje drugi separator.

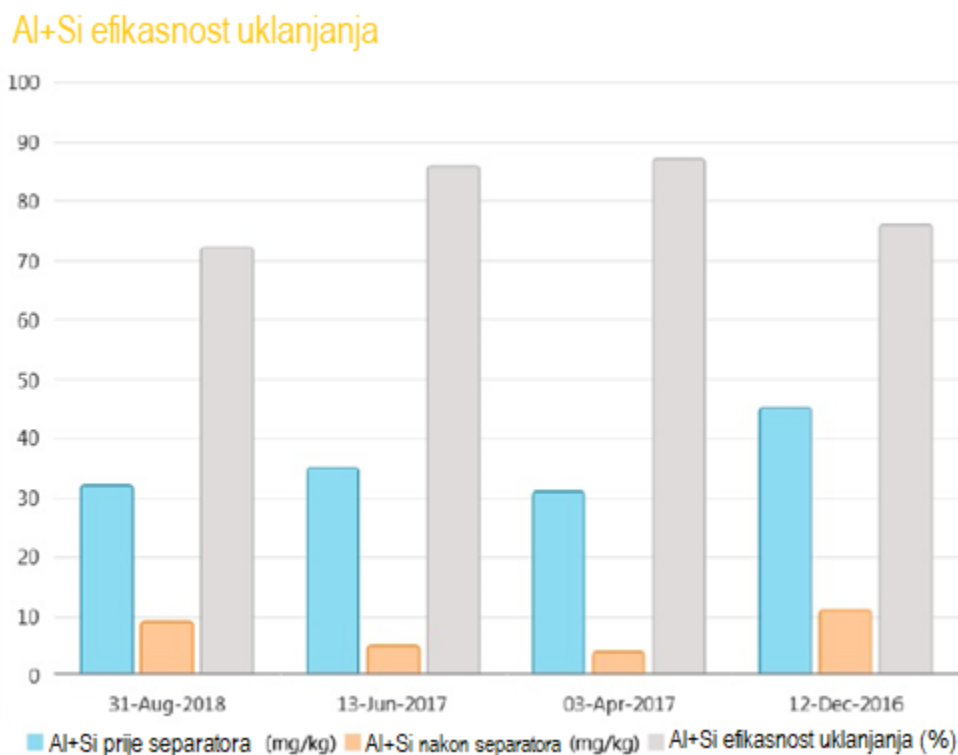
Efikasnost rada separatora je testirana na više brodova dok je eliminacija abrazivnih nečistoća male koncentracije testirana na tankeru kojeg pogoni *MAN B&W 6G50ME - C9.5* motor. Testirano gorivo oznake RMG380 je imalo sumpora 0.50%, viskozitet 380cSt@50°C i gustinu od 991.0 kg/m³ @15°C.

Tabela 19. Brodska provjera efikasnosti uklanjanja nečistoća i efikasnost rada separatora pri 50 i 87.5 % kapaciteta

Parametar	U bunker tanku	Prije separatora	Nakon separatora koji rade		Jedinica	Metoda
			Sa 50% kapaciteta	87.5% kapaciteta		
Al+Si	11	4	2	4	mg/kg	IP 501

Iz tabele 19 se može vidjeti da se količina katalitičkih nečistoća (Al+Si) može smanjiti sa 11 na čak 4 mg/kg uz pomoć drenaže i filtracije. Sa druge strane iako pri ulasku u separator ulazi mala količina ovih nečistoća (od svega 4 mg/kg), može se uočiti da je sa 50% kapaciteta separatora efikasnost duplo bolja nego pri 87.5%. Analiza je urađena od strane *Intertek Lintec* laboratorije za kvalitet goriva.

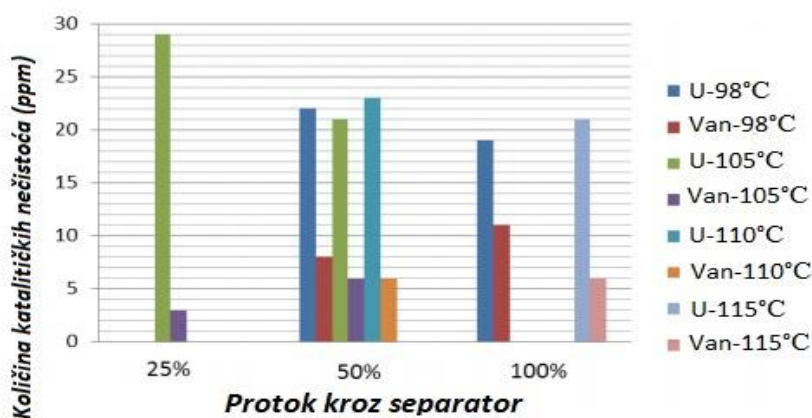
Važnost praćenja efikasnosti rada separatora može da se vidi i iz slike 55. Ova analiza je rađena za tankerski brod sa pogonskim motorom *Mitsubishi 7UEC85LSII*. Sa slike se vidi da je na ovom separatoru tokom četiri provjere efikasnost uklanjanja katalitičkih nečistoća bila uvijek preko 70%, a analiza je rađena u VPS laboratoriji (*Veritas Petroleum Services Group*).



Slika 55. Postotna efikasnost rada testiranog separatora eliminisanjem katalitičkih nečistoća

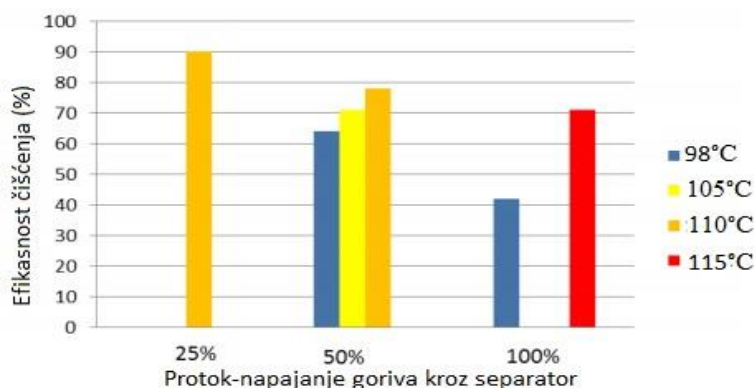
U prilog važnosti podešavanja rada separatora ide i analiza predstavljena na slici 56. Na slici se može vidjeti kakva je zavisnost temperature i količine nečistoća (*cat fines*) na ulasku/izlasku iz separatora. Na slici je prezentovano kako je najbolje očišćenje goriva kada

mala količina goriva 25% ulazi u separator i kada je povećana temperatura goriva na 105°C. Takođe se može primijetiti da je na 50% opterećenja separatora bolje čišćenje kada je gorivo ugrijano na 105 i 110 °C, nego kad se drži na 98°C ili niže (što je slučaj u većini slučajeva na brodu). Osim toga, kada separator radi na 100% tada bi trebalo povećati temperaturu goriva na 115°C da bi se zadržala ista efikasnost čišćenja kao pri temperaturama od 105 i 110°C što nije moguće sa konvencijalnim separatorima zbog specifikacije proizvođača i alarma visoke temperature goriva od 110°C.



Slika 56. Efikasnost prečišćavanja katalitičkih nečistoća u zavisnosti od protoka i temperature goriva [baza CatGuard]

Da bi se što bolje razumjela efikasnost rada separatora i njene zavisnosti od protoka kroz separator (napajanjem) potrebno je pogledati sliku 57 koja prikazuje efikasnost separatora u zavisnosti od različite ulazne temperature nečistog goriva.



Slika 57. Efikasnost čišćenja separatora u zavisnosti od protoka - napajanja na različitim ulaznim temperaturama nečistog goriva [31]

Iz slike je jasno da najveću efikasnost čišćenja ima separator koji radi pri malom protoku goriva tj. na 25% protoka (čak 90% efikasnost).

Iz svega navedenog jasno da količina goriva - protok kojim se napaja separator i temperatura nečistog goriva utiču na efikasnost separacije.

Sama veličina tankova goriva zavisi od specifičnosti broda, a osim toga mora da ispoštuje propise od strane SOLAS II -1 regulacija 26⁶.

Analizom uzoraka u tabeli 20, može se uočiti da kada separator radi na 50% opterećenja da u prosjeku (ne u svakom slučaju) može da bude 63,44% efikasan u eliminisanju abrazivnih nečistoća. Dok se posebno ističe mala efikasnost prečišćavanja kada separator radi sa 87.5% opterećenja!

U podacima koji su prikupljeni od *Lloyd's Registra* (analizirano preko dvanaest hiljada uzoraka u periodu od 2018 - 2021 god.) jasno su naznačene vrijednosti nečistoća prije i nakon separatora, te su ti podaci vezani za samo jedan separator. To znači da je provjerena efikasnost nešto preko šest hiljada i dvjesto uzoraka. U samoj analizi su eliminisani uzorci sa negativnim predznakom, odnosno nisu uzimane u obzir vrijednosti koje su bile veće nego ulazni podaci. Ovo se može objasniti na dva načina. Ili je postojala greška prilikom označavanja uzoraka ili su pak separatori bili toliko zaprljani da nisu odrađivali svoj posao.

Ipak, poređenjem analiziranih brodskih uzoraka tj. efikasnost separatora sa pomenutim podacima prikupljenim od Lloyd registra došlo se do veoma sličnih podataka. Naime, u tabeli 20, analizom različitih uzoraka (različitih kompanija i izvora podataka) se zaključilo da je prosječna efikasnost bila 63.44% (kada je separator radio sa 50% opterećenja) dok je analizom preko pet hiljada i petsto Lloyd uzoraka prosječna efikasnost separatora iznosila 63.91%.

⁶ SOLAS 2018 Consolidated Edition Part C - MACHINERY INSTALLATIONS, propisi od strane Solas konvencije vezano za mašinske instalacije i uređaje.

Tabela 20. Provjera separacije na brodu i efikasnost rada separatora pri 50 i 87.5 % kapaciteta

Analizirano na	Parametar	U bunker tanku	Efikasnost dreniranja(%)	Prije separatora	Nakon separatora koji rade sa kapacitetom		Efikasnost separatora %	
					50%	87.5%	50%	87.5%
Brod 1	Al+Si	11	64%	4	2	4	50%	0%
Brod 2a	Al+Si		8.5%	54	6		89.5%	
Brod 2 b	Al+Si		21.2%	41	12		70.7%	
Alfa Laval	Al+Si						64%	42%
DNV	Al+Si		25 %				62%	
Kashimasan (pros.4uzroka)	Al+Si						80%	
GEA	Al+Si			22-27	4	7	84%	72%
DNV 1 slučaj	Al+Si	56	8.9%	51			21.57%	
DNV 2 slučaj	Al+Si	64	43.75%	36			16.7%	
DNV 3 slučaj	Al+Si	102	14.7%	87			88.5%	
DNV MV A (prosjek 5 uzoraka)	Al+Si						48.22%	
Exxonmobile (Sa ¼ opterećenja)	Al+Si						70-80%	
CIMAC paper 51	Al+Si			22	19		63.6%	42.1%
Scorpio 1 Scorpio 2 Scorpio 2 a	Al+Si			15 28 25			66.7% 82.1% 75%	
Prosjek ;							74.6%	
Ukupni prosjek ;			26.6%				63.44%	39%

7.2.3.1. Podešavanje PID kontrolera prilikom maksimalnog smanjenja protoka nečistog goriva kroz separator

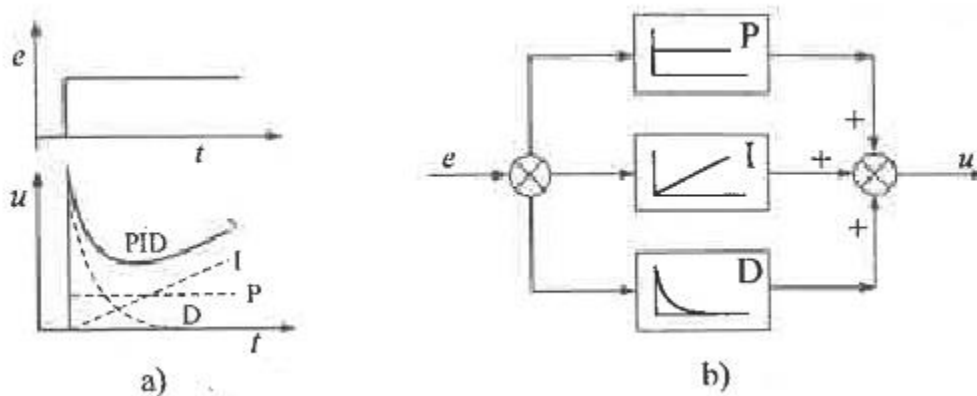
Iako smanjenje protoka u podešavanjima izgleda prilično jednostavno, treba voditi računa i o ostalim uređajima koji se nalaze u ovom sistemu. U prvom redu misli se na kontroler regulacije temperature goriva tkz. PID kontroler.

Upravljački panel na separatoru je postavljen tako da postavljeni tajmer određuje trenutak kada gorivo neće više ulaziti u separator nego će preko pneumatskog ventila (trosmjernog ventila) zaobilaziti separator.

Jedan dio već zagrijanog goriva odlazi nazad u taložni tank a dio prolazi nazad kroz parni zagrijač goriva. U tom trenutku vitalnu funkciju ima PID kontroler koji mora brzo reagovati i pritvoriti parni ventil kako se već ugrijano gorivo ne bi pregrijalo. Međutim, u praksi se kao čest slučaj pokazala neispravnost ventila za paru, pa iako kontroler odreaguje, sami ventil se ne zatvori potpuno tj. pušta. Ovaj neplanirani protok pare dodatno grije gorivo i dolazi do javljanja alarma visoke temperature. Problem je veći što je podešena količina manja, jer se gorivo koje cirkuliše prije pregrije.

PID regulator (slika 58) je posebno važan u automatskom upravljanju brodskim sistemima. Posebno mjesto među kontinuiranim regulatorima ima PID (proporcionalno – integracijsko - derivacijski) regulator. Njegov je značaj u vođenju spomenutog sistema izuzetno velik, i u analognoj primjeni je prošao cijeli niz verzija, od pneumatskog, preko relejnog do tranzistorskog i integrisanog. Danas se može naći i primjeniti PID regulator u digitalnom obliku koji se temelji na diskretnoj jednačini regulatora i to uglavnom na brodovima novije generacije. Ovaj regulator se može opisati preko osnovne jednačine:

$$u = K_p e + K_i \int e dt + K_d \frac{de}{dt} = K_p \left(e + \frac{1}{T_i} \int e dt + T_d \frac{de}{dt} \right) \quad (4)$$



Slika 58. PID regulator a) odziv b) realizacija pomoću tri paralelno vezana osnovna regulatora P,I,D [50]

Algoritam proračuna PID regulatora uključuje tri odvojena konstantna parametra, pa se u skladu s tim ponekad naziva i tročlana kontrola, označene s P, I i D. Zbir ove tri radnje koristi se za podešavanje procesa putem upravljačkog elementa kao što je položaj kontrolnog ventila (ventila pare uz pomoć kojeg se grije nečisto gorivo).

Generalno posmatrano PID regulator se smatra kontrolerom koji dobro reguliše zadate vrijednosti, te ga na brodu imamo u više sistema. Odgovor kontrolera može se opisati u smislu reakcije kontrolera na grešku, stepena u kojem kontroler prelazi zadanu vrijednost i stepena oscilacije sistema. Takođe je potrebno da se PID kontroler podesi kada se želi maksimalno smanjiti protok goriva za separator zbog boljeg separiranja. Na slici 59 se može vidjeti tip separatora sa podešenim alarmima temperatura kao i kontroler na kome su se vršila fina podešavanja. Ovaj model je testiran takođe na tankerskom brodu kojeg pogoni motor *MAN B&W 6G50ME -C9.5*.

Dobra osobina ovog kontrolera je da ima mod autopodešavanje, međutim posebno treba naglasiti da je zabranjeno automatsko podešavanje kontrolera u toku rada jer je moguće oštećenje. Tada se pribjegava ručnom podešavanju. Takođe treba istaći da iako digitalni kontroleri imaju pozitivne strane, kao što su jednostavnost podešavanja i spomenuti automode podešavanje, jedna od mana su i uslovi rada.



Slika 59. Prikaz tipa separatora, temperature alarma i izgleda PID podešavanog kontrolera

Naime, kako se ovaj kontroler nalazi neposredno blizu separatora u prostoriji separatora u kojoj je uvijek prilično toplo, visoka temperatura vremenom može uticati na sami ekran i oštetiti ga. Visoke temperature su uticale na ispravnost rada upravljačkih jedinica separatora pa treba obratiti pažnju na kvalitetno hlađenje ovih uređaja. Sa druge strane, prilikom održavanja i remonta separatora treba voditi dodatnu pažnju da se ne ošteti kontroler.

Na ovakav način se može podesiti da separator radi sa malim protokom goriva kroz njega, a da PID kontroler odreaguje onako kako treba tj. da ne pregrije gorivo i da ne dođe do alarma za visoku temperaturu goriva. Ovaj sistem je testiran na pomenutom tankerskom brodu a ispravnost rada ovog sistema se najbolje može vidjeti iz brodskih sedmičnih izvještaja (period prije i nakon podešavanja manje količine protoka na separatoru i podešavanja PID regulatora) [51].

7.2.3.2. Podešavanje protoka goriva za separiranje upotrebom kalibriranog metalnog otvora - „orifice“ (umetka) za regulisanje protoka nečistog goriva kroz separator

Ukoliko sami separator ne prečisti gorivo u velikoj mjeri, ni ostali elementi neće biti u mogućnosti da samostalno prečiste gorivo u potrebnoj mjeri. Danas većina savremenih separatora ima mogućnost fine regulacije protoka nečistog goriva kroz separator. U zavisnosti od kapaciteta napojne pumpe goriva za separator i od njegovog kapaciteta, zavisice i količina separiranog goriva. Sa druge strane, kapacitet pumpi se najčešće povezuje sa kapacitetom separatora, koji bi u svakom slučaju trebalo da bude veći od same dnevne potrošnje goriva na brodu (u raznim brodskim režimima). Smatra se da je dovoljno u normalnim okolnostima da radi samo jedan separator (koji može da opsluži dnevnu potrebu za gorivom).

Često se protok nečistog goriva kroz separator reguliše prigušivanjem ventila tzv. „back pressure“, ventila koji reguliše povratni pritisak (kao što se može vidjeti na slici 60). Uz pomoć simulacije na brodomašinskom simulatoru *ERS 5000 TechSim*, *MAN B&W 6S50MC-C Diesel Engine Product Tanker*, *MAN B&W 6S60MC-C Diesel Engine – Tanker LCC (Aframax)*, simuliran je proces separacije teškog goriva na dva različita tipa tankerskog broda. Ovi sistemi po veličini i tipu odgovaraju brodskom sistemu i brodu u eksploataciji sa kojim je vršeno upoređenje. Simulacija je rađena tako što se prigušivao ventil do maksimalne dozvoljene vrijednosti na simulatoru.



Slika 60. Kontrolni panel separatora goriva na kojem se može podešavati protok

Prigušivanje protoka je bilo moguće podešavati do 50%, odnosno do 35.4% kapaciteta samog separatora. Niže od ovih vrijednosti se nisu mogle simulirati, a podaci efikasnosti separacije su dati niže u tabeli 21.

Tabela 21. Efikasnost separacije nečistoća kod separatora na brodomašinskim simulatorima

Model simulatora	50 MC model	60 MC model
Opterećenje separatora	Protok (l/h) –efikasnost separatora (%)	
100%	2250 l/h -61%	3200 l/h -61.5%
75%	1687 l/h -71%	2400 l/h -68.3%
50%	1125 l/h -79%	1600 l/h -75.5%
35%	787 l/h - 85%	Nije moguće

Iz tabele 21 se vidi da na modelu 60MC nije bilo moguće smanjiti protok ispod 50%. Ipak u praksi, dodatno smanjenje količine protoka kroz separator je moguće ostvariti upotrebom kalibriranih metalnih umetaka (prikazani na slici 61). U ovom slučaju, treba napomenuti da se prilikom smanjivanja protoka na separatoru pravio pritisak na grijačima jer gorivo nije moglo proći kroz ventil koji je sa oprugom (slika 61).



Slika 61. Ventil sa oprugom i kalibrisani metalni umeci za smanjenje protoka nečistog goriva

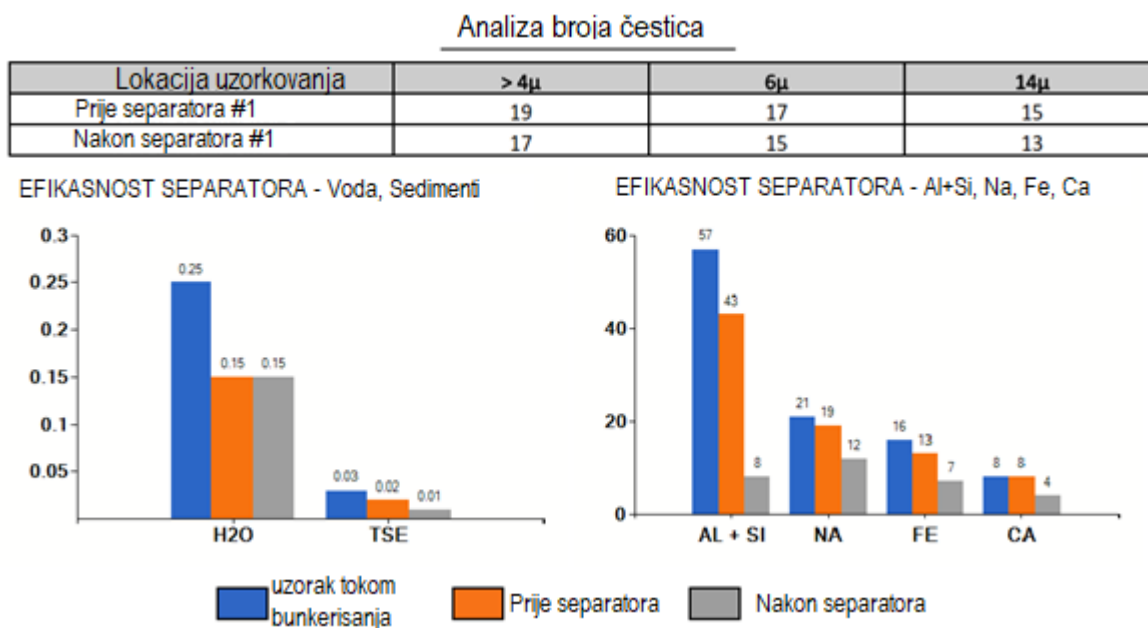
Ubacivanjem kalibrisanog umetka uspjelo se uticati na oprugu - pa je gorivo moglo normalno prolaziti nazad u tank goriva. Na ovakav način se uspjelo dostići željeni - odgovarajući protok. Kapacitet napojne pumpe je iznosio 3.200 l/h, a na opisani način, protok se uspio smanjiti čak na 1.100 l/h tj. na 35 % protoka (slika 62).



Slika 62. Prikaz podesivog, maksimalno smanjenog protoka kroz separator goriva upotrebom kalibrisanih umetaka

Da bi se potvrdila opravdanost za ove postupke, uzorak prečišćenog goriva je analiziran u *Viswa lab* laboratoriji. Efikasnost separacije goriva kada su u pitanju katalitičke

nečistoće (Al+Si) je bila visoka, čak 81%. Pored efikasne eliminacije nečistoća, vidljivo je i smanjenje najsitnijih nečistoća od 4 μ, 6 μ i 14 μ (slika 63).



Slika 63. Efikasno eliminisanje katalitičkih nečistoća uz pomoć smanjenja protoka goriva

Upotrebom metalnih kalibrisanih umetaka je moguće dodatno smanjiti protok goriva kroz separator a time i poboljšati eliminisanje katalitičkih nečistoća iz pogonskog goriva.

7.2.3.3. Novi standard za performansu separacije

Tradicionalno, izbor tipa separatora koji se instalira zasniva se na tablicama "maksimalno preporučenih kapaciteta". Zbog širokog spektra goriva i kontaminanata u pogledu hemijskog i fizičkog sastava, podaci o protoku ne mogu dati indicaciju o efikasnosti separatora u pogledu uklanjanja čvrstih čestica.

Evropski komitet za standardizaciju (CEN) sada je odredio industrijski standard za performanse separacije koji određuje efikasnost u datom protoku. Jedini način da bi se utvrdila efikasnost separacije od katalitičkih nečistoća je CFR (*Certified Flow Rate*) metoda koja se očekuje da uđe u ISO standard [52] a ranije pomenuti GEA separatori imaju tkz. "TYPE APPROVAL CERTIFICATE" izdat od strane DNV - GL [53].

Novi standard obezbjeđuje (CFR) za dati separator. CFR je definisan kao propusnost u litrima na sat, pri čemu se 85% od 5 µm vještačkih čestica (simulirane katalitičke nečistoće) uklanjanja iz sintetičkog ulja (simulirano gorivo visokog viskoziteta) u standardnim uslovima ispitivanja.

Do danas, CFR su priznali sledeća klasifikaciona društva: Det Norske Veritas, American Bureau of Shipping, China Ship Classification Society, Germanischer Lloyd, Lloyds Register of Shipping, Russian Maritime Register of Shipping [28].

7.2.3.4. *Pravilno održavanje separatora – CIP (“cleaning in place”) čišćenje bez otvaranje separatora*

Kao što je ranije ukazano, prilikom rada separatora goriva sa zaprljanim diskovima efikasnost separacije je manja, tako da treba posebnu pažnju posvetiti pravilnom održavanju. Iako se po servisnom manualu uglavnom predlaže da se diskovi i cijela unutrašnjost očisti svakih 6 meseci (što bi bilo nakon 4.320 radnih sati) pojedine kompanije smanjuju ovaj interval na 3000 radnih sati (što je nešto više od 4 meseca stalnog rada). Kako se za taj dugi period rada diskovi unutar separatora isprljaju, potrebno je da se obavi kvalitetno čišćenje. Najčešće se na brodovima radi standardno čišćenje uz pomoć dizel goriva. Međutim da bi diskovi bili dovoljno očišćeni, potrebno je da se koristi adekvatna hemikalije koja tretira diskove (*disc cleaner*) ili sami sistem CIP.

Ovaj sistem koriste firme *Alfa Laval* i *GEA Westfalia Separator*. Uz pomoć ovog sistema koji ne zahtijeva remontovanje separatora omogućava se bolji rad separatora i održavanje i štedi dragocjeno vrijeme posadi. Na ovaj način postiže se čistoća diskova koja je od suštinskog značaja za optimizaciju performansi i potencijalno izbjegavanje skupih problema za sami motor (kao što su prijevremeno trošenje).

CIP je potpuno automatizovani proces čišćenja, koji traje samo 2 - 3 sata u prosjeku (na 1000 radnih sati ili po planu održavanja). Princip rada sistema za automatsko čišćenje CIP-a podrazumijeva da se svo čišćenje obavlja u zatvorenom krugu.

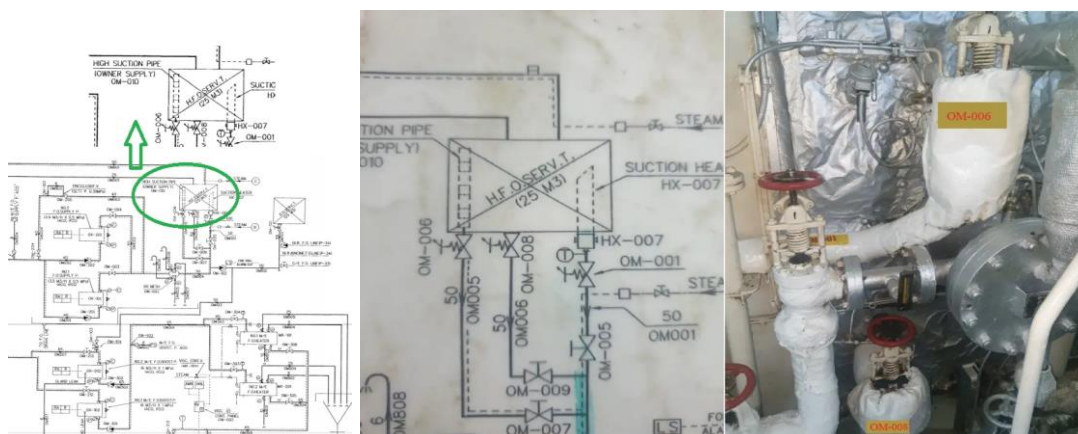
7.2.4. Upotreba niskog i visokog usisa na tankovima

Još jedna u nizu poboljšanja koje ne iziskuje veliko ulaganje je da taložni i servisni tankovi imaju mogućnost tkz. *Low and High suction*, tj. niski i visoki usis. Sa upotrebom

usisa različite visine omogućilo bi se da se u slučajevima miješanja goriva (najčešće zbog nestabilnog vremena na moru) ili povećane koncentracije nečistoća u gorivu, jednostavnom zamjenom usisnih ventila koristi čistije gorivo sa višeg nivoa u samom tanku. Poznato je da se ove nečistoće tokom vremena natalože na dnu tanka, stoga se korišćenjem goriva koje se nalazi na višoj poziciji omogućava upotreba čistijeg goriva.

Na slici 64 je prikazana jedna od mogućnosti upotrebe goriva na različitim visinama u servisnom tanku. Ovaj predlog se odnosi i na ugradnju kod taložnih tankova, čime se povećava sigurnost da same nečistoće ostanu na dnu tanka te da se tokom boravka u brodogradilištima prilikom servisa iste eliminišu kvalitetnim i detaljnim čišćenjem tankova.

Kao što se može vidjeti na slici, servisni tank za teško gorivo ima mogućnost da se gorivo koristi sa viših pozicija iz servisnog tanka. Uspješnost ovog sistema je testirana na tankeru koji pogoni motor *Sulzer 6RTA58 MC*.



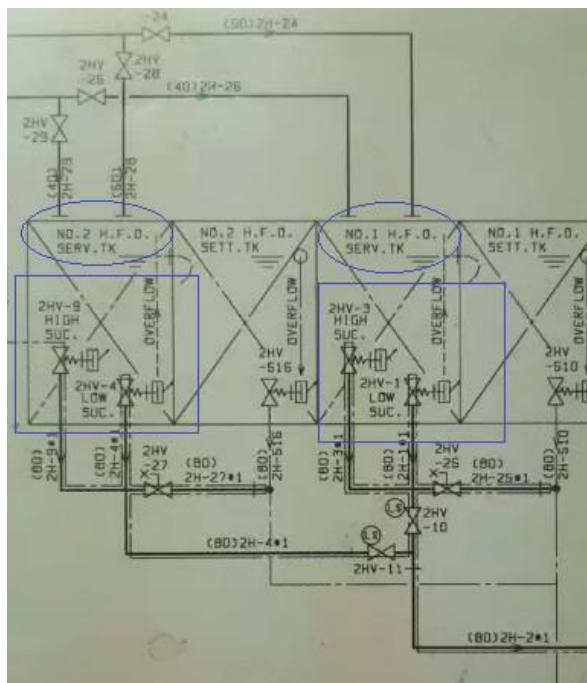
Slika 64. Servisni sistem goriva na tankerskom brodu kao i opcija sa tri nivoa usisa goriva

Ovaj sistem se koristio uvijek kada su rezultati analiziranog goriva pokazali veće prisustvo katalitičkih nečistoća, i tokom lošeg vremena. U toku praćenja rada ovog sistema, nije se pojavila problematika abrazivnih nečistoća. Ovdje treba napomenuti i preporuke koje su iskazane od strane *International Association of Classification Societies* [54] u kojem pored ostalih stoje i preporuke da sistem za prečišćavanje goriva mora da ukloni vodu, katalitičke nečistoće, sastojke pepela koji su vezani vodom (npr. natrijum) i čestice.

Treba napomenuti da veličina čestica značajno utiče od sposobnosti centrifugalnih separatora da smanje nivo sitnih veličina ovih nečistoća u gorivu. Čestice od 2 μm ili manje

je posebno teško ukloniti. Prisustvo čestica veličine od 2 μm ili manje mogu izazvati poteškoće u postizanju ograničenja od 10 ppm.

Uspješnost visokog usisa goriva je testirana i na tankerskom brodu sa motorom *Mitsui MAN B&W 7S60MC* (slika 65). Ovaj sistem ima jednu bitnu konstruktivnu prednost u odnosu na razmatrani model. Naime, u ovom sistemu goriva postoje po dva taložna i servisna tanka, a oba servisna tanka su opremljena sa visokim i niskim usisom goriva. Ovakav sistem omogućava da se u jednom tanku gorivo kvalitetno taloži dok se iz drugog tanka gorivo koristi za separaciju. Nakon dovoljno vremena, taloženjem se mogu odstraniti voda i abrazivne nečistoće. Osim toga, ovaj sistem ima još jednu prednost: to je samo čišćenje tankova. Uvijek se jedan tank može očistiti jer imamo dupli taložni i servisni tank tako da nema potrebe da se predugo čeka i da se bitan posao ostavlja za dokovanje. Ovaj sistem se pokazao kao jako dobar. Jedini problem može biti ukoliko se u jednom od tankova krca druga vrsta pogonskog goriva. U tom slučaju sami proces taloženja, odnosno prebacivanja iz jednog tanka na drugi, neće biti moguć, a čišćenje tankova se treba dobro planirati.



Slika 65. Prikaz duplih taložnih i servisnih tankova sa gornjim i donjim usisom iz tankova goriva

7.2.5. Upotreba i pravilni tretman finih filtera na brodu

Danas su proizvođači skoncentrisani na proizvodnju goriva sa što manjom količinom sumpora kako bi se koristila u područjima koja strogo kontrolišu emisije sumpora, te zbog globalnog pravila. Upotreba kvalitetnih i finih filtera goriva bi predstavljala posljednju u nizu mogućnosti preventivnog uticaja na moguća istrošenja u motoru. Da bi se izbjeglo taloženje naslaga i prolaz katalitičkih nečistoća do klipnih prstenova (žlijebova), košuljice cilindra i ostalih pokretnih djelova koji su u kontaktu sa gorivom, preporučuje se ugradnja deseto - mikronskog filtera da bi se minimalizovao broj najopasnijih katalitičkih nečistoća iz goriva. Katalitičke nečistoće variraju u veličinama između 1 i 75 μm . Smatra se da su čestice u rasponu između 10 i 25 μm veoma štetne po djelove motora, jer se mogu naći u zazorima između pokretnih djelova. Slika 66 prikazuje mikroskopski snimak mreže filtera goriva, sa dvije zarobljene katalitičke čestice u njemu [8].

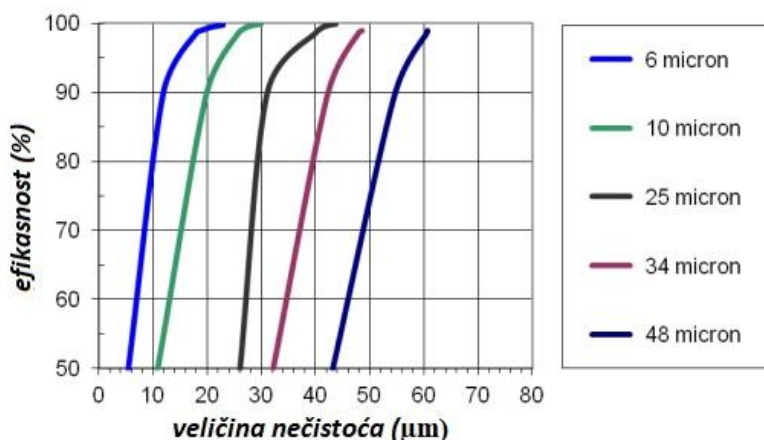


Slika 66. Mikroskopska slika katalitičkih nečistoća zarobljenih u mrežici filtera goriva

Efikasnost filtera na brodu je prilično teško odrediti. Filteri se testiraju prije isporuke i treba da prođu ASTM F795⁷ metodu. Kod ove metode najmanji razmak između tankih mrežastih žica naziva se „apsolutna veličina mreže“ jer je, prema metodi ispitivanja ASTM F795, mreža u stanju da izvadi gotovo 100% čestice te veličine. Čestice koje se koriste za ispitivanje su staklene kuglice u obliku kuglice koje ne djeluju na isti način kao i čestice koje postoje u stvarnim sistemima poput goriva. U metodama ispitivanja hidrauličkih sistema, kao

⁷ ASTM F795- Standardna metoda za određivanje performansi filtera

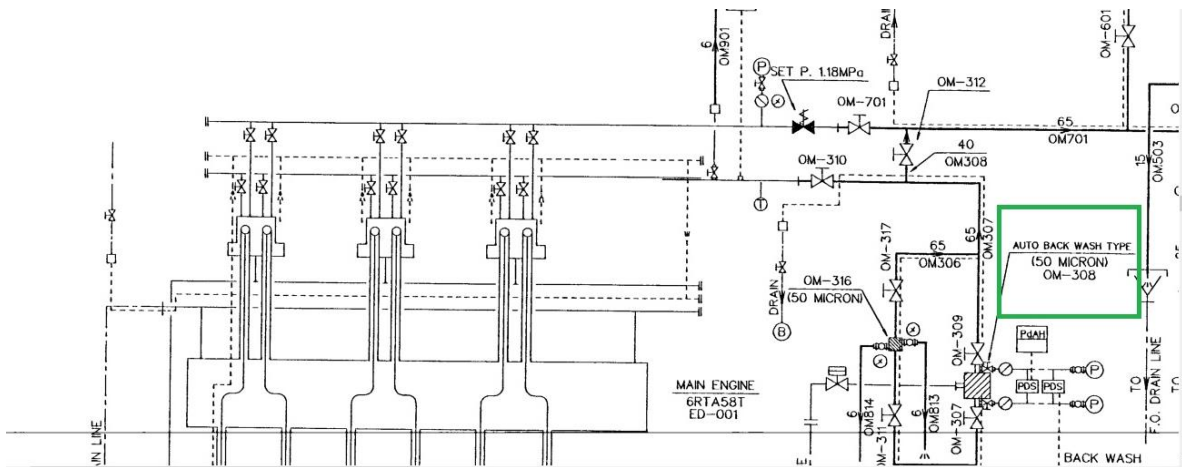
što je ISO 16889⁸, nalaze se i koriste čestice koje se sastoje od prašine pijeska. Otprilike 50% onih čestica prašine sa veličinom najmanjeg razmaka između žice se uklanjaju filterom, tj. jedna od dvije čestice i dalje bi prolazila kroz filter. Na slici 67 vidi se apsolutna mreža od 10 μm zadržava samo nekih 70% čestica veličine 15 μm i samo oko 50% čestica veličine 10 μm . Ova metoda ispitivanja pokazuje da se čestice do 30 μm mogu provući kroz "apsolutnu" mrežu od 10 μm . Dakle, najmanji razmak između žica sam po sebi nije kriterijum kvalitete filtracije, ali je barem pokazatelj o 50% efikasnosti mreže na filteru.



Slika 67. Efikasnost filtracije prema ISO 16889 od 6 do 48 μm , „apsolutnih“ mreža [34]

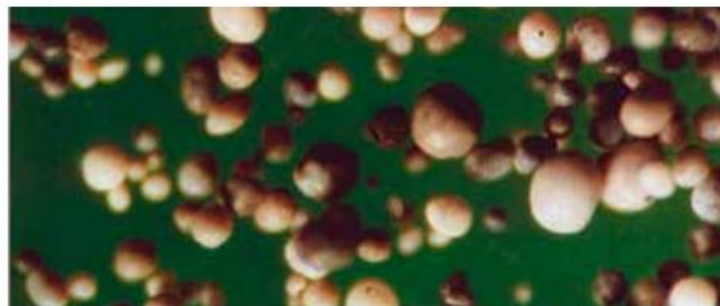
U konvencionalnim izvedbama motora, dijelovi sistema ubrizgavanja goriva bili su relativno neosjetljivi na sitne čestice. Gotovo sve čestice koje prolaze kroz centrifugalne separatore su manje od 10 μm . U normalnim radnim uslovima, čestice koje prolaze kroz sistem centrifugalnog čišćenja prije filtera su premale da bi ih zadržala apsolutna mrežica filtera od 48 ili 34 μm . Čak i filter od 25 μm sa apsolutnom mrežom ne stvara diferencijalni pritisak tokom vremena u normalnom radu, te neće dati signal zaprljanja.

⁸ISO 16889 - Standard za provjeru filtera – (višepropusna metoda za procenu performansi filtracije filterskog elementa)

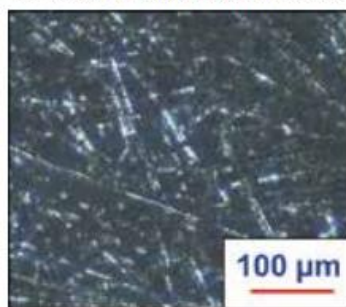


Slika 68. Veličine finih filtera od 50 μm koji su još u upotrebi (sistem goriva glavnog motora)

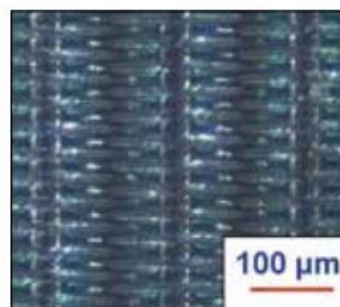
Tipično, filteri s takvom „grubom“ (slika 68) veličinom mrežice pokreću signal diferencijalnog pritiska samo kada sistem za čišćenje goriva izmiče kontroli, ili kada se promijene vanjski uslovi poput nekompatibilnih smjesa goriva ili tokom valjanja zbog uzburkanog mora. Na slici 69 su prikazane uvećane katalitičke nečistoće kao i izgled filtera sa različitom apsolutnom veličinom mrežice.



Oblik i veličine katalitičkih nečistoća



6 μm apsolutna veličina flisa filtera



10 μm apsolutna veličina mreže filtera

Slika 69. Izgled veličine katalitičkih nečistoća i uvećane apsolutne veličine mrežice filtera [55]

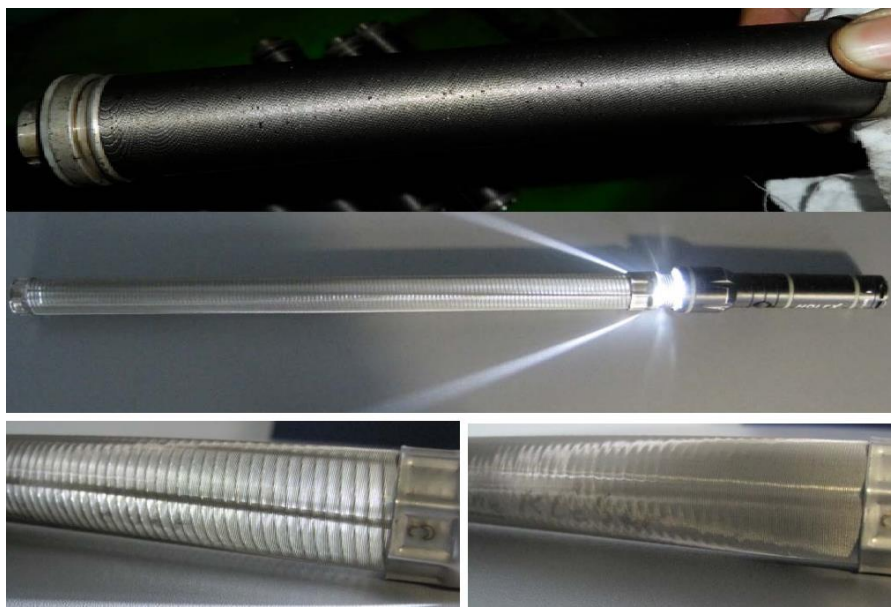
Treba imati na umu da, čak i ako površina filtera izgleda čista, još uvijek može biti blokirana interno. Ako se katalitičke nečistoće nalaze u gorivu, neophodan postupak eliminacije mora se odmah sprovesti. Međutim, kao što je u radu opisano, „odmah“ je skoro nemoguće. Posada će najčešće uočiti da postoje problemi sa gorivom tek kada se pojave anomalija, tj. problemi sa ventilima goriva, otkazi pumpi, neobično često začepljenja filtera i abnormalnog nakupljanja nečistoća u separatoru što je vidljivo na slici 70.



Slika 70. Akumulirane nečistoće na separatoru goriva i očišćeni djelovi separatora

Filtracija podrazumijeva da postoji mehanička pregrada koja se koristi i filtrirajući medij (gorivo). Čestice u gorivu koje su veće od mrežice ili veličine pore filtera će se fizički zadržati a sami filter će raditi sa konstantnom efikasnošću, tokom širokog raspona viskoziteta i temperature.

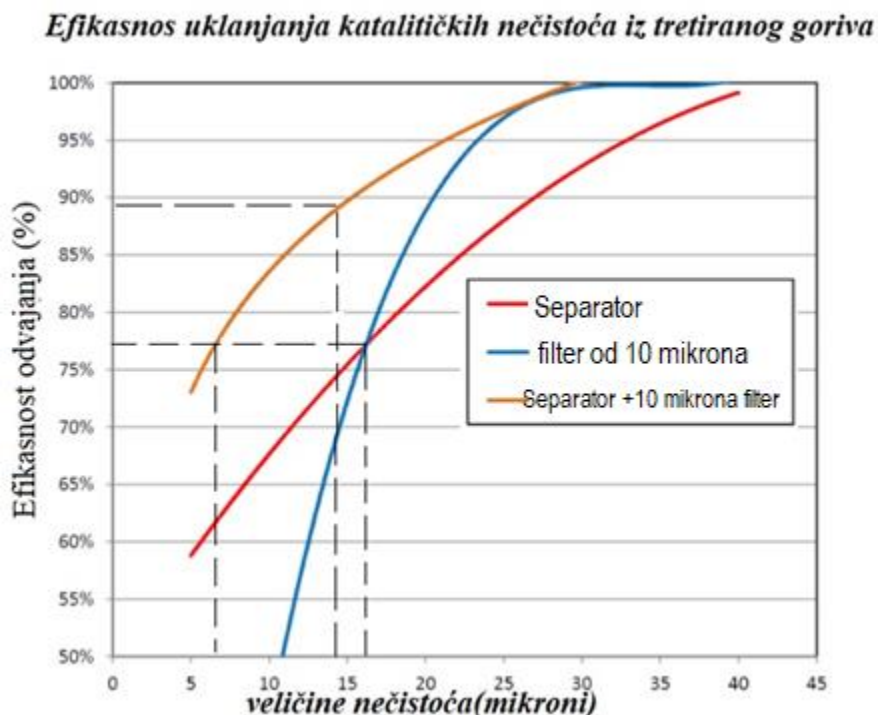
Mreža filtera je čista kada voda može teći cijelom površinom ili svjetlost lako prolazi kroz sami element filtera. Stoga se na brodu ne može precizno znati efikasnost filtera. Iskustveno možemo reći da se filterima koji se čiste na konvencionalni način godišnje smanji efikasnost na 80% (zbog oštećenja i nemogućnost dobrog čišćenja), dok se filterima koji se čiste ultrasonično, uz upotrebu adekvatnih agensa za čišćenje, na godišnjem nivou efikasnost smanji na 95%. Ukoliko se tokom procedure čišćenja uoči da ultra sonično čišćenje ne može najbolje očistiti filter (zbog lepljivosti na svojoj površini) poželjno je koristiti dodatnu hemikaliju (npr. "carbon removal") koju većina kompanija ima i koristi na brodu. Ovaj sistem je testiran na dva različita tankera kojeg su pogonili motori *MAN B&W/Hyundai 6G50ME -C 9.5* i *MAN B&W 6S60MC*. U ova dva slučaja kao hemikalije su se koristile Uonitorov *Ultrasonic cleaner* i pokazale su odlična svojstva čišćenja. Na slici 71 je više nego vidljiva razlika u čistoći filtera.



Slika 71. Primjeri zaprljanog filtera, te provjere djelimično i očišćenog filtera

Kao što je prikazano na slici 72, učinkovitost uklanjanja katalitičkih čestica može se značajno poboljšati kombinovanjem centrifugalnog čišćenja i sitne filtracije u seriji (izvor *DNV, Boll and Kirch*). Ono što je uočljivo je da je kombinacijom separatora i finog filtera efikasnost odvajanja sitnih čestica mnogo veća za sitnije nečistoće nego što je slučaj sa pojedinačnim djelovanjem filtera ili rada separatora. Ukoliko se pogleda slika, može se zaključiti da će upotrebom separatora i finog filtera efikasnost odvajanja ovih sitnih nečistoća

od 7 μm iznosi čak 78%, dok je kod separatora samog 62%. Takođe, ova kombinacija može efikasno da prečisti nečistoće koje su manje od 15 μm sa 89% efikasnosti. Pojedinačno, fini filter i separator mogu prečistiti nečistoće od 17 μm (koje su već opasne po motor) sa 77% efikasnosti, što je svakako mnogo manje od njihove kombinacije.



Slika 72. Efikasnost uklanjanja katalitičkih nečistoća upotrebom separatora i finog filtera od 10 μm

7.3. DODATNA OPREMA NA MOTORU KAO VID PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA

U ovom pod poglavlju će biti predstavljeni uređaji koji se mogu ugraditi na samom motoru, odnosno metode i preporuke koje mogu pomoći preventivnom održavanju.

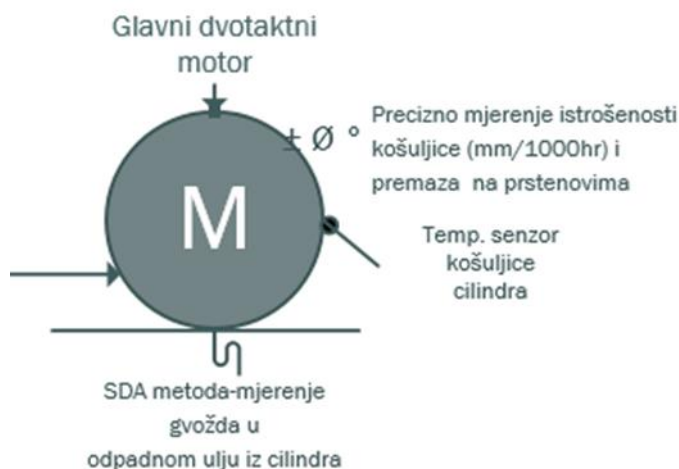
Ono što je specifično za samu pomorsku industriju je da se pokušava razviti adekvatna tehnologija koja bi pomogla ili olakšala održavanje broda.

Sa druge strane, treba voditi računa i o tome da li je opravdano ulaganje u novu tehnologiju, šta se sa time dobija i na kraju da li je isplativa samoj kompaniji.

U prethodnom poglavlju su uglavnom predstavljeni načini pravilnog čišćenja finih filtera (lamela), učinkovitost finih filtera, pravilno i kvalitetnije čišćenja bubnja separatora,

sistemi koji pomažu u eliminisanju katalitičkih nečistoća kao i sistemi visokog usisa koji mogu pomoći ukoliko dođe do naglog porasta nečistoća u gorivu.

Neophodno je bilo predstaviti i verbalni model (slika 73) sa definisanim elementima i metodama koje možemo da implementiramo na motor. Temperaturni senzori košuljice cilindra te senzori koji mogu da mjere istrošenost klipnih prstena predstavljaju glavne elemente koji se mogu ugraditi na samom motoru. Osim ovih instalacija, ovdje će se spomenuti i metoda preko koje je moguće precizno mjeriti istrošenost košuljice (bez dizanja iste) te feromagnetne metode otpadnog cilindričnog ulja uz pomoć koje se mogu dati precizne informacije o trošenju unutar motora. To je moguće na dva načina, uzimanjem uzorka i slanja na analizu ili pak permanentni monitoring otpadnog ulja sa alarmiranjem (*online*). Uz pomoć ove metode moguće je dobiti pravu sliku o istrošenosti klipnih prstenova i košuljice cilindra.



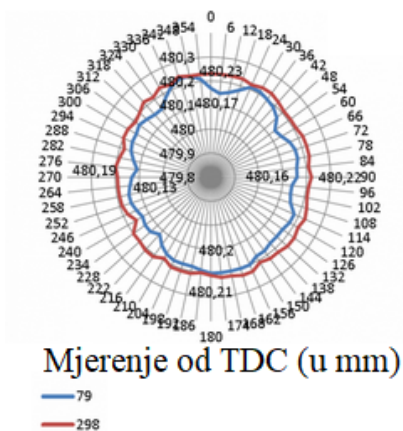
Slika 73. Preventivno održavanje na glavnom motoru, kako bi se spriječilo abrazivno trošenje

Na slici 73 su predstavljeni senzori temperature, alat za precizno mjerenje istrošenja košuljice, alat za mjerenje istrošenja premaza na prstenovima, kao i analiza otpadnog ulja iz cilindra.

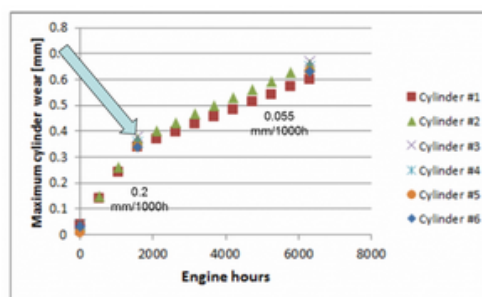
Kada se spomene precizno mjerenje ono se odnosi na upotrebu specijalnih alata firme *Cris Marine Liner Diameter Measurement tool*, uz pomoć kojeg nije potrebno dizati izduvni ventil glavnog motora. Upotrebom ovog uređaja ne bi trebala da se izda posebna dozvola za

rad na kritičnoj opremi, odnosno dozvola za imobilizaciju. Ova dozvola se spominje posebno zbog toga što je na tankerima gotovo nemoguće raditi bilo koje održavanje i mjerenje ukoliko se podrazumijeva da glavni motor nije spreman za rad. Uz pomoć ove opreme tačnost, mjerenja je u 0.03 mm i na ovaj način se smanjuje mogućnost greške. Osim preciznog mjerenja LDM alat firme *Cris Marine* omogućava dobijanja momentalne slike istrošenja i pozicija na kojima je veće istrošenje (slika 74).

Cilindar br. 4



Identifikacija visokog istrošenja i protiv mjera



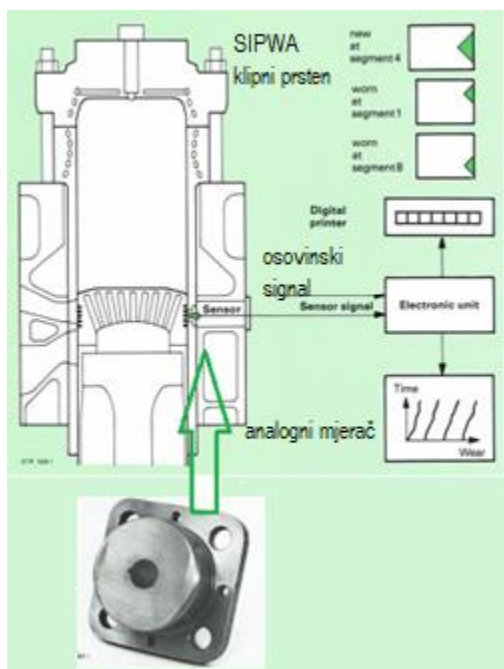
Slika 74. Prikaz ovalnosti košuljice izmjerene na dvije visine i istrošenja na svakom cilindru [56]

Kako se dio katalitičkih nečistoća utisne u zid košuljice i u takvom položaju, tokom rada motora, nastavlja da oštećuju prstene. Odstranjivanje je moguće na par načina. Jedan je putem posebnog i specijalizovanog alata koji se nudi u prodaji od strane firme MAN, mada postoje i drugi uređaji / proizvođači koji obavljaju isti zadatak (npr. *Chris - Marine*, *Wakefield* i drugi).

Drugi način je primitivan, ali je prihvatljiv kada ne postoji drugi način, a odnosi se na ručno honovanje. Ukoliko se dovoljno vremena potroši na ovakav način obrade površine košuljice, moguće je revitalizovati i jako oštećene košuljice uslijed napada pomenutih *catfines*. U datom slučaju je moguće koristiti papir za šmirglanje (granulacije 450) te utrošiti i do nekoliko sati ručnog brušenja (pod uglom 30-50°), dokle se ne dobije zadovoljavajuća struktura. Dakle, sa ovim načinom obrade moguće je odstraniti zaglavljene abrazivne nečistoće iz zida košuljice, te anulirati negativan uticaj *catfines* na dizel motorima.

7.3.1. Upotreba online sistema za mjerenje pohabanosti klipnih prstenova

Sistem koji je opisan u poglavlju 3.1.4, upotreba *Sipwa* sistema (*Sulzer Integrated Piston Ring Wear - detecting Arrangement*), pored svojih prednosti ipak u praksi nije zaživio. Vjerovatni razlog je što se tada nije pokazala opravdana potreba za mjerenjem istrošenja prstenova, jer su tadašnji prstenovi kvalitetno odgovarali potrebama motora (kvalitetno gorivo, kvalitetno sagorijevanje i podmazivanje itd.). Ovaj sistem se relativno lako može ugraditi na samom motoru. Potrebno je samo da se senzor postavi u već predviđeno mjesto (slika 75), na samom cilindru i da se poveže sa kompjuterskom stanicom sa ostalim senzorima.



Slika 75. Prikaz jednostavne ugradnje senzora za kontinuiran monitoring istrošenja prstenova [57]

Pošto su postojali sistemi koji su mogli pratiti istrošenje prstenova a nisu zaživjeli u pomorstvu, preostaje da se predlože jednostavnije mjere koje će dati kvalitetne odgovore na samo održavanje.

7.3.2. Upotreba temperaturnih senzora na košuljicama cilindra

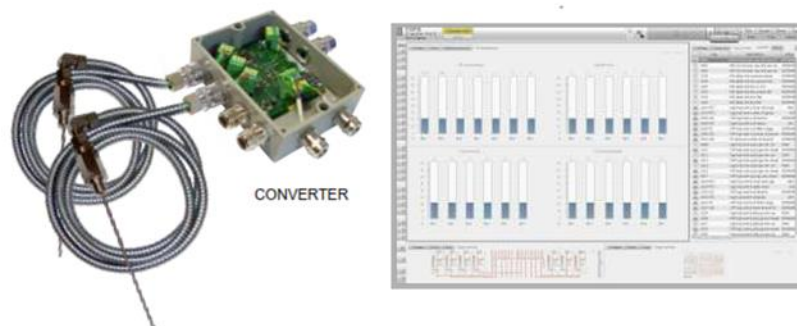
Mjerenje temperature je veoma značajno za rad svih motora i mašina. Temperature nije potrebno odrediti samo zbog upravljanja određenim procesom, već postoje i mnogi senzori drugih namjena koji koriste podatke senzora temperature kako bi korigovali rad ostatka komponenata nekih mašina. Uopšteno, svi mjerni instrumenti moraju biti otporni na udarce i specifična radna okruženja, moraju imati visok nivo pouzdanosti i preciznosti u radu. Potrebno je da zauzimaju što manje prostora, a da su izvedeni tako da se mjerni podaci lako mogu prenositi na daljinu.

Kada govorimo o metodama mjerenja srednjih temperatura (kod košuljice cilindra) se baziraju na poznatim fizičkim pojavama. Postoje četiri tipa temperaturnih senzora baziranih na fizičkim osobinama zavisnim od temperature [50]:

- širenje ili dilatacija tijela sa povećanjem temperature, koja se manifestuje promjenom dužine, zapremine i pritiska (dilataciono - mjerni pretvarači),
- promjena otpornosti električnih provodnika i poluprovodnika sa temperaturom (otporni mjerni pretvarači)
- promjena kontaktnog potencijala, odnosno elektromotorne sile različitih metala u zavisnosti od temperature spoja (termoparovi),
- zavisnost energije zračenja od temperature tijela (radijacioni pirometri).

KONGSBERG sistem nadzora temperature košuljice u cilindru prati radni učinak klipa mjerenjem temperatura gornjeg dijela košuljice cilindra, gdje se razvijaju najveći pritisci i temperature tokom sagorijevanja. Povećano trenje između klipnih prstenova i košuljice cilindra stvara povišenu temperaturu, što dovodi do abnormalnog trošenja košuljice i potencijalnog loma klipnog prstena. Ograničenja alarma za temperaturu mogu biti pojedinačno postavljena na radnoj stanici računara za rano upozoravanje na veliko toplotno opterećenje i potencijalno oštećenje košuljice cilindra.

Kongsberg sistem nadzora nad košuljicom cilindra (slika 76) sastoji se od visokokvalitetnih temperaturnih senzora i jednog pretvarača signala sabirnice polja na svakom cilindru i po jednom zajedničkom operatorskom stanicom. Pored toga, pojedinačni releji na izlaznom alarmu se mogu direktno povezati na cilindar jedinice za podmazivanje kako bi se privremeno povećalo podmazivanje cilindra.



Slika 76. Izgled temperaturnih senzora firme Kongsberg koji mjere temperaturu košuljice cilindra [58]

Firma Maridis je takođe razvila sistem za nadzor temperature košuljice cilindra. *Maridis Liner* prati radni učinak klipa mjerenjem temperatura gornjeg dijela obloge cilindra kao i kod Kongsberg sistema. Veće trenje između klipnih prstenova i košuljice rezultira povećanim karakterističnim nivoom temperature što može dovesti do habanja. Takođe se mogu postaviti pojedinačna ograničenja alarma temperature putem sistema za nadzor u upravljačkoj mašinskoj sobi (kontrolnoj kabini), te dobiti pravovremeno upozorenje o velikom toplotnom opterećenju i mogućem trošenju.

Ovaj sistem za nadzor temperature *Maridis Liner* sastoji se od visokokvalitetnih temperaturnih senzora i polja sabirničkih pretvarača signala za svaki cilindar, kao i zajednički monitor u upravljačkoj sobi (slika 77).



Slika 77. Maridis sistem monitoringa temperatura košuljica cilindra [59]

Osim pomenutih sistema i kompanija “*Burmeister & Wain Scandinavian Contractor A/S*” predlaže svoj sistem praćenja temperature košuljice cilindra [60]. BWSC sistem za nadzor košuljice cilindara je prikazan na slici 78 (*CLMS - Cylinder Liner Monitoring System*) nudi povećanu sigurnost u radu motora i smanjenje trošenja košuljice cilindra. Ovo rješenje ima višestruke prednosti, npr. sprečava struganje košuljica cilindra davanjem ranog upozorenja o visokom toplotnom opterećenju i temperaturnu devijaciju. Sistem ima mogućnost da detektuje veliku brzinu promjene temperature košuljice, kao i visoku temperaturu same košuljice, a čak četiri mjerenja u svakoj košuljici cilindra omogućavaju veću pouzdanost sistema (dok ostali sistemi uglavnom mjere u gornjoj zoni temperaturu košuljice).



Slika 78. BWCS sistem za nadzor košuljica cilindra

7.3.3. Upotreba SDA (*Scavenging Drain Analysis*) metode analize otpadnog cilindričnog ulja i novi načini preciznih mjerenja otpadnog ulja

Poznato je da dobar dio operativnih troškova odlazi upravo na ulja za podmazivanje. Osim ovih troškova koji su sastavni dio svake brodske kompanije, postoje i troškovi koji su nastali zbog istrošenja - otkaza koji se odnose upravo na klip, klipne prstenove, košuljice motora i troškove održavanja [61].

Jako je bitno da se često prati i trend habanja unutar cilindra motora. To je moguće uz pomoć analize otpadnog ulje iz cilindra motora. Ukoliko se pri analizi primjeti nagla velika količina metalnih čestica, može se zaključiti da je počelo neplanirano trošenje. Odmah se mora reagovati, kako bi se ublažile nepoželjne posljedice koje mogu dovesti do većih

problema, pa čak i prestanka rada brodskog motora. Analiziranjem drenažnog ulja, iz otvora za ispiranje sa svakog cilindra, za gvožđe (Fe), je dokazano da operatorima daje indikaciju relativnih promjena trošenja košuljice cilindra.

Nakon više dostupnih analiza, u ovom radu je posebno izdvojena analiza otpadnog cilindričnog ulja sa broda u eksploataciji - motor (MAN B&W 6S42MC7).

Performanse motora se obično bilježe kada je brod opterećen, pri opterećenju motora od 80 - 90% maksimalne konstantne snage i na mirnom moru. Ovakvi isti uslovi su takođe potrebni za uzorkovanje drenažnog cilindarskog ulja (kao u analiziranom primjeru gdje je opterećenje bilo 82 %). Pravilnim uzorkovanjem otpadnog ulja, uzeti su uzorci novog (nekorišćenog cilindričnog ulja *Cyltech 40SX*). Potrebno je napomenuti da ovo cilindrično ulje ispunjava *CAT I* (kategoriju jedan), po *MAN* -ovom servisnom pismu [62]. *Cyltech 40SX* ispunjava precizne zahtjeve *MAN-a i Warstile* za produženi rad na gorivu s malim procentom sumpora i ono se nalazi na njihovoj listi preporuka. Ovo cilindrično ulje je sa trenutnim pismom bez prigovora (*NOL - No Objection Letter*) i smatra se da je u *Cat. I.*, te je kao takvo preporučeno da se primjenjuje na *MAN* -ovim dvotaktnim motorima sa oznakom 8 i niže.

Ovo ulje ima izvrsnu kontrolu trošenja klipnog prstena i košuljice cilindra. Takođe, posjeduje vrhunske performanse deterdžentnosti koje je potrebno za čistoću motora, osigurava smanjene naslage, posebno kalcijum karbonata. Posjeduje i veću sigurnosnu marginu protiv struganja pri produženom radu na gorivu s niskim sadržajem sumpora.

Uzorkovano cilindrično ulje je poslato na laboratorijsku analizu (*Caremax cylinder oil monitor*) firme Castrol, a drugi dio je uzet za mjerenje u laboratoriji Instituta Crne Metalurgije.

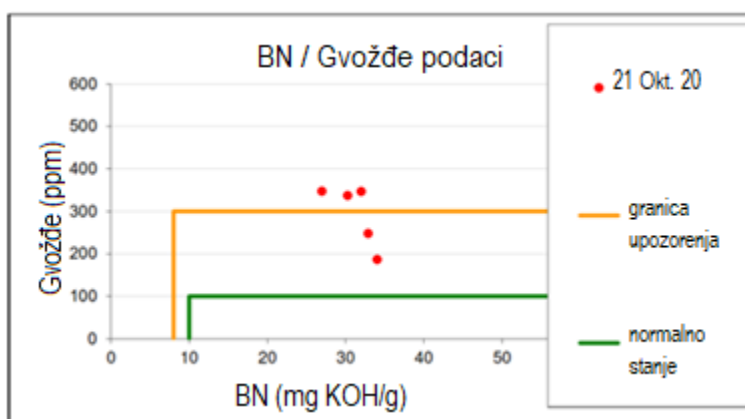
CAREMAX™ služi za mjerenje stanja kondicije motora uz pomoć (ferografije). Detaljna ferografska analiza i analiza koncentracije čestica istrošenja se analiziraju na ovaj način.

Glavna prednost ovog načina održavanja je kontinuiran i detaljan uvid u stanje samog motora. Analizom raznih elemenata u ulju mogu se donijeti zaključci odakle ti elementi, te se isti povezati sa istrošenjima i uzrocima koji su doveli do javljanja istih elemenata.

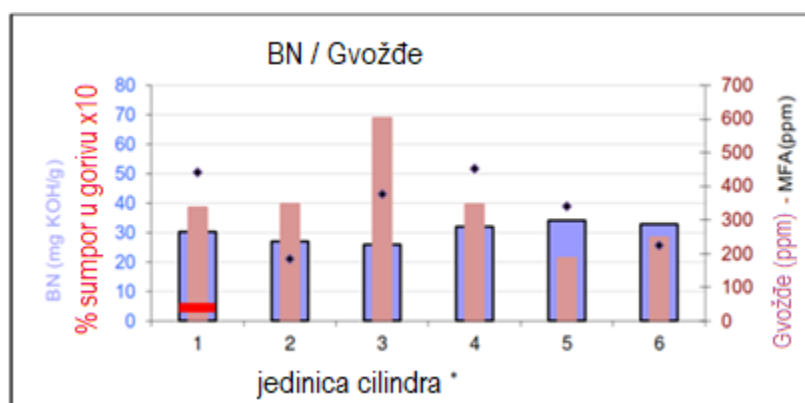
Produženi rad motora pod visokim rezidualnim baznim brojem BN, mogu proizvesti efekat pojačanog taloženje pepela i poliranje košuljice cilindra [63].

Ukoliko kompanija ima načina da uradi analizu ulja na gvožđe, preporuka je da se obavezno uzroci pošalju i na laboratorijska ispitivanja kada u svom sastavu ima preko 200

iz sistemskog ulja, te se u okviru odnosa (odnos cilindričnog i sistemskog ulja) izračuna i korigovana vrijednost prisustva gvožđa. Na kraju se još i izračuna magnetna svojstva (preko MFA metode) i na taj način se dobije detaljna slika. Ovdje se najbolje može uvidjeti da ranije spomenuti prenosni uređaji ne mogu zamijeniti detaljna i precizna laboratorijska testiranja tj. ne mogu se donositi valjani zaključci bazirani na rezultatima tih portabilnih instrumenata. Mogu pomoći u praćenju uopštene vrijednosti količine gvožđa u određenom periodu. Detaljnu analizu je moguća predstaviti i uz pomoć grafikona, što se može vidjeti na slikama 80 i 81.



Slika 80. Odnos baznog broja i količine gvožđa izmjereni u analiziranom ulju



Slika 81. Odnos baznog broja i količine gvožđa (MFA metodom) u analiziranom ulju

Rezultati analize, na osnovu izvršenih testova, ukazuju na veliko trošenje i procenat gvožđa (Fe) kod većine jedinica cilindra (vidljivo iz tabele i sa grafikona). Ukoliko se detaljnije pogleda grafik na slici 80, može se uočiti da nedostaje jedna vrijednost (prikazane

5 tačaka od 6 cilindara). Ipak vrijednost izračunata na cilindru broj 3 ne nedostaje, ali nije predstavljena, jer je vrijednost gvožđa marginalno van skale (603 ppm). Standardna skala je postavljena na max. 600 ppm.

Takođe, ukoliko se pogleda normalna vrijednost predstavljena zelenom bojom predstavlja normalno područje (Fe <100 ppm) i ono prati najnovije servisno pismo firme (SL2019 - 674). Međutim, područje narandžastog upozorenja (Fe <300 ppm) preuzeto je sa starijeg servisnog pisma (SL2014-587) te bi sigurno ovaj limit trebao da bude i niži. Na dijagramskom prikazu slika 81 može se primijetiti da su na izvještaju prikazane vrijednosti "BN/Gvožđe" sa podacima MFA koje nisu korigovane te postoji prostor za unaprjeđenje ove tačke i boljeg prikaza. U ovoj analizi vidi se želja da se gotovo svi izmjereni podaci koriguju i da se eliminišu uticaji sistemskog ulja i ostalih svojstava koji mogu uticati na izmjerene rezultate.

Sadržaj gvožđa (ICP)⁹: Gvožđe izmjereno analizom masene spektrometrije induktivno spregnute plazme. Čestice gvožđa ispod 5 - 8 µm, bilo kao osnovno (čisto) gvožđe, bilo u bilo kojem hemijskom sastavu. Ova brojka uključuje i nagrizajuće manje abrazivne čestice gvožđa. Preporučeno je da se radi preko standardne oznake ASTM D5185-09¹⁰. Osim ove metode nama je jako bitna i tkz. MFA analiza.

MFA¹¹: Magnetska fero analiza nam pokazuje sadržaj magnetnih čestica gvožđa bilo koje veličine. Ovom metodom se mjere čestice zbog adhezionog i abrazivnog trošenja. Odnos između gvožđa dobijenim ICP i MFA metodom može ukazivati na obrazac habanja, pretežno korozivan (MFA <ICP) ili se kreće ka adheziono / abrazivnom trošenju kada je (MFA > ICP). Treba istaći da ukoliko se dodaju dvije vrijednosti to neće prikazati ukupnu količinu gvožđa.

⁹ *Inductively Coupled Plasma, or ICP analysis*, Induktivno vezana plazma ili ICP analiza moćna je metoda hemijske analize koja se može koristiti za identifikaciju količina u tragovima i glavnih koncentracija gotovo svih elemenata u uzorku. Element pruža širok spektar ICP usluga analize, uključujući ICP masenu spektrometriju (ICP - MS) i ICP spektroskopiju atomske emisije (ICP - AES), poznatu i kao ICP spektroskopija optičke emisije (ICP - OES).

¹⁰ Standardna metoda ispitivanja za određivanje aditivnih elemenata, metala habanja i onečišćenja u upotrebljenim uljima za podmazivanje i određivanje odabranih elemenata u osnovnim uljima pomoću induktivno atomske emisije spektrometrije u plazmi (ICP - AES)

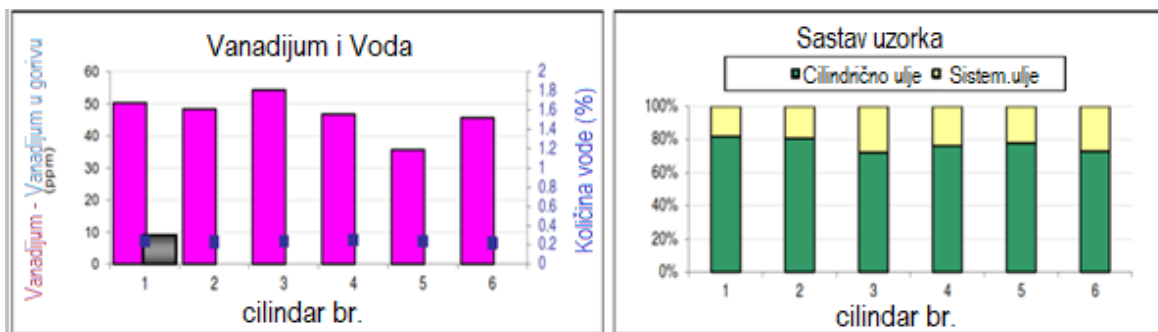
¹¹ *Magnetic Ferro Analysis*, analiza magnetnih čestica gvožđa.

Ova metoda je zasnovana na magnetometrijskom principu koji detektuje samo abrazivno trošenje. Korozivno trošenje nije magnetsko i ne može biti otkriveno ovom metodom. Međutim, omogućava otkrivanje većih čestica tako da je i to koristan dodatak ICP metodi.

Treba istaći da se spomenute dvije metode ne mogu sabirati, te se ne može smatrati ukupnim sadržajem gvožđa. U svakom slučaju je potrebno da se uvijek konsultuju preporuke proizvođača motora za detaljna uputstva o tumačenju rezultata BN i Fe. (WinGD: Ulja za motore *WinGD* - Izdanje 003 2019-03 (stranice 8-10) i *MAN Energy Solutions*: SL2014-587 i SL2019-671).

Podaci iz tabele koji upadaju u oči su podaci o istrošenju klipnih prstenova (Al i CR), što dovodi u sumnju da su isti previše istrošeni te da oni uzrokuju intenzivno trošenje košuljica. Za očekivati je da menadžment kompanije uzme u obzir što hitniji remont cilindra br. 3, 2 i 4, a nakon njih i broj 1. Treba voditi računa da nije baš lako nabaviti toliko košuljica (ukoliko su istrošeni preko limita), te najlošije treba odmah zamijeniti a ostalim vidjeti dali se može nešto kratkoročno pomoći. U tom periodu potrebno je da se obavezno provjeri stanje šupernica klipnjače (nisu još u alarmu, ali ipak ima propuštanja, pa je bolje reagovati kada se već remontuje cilindar). Potrebno je napomenuti da je ovo jedna od rijetkih metoda uz pomoć koje se može pratiti stanje šupernice.

Vanadijum je prisutan kao zagađivač u gorivu (slika 82) , te se nalazi u analizi otpadnog ulja SDA (*scavenging drain analysis*) u spaljenom/neizgorenom obliku i obično je proporcionalan sadržaju vanadijuma u gorivu. Obično, vanadijum u ulju (ppm) je veći od vanadijuma u gorivu (ppm) jer niska stopa podmazivanja povećava njegovu koncentraciju u otpadnom ulju.



Slika 82. a) količina vanadijuma i vode u ulju b) odnos cilindričnog i sistemskog ulja po cilindru motora

Upoređenjem samih cilindričnih jedinica može nagovijestiti efikasnost sagorijevanja i / ili pojave tkz. "blow by" kod klipnih prstenova.

Ovako detaljna metoda analize je dobra jer se može obratiti dodatna pažnja na stanje šupernice u cilindru (slika 82 b.).

Ostali nepoželjni elementi koji se mogu naći u analizi ulja su bakar, molibden, nikal i silicijum. Povećana količina bakra u ulju je značajan indikator ako su tkz. "Alucoat" klipni prstenovi sa premazom od aluminijuma u upotrebi. Takođe može ukazivati na struganje klipnjače ako je bronzana ili abnormalno habanje brtvenice klipnjače motora.

Kada se pokaže veća koncentracija molibdena, onda je mogući izvor od klipnih prstenova (sa nikl molibden premazom) ili premaza žlijebova prstenova, kao i premaza klipnjače ukoliko je urađena sa ovim elementom.

Prisustvo silicijuma se povezuje najviše kroz prisustvo katalitičkih nečistoća i prašine u vazduhu, te kao ostatak aditiva za ulje. Znači, jako je bitno da se i u analiziranom slučaju pogledaju sve analize goriva učinjene unazad par godina, te da se provjeri da li je gorivo uvijek sadržavalo cat fines (Al + Si) unutar dopuštenih granica. Na taj bi se način moglo utvrditi kada je/ako je došlo do povećanog trošenja košuljica cilindra. Ali ako je problem u povećanom Al+ Si, onda nisu oštećene samo košuljice cilindra, već su vjerovatna oštećenja i na klipovima/cilindara, pumpi visokog pritiska, a i drugih važnih elemenata motora. Već je dokazano da se preko SDA analize uočilo povećano istrošenje klipnih prstenova (Cr + Al).

Kao što MAN u svom servisnom pismu (SL2019 - 671) sugeriše, nikakvo povećanje doziranja cilindarskog ulja ne može spriječiti štetu od „cat fines“. Osim spomenutih sugestija, takođe u istom servisnom pismu, dodatno se naglašava važnost i potreba za SDA analizama, držeći ih posebno dobrim alatom baš u slučajevima kada se pojavi problem visokog učešća grvožđa u uzorcima otpadnog ulja. Takođe, preporučene su frekvencije uzorkovanja i analiza u tom kritičnom periodu – oni predlažu da se to radi na mjesečnoj bazi! MAN takođe naglašava važnost redovnog mjerenja istrošenja, a po potrebi i češće; košuljica – min jednom godišnje, klipnih prstenova – kod svakog provjeravanja ispirnih prostora.

Potrebni ostali podaci za pravilniju analizu istrošenja kod glavnog motora su prikazani u tabeli 22.

Tabela 22. Prikaz podataka motora sa kojeg su uzorkovana cilindrična ulja

Tip motora		MAN B&W6S42MC7		
MCR	6480(kW)	RPM	136	
Podaci održavanja motora		Podaci o motoru		
Košuljica u servisu	Max.istrošenje košuljice	Remont klipa	Pmax (bar)	Pcomp (bar)
3486	0.89	3486	111	88
6475	0.29	6475	107	85
3267	0.9	3267	110	85
6820	1.25	6820	110	84
5641	0.74	5641	112	85
2007	1.82	2007	107	84

Tip cilindričnog ulja	Cyltech 40SX	
Broj okretaja motora	rpm	119
Potrošnja cilind. ulja	ltr/24hrs	140
Datum uzorkovanja	21.21.2020	
Min/Max temp.košuljice	° C	78,9/80.5
Pritisak ispirnog vazduha	bar	2.1
Srednja snaga motora	kW	5296
Opterećenje motora	%	89
Količina cil.ulja za podm.	gr/kW/hr	1.1
Radni sati motora	hrs	32494
Temp.ispirnog vazduha (nakon rashladnika)	° C	52
Potrošnja sist. ulja	ltr/24hrs	30
Temp.h.t. rashl. Vode-izlazu	° C	80
Temp. Vazduha(most)	° C	25

Osim opširne analize koja je detaljno prikazana, moguće je analizirati količinu gvožđa u ulju i na drugi način (tabela 23). Priprema uzorka je jako bitna. Uzorak ulja je rastvoren u smeši toluena, izopropil alkohola i vode pa se rastvor prokuvao. Toplom rastvoru je dodat topli rastvor azotne kiseline (1:1). Nakon toga je filtriran uzorak, pa se filter papir raširio i sadržaj sa papira prenet je u čašu, ispirajući filter papir toplim rastvorom azotne kiseline (1:1). Rastvor se još malo prokuvao te spojio sa prethodnim filtratom i onda se pristupilo određivanju sadržaja gvožđa na atomsko apsorpcionom spektrofotometru 1100B. Ukoliko se podaci iz tabele 23 uporede sa podacima sa slike 79 – može se zaključiti da količina gvožđa odgovara analiziranom ulju iz cilindra broj 6.

Cilindarsko ulje se ubrizgava u svaki cilindar da obezbijedi jednak film ulja na košuljici. Dodatni aditivi u cilindarskog ulju održavaju stabilnost ulja, neutrališu kiselinu kondenzaciju na košuljici i spiraju zaostatke goriva i maziva.

Tabela 23. Hemijski sastav - sadržaj metala u cilindričnom ulju cilindra 6 (mas %/ppm)

Uzorak	Fe -gvožđe
Novo cilindrično ulje (nekorišćeno)	0,000/0
Korišćeno cilindrično ulje (uzeto drenažom)	0,018/180

Stanje ulja se mijenja kako prolazi od tačke ubrizgavanja do dreniranja. Promjena u karakteristikama ulja reflektuje se na uslove sagorijevanja i podmazivanja u svakom cilindru

7.3.3.1. Upotreba LinerScan ugradnog sistema za analizu otpadnog cilindričnog ulja sa tankerskog broda u eksploatacij i- motor (Diesel Unitet - Sulzer 6RTA58 MC)

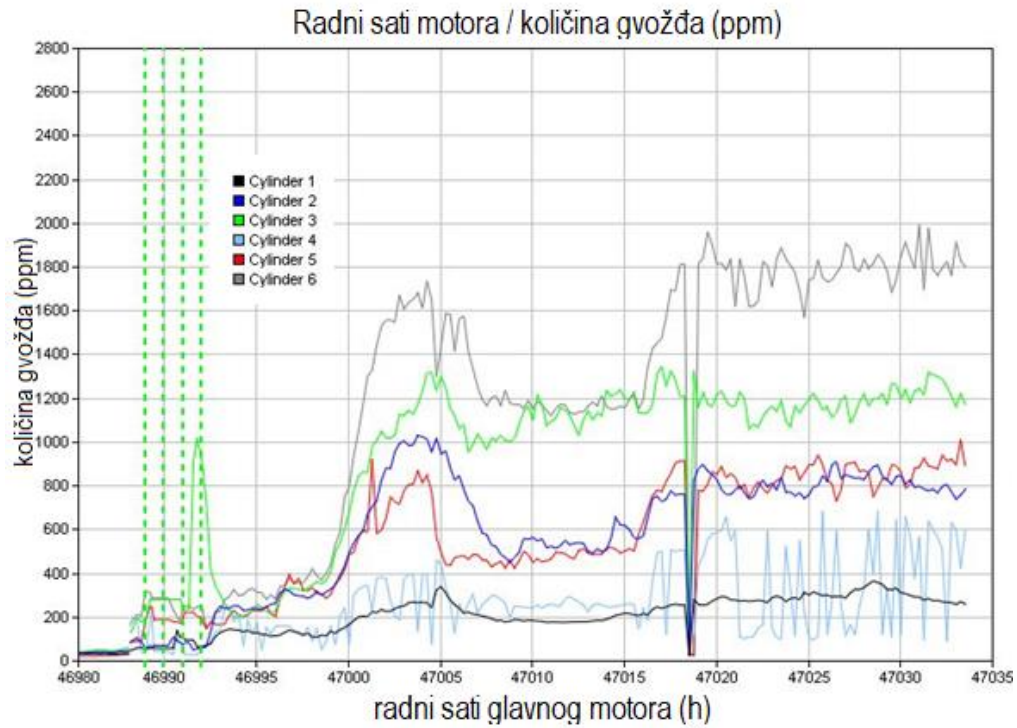
Napomena: dio ovog poglavlja je razvijen iz rada “*An Analysis of the Influence of Abrasive Particles in Fuel on the Degree of Damage to Piston Rings*” [67]

Osim ranije spomenute SDA metode za koju je potrebno kvalitetno uzimanje uzorka kada motor radi pri većem opterećenju, te slanje uzoraka na analizu, postoji i uređaj - lako ugradivi sistem za mjerenje gvožđa iz otpadnog cilindričnog ulja.

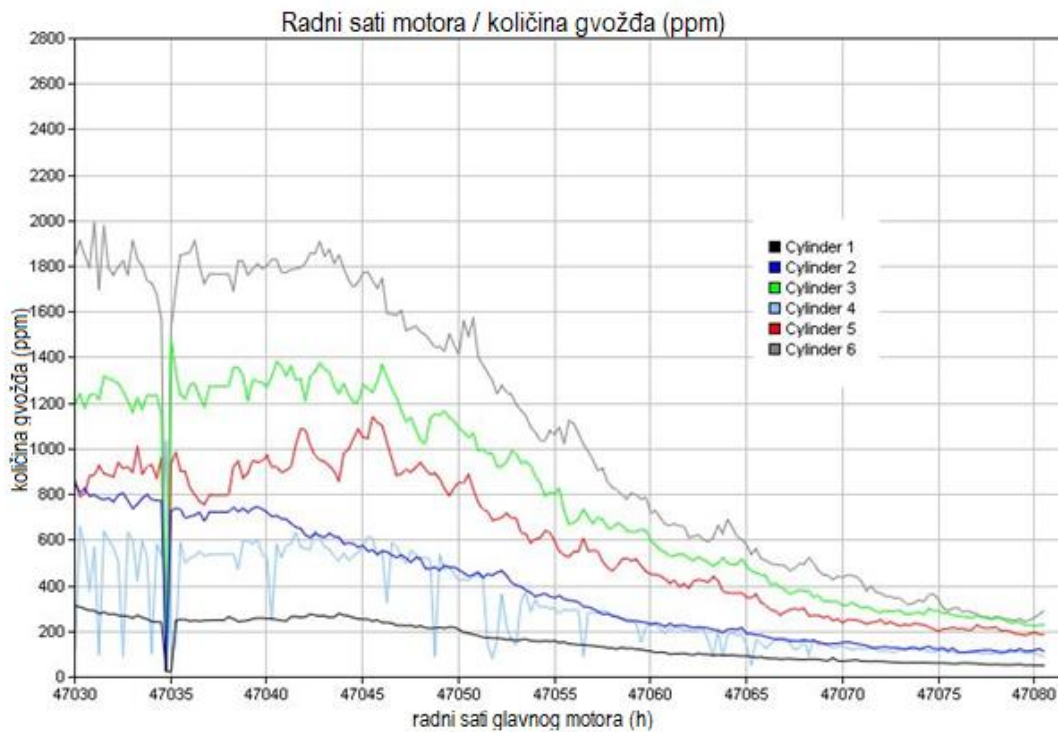
LinerScan ima veliku prednost jer kada se instalira na samom motoru ima mogućnost da prati količinu metala u ulju i da momentalno javi devijaciju. Do sada je u praksi postojao testni uređaj pomoću kojeg se mogla izračunati količina gvožđa, ali se moralo raditi ručno a vremenska razlika između mjerenja je u razmacima od nekoliko sedmica, pa do nekoliko mjeseci. Ukoliko se pak posumnja na mogući problem u radu motora, tek se tada smanjivao razmak između mjerenja. Sve ovo govori u prilog *online linerscan* uređaja koji u svakom minutu može da izmjeri sadržaj gvožđa i da momentalno alarmira.

LinerScan mjeri količinu gvožđa u otpadnom cilindričnom ulju, metodom poznatom kao magnetometrija, gdje se uzorak testira u magnetnom polju. Koristeći ovaj novi metod, sistem koristi osnovni fizički efekat: promjenu induktivnosti zbog prisustva magnetnog materijala. Analiziranje drenažnog ulja, iz otvora za ispiranje sa svaki cilindar, za gvožđe (Fe), dokazano je da operatorima daje indikaciju relativnih promjena trošenja košuljice cilindra [84].

Koliki je značaj instalacije *LineSCAN* uređaja najbolje se ogleda u sledećim primjerima.



Slika 83. Prikaz povećanja čestica gvožđa (ppm) u analiziranom drenažnom ulju (6 cilindara) [67]



Slika 84. Prikaz smanjenja čestica gvožđa (ppm) u drenažnom ulju nakon održavanja [67]

Na slikama 83 i 84 prikazana je sposobnost *LinerScan* -a da detektuje količinu čestica gvožđa u cilindarskom otpadnom ulju u stvarnom vremenu. Na slici 83 se može uočiti nagli skok prilikom analiziranja čitavog motora. Nakon 47000 radnih sati glavnog motora, počinje nagli rast čestica gvožđa sa 600 ppm na 1700 ppm, nakon 18min. ta količina je porasla na 1900 ppm, dok je nakon tridesetak minuta koncentracija čestica gvožđa dostigla vrijednost od 2000 ppm. Taj nagli porast je bio dovoljan alarm brodskim inženjerima da preventivno djeluju i da analiziraju sistem. Kako parametri na glavnom motoru i na samom cilindru broj 6 koji je imao najveći porast vrijednosti čestica gvožđa nisu znatno odstupali od ranijih vrijednosti, pristupilo se provjeri sistema za separaciju goriva. Dreniranjem tankova goriva, čišćenjem filtera i prije svega elemenata centrifugalnog separatora (te vraćanjem istih u sistem), pokušalo se uticati na smanjenje abrazivnih čestica koje se nalaze u gorivu. Takođe, drugi separator goriva je bio u pripravnosti kako bi se pokušalo sa rednom separacijom goriva. Ukoliko nabrojani pokušaji bolje separacije goriva ne bi davali konkretne rezultate, tada bi se pokušalo i sa dodatnim separatorom. Kako je koncentracija čestica gvožđa u ulju počela da opada, tako se odustalo od upotrebe dodatnog separatora. Iako analize goriva nisu pokazale prevelike količine katalitičkih nečistoća u gorivu, njihovo prisustvo u gorivu je bilo očigledno. Drastičan pad čestica gvožđa je vidljiv na slici 84 i on se kreće od 1800 ppm pri 47045 radnih sati motora pa sve do ispod 300 ppm pri 47080 radnih sati.

Prednosti ovog sistema se ogledaju u tome da su potpuno automatizovani pa ne zavise od brodske posade, sistem je povezan sa mašinskom (kontrolnom kabinom) sobom, pa se i male promjene mogu na vrijeme dijagnosticirati a ukoliko dođe do većih promjena dolazi do alarmiranja. Na takav način se može brzo i efikasno djelovati na motor i zaštititi ga. Svi podaci se čuvaju odmah nakon početne instalacije sistema, a po proizvođaču instalacija je jednostavna, bilo da se radi o novom ili popravljenom sistemu. Ovaj sistem prikazuje jasnu sliku o tome koliko je istrošen i u kakvom je stanju motor.

Precizna grafika omogućava konstantno praćenje podataka sa monitora iz kontrolne kabine. Takođe "*LinerScan*" softver obezbjeđuje pregled jednog ili više dijagrama, i u zavisnosti od motora može da prikazuje, broj obrtaja (*rpm*), količinu sumpora, opterećenje a sve to bazirano u datom vremenu.

7.3.4. Označavanje klipnih prstenova i uvrštavanje u listu kritičnih djelova koji imaju EPN broj

Puna oznaka prstena npr. za *Wärtsilä* motor je (WCH) je GGV SCP1CC16. Parametri koji govore inženjerima o prstenu su: prva tri slova oznaka nepoznatog baznog materijala tj. kod (koji je analiziran), pa SC slova koja govore da je profil prstena ravni rez, P1 pozicija prvog prstena, CC keramički hrom (obloga) i 16 mm visina prstena. Kako Wartsila ne proizvodi prstene, ona ima mogućnost da poruči od poznatih i manje poznatih proizvođača kod kojih je kvalitet upitan. Jedna od bitnih stavki u narednom periodu će biti i označavanje klipnih prstena kako propisuje Tehnički kod za ostale bitne djelove u glavnom motoru. Na ovakav način bi se provjeravao kvalitet izrade istih i znatno smanjila mogućnost upotrebe prstena lošeg kvaliteta ili obnovljenih [68].

Potreba standarda koji bi obavezujuće djelovao na neautorizovane proizvođače prstena kako bi se podigao kvalitet i kako bi brodska posada imala uvid u hemijski sastav svakog prstena. Važnost postavljanja standarda za klipne prstenove se ogleda u kontroli izrade kvaliteta prstenova. Takođe, pokazalo se bitnim i da se brodskim inženjerima preko oznake prstena da informacija, tip materijala od kojih je izrađen klipni prsten, te precizna informacija kako da se poruče kvalitetniji prstenovi. Poručivanje prstena preko *ID* identifikacionog broja, te preko kancelarije za nabavku rezervnih djelova ostavlja mogućnost poručivanja klipnih prstenova na otvorenom tržištu, od nelicenciranih proizvođača upitnog kvaliteta.

Osim toga ono što upada u oči sa tehničke strane, a mora da se nalazi u svakom brodskom tehničkom fajlu "*Technical Fila*", je da klipni prstenovi još uvijek ne spadaju u grupu elemenata koji imaju EPN broj (*Extended Part Number*). Ta činjenica ostavlja mogućnost manipulacije proizvođača prstena da proizvode prstenove "po ličnom nahođenju". Taj podatak dodatno komplikuje samu analizu stanja na tržištu, jer bi bilo mnogo lakše upoređivati rezultate istog tipa prstena koji je radio pod različitim režimima i koji je koristio različito podmazivanje (po kvalitetu i kvantitetu).

Kada je u pitanju kvalitet rezervnih djelova glavnog motora, (a samim tim i materijala), jako bitnu ulogu ima NOx tehnički kod. Zbog kontrole emisije azotnih oksida, te osiguravanja kvalitetnog sagorijevanja u motoru, precizno je definisano da djelovi na motoru moraju biti originalni (proizvedeni od glavnog proizvođača ili od licenciranih,

autorizovanih preduzeća). U ovom tehničkom fajlu su informacije o komponentama koje utiču na emisije NO_x, a svaka kritična komponenta je označena posebnim IMO brojem. Takve kritične komponente su mlaznica za ubrizgavanje, pumpa za ubrizgavanje, bregasto vratilo, glava cilindra, klip, klipnjača, hladnjak i turbokompresor ali za sad ne i klipni prstenovi.

Na ovakav način dodatno su se eliminisali problemi vezani za upotrebu neoriginalnih dijelova čiji je loš kvalitet pravio probleme brodskoj industriji i poštovanju propisanih mjera emisije.

Kvalitet sastava materijala se ogleda i u prednaponima. Osnova prstena je, najčešće “*nodul cast iron*” jer, iako je relativno krt i pri mehaničkom udaru dolazi do napuknuća (što je razlog zašto se često nalaze puknuti prstenovi), neophodan je upravo radi pominjanog “prednapona”. Prednapon je jedan od najvažnijih faktora za pravilno funkcionisanje klipnog prstena. Klipni prsten je van motora elipsa, a kad se sabije u cilindar zauzme oblik kruga. Zadatak prednapona je da osigura podjednaku silu prijanjanja radne površine prstena po svoj kontakt - površini zida cilindra. A to je jako teško postići, i to je osnovni razlog zašto vrhunski proizvođači uspijevaju da opravdaju svoj status. U analiziranom slučaju kod motora *Wartsila RTA58T*, dođe do sabijanja klipnog prstena unutar košuljice cilindra (unutrašnje dimenzije 580,00 (+0,05/-0,05mm), razmak između krajeva prstena će biti npr. 5,0mm. Ako je maksimalna potrošenost prstena kad razmak postane 12,0 – 15,0mm, kvalitet izrade prstena se najbolje vidi ako je debljina potrošenog prstena približno identična u svim njegovim dijelovima. To će biti dokaz idealnog prednapona, te kvaliteta samog prstena.

Nakon svega razmatranog, predlog je da se obilježavanje klipnih prstenova obavi sa unutrašnje strane prstena kao EPN (*extended part number*) kako Propisuje *Annex VI* od MARPOLa, Tehničkim Kodom. Unutrašnji dio prstena se ne troši jer nema (ne bi smio imati) kontakt sa kanalom, i na takav način bi ostao vidljiv tokom radnog vijeka prstena. Ovdje se ostavlja mogućnost označavanja prstena na više pozicija (ukoliko dođe do loma na jednoj poziciji).

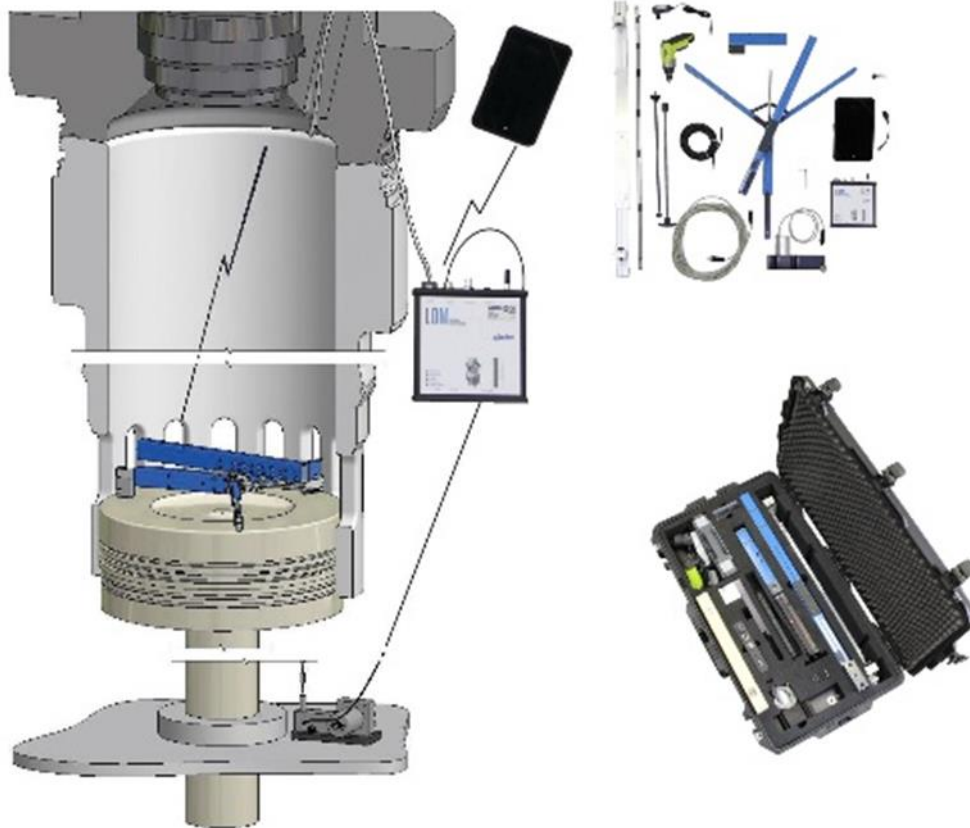
7.3.5. Pravilnije i preciznije mjerenje istrošenja košuljice bez dobijanja dozvole za izolaciju motora kao kritične opreme

Jedna od metoda za provjeru stanja klipnih prstenova je vizuelna metoda kroz ispirne kanale ili kroz otvore na strani pumpe goriva. Međutim bez spomenute metode mjerenja debljine nanosa ne može se ustanoviti stepen istrošenja ili pak prosjek trošenja i preostali radni vijek prstena.

Remont jedinice u pogledu radnih sati može biti odložen ako analiza drenažnog ulja i performanse pokažu da ona radi bezprekorno, te ako je izmjerena količina premaza na klipnim prstenovima i dalje dobra [69].

Uvid u stanje cilindarskih košuljica je jako važno. Mjerenje istrošenosti košuljica se redovno vrši prilikom vađenja klipa. Da bi se izmjerio prečnik cilindarske košuljice konvencionalnim internim mikrometrom, potrebno je demontirati glavu sa cilindarske jedinice ili izduvni ventil. Međutim, da bi se pristupilo ovom poslu, neophodno je da se dobije tkz. "*Isolation of machinery*" tj. dozvola za rad koja se odnosi na veće poslove na glavnom motoru. Ovdje posebno treba istaći da luke gdje brod sidri često ne žele da daju ovaj vid dozvole jer se tu podrazumijeva da brod neće imati sopstveni pogon i da treba proći neko vrijeme (pod pretpostavkom da sve prođe kako treba sa tehničke strane) da se ponovo uspostavi pogon na brodu.

Međutim upotrebom uređaja za dijagnostiku LDM (*Liner Diameter Measuring Instrument*), slika 85, izdavanje ove dozvole nije neophodno. Razlog je više nego očigledan. Korišćenjem uređaja LDM nije potrebno dizati glavu cilindarske jedinice ili izduvni ventil. Uređaj se postavlja kroz otvore ispirnog vazduha cilindarske košuljice do kojih se dolazi kroz kolektor ispirnog vazduha.



Slika 85. LDM uređaj za mjerenje prečnika cilindarske košuljice [56]

LDM uređaj je dizajniran za precizno mjerenje prečnika cilindarske košuljice što nije slučaj sa ručnim mikrometrom.

Prosječno vrijeme mjerenja po jednoj cilindarskoj jedinici je oko jedan sat, pri čemu se vrše četiri mjerenja prečnika cilindarske košuljice na devet različitih visina. Preciznost uređaja je 0.03 mm. Ovaj uređaj se može primijeniti na cilindarske košuljice prečnika od 500 do 980 mm.

7.3.6. Pravilna i redovna kontrola ispirnog kanala

Jedna od metoda za provjeru stanja klipnih prstenova je vizuelna metoda kroz ispirne kanale ili kroz otvore na strani pumpe goriva. Oba najveća proizvođača kroz svoje brošure i vodiče o analizi stanja klipnih prstenova i košuljice cilindra su opisali i prikazali slike pomoću kojih se može lakše donijeti zaključak o stanju istih [73, 74]. Tokom ove inspekcije

bi bilo dobro (ukoliko kompanija ima mogućnosti) da se uradi mjerenje debljine nanosa na klipnim prstenovima. Bez spomenute metode mjerenja debljine nanosa ne može se ustanoviti stepen istrošenja ili pak prosjek trošenja i preostali radni vijek prstenova.

Kako se očekuje da se tokom provjere ispirnog kanala kvalitetno provjere stanja klipnih prstenova i košuljice cilindra, te da se ustanove početna istrošenja na istim, to ipak zavisi od svjesnosti senior oficira mašine. Stoga je ovdje predložena učestalost samih kontrola. Pojedine kompanije propisuju kroz svoje sisteme održavanja da se ova inspekcija radi u odnosu na radne sate glavnog motora, dok ima kompanija koje inspekciju vezuju za mjesec.

Predlog zavisi od opremljenosti samog broda. Ukoliko brod ima brodsku portabilnu laboratoriju za mjerenje sadržaja gvožđa u otpadnom ulju, preporuka je da analizu rade sedmično, prilikom promjene goriva te prilikom loših vremenskih uslova. Ako se pokaže vrijednost gvožđa veća od 200 ppm, da se dodatna pažnja posveti tom cilindru i da se uzorak ulja što prije pošalje laboratoriji na kopno kako bi se potvrdile same vrijednosti. Sa druge strane, ukoliko brod ima fiksni sistem koji prati koncentraciju gvožđa u otpadnom ulju, on svakako dnevno radi mjerenja, te je moguće, po potrebi, odrediti da se mjerenja rade i češće. U svakom slučaju, detaljna analiza bi trebalo da se radi minimalno na mjesečnom nivou, i to prilikom rada performanse glavnog motora kako bi se stekla šira slika o stanju svakog cilindra posebno. Preporuka bi bila da se uzorci šalju kada i uzorci ostalog ulja na brodu (svaka 3 mjeseca) radi kvalitetnije analize koju mogu da izvrše sertifikovane laboratorije na kopnu.

7.3.7. Upotreba hemikalija za poboljšanje separacije goriva i sprečavanje stvaranja taloga na dnu tanka

Neposredno prije bunkerisanja, u cilju poboljšanja kvaliteta goriva i sistema procesa separacije, preporučuje se tretiranje hemikalijama. Direktnim dodavanjem u skladišni tank goriva kroz cijev za sondiranje ili korišćenjem sistema za doziranje (ukoliko je ugrađen) po unaprijed određenom/proračunatom odnosu, količini - omogućiti propisno miješanje bunkerisanog goriva i aditiva. Primjera radi, upotreba Wilhelmsen/Unitorovog proizvoda “*Fuel Power Conditioner* [70]” predviđa brojne benefite, poput stabilizacije i homogenizacije goriva, pospješuje efekat procesa separacije nečistoća i smanjuje generisanje taloga u separatorima. Na tržištu ne postoje razvijeni proizvodi u vidu hemijskog tretiranja

koji će direktnim djelovanjem omogućiti neutralizovanje katalitičkih nečistoća, jer je praktično nemoguće ih tim putem odstraniti iz goriva zbog njihove ekstremne čvrstoće. Ali indirektnim djelovanjem mogu pospješiti rad sistema za odstranjivanje pomenutih nečistoća, kao što su separatori, filteri, taloženje u tankovim i sl. te pozitivno djelovati na cjelokupan sistem i efikasnost u tom procesu. Postoje i drugi proizvođači koji nude slične proizvode poput “*Vecom FOT Sludge Dispersant*” [71]. Pojedini hemijski aditivi kao što su prečišćivači tj. deterdženti i deemulgatori omogućuju određene karakteristike gorivu koje je teško ostvariti prečišćivačima, a da druga svojstva goriva ne oslabe [72].

7.4. PREGLED ANALIZIRANIH SISTEMA KOJI SU PRIMJENJIVI NA GLAVNIM DVOTAKTNIM DIZEL MOTORIMA

Kao što je rečeno više puta, zbog specifičnosti rada samog broda, predloženi sistem prečišćavanja goriva se nije mogao testirati na jednom brodu. Pristupilo se parcijalnom testiranju na više brodova u eksploataciji, na brodovima gdje se mogla izvršiti provjera uspješnosti sistema.

Na slici 86 je šematski prikaz sistema sa podacima na kojim brodovima, uređajima i bazama je urađena analiza. Ova ispitivanja su bila neophodna kako bi se utvrdila vjerodostojnost te predstavio mogući vid preventivnog održavanja. Vodio se računa o ekonomskoj računici te uz minimalna ulaganja - investiranja, brodu bi se omogućio adekvatan sistem zaštite. Analizom rada brodskih kompanija, potreba za praćenjem kvaliteta goriva varira. Od one minimalne i uopštene potrebe u vidu analize bunkerisanog goriva od strane akreditovane laboratorije, pa do analize na brodu ili pak slanja više uzoraka (uzetih sa bitnih pozicija) na analizu. Kako bi se znala efikasnost sistema za prečišćavanje goriva neophodno je da se i na brodu prati kvalitet prečišćavanja pogotovo na ključnim mjestima (prije taložnog tanka, prije i poslije separatora, te pred sami ulaz goriva u glavni motor), kao što je prikazano na slici 86. U čitavom istraživanju je korišćen podatak maksimalne potrošnje glavnog motora na tankerskom brodu, jer u ovom režimu plovidbe se brod najčešće nalazi i u tom režimu je neophodno kvalitetno prečistiti veliku količinu goriva za jedan dan. U svim drugim slučajevima manjeg opterećenja glavnog motora (75%, 50% i manje), smanjuje se i potreba za prečišćenom količinom goriva te je u ovim situacijama (pri minimalnom opterećenju separatora) moguće prelivanje između servisnog i taložnog tanka. Treba

napomenuti da se univerzalnost predloženog modela odnosi prvenstveno na laku izmjenu scenarija (spomenute dnevne potrošnje goriva, prelivanje goriva između tankova) te opterećenja rada separatora (od 100% do 35%), te na mogućem režimu rada „na mreži i van mreže“ tkz. *online/ offline mode*.

8. SIMULACIJSKI MODEL ZA PREČIŠĆAVANJE ABRAZIVNIH NEČISTOĆA IZ GORIVA

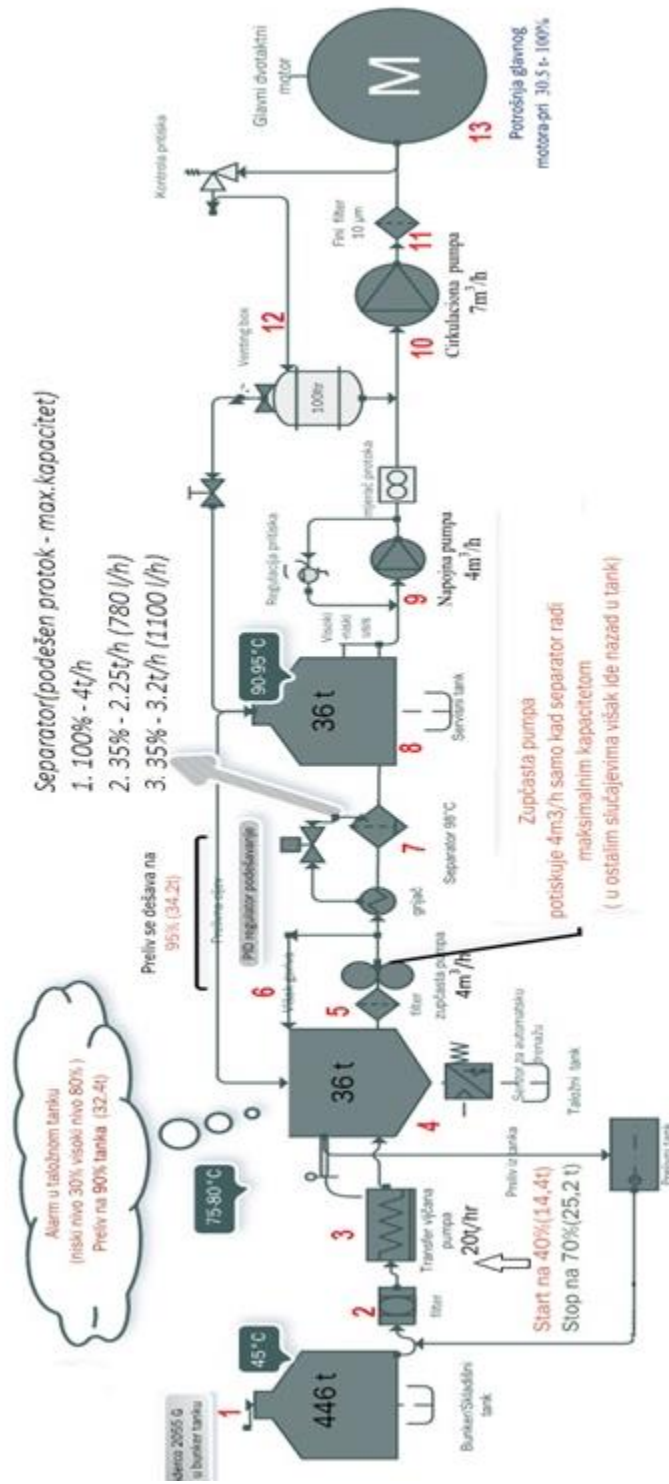
8.1. OBJAŠNJENJE MODELA

Da bi se sistem mogao što bolje objasniti, biće prikazan na blok šemi sa svim elementima i specifičnostima. Na slici 87 je predstavljen model sa tekstualnim i brojnim oznakama radi lakšeg objašnjenja protoka količine goriva, te koeficijenta prečišćavanja u važnim elementima za matematički model. Ovaj model sa 13 elemenata će se označiti kao MPIFG (model prečišćenja i filtracije goriva) za tri scenarija a detaljno je opisan u podpoglavju 8.3.1. Svakom elementu je numerički definisana vrijednost za F (faktor filtriranja) te se vezuje i matrica priliva i odliva goriva za svaki scenarijo (A). Pošto u sistemu figuriraju 13 elemenata, to znači da će i niz F imati 13 elemenata, dok će matrica A imati 13 vrsta i 13 kolona. Treba navesti da faktor filtriranja i protok goriva kroz elemente u najvećoj mjeri opisuju simulirani scenarijo. Vrijednosti niza F predstavljaju brojevi iz intervala $[0,1]$, ($F_i = 1$, znači da se u elementu ne vrši eliminacija nečistoća iz goriva). Niz F ćemo prikazivati u vidu matrice sa jednom vrstom, a matricu A , koristeći standardnu matričnu notaciju.

U ovom modelu se trudilo da se prihvati opšte stanje na brodu, te da se uz manje intervencije poboljša metodologija prečišćavanja. Vodilo se računa da se sva poboljšanja lako involviraju i uz male modifikacije mogu koristiti na svim brodskim sistemima (u dijelu koji se odnosi na pripremu goriva od njegovog skladištenja na brodu pa do ulaska u glavni motor). U modelu su brojevima označeni elementi od skladišnog tanka goriva (br.1) pa do samog ulaska u glavni motor (br.13). Alarm niskog nivoa u taložnom tanku (br.4) je postavljen da bude na 30% a alarm visokog nivoa na 85%. Ukoliko dođe do preliivanja nakon (32.4 t), gorivo se neće izgubiti već će se preliiti u prelivni tank (te kasnije prepumpavanjem vratiti nazad) i oglasiti će se alarm. Zbog toga što se gorivo vraća u sistem ovaj prelivni tank nije zasebno analiziran i označavan posebnim brojem. Transferisanje goriva iz skladišnog tanka do taložnog je omogućeno uz pomoć transfer pumpe koja ima svoj filter (br. 2 i 3). Iz taložnog tanka gorivo koje prođe kroz filter (br.5) koji štiti zupčastu pumpu odlazi ili ka separatoru goriva ili se pak vraća nazad u tank (br.6), u zavisnosti od režima rada i protoka separatora. U slučaju kada separator (br.7) prečišćava mnogo više goriva nego što je potrošnja na brodu, servisni tank (br. 8) će se puniti, te ukoliko ima aktivirati alarm visokog

nivoa. Ovaj alarm je neophodno prihvatiti i staviti na „*repose*“, kako bi se tank nastavio puniti te prelivao u taložni tank. Prečišćeno gorivo iz servisnog tanka ima mogućnost da preko visokog ili niskog usisa dođe do napojne pumpe (br.9) te da preko mjerača protoka dođe do cirkulacione pumpe većeg kapaciteta (br. 10). Nakon protoka goriva kroz ovu pumpu gorivo prolazi kroz posljednji fini filter (br.11) te u zavisnosti od režima rada glavnog motora odlazi u motor ili se višak goriva vraća preko ventilacionog tanka (br. 12) nazad do cirkulacione pumpe goriva.

Da bi se ovaj brodski sistem tretmana goriva lakše pratio, neophodno ga je objasniti po sekcijama tj. djelovima, a za samu simulaciju biće neophodno da se pojedinačni elementi predstave kao filteri. Ovo zapravo predstavlja matricu sa 13 elemenata, koja će se detaljnije objasniti u poglavlju 8.3.



Slika 87. Razrađen model sistema separacije, filtracije goriva kao i upotreba automatike i senzora na tankovima zbog sigurnosti i eliminacije „ljudskog faktora“

8.1.1. Poboljšanje efikasnosti rada separatora goriva

8.1.1.1. Poboljšanje efikasnosti rada separatora dodavanjem hemikalije u skladišnom tanku

U ovom modelu kapacitet skladišnog tanka je 446 t koji se održava na preporučenoj temperaturi od 45° C. Iz prakse se može reći da samo neki skladišni tankovi imaju mogućnost drenaže zbog položaja samog tanka. Nemogućnost dreniranja skladišnog tanka (br.1) predstavlja problem, što se na ovakav način onemogućuje eliminisanje od 5 - 20% abrazivnih nečistoća iz tanka (DNV). Osim toga, nataložena voda u tanku i prisustvo goriva je kombinacija koja pogoduje stvaranju mikroorganizama (bakterija, itd.) koje kasnije mogu da naprave probleme u filterima, separatorima goriva, pa i u samom motoru. Zbog toga, a i zbog povećavanja efikasnosti rada separatora, u ovom modelu je predložena hemikalija Aderco 2055 G koja utiče na sprečavanje razvoja mikroorganizama, a najviše zbog povećanja rada efikasnosti separatora. Da bi se dokazala efikasnost same hemikalije, neophodno je bilo da se uradi analiza goriva prije i poslije separatora za oba slučaja, tj. kada separator prečišćava gorivo bez dodatka hemikalije i sa dodatkom hemikalijom. U analizi koja je urađena u *Viswa Lab Houston* iz tabela 24 i 25 se najbolje može uočiti razlika u efikasnosti rada separatora. Za samu analizu, rađeno je mjerenje bitnih elemenata kao što su voda, totalni sediment, katalitičke nečistoće u gorivu, natrijum, gvožđe i broj koji određuje efikasnost rada separatora.

Tabela 24. Spektroskopska analiza goriva prije i nakon separatora (ukoliko je PEFN broj veći od 58 i AL+Si manje od 15 ppm, tada će se kvalitet separacije smatrati iznad prosjeka)

Lokacija	H ₂ O	TSE	Al+Si	NA	FE	PEFN	Kvalitet goriva
Prije separatora	0.20	0.05	46	31	26	47	Ispod prosjeka
Poslije separatora	0.20	0.04	11	24	21	56	Ispod prosjeka
Efikasnost	0%	20%	76,09%	22.58%	19.23%		

Kao što se može vidjeti iz tabele 24, efikasnost separatora koji je prečišćavao gorivo, oznake IFO380 - RMG380, je nešto veća od 76%. Vidljivo je da osim smanjenja količine abrazivnih nečistoća od 76% postoji umanjeno prisustvo natrijuma i gvožđa. Prisustvo natrijuma se

povezuje sa štetnim uticajem morske vode, stvaranjem korozije itd. dok prisustvo gvožđa u gorivu nakon tretiranja može prouzrokovati istrošenja u motoru.

Kada uporedimo prethodne podatke sa podacima analize kod tretiranog goriva dodavanjem hemikalije Aderco 2055G date u tabeli 25, jasno se mogu uočiti poboljšanja.

Tabela 25. Spektroskopska analiza goriva prije i nakon separatora sa upotrebom hemikalije (ukoliko je PEFN broj veći od 60 i AL+Si manje od 15 ppm, tada će se kvalitet separacije smatrati iznad prosjeka)

Lokacija	H ₂ O	TSE	Al+Si	NA	FE	PEFN	Kvalitet goriva
Prije separatora	0.10	0.01	25	11	10	58	Ispod prosjeka
Poslije separatora	0.10	0.01	1	4	2	65	Iznad prosjeka
Efikasnost	0%	0%	96%	63.64%	80%		

Više nego uočljivo je smanjenje prisustva abrazivnih nečistoća (Al+Si) od čak 96%, dok je nastalo i znatno umanjeno prisustvo natrijuma i gvožđa. Iz tabele 26 se vidi efikasnost hemikalije koja se dodaje u skladišnom tanku. Upotrebom hemikalije dolazi do umanjavanja katalitičkih nečistoća u gorivu od 26%, dok je umanjeno prisustvo natrijuma i gvožđa više nego očigledno. Na osnovu ove analize, jasno se pokazala važnost upotrebe hemikalije u procesu umanjavanja abrazivnih nečistoća u gorivu.

Tabela 26. Upoređivanje efikasnosti prečišćavanja

Efikasnost prečišćavanja	H ₂ O	TSE	Al+Si	NA	FE
Bez hemikalije (tabela 22)	0%	20%	76,09%	22.58%	19.23%
Sa hemikalijom (tabela 23)	0%	0%	96%	63.64%	80%
Poboljšanje	0%	0%	26.17%	181.82%	316%

	Analizirani parametar	Puni naziv	Veličine
1	H ₂ O	Voda	%v/v
2	TSE(<i>total sediment existence</i>)	Postojanje totalnog sedimenta	%m/m
3	Al+Si (<i>Aluminium+Silicon</i>)	Katalitičke nečistoće	mg/Kg
4	Na (<i>Sodium</i>)	Natrijum	mg/Kg
5	Fe (<i>Iron</i>)	Gvožđe	mg/Kg
6	PEFN (<i>Purifier efficiency number</i>) ¹²	Broj efikasnosti separatora	
7	PED (<i>Purifier efficiency determination</i>)	Određivanje efikasnosti separatora	

¹² PEFN - je algoritam razvijen od *Viswa Lab* da bi se odredila efikasnost separatora. Analizirani parametri se uzimaju kao mjerilo rada separatora.

Efikasnost uklanjanja nečistoća iz pogonskog goriva zavisice od stanja u tankovima, vrijednosti grijanja goriva, količine i načina doziranja hemikalija itd. ali je bitno da se uradi po instrukcijama proizvođača.

8.1.1.2. *Poboljšanje efikasnosti rada separatora dodatnim eliminisanjem abrazivnih nečistoća dodavanjem tanjira novije generacije*

Ugradnjom diskova posebno razvijenih za kvalitetniju separaciju i eliminaciju katalitičkih nečistoća, firma Alfa Laval je pošla korak dalje te omogućila ovu ugradnju na postojećim osnovama separatora. Ovo je benefit samo za brodove koji već koriste njihove separatore. Izmjenom tanjira sa tanjirima novijeg dizajna u već postojeće kućište separatora uz pomoć specijalista iz firme Alfa Laval omogućuje se poboljšana eliminacija abrazivnih nečistoća od čak 30% u istom separatoru. Pored ove prednosti, treba napomenuti da su odmah dostupni tanjiri novijeg dizajna, te da ne treba modifikovati postojeće cjevovode kao ni postojeće električne instalacije. Uz ovu modifikaciju se dobijaju i važni CFR sertifikati *Certified Flow Rate* (firme DNV GL) čim se završi sa novom instalacijom [76]. Međutim postoje i drugi proizvođači te brodari koji nisu raspoloženi za dodatna ulaganja.

8.1.2. *Podešavanje rada transfer pumpe goriva i prelivanje iz servisnog tanka*

U ovom modelu transfer pumpa koja je zadužena da gorivo iz skladišnog tanka prepumpa u taložni tank je kapaciteta 20 t/h, iz čega se može zaključiti da za sat i trideset minuta ova pumpa može da prepumpa dnevnu potrebu glavnog motora kada radi na maksimalnom opterećenju. U praksi se najčešće sreće opcija sa automatskim zaustavljanjem (auto - stop) transfer pumpe (vijčani tip), dok je za njeno startovanje najčešće zadužen dežurni oficir u mašini. Zbog samog modela i preciznijeg proračuna, u ovom modelu su podešeni trenuci kada će se pumpa sama upaliti i ugaziti, te su definisani nivoi kada će (i kada može doći) do prelivanja. Podaci o svim alarmima koje je neophodno ugraditi su definisani *IACS (International association of classification societies)* klasifikacionim društvima, što znači da se oni određuju u skladu sa tipom, veličinom broda. Da bi model bio što realniji, a da ne bi zavisili od posade, u ovom modelu je podešen automatski rad transfer pumpe. Automatski start i stop pumpe su prikazani u tabeli 27, kao i neophodni alarmi niskog

i visokog nivoa goriva, te neophodne informacije kada dolazi do preliivanja iz taložnog te servisnog tanka.

Tabela 27. Podaci neophodni za modeliranje (za taložni i servisni tank goriva)

	Punjenje Taložnog tanka	Alarmi na Taložnom tanku	Preliv Tal.tank	Preliv Serv.tank
1	<i>Auto start</i> - 40% (na 14.4 t goriva u tanku)	<i>Low level</i> –niski nivo - 30% (na 10.8 t goriva u tanku)		
2	<i>Auto stop</i> - 70% (na 25.2 t goriva u tanku)	<i>High level</i> –visoki nivo - 80% (na 28.8 t goriva u tanku)	90% (32.4t)	95%(34.2t)

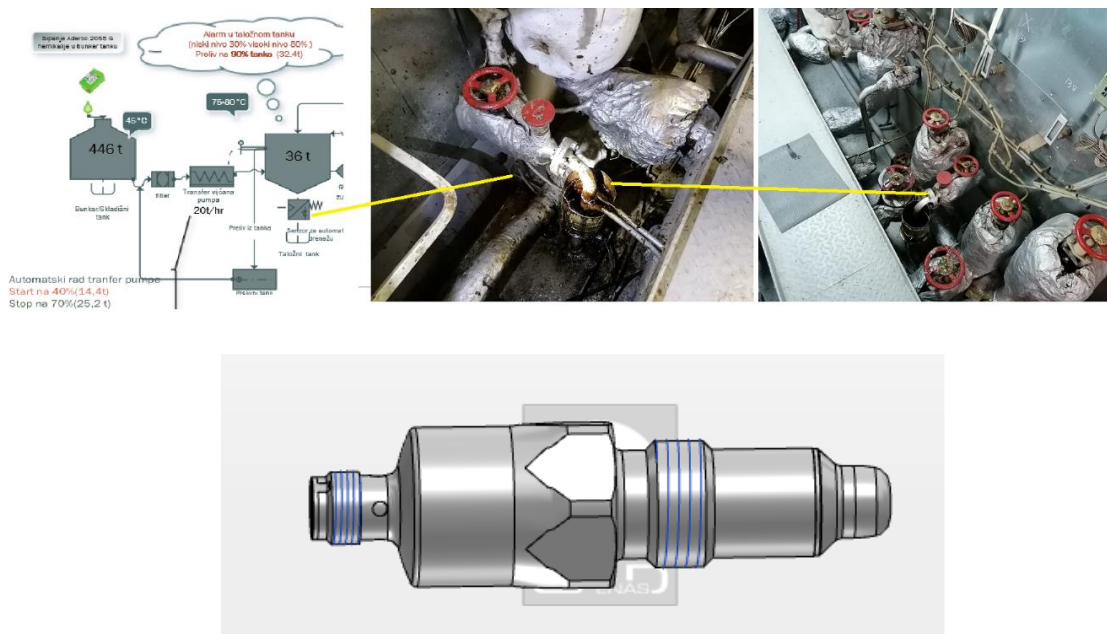
U ovoj šemi sistema kapaciteti taložnog i servisnog tanka su od 36 tona, a ukoliko dođe slučajno do prepumpavanja taložnog tanka u prelivni tank, neophodno je što prije to gorivo vratiti u sistem (kako bi se spriječilo razvijanje bakterija). Svakako, ukoliko dođe do preliiva to gorivo nije izgubljeno već se naknadno koristi, pa je sa stanovništva modelovanja bitno da bude predstavljeno. Kod same simulacije je potpuno svejedno dali će gorivo dolaziti iz bunker tanka ili ono što se preliilo jer je u suštini isto gorivo sa istom količinom nečistoća u sebi. Ideja postavljanja automatskog starta pumpe je da osim eliminacije „ljudskog faktora“ i težnja da se češće prepumpa manja količina goriva (10 t), kako se ne bi desilo da u slučaju valjanja, nečistoće koje su se nataložile u skladišnom tanku odjednom dođu u taložni tank i dalje ka motoru. Ovom razmišljanju ide u prilog i rijetki otkaz transfer pumpe koje je objašnjeno u prethodnom dijelu rada. Filter koji je predstavljen u modelu služi uglavnom da zaštiti pumpu od krupnih nečistoća te njegova funkcija u finom prečišćavanju nije bitan faktor. Gorivo iz bunker tanka koje je zagrijano na 45°C se preko transfer pumpe prepumpava u taložni tank u kojem se gorivo zagrijava na 75 - 80°C.

8.1.3. Ugradnja automatskog drenažnog ventila na taložnom tanku goriva

Novi predloženi segment u ovom sistemu je senzor koji će moći da detektuje vodu u gorivu i da automatski drenira istu. Po preporukama i tehničkom izvještaju *Exxon Mobile*, *Marine fuel and lubricant*, koji se bavi preporukama kako reagovati u slučaju veće količine katalitičkih nečistoća u gorivu, dreniranje na taložnom tanku je neophodno da se radi svaka dva sata. Što bi u ovom slučaju značilo da brodska posada mora biti prisutna konstantno u mašinskom prostoru i minimum 12 puta dnevno da se dreniraju sami tankovi. Zbog obima posla i specifičnosti rada u mašinskom prostoru može se desiti da se zaboravi a posebno bi

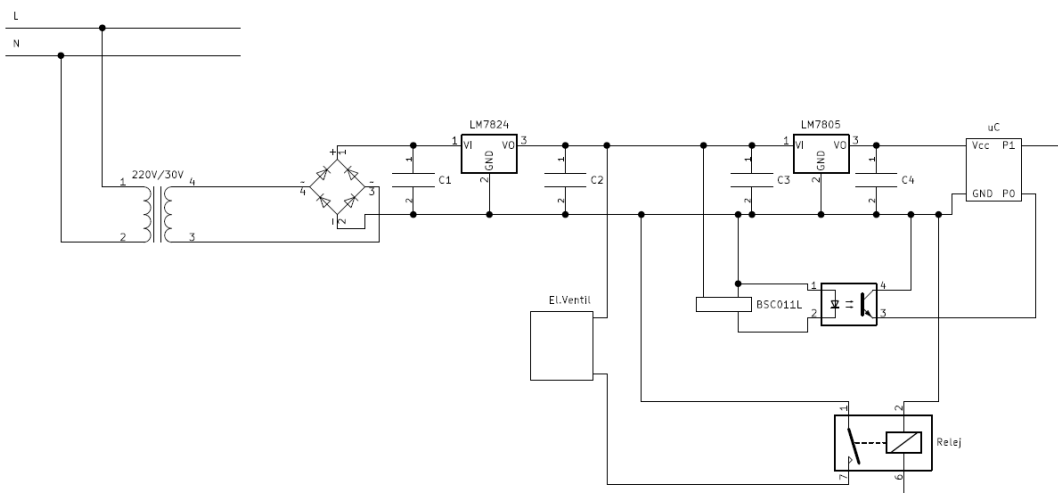
bio kritičan period nakon što posada iz mašinskog prostora pređe na *UMS* mode. Naime ovaj period traje najčešće od 17h popodne do 7h narednog dana (uz obavezu kontrole mašinskog dijela u večernjim satima, u dužini od 1h od strane dežurnog oficira mašine ili protiv požarne patrole dežurnog kormilara). Sve ovo zavisi od propisanih pravila brodskog SMS manuala, ali je evidentno da može proći dug period vremena da nema nikog u mašinskom prostoru stoga postoji problem drenaže iz tankova. Osim toga za sami model je neophodno anulirati mogućnost da se ne vrši redovna drenaža.

Na slici 88 je prikazana preporučena pozicija za automatski drenažni ventil. Konstrukcijski je najjednostavnije da se nakon ručnog izolacionog ventila postavi paralelna grana (cijev sa senzorom) i automatskim ventilom kako bi se ostavila mogućnost ručne drenaže na brodu.



Slika 88. Mjesto za postavljanje automatskog drenažnog ventila sa izgledom senzora za detekciju vode u gorivu

Za ovaj model je uzet kapacitivni senzor oznake BSC011L koji može detektovati vodu u gorivu. Na osnovu ovog senzora je razrađen i šematski dijagram sa kratkim objašnjenjem komponenti na ovoj šemi.



Slika 89. Šematski dijagram potrebne instalacije za senzor i elektro magnetni ventil

Na slici 89 je prikazana električna šema sistema za dreniranje vode (a sa tim i nataloženih nečistoća) iz goriva u taložnom tanku. Fazni napon mreže (230 V AC) se pomoću transformatora pretvara u napon vrijednosti 30 V AC. Potom pomoću diodnog punotalasnog ispravljača povezanog na krajevima sekundara transformatora prelazi u sistem jednosmjerne struje i napona. Na izlazu linearnog regulatora napona (LM7824) generiše se električna energija konstantnog napona od 24 V DC, koji omogućava ispravan rad elektromagnetskog ventila (el. ventil) i korišćenog senzora (BSC011L). Kondenzatori služe za stabilizaciju ulaznog i izlaznog napona na regulatorima, dok su vrijednosti kapacitivnosti preporučene od strane proizvođača. Takođe, pored spomenutog linearnog naponskog regulatora, korišćen je još jedan regulator iz iste familije (LM7805), čija je uloga da na svom izlazu generiše jednosmjerni napon konstantne vrijednosti od 5V, a koji se isključivo koristi za napajanje korišćenog mikrokontrolera. Uloga mikrokontrolera je izvršenje svih logičkih operacija koje ovaj sistem koristi.

Naime, u ovom sistemu su korišćena dva pina mikrokontrolera, pri čemu jedan predstavlja digitalni ulaz (očitava stanje na senzoru), a drugi digitalni izlaz (upravlja elektromagnetskim ventilom koji ispušta akumuliranu vodu sa dna tanka). Pošto je veoma važno galvanski odvojiti mikrokontroler od senzora i ventila, jer su isti na većem naponskom nivou od samog mikrokontrolera, korišćene su još dvije komponente. Te komponente su optokapler i relej. Optokapler je izabran za očitavanje vrijednosti sa senzora, jer isti ima

sposobnost da djeluje veoma brzo na najmanje promjene, pa je i pouzdanost očitane vrijednosti sa senzora velika. Sa druge strane, elektromagnetski ventil predstavlja robustan element, pa je za njegovo upravljanje dovoljan relej.

Uz pomoć ovog senzora, moguće je kontinuirano detektovanje vode u gorivu, te pravovremeno dreniranje iste u taložnom tanku. U svakom slučaju moglo bi se programirati, da ukoliko senzor duži vremenski period bude aktivan, da se javi alarm kako bi se prekontrolisala ispravnost uređaja. Sa druge strane u otpadnom – drenažnom tanku bi se mogla napraviti pregrada manjeg kapaciteta koja bi služila kao dodatna sigurnost. Kako se u slučaju otkaza senzora ne bi veća količina goriva greškom drenirala, već bi se u tom slučaju vratila u sistem, a senzor do same popravke isključio iz upotrebe. Na ovakav način bi se osigurala eliminacija 20% nečistoća iz goriva.

8.1.4. Protok goriva od taložnog do servisnog tanka

Uz pomoć zupčaste pumpe kapaciteta od 4 m³/h ispred koje se nalazi filter, gorivo se potiskuje do separatora goriva. U ovom modelu maksimalni kapacitet separatora goriva odgovara maksimalnom kapacitetu zupčaste (dobavne) pumpe i tada se podrazumijeva da separator radi sa 100% kapaciteta. Ukoliko se pak smanji kapacitet na separatoru za 50%, to će značiti da zapravo samo pola kapaciteta pumpe dolazi do separatora, a preostala količina se vraća nazad u taložni tank. Da bi gorivo došlo do separatora neophodno ga je zagrijati u grijaču na predviđenu temperaturu potrebnu za separaciju goriva (preporučena 98°C). U prethodnim poglavljima je dokazano da se smanjenjem kapaciteta separatora bolje prečišćava gorivo tj. da se bolje uklanjaju abrazivne nečistoće. Stoga je neophodno poznavati sami sistem i tačno definisati količinu goriva koja je neophodna za ispravan i siguran rad jednog broda. Ranije u tabeli 15 je prikazano da zapravo i pri maksimalnom opterećenju motora (koji troši 30.5 t/danu) separator pri 50% opterećenja može da separira 48 t/danu. Odnosno zbog ispiranja separatora kada se uzme da na svaki sat vremena se radi ispiranje ustvari separira 46 t goriva. Čak i kada se oduzme prosječna dnevna potrošnja goriva (zbog rada dizel generatora 2.8 t) te i da se oduzme prosječna potrošnja goriva zbog rada kotla od 2.43 t (iako pri radu motora od 100% ekonomajzer bi trebao da proizvede dovoljnu količinu pare tako da kotao ne bi trebalo da ima ovoliko potrošnju), ostaje 10 t viška goriva. Tri puta više nego što

je poželjno u praksi, kada se smatra da je dovoljno imati dodatnih 10% separiranog goriva za siguran rad na brodu.

Ovo gorivo će se svakako prelići iz servisnog u taložni tank. No ovdje se želi ukazati na potrebu za češćim i pravilnim rukovanjem separatora goriva nego što je to u praksi regulisano. Zbog ove tvrdnje je neophodno da se simuliraju različiti scenariji koji se dešavaju u praksi. Pogotovo u trenucima kad je brod na vezu ili na sidru, kada nema veliku potrošnju goriva (sem ukoliko je operacija iskrcanja tereta na tankeru u pitanju), tj. neophodno je češće regulisati maksimalni protok goriva kroz separator. U tom slučaju kao i u ostalim (što je ranije definisano) potrebno je da separator separira malo više od ukupne dnevne potrošnje goriva (+10%) na brodu, te da što je moguće manje prelića. Neophodno je da prelivna cijev bude postavljena tako da ako dođe do prelićavanja goriva iz tanka, da se prelića gorivo sa dna (30 - 40cm sa dna tanka). Preporuka je da kada brod ide u balastu da se protok spusti još 35 % na separatoru kako bi bilo što bolje separiranje tj. prečišćavanje.

U ovom dijelu treba napomenuti dva slućaja:

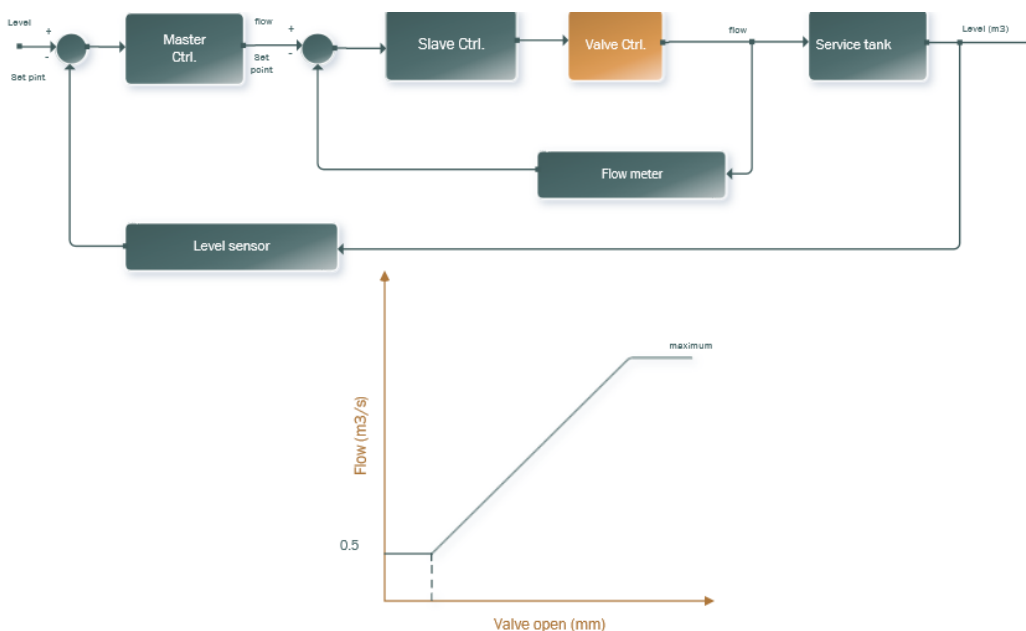
- dobar sistem je kada postoji recirkulacija goriva prema taložnom tanku, tj. kada pri procesu sladžiranja separatora (gorivo nakon grijaća ne ide samo na recirkulaciju, već može da ide nazad u taložni tank). U ovom sistemu PID kontroler nije opterećen, dok u slućaju kada ga nema ili kad je izvedba cjevovoda loša, neophodno je da se fokusira na podešavanje PID kontrolera, koji vremenom zbog propušćanja može da pregrije gorivo (o čemu je bilo govora u prethodnim poglavljima i zbog čega je postojala potreba da se izvrši rućno podešavanje kontrolera),
- slućaj kada se desi da kapacitet napojne pumpe separatora bude veći od samog kapaciteta separatora, a tkz. *by - pass* zagrijaća goriva kontroliše ventil sa oprugom. U praksi se dešava da zbog same konstrukcije i prigušenog uticaja ovog ventila, prilikom smanjenja protoka na separatoru, protok se ne može smanjiti ispod visokih 67%.

Tendencija oficira odgovornog za separatore mora da bude da se što manje optereti separator goriva! Na ovakav naćin će se bolje odvojiti male, a opasne katalitićke nećistoće iz goriva. Stoga je ovom dijelu posvećena posebna pažnja u procesu simulacije, a posebna pažnja na raspodjelu kolićine goriva u različitim režimima rada. Češće prelićvanje iz servisnog u taložni tank ne znaći i bolju eliminaciju sitnih, opasnih nećistoća.

Radom separatora kod koga se teško gorivo ugrije na 98°C, direktno se utiče i na temperaturu u servisnom tanku.

Na slici 90 je prikazana automatska regulacija protoka goriva kroz sistem. Ona je neophodna kako bi se, u odnosu na stvarnu potrošnju goriva, omogućila fina regulacija rada separatora. Na ovakav način i sam separator će bolje raditi odnosno eliminisati fine nečistoće. Kako je na samoj šemi prikazano, regulacija će zavisiti od trenutne potrošnje goriva (signal dolazi od mjerača protoka). Taj signal se upoređuje sa nivoom goriva u servisnom tanku (gdje je podešeno da se nivo održava na 36 m³). Da bi se dobila prava slika, u sami sistem će dolaziti i signal nakon separatora tj. precizna količina trenutno prečišćenog goriva. Upoređujući sve ove veličine, prava informacija o stanju goriva i neophodnoj količini će se vratiti na trokraki ventil (3v) i osigurati preciznu regulaciju goriva.

Sami sistem fine regulacije protoka se može i šematski prikazati na sljedećoj slici . Kao što se može primijetiti na slici 91, glavnu funkciju ima glavni (*master control*), na koji se dovodi signal stvarnog nivoa. Regulator računa grešku i na temelju te greške računa tkz. *setpoint* (referentnu vrijednost) protoka koju predaje „*slave*“ (pomoćnom regulatoru). Pomoćni regulator prima signal iz glavnom regulatora (set point protoka) i mjereni protok, te računa grešku (tj. razliku) koja mu je neophodna da računa upravljački signal za ventil preko kojeg će se regulisati protok goriva kroz separator. Ovaj način regulacije može se primjeniti kako na autonomnim brodovima (koji se sve više razvijaju) tako i na sadašnjim brodskim sistemima. Originalnost ovog načina regulacije se ogleda u najboljoj kontroli protoka goriva kroz separator a samim tim i najbolje prečišćavanje goriva u datom trenutku. Pogotovo u situacijama kada je na brodu manja potrošnja goriva, tada dolazi do izražaja fina regulacija protoka. U ovom sistemu regulacije protoka jako važnu ulogu imaju i senzori (signali nivoa goriva u tanku) koji šalju preciznu informaciju iz tanka (o trenutnom stanju) te na takav način osiguravaju uvijek dovoljnu količinu prečišćenog goriva. Praktičnost ovog sistema se ogleda i u primjeni pri paralelnom i rednom radu separatora. Neki od mogućih scenarija pri većoj potrošnji goriva su opisani i predstavljeni u podpoglavlju 8.2.1., a na slici 93 je predstavljen način regulacije. Dok je sama optimizacija i autonomnost predstavljena u poglavlju 8.4.

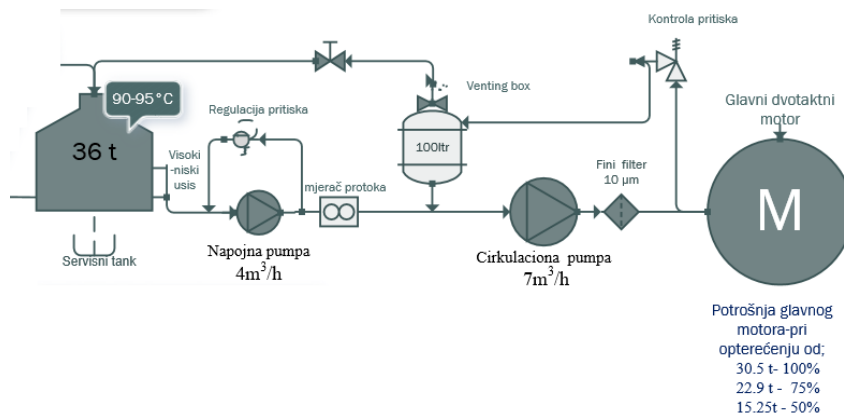


Slika 91. Šematski prikaz održavanja nivoa goriva

Ono što se vidi iz dijagrama na slici 91 je zapravo podešen minimalni protok kroz sami separator, odnosno količina otvorenog ventila koji napaja separator koja mora da bude uvijek minimalno otvorena. Podešeno je kao minimalni protok od 0.5 m^3 , te se u zavisnosti od stvarne potrošnje goriva ovaj ventil može samo otvarati sve više, do njegovog maksimuma, kao što se vidi na dijagramu.

8.1.5. Protok goriva od servisnog tanka do glavnog dizel motora

Nakon što se gorivo separiralo uz što manji mogući protok, neophodno ga je dopremiti do glavnog motora. Svakako preporuka je da se postavi usisni cjevovod goriva na dva nivoa usisa (donji i gornji), kako bi se spriječilo uzimanje nataloženih nečistoća sa dna tanka. Gorivo iz servis tanka preko gornjeg usisa uz pomoć napojne pumpe (kapaciteta $4 \text{ m}^3/\text{h}$) potiskuje gorivo kroz mjerac do cirkulacione pumpe (kapaciteta $7 \text{ m}^3/\text{h}$), koja potiskuje gorivo kroz grijače, viskozimetar do automatskih filtera. Posljednji elementi koji mogu još prečistiti gorivo od abrazivnih nečistoća su fini filteri. Preporuka su fini filteri od $10 \mu\text{m}$, jer kao takvi mogu da zadrže tj. da filtriraju samo 50% nečistoća apsolutnih veličina. U zavisnosti od režima rada glavnog motora, jedan dio goriva se potroši, dok se višak goriva preko regulatora pritiska vraća nazad u tkz. venting box (cijev) i nazad na usis u cirkulacionu pumpu. Ova cijev služi da eliminiše eventualno stvaranje pare goriva, te osigurava stabilan rad same pumpe. U ovom modelu kapacitet ove cijevi je 100 litara. Takođe, ukoliko nema potrošnje, onda se na napojnoj pumpi aktivira preko - pritiski ventil koji ima zadatak da taj višak goriva recirkulira (slika 92).



Slika 92. Prikaz sistema protoka goriva od servisnog tanka do glavnog motora

Na kvalitet prečišćavanja će indirektno uticati potrošnja goriva u glavnom motoru (potreba za većom količinom goriva će limitirati mogućnost smanjenja protoka kroz separator, kao glavnog elementa prečišćenja goriva) tj. režim i opterećenje rada motora. Višak goriva će svakako ići na recirkulaciju, jer u slučaju kad glavni motor radi na 100% opterećenja, on će trošiti samo 1.27 t/h što će značiti da će čak 5.73 t/h recirkulisati, a da će samo potrošen dio goriva biti nadomješten od napojne pumpe tj. iz servisnog tanka. U svim ostalim slučajevima će biti znatno manja potrošnje od strane glavnog motora, te će više goriva recirkulisati u sistemu i gorivo će više puta proći kroz fini filter. Na slici 95 kod tanka za ventilaciju je prikazano da će pare stvorene na vrhu tanka biti eliminisane, a takođe je prikazana i povratna linija ka servisnom tanku kod koje je ventil zatvoren. Za sami proces simulacije, cjevovod će se smatrati punim, dok će se tankovi goriva vremenom puniti na programirane vrijednosti. Intencija je da se oslika brodska situacija, kada su nakon početnog punjenja tankovi goriva uglavnom puni ili se dopunjavaju, a ispravnost ostalih pumpi osiguravaju i dodatne tkz. stand by pumpe koje su na brodovima označene kao pumpa br 1 ili 2. Praksa je pokazala da je poželjno da se ove pumpe mijenjaju na mjesečnom nivou kako bi se osigurao siguran rad. Ukoliko se pak uoče neke nepravilnosti u radu tokom mjesečnog prebacivanja, na ovakav način se osigurava dovoljno vremena za popravku istih i poručivanje rezervnih djelova.

Kako se na brodovima mogu i dalje naći fini filteri pred ulazak u glavni motor od 10 - 50 mikrona, tako je i u modelu analizirana uspješnost separacije kod filtera različitih veličina (10, 25 i 48 μm).

8.2. TESTIRANJE ANALIZIRANOG MODELA I OPISI SCENARIJA

8.2.1. Testiranje analiziranog modela na broskom sistemu u eksploataciji sa stanovišta neophodne količine prečišćenog goriva

Napomena: dio ovog poglavlja je razvijen iz rada "*Optimization of Fuel Purifier Operation for More Efficient Elimination of Small Abrasive Impurities*" [91]

Kako bi se prethodni model testirao u praksi, korišćen je tankerski tip broda sa sličnim radnim parametrima te u tri najkarakteristična slučaja tj. režima u toku eksploatacije.

U razmatranom modelu prikazanom ranije na slici 90, veličine skladišnog tanka (*bunker tank*) iznosi 446 t, dok su taložni i servisni tankovi kapaciteta od 36 t, a kapacitet transfer pumpe iznosi 20 t/h. Što odgovara testiranom modelu. Ovdje treba napomenuti da se za analizu nije uzimano 100% opterećenje motora tj. MCR “*maximum continius rating*” (kada se motor može voziti sat vremena), već je za sami model korišćen NCR “*normal continius rating*” (80% MCR).

Potrošnja goriva kod analiziranog modela pri NCR iznosi 30.5 t/d za motor od 11 800 kW. Potrošnja goriva na generatorima svakako varira, zavisi od brodske potrošnje električne energije, a zavisi i od politike firme: da li i gdje da se koristi drugi tip goriva, odnosno MDO (*marine diesel oil*).

U ovom modelu su analizirani specifični slučajevi sa maksimalnom potrošnjom goriva, koji se na tankerskom brodu očekuju.

1) kada se brod kreće maksimalnom brzinom i kada mu je neophodan minimalni broj generatora za normalan rad (najčešći slučaj prilikom plovidbe, ukoliko se kompanija ne odluči za ekonomičnu brzinu ili *SSS super slow steaming*). Takođe se dodaje potrošnja goriva pri upotrebi modernog prečišćivača goriva (*scrubber*), koja povećava potrošnju goriva za 1 t/dan,

2) kada se brod nalazi u luci iskrcaja tj. kada je maksimalna potrošnja goriva na kotlu i kada zbog specifičnosti iskrcaja moraju da rade barem dva dizel generatora (napomena da se ova situacija dešava samo pri iskrcaju tereta što nije čest slučaj). Treba imati na umu da se današnja operacija iskrcaja kod produkt tankera odvija za 16 h te i taj podatak govori o samoj mogućoj potrošnji.

3) kada je brod u plovidbi i kad se grije teret; u ovom slučaju će biti maksimalna potrošnja goriva na glavnom motoru, plus veća potrošnja goriva na kotlu te povećana potrošnja goriva na dizel generatorima.

U zavisnosti od maksimalne potrošnje goriva, zavisi i opterećenje sistema za prečišćavanje goriva. Maksimalni kapacitet analiziranog separatora goriva u opisnom modelu je iznosio 3.200 l/h.

Da bi model bio što realniji u toku jednog dana, smanjen je u proračunu jedan sat koji se izgubi tokom procesa sladžiranja, ispiranja i ponovnog pokretanja procesa separacije. I u tom slučaju pri maksimalnom radu separatora, količina prečišćenog goriva bi iznosila:

$$3.200 \left(\frac{l}{h}\right) \times 23(h) = 73.600 l \quad (5)$$

Kako se može vidjeti, dnevna separacija goriva bi bila 73.6 m³ dok bi maksimalna dnevna potrošnja glavnog motora bila tek 30.5 m³. Ovaj slučaj dokazuje da nije potrebno da separator radi sa 100% opterećenja, pa ni pri maksimalnoj potrošnji glavnog motora.

Glavni potrošači goriva na brodu su već pomenuti glavni motor, generatori te kotlovi. Zbog toga je neophodno i predstaviti njihovu potrošnju u spomenutim slučajevima (tabela 28).

Tabela 28. Dnevna potrošnja goriva na tankerskom brodu i opterećenje separatora

<i>Slučajevi;</i>	<i>Dnevna potrošnja goriva na tankerskom brodu sa motorom snage 11.800kW</i>				<i>Opterećenje na separatoru</i>
	<i>M/E Main engine</i>	<i>D/G Diesel generators</i>	<i>Aux.B. Auxiliary Boiler</i>	<i>Totalna potrošnja</i>	
1. slučaj (vožnja max. brzinom motora)	30.5 t	3.2 t ili 4.2 t sa scrubber	0.1t economiser radi	34.8 t	50%
2. slučaj (iskrcaj tereta)	0 t	5 t	45 t	50 t	68%
3. slučaj (max. brzina motora i grijanje tereta na brodu)	30.5 t	5 t	20 t	55.5 t	80%

Iz tabele 28, može se uočiti da se u slučaju 1. potrošnja goriva na generatorima povećala za 1t ukoliko se koristi scrubber. Dok kotao pri ovolikoj brzini glavnog motora nema potrebu da radi, jer ekonomizaizer proizvede dovoljno pare koja je potrebna za dnevnu potrošnju. U ovom slučaju njegovu potrošnju ćemo minimizirati.

U modelu nisu razmatrane specifične brodske situacije, slučajevi kada je nevrjeme, kada je veliki uticaj vjetra ili morske struje, uticaj balasta ili pak „čistoća“ brodske kobilice. Takođe na dobar rad motora sa druge strane, utiče mnogo faktora kao npr.;

- meteorološki uslovi okoline u kojoj motor radi;
- otpor na usisu vazduha i protivpritisak gasova na izduvu;
- temperaturni režim hlađenja i podmazivanja motora, kao i kvalitet vode i ulja;

- faze razvođenja gasova i uslovi razmjene gasa;
- pritisak prednabijanja;
- pritisak ubrizgavanja goriva i njegovo raspršivanje, koji su uslovljeni radom sistema goriva;
- ravnomjernost dobave goriva po cilindrima;
- tehničko stanje cilindarsko - klipne grupe motora;
- vrsta - kvalitet goriva koje se koristi.

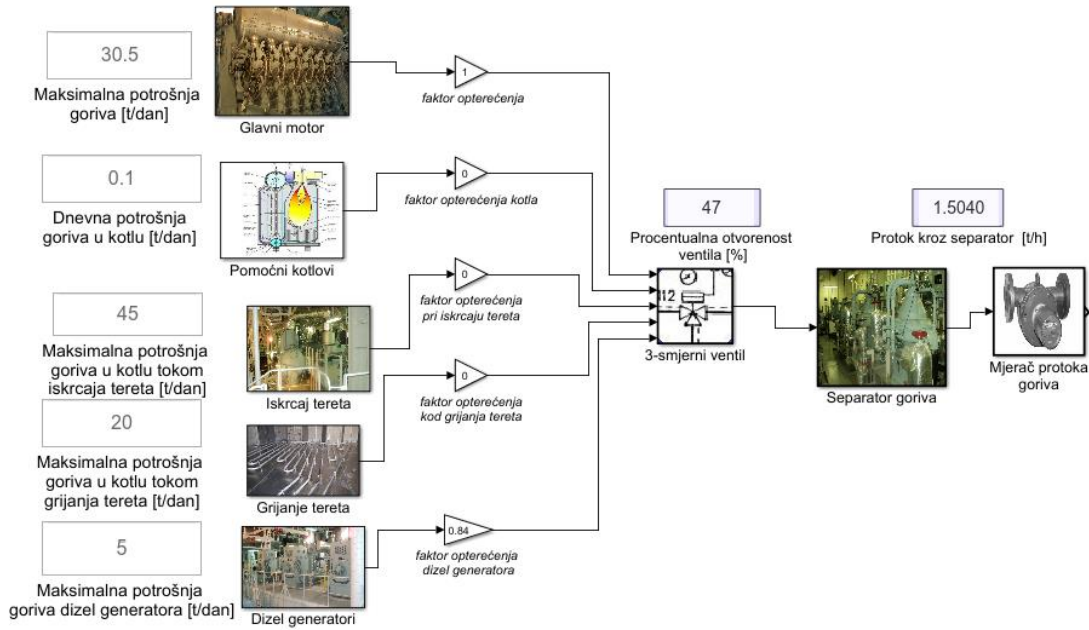
Kada se upoređi maksimalna količina separisanog goriva od 73.6 t u odnosu na slučajeve iz tabele 28, može se uočiti razlika prečišćenog u odnosu na potrošeno gorivo.

Slučajevi 2 i 3 su relativno rijetki, stoga bi u tim trenucima bilo za očekivati da se poveća količina goriva koja će se prečistiti. Dok je slučaj br. 1 najčešći i njemu se mora posvetiti maksimalna pažnja, a iz tabele se može uočiti da je u ovom slučaju dovoljno da separator radi sa svega 50% opterećenja.

U zavisnosti od kapaciteta napojne pumpe goriva za separator i od njegovog kapaciteta, zavisiće i količina separiranog goriva. Sa druge strane, kapacitet pumpi se najčešće povezuje sa kapacitetom separatora, dok bi on u svakom slučaju trebalo da bude umnogome veći od same dnevne potrošnje goriva na brodu (pomenuti brodski režimi).

Smatra se da je u normalnim okolnostima dovoljno da radi samo jedan separator (koji može da opsluži dnevnu potrebu za gorivom). Ukoliko se upoređi slučaj 1 iz tabele 28, vidi se da je u tom slučaju dovoljno da separator radi sa 50% protoka (iako je napomenuto da je ovo slučaj sa maksimalnom potrošnjom). Pri stvarnoj navigaciji, često dolazi do smanjenja potrošnje goriva, uz različite režime rada.

U drugim specifičnim i mnogo rjeđim slučajevima, opterećenje na separatoru se povećava do 80%. Međutim, u svim ostalim slučajevima (kada brod vozi manjom brzinom, u toku manovre ili pak kad je na sidru) ovaj procenat drastično opada te je neophodna regulacija. Zbog toga je na slici 93 prikazan model regulacije separatora, uz pomoć programa Matlab i paketa Simulink vizuelnog alata za najčešći scenario br.1.



Slika 93. Automatska regulacija protoka goriva kroz separator u zavisnosti od aktualne potrošnje na brodu

U dostupnoj literaturi vidljivo je da je firma Alfa laval u nekoliko navrata pokušavala da predstavi korisne elemente u sistemu prečišćavanja goriva. Njihov fokus je bio na regulaciji brzine napojne pumpe (što na postojećim sistemima nije moguće), a samim tim bi se i regulisao protok kroz separator. Sem poboljšanja prečišćavanja goriva, njihov motiv je bio i ušteda energije. To se može vidjeti iz njihove literature [15, 35,76]. Ipak na predloženi način (slika 93) se reguliše trosmjerni ventil, a višak goriva se vraća u taložni tank te je ovaj sistem moguće doraditi u postojeće brodske sisteme. Takođe pomenuta firma je svoju regulaciju protoka ka separatoru usmjerila isključivo u odnosu na režim rada glavnog motora dok su u ovom radu predloženi scenariji na tankeru sa maksimalnom potrošnjom goriva. Univerzalnost ovog modela se sagledava u tome da se za svaki tip broda može unijeti njihova karakteristična potrošnja, i sistem će definisati neophodnu količinu goriva koja se treba separirati (regulacijom trosmjernog ventila)!

D. Martinović se u svom radu [92] bavio modelovanjem brodskih pomoćnih sistema pa i sistema goriva za koji je rekao da je najbitniji (sa aspekta sigurnosti plovidbe), dok su autori L. Ying i S. Jianbo u svom istraživanju [93] simulacije i primjene sistema za prečišćavanje fokus usmjerili na pravljenje softvera koji će pomoći korisnicima da savladaju kompleksni rad separatora.

Postupak separiranja, te ispuštanja akumuliranog taloga i vode obavlja se automatski na novim tipovima separatora. Neophodna je povremena provjera rada separatora, uz kontrolu i dojavu alarma.

Potrošnja goriva je podijeljena u pet različitih kategorija: potrošnja glavnog motora, dnevna potrošnja kotla, potrošnja kotla prilikom iskrcaja tereta, potrošnja kotla za vrijeme grijanja tereta i potrošnja dizel generatora. Ulazni parametri u simulaciji su maksimalna dnevna potrošnja goriva za svih pet kategorija pojedinačno. Podešavanjem opterećenja svake od pojedinačnih kategorija, šalje se signal koji pokazuje do kojeg procenta su pojedini elementi opterećeni, odnosno procenat maksimalno moguće potrošnje goriva za svaku od kategorija.

Ukupna potrošnja goriva u datom trenutku izračunava se prema:

$$\dot{Q}_{tot} = \sum_{i=1}^5 \dot{Q}_{max,i} \cdot \eta_i \quad (6)$$

gdje:

\dot{Q}_{tot} [t/dan] – ukupna potrošnja goriva;

$\dot{Q}_{(max,i)}$ [t/dan] – maksimalna potrošnja goriva za svaku kategoriju pojedinačno;

η_i [%] – postotak maksimalno moguće potrošnje goriva za svaku kategoriju pojedinačno.

Na osnovu trenutne potrošnje goriva, do trosmjernog ventila stiže signal za koji postotak ventil treba da se otvori prema separatoru goriva. Potreban postotak otvorenosti ventila je funkcija primljenog signala i određuje se polinomskom interpolacijom napravljenom na osnovu specifičnih vrijednosti protoka primjenjivih na ventil koji se koristi, maksimalnog protoka, minimalnog protoka, protoka u nekim karakterističnim tačkama, itd., prema sljedećoj jednačini:

$$P = f(\dot{Q}_{tot}) = p_1 \dot{Q}_{tot} + p_2 \quad (7)$$

gdje:

P [%] – procenat otvaranja ventila prema separatoru goriva;

p_1, p_2 – polinomski koeficijenti izračunati na osnovu specifičnih vrijednosti protoka za ventil koji se koristi.

Nakon prolaska kroz ventil, gorivo prolazi kroz prečišćivač goriva i mjerač protoka gdje se očitava njegov protok. Ovaj model je pokazao neophodnost optimizacije rada separatora, kako bi odgovorio različitim brodskim potrebama tj. slučajevima.

8.2.2. Analiza modela broskog sistema prečišćavanja (pri maksimalnoj potrošnji goriva kod glavnog motora) i opis scenarija koji su korišćeni u modelu

U prethodnom poglavlju se moglo zaključiti da je neophodno optimizirati rad separatora goriva sa aspekta maksimalne brodske potrošnje. Kako su u modelu analizirana tri ekstremna scenarija, može se zaključiti da separirana količina goriva može biti samo manja u stvarnim brodskim uslovima.

Sa aspekta kontinuirane optimizacije rada separatora, neophodno je i analizirati pri kojem mogućem opterećenju će njegova učinkovitost separacije biti maksimalno moguća! U sistemu prečišćavanja goriva, potrebnu energiju omogućuju separator (ako je na njega privješena pumpa) i sama pumpa separatora. Kapacitet pumpe zavisi od maksimalnog protoka goriva kroz separator i vremenu rada. Ukoliko se pogleda slika 87, može se uočiti kako je cirkulaciona pumpa većeg kapaciteta od napojne pumpe. Cirkulaciona pumpa goriva mora biti projektovana tako da može dobiti 2 do 2,5 puta više goriva nego što je najveći mogući potrošak goriva u motoru. Ispred transfer pumpe postoji filter koji sprečava grube nečistoće da dođu i oštete samu pumpu (dok kod ostalih pumpi se nalazi nešto finiji filter). Ona se pali u zavisnosti od nivoa goriva u taložnom tanku (a postoji mogućnost i ručnog starta). Smanjivanjem protoka goriva kroz separator i tokom procesa sladžiranja i ispiranja separatora, gorivo se potiskuje nazad u taložni tank, te nema opterećenja na samoj pumpi. Na napojnoj pumpi postoji regulacija pritiska dok poslije cirkulacione pumpe postoji račva sa miksing (mixing tank) tankom koja ima sličnu funkciju. Razlika je u tome što miksing ili odzračni tank koji ima specifični oblik (uzak, cilindričan i visok), miješa povrat goriva iz glavnog motora (teško gorivo dodatno ugrijano zbog neophodnog viskoziteta oko 120°C) i goriva koje dolazi iz dnevnog tanka (najčešće na temperaturi goriva iz separatora oko 98°C). Osim miješanja dvije temperature goriva, odzračni tank služi i za otpjenjivanje goriva, koje

se u cirkulaciji zapjeni, pa se u njemu odvajaju oslobođeni laki, nestabilni plinovi i vazduh. Oni se odvođe kroz odušnik na vrhu odzračnog tanka, a sa dna tanka stabilno gorivo se miješa sa novim gorivom iz servisnog tanka.

8.2.2.1. Opis scenarija (slučaja) korišćenih u modelu, pri maksimalnoj potrošnji goriva glavnog motora

Kako bi se potvrdio model, i najbolji način prečišćavanja, analizirani su slučajevi u odnosu na maksimalnu potrošnju glavnog motora kao najvećeg potrošača;

- slučaj kada separator radi sa 100% opterećenja, bez redovne drenaže tankova, bez upotrebe hemikalija koje poboljšavaju efikasnost separatora, sa finim filterima od 50 μm (za nečistoće veličina 30 ppm - srednja dozvoljena vrijednost po ISO standardu goriva vezano za abrazivne nečistoće). Ovo je česti slučaj na brodovima, pa je tako i nazvan u modelu.
- slučaj kada separator radi sa 35% opterećenja (moguća simulacija kod separatora sa maksimalnim kapacitetom od 2250 l/h, bez pojave alarma), sa redovnom drenažom tankova, uz upotrebu hemikalija koje poboljšavaju efikasnost separatora, sa finim filterima od 25 μm (za nečistoće veličina 30 ppm). Simulacija smanjenja protoka kroz separator je rađena na brodomašinskom simulatoru, a model je nazvan prva provjera sistema prečišćenosti goriva.
- slučaj modela za provjeru sistema-validacija (testirano na brodu) kada separator radi sa 35% opterećenja (analiza separatora sa maksimalnim kapacitetom od 3200 l/h, bez pojave alarma), sa redovnom drenažom tankova, uz upotrebu hemikalija koje poboljšavaju efikasnost separatora (analiza u laboratoriji), sa finim filterima od 25 μm (za nečistoće veličina 30 ppm). Gorivo ispunjava ISO standard 8217:2017 koji se odnosi na kvalitet brodskog goriva. Dio parametara je prikazan u tabeli 29 sa posebnim osvrtom na vrijednost bunkerisanog goriva te abrazivne nečistoće koje su se našle u gorivu.

U prvom slučaju „slučaj na brodu“ kada se brodski inženjeri oslone na učinkovitost samog separatora te kada ga maksimalno opterete, prečišćava se 4 t/h tj. tri puta više od potrošnje goriva glavnog motora. U ovom slučaju se ne radi redovna drenaža u tankovima a fini filteri nemaju svoju funkciju s obzirom na to da je filter u upotrebi neučinkovit za analizirane

veličine nečistoća. Ovo je čest slučaj na brodu kada se smatra da se čestim prelivanjem iz dnevnog u taložni tank postiže dodatno - najveće prečišćavanje.

Iz tabele 29 se može uočiti da abrazivnih nečistoća ima svega 3 ppm ispod maksimalne dozvoljene vrijednosti. U svakom slučaju posebna pažnja se mora posvetiti ovako ekstremnim slučajevima!

Tabela 29. Parametri bunkerisanog goriva u luci Singapur

Bunker Luka & Datum :	SINGAPUR-SINGAPORE ; 15-Maj-2021		
Tip goriva :	IFO 380 - RMG 380		
Bunker Količina :	749.002 MT		
Bunker Gustoća @15°C :	988.0 kg/m ³		
Bunker Viskozitet @50°C :	313.6 cSt		
Količina Sumpora :	3.01 %		
Količina Vode:	0.20 %		
Izvor -mjesto uzrokovanja :	MANIFOLD		
Metoda uzorkovanja :	kapanje		
PARAMETRI ZA IFO 380 - RMG 380 & REZULTATI TESTA :			
Parametri	Jedinica	Test Rezultati	Specifikacije - Limiti
Gustoća @ 15°C	kg/m ³	985.3	(991.0 Max)
Viskozitet @50°C	cSt	293.0	(380.0 Max)
Sumpor	% (mas)	2.92	(3.50 Max)
Voda	% (zapr.)	0.25	(0.50 Max)
Vanadijum	ppm	176	(350 Max)
Al + Si	ppm	57	(60 Max)

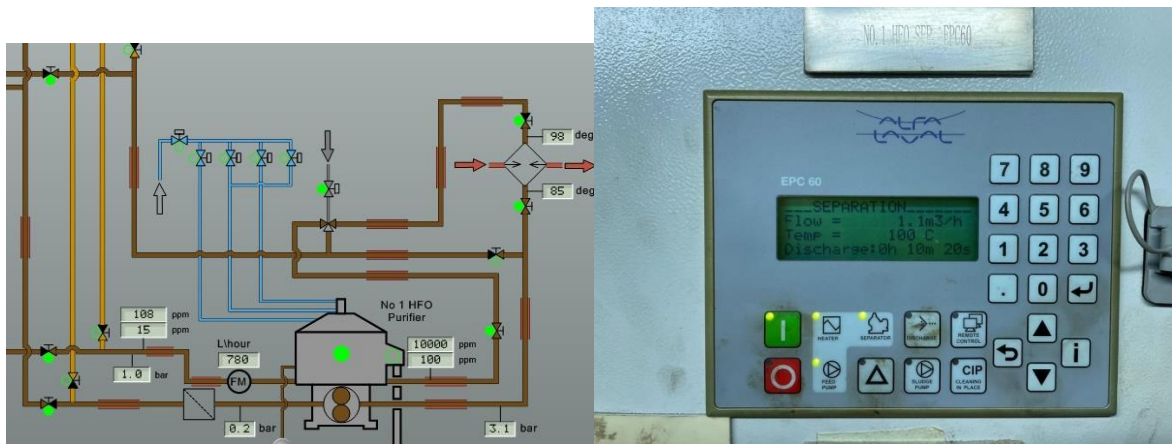
U simuliranom modelu (I. provjera sistema), kao što je rečeno korišćen je separator kapaciteta od 2250 l/h, jer kod drugih separatora na simulatoru nije bilo moguće dodatno smanjivanje protoka kroz separator [83,84].

Tabela 30. Podešavanje protoka goriva kroz separator pri različitim modelima

Modeli (max. kapacitet separatora goriva)	Protok kroz separator goriva (količina prečišćenog goriva)
1. Stanje na brodu (max.4 t/h)	100% - (4000 l/h)
2. I. provjera sistema (podaci sa simulatora) Simulirani model (max.2.25 t/h)	35% - (780 l/h)
3. Model za provjeru sistema-validacija (testirano na brodu) (max.3.2 t/h)	35% - (1120 l/h)

Kako bi se dobila najbolja efikasnost separatora, protok kroz separator će se ručno podešavati na druga dva modela i to na minimalnu vrijednost od 35 % protoka (tabela 30).

Dok se za provjeru, validaciju modela koristio separator u eksploataciji sličnih karakteristika na kojem su se mogle uraditi potrebne analize.



Slika 94. Podešavanja minimalnog protoka kroz separatore goriva u modelima 2 i 3

Količina protoka, temperatura goriva, i efikasnost separacije na simulirani model je prikazana na slici 94 lijevo, a podešavanje protoka kroz brodski simulator je prikazano na istoj slici desno.

Da bi se dobili rezultati efikasnosti separacije na brodom separatoru, neophodno je uzorke goriva prije i poslije separatora poslati na analizu u renomiranoj *Viswa lab* laboratoriji [82]. Radi preciznije analize, analizirani su uzorci goriva prije i poslije oba separatora #1 i #2.

Efikasnost separacije goriva kada su u pitanju katalitičke nečistoće (Al+Si), pri minimalnom protoku je iznosila visokih 81% kod prvog separatora dok je kod drugog bila 77% i iznad prosjeka (tabela 31). Na ovakav način uspjelo se osim velikog umanjavanja vrijednosti abrazivnih nečistoća, smanjiti i vrijednosti vode, sedimenata, natrijuma, gvožđa i kalcijuma.

Treba napomenuti da su za model - scenario 2 korišćeni podaci istraživanja DNV firme u kojima je precizirano da se dreniranjem tankova goriva može eliminisati 20% abrazivnih nečistoća iz taložnog tanka a 2% iz servisnog tanka. U ovom modelu se poboljšala efikasnost separatora za 20%, dodavanjem hemikalije u bunker tanku.

Tabela 31. Analiza uzoraka goriva kod dva separatora (Efikasnost eliminacije katalitičkih nečistoća smanjenjem protoka goriva kroz separator)

Lokacija	Reference - parametri			Separatori - performanse parametri							
	<i>Gust.</i>	<i>Vis.</i>	<i>Sum.</i>	<i>H₂O</i>	<i>TSE</i>	<i>Al+Si</i>	<i>NA</i>	<i>FE</i>	<i>CA</i>	<i>PEFN</i>	
Uzorak pri bunkerisanju	985.3	293	2.92	0.25	0.03	57	21	16	8	35*	
Prije separatora #1	985.2	319.5	2.94	0.15	0.02	43	19	13	8	41	
Poslije separatora #1	985.3	330.7	2.92	0.15	0.01	8	12	7	4	54	
Poboljšanje u separaciji %				0	50	81	37	46	50		
Drip sample	985.3	293	2.92	0.25	0.03	57	21	16	8	35*	
Uzorak pri bunkerisanju	985.4	305.9	2.99	0.15	0.01	39	19	13	8	43	
Prije separatora #2	985.3	329.5	2.97	0.15	0.01	9	12	7	4	54	
Poslije separatora #2				0	0	77	37	46	50		
Ukupna efikasnost separat.				Iznad prosjeka							

Dok su se kod modela koji je korišćen za provjeru, koristili isključivo podaci dobijeni analizom uzoraka broskog goriva (zbog mjerodavnosti uzet je prosjek ovih analiza), pri čemu je on iznosio 21.5% eliminacije katalitičkih nečistoća putem drenaže iz taložnog tanka (tabela 32).

Tabela 32. Efikasnost eliminacije katalitičkih nečistoća drenažom iz taložnog tanka

Gorivo iz brodskih sistema goriva	Uzorak goriva	Prije separatora	efikasnosti drenaže
Uzorak 1 (luka Singapur.)	59	54	9%
Uzorak 2 (luka P. Elizabet)	52	41	21%
Uzorak 3 (luka Singapur)	57	43	25%
Uzorak 4 (luka Singapur)	57	39	31%
Prosjeck;			21.5%
Pročišćenost za modeliranje;	0.785		
Extra uzorak za poređenje (luka Qingao)	25	20	20%
Prosjeck sa extra uzorkom je 21.2% pročišćenost ;0.788			

Takođe, analizom uzoraka u ovom modelu je utvrđeno da se upotrebom Aderco 2055 hemikalije dostiže poboljšanje u eliminisanju katalitičkih nečistoća od 26.17%.

Aderco je hemikalija koja ima fizičku, ali ne hemijsku reakciju sa gorivom. Spada u tkz. surfaktante koji su u stvari supstance koje snižavaju površinski napon vode u odnosu na vazduh ili u odnosu na graničnu površinu sa drugim supstancama. Ona ima površinski aktivne supstance. *Cat-fines* (Al+Si) su najčešće vezani za molekule vode. Kako je ovaj aditiv jak demulgator, tako poboljšava taloženje vode na dno tanka. Tokom redovnog dreniranja vode iz tanka, dolazi i do boljeg uklanjanja teških katalitičkih nečistoća. Takođe smanjuju površinsku napetost između čestica goriva i omogućava da se lakše slegnu. Pored ovoga, upotreba ove hemikalije omogućava poboljšanje efikasnosti rada separatora.

Kako je u radu ranije objašnjeno da je teško analizirati efikasnost finih filtera ispred broskog motora, za vrijednosti koje su prikazane u modelu korišćeni su podaci dobijeni iz metode ispitivanja hidrauličkih sistema ISO 16889. U svim slučajevima simulirane nečistoće su srednje veličine (30 μm). Dok je promjer tj. veličina finih filtera u prvom slučaju bila 50 μm (objašnjeno ranije slika 71), u druga dva slučaja je bila 25 μm . Metodom se uočava da pri veličinama nečistoća od 30 μm , fini filter od 25 μm je samo 82% efikasan jer zavisi od oblika nečistoće. Kumulativno pročišćenje u ova tri analizirana modela je opisano u tabeli 33.

Tabela 33. Kumulativno pročišćenje broskog goriva u razvijenom modelu pri dnevnoj potrošnji goriva od 30.5t kod glavnog motora

Modeli	Opis sistema	Stanje u tankovima
1. Stanje na brodu	Nema; drenaže, upotrebe hemikalija, predimenzioniran fini filter	Prelivanje dnevni ka taložnom
2. Prva provjera sistema (podaci sa simulatora)	Ima; drenaže, upotrebe hemikalija, 30 μm fini filter (simulacija i podaci iz literature)	Nema preliivanja, alarm niskog nivoa u servisnom tanku nakon 1 dana
3. Model za provjeru sistema-validacija (testirano na brodu)	Ima; drenaže, upotrebe hemikalija, 30 μm fini filter (simulacija na brodu)	Nema preliivanja, alarm niskog nivoa u servisnom tanku nakon 3 dana

Visoki i niski usis se nisu mogli simulirati, te su oni predstavljeni kao dodatni stepen zaštite ukoliko dođe do veće, nagle količine nečistoća.

U modelima sa minimalnim procentom protoka kroz separator od 35%, postavljeni su početni uslovi, kod kojih su taložni i dnevni tankovi već napunjeni. Ovo je bilo neophodno pošto je potrošnja goriva na glavnom motoru od 1.27 t/h veća od trenutno podešene

prečišćene količine goriva iz separatora. Radi vjerodostojnosti i sigurnosti postavljeni su alarmi na tankovima goriva, tj. alarm niskog nivoa u servisnom tanku je na 50%, dok bi se visoki alarm aktivirao na 85% nivoa goriva.

Kako se model radio za dnevnu prečišćenost, u modelu je uzeto u obzir da separator svojim sladžiranjem, ispiranjem i ponovnim punjenjem bubnja dnevno izgubi 1h od procesa prečišćavanja.

U oba analizirana modela će se vremenom oglasiti pomenuti niski alarm nivoa jer je u simulacijskom slučaju kapacitet separatora ionako manji, a zbog analize i kvaliteta prečišćavanja protok je dodatno smanjen.

Dok u modelu za potvrdu same analize, alarm niskog nivoa će se oglasiti tokom četvrtog dana. U oba slučaja će biti neophodno povećati protok kroz separator ili smanjiti broj okretaja glavnog motora tj. u krajnjem modelu će biti neophodno uzeti u obzir ukupnu dnevnu potrošnju goriva.

Treba napomenuti da postoji čitav niz trenutaka kada brod ima zapravo mnogo manju potrošnju od pomenutih maksimalnih scenarija u modelu. I to u trenucima kada se odvija manovra (uplovljavanje, isplovljavanje, prolaz kroz kanale itd.), kada se vozi ekonomičnom brzinom, za vrijeme veza u luci (kad se ne radi operacija iskrcaja), za vrijeme boravka broda na sidrištu (čekanje tereta, inspekcije ili vrijeme održavanja sistema i motora), tokom pravila separacije i sigurnosnih lokalnih zakona...

U tome se vidi i kompleksnost samog modela, koji ima mogućnost da za svaki scenario posebno simulira i izračuna količinu prečišćenosti goriva, u zavisnosti od promijenjenih parametara. Kod ovoga modela koji je rađen po modelu broda koji je u eksploataciju, kapaciteti pumpi i tankova su nepromjenjivi. Promjenjivi podaci koji se mogu unositi u model su količina zaprljanosti goriva (katalitičke nečistoće), količina protoka kroz separator (efikasnost separacije), veličina finog filtera (izražena u μm), veličina nečistoća u odnosu na fini filter, te dnevna potrošnja goriva u odnosu na glavni motor (ili ukupnu brodsku potrošnju).

8.3. MODELOVANJE SISTEMA ZA PREČIŠĆAVANJE ABRAZIVNIH NEČISTOĆA IZ GORIVA

8.3.1. Ilustracija parametara za simulacije

Ovdje su u osnovnim crtama ilustrirani parametri MPIFG za 3 scenarija koja su razmatrana u tezi. Shodno šematskom prikazu (slika 87), prikazan je tok goriva od skladišnog tanka pa sve do glavnog motora. Elementi broskog mašinskog sistema, kroz koje prolazi gorivo su označeni kao:

Tabela 34. Oznake parametara u modelu protoka i filtriranja goriva (MPIFG)

<i>i</i>	Opis
1	Bunker/Skladišni tank
2	Filter 1
3	Transfer vijčana pumpa
4	Taložni tank
5	Filter 2
6	Povratna cijev 1
7	Separator
8	Servisni tank
9	Napojna pumpa
10	Cirkulaciona pumpa
11	Filter 3
12	Povratna cijev 2
13	Glavni dvotaktni motor

Navedeno označavanje je jedinstveno za sva navedena tri scenarija koji su naznačeni u podpoglavlju 8.2.2.1. Za svaki od njih navedene su numeričke vrijednosti za niz F (*faktori filtriranja*) i A (*matrica priliva i odliva goriva*). Kako simulirani sistem ima 13 elemenata, to znači da će i niz F imati 13 elemenata, a matrica A će imati 13 vrsta i 13 kolona. Ova dva parametra u najvećoj mjeri opisuju simulirani scenarijo, pa su njihove vrijednosti i navedene. Niz F je prikazan u vidu matrice sa jednom vrstom, a matricu A , koristeći standardnu matričnu notaciju.

Kao što je već navedeno, u opisu MPIFG vrijednosti niza F , predstavljaju realni brojevi iz intervala $[0,1]$, koji predstavljaju obrnutu mjeru filtriranja. Ako je vrijednost $F_i = 0$ za element i , to znači da se u tome elementu eliminišu sve nečistoće goriva, dok ako je $F_i = 1$, to znači da se u tom elementu ne vrši eliminacija nečistoća u gorivu.

Vrijednosti matrice A , predstavljaju protok goriva između elemenata u modelu. Tako na primjer element a_{ij} , predstavlja numeričku vrijednost težine goriva, izraženu u tonama po satu (t/s), koja prelazi iz elementa i u element j . Ako je $a_{ij} > 0$, to znači da iz elementa j imamo dolazni protok u element i , ako je $a_{ij} < 0$, to znači da iz elementa i imamo izlazni dotok u element i , konačno ako je $a_{ij} = 0$, to znači da nema protoka goriva između elemenata i i j .

Radi jednostavnosti izlaganja, ostali parametri nijesu navedeni iako i oni imaju važnu ulogu u simulacijama. U tabeli 30 su opisana scenarija kao i stanje u tankovima tokom rada na modelu. Neophodno je naznačiti da filteri pod brojem 2 i 5 imaju funkciju zaštite pumpe, ali nemaju mogućnost uklanjanja sitnih katalitičkih nečistoća. Povratna cijev 6 je neophodna zbog modelovanja stvarne količine goriva u taložnom tanku (u zavisnosti od definisanog protoka kroz separator), dok povratna cijev označena sa brojem 12 je neophodna zbog modelovanja povratka viška goriva iz glavnog motora (uslijed definisanja potrošnje goriva). Pošto su u razradi modela definisani kapaciteti tankova, protok kroz separator te maksimalna potrošnja goriva (30.5 t/dan) moguće je i odrediti protok goriva kroz elemente. U svim slučajevima je rađena analiza za srednju veličinu nečistoće od 30 ppm!

Stanje na brodu (maksimalni protok kroz separator 4 t/h)

Kao što je već navedeno u (podpoglavlju 8.2.2 i tabeli 33) ovo „stanje na brodu“ karakteriše filtracija samo u elementu 7 (Separator) bez povrata goriva u taložni tank. U ovom stanju nema dodavanja hemikalije u skladišni tank, a element 11 (filter 3 je fini filter od 50 μ m) Stoga vrijednosti niza F i matrice A su:

$$F = [1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 0.58 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1]; \quad (8)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & -20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 20 & 0 & -20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 20 & 0 & -20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 20 & 0 & -4 & 0 & 0 & 2.73 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & -4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & -4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2.73 & 0 & 0 & 4 & 0 & -1.27 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.27 & 0 & -1.27 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.27 & 0 & -7 & 5.73 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & -5.73 & -1.27 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -5.73 & 5.73 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.27 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Prva provjera preporučenog sistema prečišćavanja (pri 35% opterećenja separatora maksimalnog kapaciteta od 2.250 l/h- (podaci sa simulatora))

U ovom slučaju gorivo se prečišćava u dva elementa: 7 (Separator + pospješivanje prečišćavanja upotrebom hemikalije u skladišnom tanku - literatura) i 11 (Filter 3), te se drenažom iz taložnog tanka pospješuje prečišćavanje. Povratna veza je prisutna u elementu 6 a nema preliivanja između tankova zbog manje količine prečišćenog goriva od maksimalne potrošnje. Fini filter ispred glavnog motora je od 30 μm (Element 11). Pa na osnovu toga vrijednosti niza F i matrice A su:

$$F = [1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 0.15 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 0.18 \quad 1 \quad 1]; \quad (9)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & -20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 20 & 0 & -20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 20 & 0 & -20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 20 & 0 & -2.25 & 1.47 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2.25 & 0 & -1.47 & -0.78 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.47 & 1.47 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.78 & 0 & 0 & -0.78 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.78 & 0 & -1.27 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.27 & 0 & -1.27 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.27 & 0 & -7 & 5.73 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & -5.73 & -1.27 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -5.73 & 5.73 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.27 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Model za provjeru preporučenog sistema prečišćavanja (pri 35% opterećenja separatora maksimalnog kapaciteta od 3.200 l/h- svi podaci analizirani na brodu)

Konačno, u ovom modelu za provjeru takođe se prečišćava gorivo u dva elementa: 7 (Separator + pospješivanje prečišćavanja upotrebom hemikalije u skladišnom tanku - test) i 11 (Filter 3) te se drenažom iz taložnog tanka pospješuje prečišćavanje. Povratna veza je prisutna u elementu 6 a nema preliivanja između tankova zbog manje količine prečišćenog goriva od maksimalne potrošnje. Fini filter ispred glavnog motora je od 30 μm (Element 11). Pa na osnovu toga vrijednosti niza F i matrice A su:

$$F = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.155 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.18 \ 1 \ 1]; \quad (10)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & -20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 20 & 0 & -20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 20 & 0 & -20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 20 & 0 & -3.2 & 2.08 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3.2 & 0 & -2.08 & -1.12 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2.08 & 2.08 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.12 & 0 & 0 & -1.12 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.12 & 0 & -1.27 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.27 & 0 & -1.27 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.27 & 0 & -7 & 5.73 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & -5.73 & -1.27 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -5.73 & 5.73 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.27 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

8.3.2. Opis modela

Model protoka i filtriranja goriva (MPIFG) na brodu pretpostavlja postojanje konačnog broja elemenata brodskog mašinskog sistema kroz koji prolazi gorivo, koje se u nekom od njih filtrira. U nastavku su navedeni elementi modela koji je prikazan na slici 87, a u tabeli 35 su prikazane odgovarajuće promjenjive te njihov matematički opis. Pretpostavlja se da je jedinica mjere za stanje goriva tona (t).

Tabela 35. Promjenljive modela

Promjenljiva	Opis
n	Broj elemenata u modelu.
$F_i \in [0, 1], i = \overline{1, n}$	Faktor filtriranja goriva za odgovarajući element. Ako je vrijednost $F_i = 0$ za element i , to znači da se u tome elementu eliminišu sve nečistoće goriva, dok ako je $F_i = 1$, to znači da se u element i ne vrši eliminacija nečistoća u gorivu.
$SF_i \in [0, 1], i = \overline{1, n}$	Faktor filtriranja goriva drenažom za odgovarajući element. Ako je vrijednost $SF_i = 0$ za element i , to znači da se u tome elementu eliminišu sve nečistoće goriva, dok ako je $SF_i = 1$, to znači da se u element i ne vrši eliminacija nečistoća u gorivu.
$TimeSF$	Skup koji sadrži vremena kada se vrši filtriranje drenažom. Vremena su izražena u satima i uzimaju vrijednosti od 0 do 24 (sata).
$KMax_i \geq 0, i = \overline{1, n}$	Kapacitet tanka koji odgovara elementu i . Ako element i ne posjeduje tank, onda $KMax_i = 0$, a ako posjeduje $KMax_i > 0$. Kako je jedan od obaveznih elemenata glavni motor broda, radi jednostavnosti zapisa dozvoljavamo da ova promjenljiva uzme vrijednost $+\infty$.

$KMin_i \geq 0, i = \overline{1, n}$	Prelivni kapacitet tanka koji odgovara elementu i . Ako element i ne posjeduje prelivni mehanizam, onda $KMin_i = 0$, a ako posjeduje $KMin_i \geq 0$.
$KOFF_i \geq 0, i = \overline{1, n}$	Prag kapaciteta tanka kada se gasi dovod goriva u elementu i . Ako element i ne posjeduje prelivni mehanizam, onda $KOFF_i = 0$, a ako posjeduje $KOFF_i \geq 0$.
$KON_i \geq 0, i = \overline{1, n}$	Prag kapaciteta tanka kada se obnavlja dovod goriva u elementu i . Ako element i ne posjeduje prelivni mehanizam, onda $KON_i = 0$, a ako posjeduje $KON_i \geq 0$.
$K_i \geq 0, i = \overline{1, n}$	Količina goriva u elementu i .
$P_i \in [0, 1], i = \overline{1, n}$	Pročišćenost goriva u elementu i .
$iP_i \in [0, 1], i = \overline{1, n}$	Pročišćenost ulaznog goriva u elementu i .
$W_i \in \{0, 1\}, i = \overline{1, n}$	Protok goriva u elementu i : ako je $W_i = 0$, nema protoka goriva, a ako je $W_i = 1$, ima protoka goriva.
$OFF_i \subseteq \{1, \dots, n\}, i = \overline{1, n}$	Ukoliko dođe do prekida protoka goriva u elementu i , tj. ako je $W_i = 1$, ponekad je potrebno obustaviti protok goriva i u nekim ostalim elementima modela. Skup OFF_i je skup ostalih elemenata u kojima treba obustaviti protok goriva, ako je došlo do obustavljanja protoka goriva u elementu i .
$T = \begin{bmatrix} t_{11} & \cdots & t_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{n1} & \cdots & t_{nn} \end{bmatrix}_{n \times n}$	Kvadratna matrica T , dimenzije $n \times n$, je matrica odliva goriva iz elementa modela. Ukoliko je $t_{ij} = x$, to znači da se x tona po satu (T/s), prelazi iz elementa i u element j . Elementi matrice moraju da zadovoljavaju dva uslova: (1) $(\forall i, j \in \{1, \dots, n\}) t_{ij} \geq 0$. (2) $(\forall i \in \{1, \dots, n\}) t_{ii} \geq 0$. Prvi uslov je uslov nenegativnosti elemenata matrice T , a drugi onemogućava da gorivo kruži u okviru jednog elementa modela.
$S = \begin{bmatrix} s_{11} & \cdots & s_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{n1} & \cdots & s_{nn} \end{bmatrix}_{n \times n}$	Kvadratna matrica S , dimenzije $n \times n$, je matrica prioriteta odliva goriva iz elementa modela. Ona mora da zadovoljava sljedeće uslove: (1) $(\forall i, j \in \{1, \dots, n\}) t_{ij} = 0 \Rightarrow s_{ij} = 0$. (2) $(\forall i, j \in \{1, \dots, n\}) t_{ij} \neq 0 \Rightarrow s_{ij} \in N^+$. Ukoliko ne postoji protok goriva iz elementa i u j modela, tada je $s_{ij} = 0$. Ako postoji protok iz elementa i u j modela, tada je vrijednost s_{ij} prirodan broj različit od nule, tj. $s_{ij} \in N^+ = \{1, 2, 3, \dots\}$. Što je broj manji, to je prioritet veći. Dozvoljeno je da odlivi iz jednog elementa i , imaju isti prioritet.

$A = [a_{ij}]$	<p>Kvadratna matrica A, dimenzije $n \times n$, je matrica priliva i odliva goriva iz elementa modela. Njeni elementi su određeni elementima matrice T, na sljedeći način:</p> $a_{ij} = \begin{cases} -t_{ij} & : t_{ij} \neq 0; \\ t_{ji} & : t_{ji} \neq 0; \\ 0 & : \text{inače.} \end{cases}$ <p>Na osnovu definicije neposredno zaključujemo da vrste matrice A sadrže podatke o prilivu i odlivu goriva za elementa u modelu, tj. važi sljedeće:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) ako $t_{ij} > 0$, tada iz elementa j u element i imamo dolazni protok goriva od t_{ij} tona po satu; (2) ako $t_{ij} < 0$, tada iz elementa i u element j imamo izlazni protok goriva od t_{ij} tona po satu; (3) ako $t_{ij} = 0$, tada iz elementa i u element j i obrnuto, nema protoka goriva. <p>Iz definicije matrice A, neposredno zaključujemo da:</p> <ol style="list-style-type: none"> (a) $(\forall i, j \in \{1, \dots, n\}) a_{ij} = -a_{ji}$. (b) $(\forall i \in \{1, \dots, n\}) a_{ii} = 0$.
Δt	Vremenska jedinica, izražena u satima, za koju se računa svaki korak u protoku i filtraciji goriva.
th	Vremenska dužina rada, izražena u satima, za koju se posmatra protok i filtracija goriva.
tn	<p>Broj koraka koje je potrebno uraditi u simulaciji protoka i filtriranja goriva. Iz gore navedenog neposredno se zaključuje da:</p> $tn = \lceil \frac{th}{\Delta t} \rceil.$
$M = \Delta t \cdot A$	Matrica M sadrži podatke o količini goriva (izražena u tonama), koja protiče kroz elemente modela u jedinici vremena Δt .

8.3.3. Funkcije i procedure modela

Radi pojednostavljenja zapisa u nastavku opisa modela, nizove $x_i, i = \overline{1, n}$, su kraće označavani kao: $\langle x_i \rangle$. Takođe, su korišćene oznake $\langle x_i \vee \varphi(x_i) \rangle$, za elemente niza $\langle x_i \rangle$, koji zadovoljavaju uslov $\varphi(x_i)$, odnosno:

$$\langle x_i \mid \varphi(x_i) \rangle = \{x_i \mid i \in \{1, \dots, n\} \wedge \varphi(x_i)\} \quad (11)$$

Pored navedenih oznaka korišćene su još i oznake ΣA i ΠA za zbir i proizvod elemenata skupa A , za kojeg se pretpostavlja da su mu elementi brojevi. Gornje oznake se lako definišu na sljedeći način:

$$\Sigma A = \sum_{x \in A} x \quad i \quad \Pi A = \prod_{x \in A} x. \quad (12)$$

Procedura "*InitModel*"()

Procedura "*InitModel*" () postavlja početne vrijednosti za promjenljive MPIFG. U ovom radu su razmatrana 3 „scenarija“ sa različitim inicijalnim vrijednostima (opisana u podpoglavlju 8.2.2.1).

Procedura *CalculateDrainageFiltration* ()

Izračunava filtriranje u elementima koje nastaje drenažom, shodno faktorima zadatim u nizu $SF_i, i = \overline{1, n}$.

Procedura "*Update*"()

Pored navedenih promjenljivih, za rad modela potrebna je i funkcija, koja modifikuje matricu M , u zavisnosti od trenutnog protoka kroz model. Na primjer moguće je da u nekom elementu modela i dođe do obustave protoka goriva, pa treba isključiti dotok goriva iz svih ostalih elemenata u element i . Takođe, moguće je da je u elementu i dotok goriva manji od onog koji se iz njega odliva. U tom slučaju treba shodno prioritetima datim u matrici S , za element rasporediti odliv tako da on zadovoljava sljedeća dva uslova:

- (1) Odliv goriva izvršiti shodno prioritetu koje element/ i imaju.
- (2) Raspoređivanje izvršiti proporcionalno u okviru elemenata u koje se gorivo odliva, ako imaju isti prioritet.

Bez navođenja tehničkih detalja, gornja funkcija je označena sa $Update(M)$, koja za argument ima matricu M , a kao rezultat izračunavanja vraća njenu modifikaciju, shodno opisanim uslovima.

Algoritam PIFG

Pored navedenih promjenljivih u MPIFG za formulaciju algoritma su potrebne još neke pomoćne promjenljive (tabela 36) koje su navedene uz kratak opis njihove upotrebe u algoritmu PIFG:

Tabela 36. Pomoćne promjenljive – algoritam PIFG

Pomoćna/e promjenljiva/e	Opis
t, i	Brojači petlji.
Δa	Količina dolaznog goriva u elementu i .
Δb	Količina izlaznog goriva iz elementa i .
iK	Razlika između dolaznog i izlaznog goriva u elementu i .
Kk	Niz u kojem se smještaju novoizračunate količine goriva za elemente u svakom novom koraku izračunavanja.
Pk	Niz u kojem se smještaju novoizračunata pročišćenosti goriva za elemente u svakom novom koraku izračunavanja.
iPk	Niz u kojem se smještaju novoizračunata pročišćenosti ulaznog goriva za elemente u svakom novom koraku izračunavanja.

Algoritam PIFG je rekurzivnog tipa, koji je predstavljen na sljedeći način. Na primjer da treba da izračunamo niz $x_i, i = \overline{0, m}$, pri tome poznata početna vrijednost niza 0, funkcija prelaska $f(x, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k)$ između susjednih članova niza. Tada izračunavanje članova niza $x_i, i = \overline{1, m}$, se vrši koristeći izračunavanja:

$$x_i = f(x_{i-1}, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k), \quad i = \overline{1, m}. \quad (13)$$

Vrijednosti niza $\langle x_i \rangle$ u kontekstu PIFG čine vektori količine i pročišćenosti goriva u elementima modela, dok parametri $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$ određuju protok goriva u sistemu koji se modeluje, to su promjenljive MPFIG, koje su na početku uvedene.

Na osnovu svih navedenih promjenljivih, procedura i funkcija možemo formulirati algoritam PIFG koristeći sljedeći pseudo kod:

- (1) InitModel ();
- (2) **for** $t = 1$ **to** tn **do**
- (3) $M' = \text{Update}(M)$;
- (4) **if** $(t \cdot \Delta a \text{ mod } 24) \in \text{TimeSF}$ **then** CalculateDrainageFiltration () **end if**
- (5) **for** $i = 1$ **to** n **do**

```

(6)      if  $W_i = 1$  then
(7)           $\Delta a = \Sigma \langle M'_{ij} \vee M'_{ij} > 0 \rangle$ ;
(8)           $\Delta b = -\Sigma \langle M'_{ij} \vee M'_{ij} < 0 \rangle$ ;
(9)           $iK = \Delta a - \Delta b$ ;
(10)          $Kk_i = K_i + iK$ ;
(11)         if  $Kk_i > 0$  then
(12)              $iPF = \Sigma \langle F_j \cdot P_j \cdot M'_{ij} \vee M'_{ij} > 0 \rangle$ ;
(13)              $Pk_i = (P_i \cdot (K_i - \Delta b) + iPF) / Kk_i$ ;
(14)              $iPk_i = \begin{cases} iPF / \Delta a & : \Delta a > 0, \\ 0 & : \Delta a \leq 0 \end{cases}$ ;
(15)         else
(16)              $Pk_i = 0; iPk_i = 0$ ;
(17)         endif
(18)         else
(19)              $Kk_i = K_i; Pk_i = P_i; iPk_i = iP_i$ ;
(20)         end if
(21)     end for  $i$ 
(22)      $K = Kk; P = Pk; iP = iPk$ ;
(23) end for  $t$ 

```

U koraku (1) pseudo koda postavljaju se inicijalne vrijednosti modela. Zatim se ulazi u t petlju, u kojoj se za svaki vremenski trenutak t , ima ih ukupno tn , određuju vrijednosti promjenljivih količine (K), pročišćenosti (P) i ulazne pročišćenosti (iP) goriva u modelu. Ova petlja obuhvata linije pseudo koda od (2) do (23).

U liniji (3) pseudo koda određuje se matrica M' , na osnovu matrice M i stanja ostalih promjenljivih modela MPFIG u koraku t , koristeći funkciju $Update(M)$.

Dalje u liniji (4) se ispituje da li je u okviru 24 -ro časovnog ciklusa nastupio trenutak filtriranja (tankova) drenažom. Ukoliko jeste izračuna se nova vrijednost pročišćenja goriva u tankovima koristeći proceduru $CalculateDrainageFiltration()$.

Zatim se u (5) liniji pseudo koda ulazi u i petlju u kojoj se određuju nove vrijednosti za količinu (K), pročišćenost (P) i ulaznu pročišćenost (iP) goriva za svaki element u modelu. Ova petlja obuhvata linije pseudo koda od (5) do (21). U okviru i petlje nove vrijednosti za količinu, pročišćenost i ulaznu pročišćenost se čuvaju u promjenljivima (nizovima): Kk , Pk i iPk .

Unutar i petlje, prvo se ispituje da li ima protoka goriva u i -tom elementu, ispitujući da li je $W_i = 1$ u naredbi, koja se nalazi u (6) naredbi pseudo koda. Ukoliko je taj uslov ispunjen nastavlja se dalje sa izračunavanjem novog stanja u linijama pseudo koda od (7) do (17), a ako uslov nije ispunjen nove vrijednosti za količinu, pročišćenost i ulaznu pročišćenost goriva ostaju iste kao i u prethodnom koraku, linije pseudo koda od (18) do (20). Ovdje će detaljnije biti razmoredne linije pseudokoda od (7) do (17) u kojima se određuju nove vrijednosti, za količinu, pročišćenost i ulaznu pročišćenost goriva u i -tom elementu. U liniji (7) određuje se količina dolaznog goriva i smješta u promjenljivu Δa . Slično se u liniji (8) pseudo koda određuje količina izlaznog goriva i smješta u promjenljivu Δb . Zatim se u liniji (9) pseudo koda određuje njihova razlika i smješta u promjenljivu iK . Nova količina goriva se konačno izračunava u liniji (10) pseudo koda kao zbir stare vrijednosti K_i i iK . Ovaj rezultat se smješta u privremenu vrijednost količine goriva u i -tom elementu, koji je označen sa Kk_i .

Ukoliko je novo stanje količine goriva u elementu i veće od nule, tj. ako je $Kk_i > 0$, onda se može pristupiti određivanju pročišćenosti i ulazne pročišćenosti goriva u i -tom elementu. Uslov se ispituje u liniji (11) pseudo koda. Ako je on ispunjen u (11) pseudo koda izračuna se iPF , kao sumu proizvoda $F_j \cdot P_j \cdot M'_{ij}$, za $j = \overline{1, n}$, ako je $M'_{ij} > 0$. Ova vrijednost predstavlja količinu pročišćenog goriva iz elemenata modela koji dostavljaju gorivo i -tom elementu modela. U (12) liniji pseudo koda nastavlja se dalje sa izračunavanjem Pk_i , koja predstavlja pročišćenosti goriva u i -tom elementu. Ova vrijednost se računa kao zbir količine pročišćenog goriva iz i -tog elementa umanjena za gorivo koje izlazi iz i -tog elementa pomnožen sa faktorom pročišćenja i -tog elementa plus količina pročišćenog goriva koje dolazi u i -ti element: $(P_i \cdot (K_i - \Delta b) + iPF)$, koji se na kraju dijeli sa ukupnom količinom goriva Kk_i . Konačno u liniji (14) računamo ulaznu pročišćenost goriva u i -tom elementu iPk_i , kao $iPF/\Delta a$, ako je količina ulaznog goriva $\Delta a > 0$. Ako je količina ulaznog goriva $\Delta a \leq 0$, onda se uzima da je vrijednost $iPk_i = 0$.

U slučaju da je novo stanje količine goriva u elementu i veće, manje ili jednako nuli, tj. ako je $Kk_i \leq 0$, tada se uzima da je pročišćenost i ulazna pročišćenost goriva u i -tom elementu jednaka 0. Ove dodjele se izvršavaju u linijama pseudo koda od (15) do (17).

Primjetno je da je mogućnost da $Kk_i < 0$, malo vjerovatna i ukoliko do nje dođe, radi se o veoma malim količinama goriva, tako da se time ne narušava preciznost simulacije.

Izlaskom iz i petlje, nove vrijednosti za količinu, pročišćenost i ulaznu pročišćenost postaju tekuće, u (22) liniji pseudo koda.

Opisani ciklus se nastavlja sve dok se ne završi t petlja u (23) liniji pseudo koda. Opisani algoritam PIFG je aproksimativnog tipa. Uzimanjem što manje vrijednosti vremenskog intervala Δt između koraka simulacije u algoritmu došlo se do što preciznijih rezultata. Na osnovu empirijskog iskustva u modelovanju različitih „scenarija“ protoka goriva i njegovo pročišćavanja uočeno je da se za vrijednost $\Delta t = 60s$ i $\Delta t = 30s$. dobijaju rezultati visoke preciznosti.

Metodologija korišćena za izradu MPIFG je „vremenski diskretno modelovanje sa rekurzivnim (diferencnim) jednačinama“ (*Discrete-Time Models with Difference Equation*) čiji se opis može naći u knjizi [85].

Sama simulacija je rađena na softverskom paketu *Wolfram Mathematica*.

8.3.4. Prikaz rezultata simulacijskog modela

Da bi analiza bila vjerodostojna, prvo je neophodno bilo da se napravi model protoka goriva kroz definisane elemente. U elementima matrice od 13 elemenata, jako je bitno definisati ulazne i izlazne veličine. Veličine su definisane konstruktivnim karakteristikama i odgovaraju veličinama sa slike 87. Skladišni tank u ovom modelu je 446 t, dok su kapaciteti taložnog i servisnog tanka po 36 t. Ostale vrijednosti su ranije u radu definisane, a dva najbitnija podatka su kapacitet separatora goriva te potrošnja glavnog motora.

U ovom modelu su analizirani maksimalni kapaciteti separatora od 4 t/h, 2.25 t/h te 3.2 t/h, koji su svakako dodatno limitirani i sa napojnom, zupčastom pumpom goriva koja može sva tri scenarija da opsluži. Za sami model smo uzeli i maksimalnu potrošnju goriva (100%) glavnog motora koja iznosi 30.5 t na dan. U svim drugim slučajevima sama potrošnja koja zavisi od režima rada motora će biti manja.

Za objašnjenje početnog tj. nultog stanja u modelu korišćen je scenario koji se često koristi na brodu, a to je maksimalni protok kroz separator goriva dok će potrošnja glavnog motora u svim situacijama biti ista. Nakon toga je neophodno uporediti prečišćavanje sa preporukama i sa maksimalno smanjenim kapacitetom separatora goriva.

Ovdje treba napomenuti da je korišćena simulacija kod separatora manjeg kapaciteta (od 2.25 t/h), jer je jedino kod njega bilo moguće smanjiti protok do 35% (objašnjeno ranije u radu). Podaci dobijeni preko simulacije te podaci dobijeni tokom istraživanja su upoređeni sa podacima dobijenim ispitivanjem na brodovima. U toku ispitivanja na brodu, protok kroz separator se smanjio na 35% kao u simulacijskom modelu. Te su ti podaci upoređeni.

8.3.4.1. Simulacija toka i pročišćenja goriva na brodu pri različitim protocima kroz separator goriva

Kako bi analiza bila što vjerodostojnija, početni uslovi za sva scenarija su postavljeni na sledeći način:

- nivo goriva u bunker tanku je 400 t,
- kapacitet transfer pumpe 20 t/h,
- drenaža kod taložnog i servisnog tanka (samo simulirani i model za provjeru tj. brodski) je postavljena da se obavlja tri puta dnevno (što odgovara brodskim uslovima),
- korišćena je Aderco 2055G hemikalija za tretman goriva - poboljšanje odvajanja katalitičkih nečistoća,
- nivo goriva u servisnom tanku je 30 t
- maksimalni kapacitet napojne pumpe separatora 4 m³/h kao i napojne pumpe goriva
- maksimalni kapacitet cirkulacione pumpe 7 m³/h
- veličina nečistoća pri analizi finih filtera uzeta je, da je srednje vrijednosti tj. 30 µm
- potrošnja goriva glavnog motora je 30.5 t na dan.

Podaci simulacije tretmana goriva na tankerskom tipu broda za 24 h, a pri različitim scenarijama prečišćavanja goriva su prikazani u tabelama 37, 38 i 39.

Tabela 37. Pročišćenost goriva na ulasku u *ME* (*stanje na brodu* model, 100% opterećenje separatora)

Simulacijski sist.	NIVO GORIVA U TANKOVIMA			Potrošnja ME	Pročišćenost na ulasku u <i>ME</i>
	Radni sati u danu	Bunker tank	Taložni tank		Servisni tank
0	400	0	30	0	0
1	380	15.77	30	1.22767	0.988521
2	368.2	24.66	30	2.49767	0.972336
3	368.2	23.39	30	3.76767	0.953206
4	368.2	22.12	30	5.03767	0.931975
5	368.2	20.85	30	6.30767	0.909376
6	368.2	19.58	30	7.57767	0.885952
7	368.2	18.31	30	8.84767	0.862098
8	368.2	17.04	30	10.1177	0.838095
9	368.2	15.77	30	11.3877	0.814138
10	368.2	14.5	30	12.6577	0.790353
11	356.5	24.8967	30	13.9277	0.767567
12	356.5	23.6267	30	15.1977	0.746018
13	356.5	22.3567	30	16.4677	0.725285
14	356.5	21.0867	30	17.7377	0.705265
15	356.5	19.8167	30	19.0077	0.685865
16	356.5	18.5467	30	20.2777	0.666999
17	356.5	17.2767	30	21.5477	0.648593
18	356.5	16.0067	30	22.8177	0.63058
19	356.5	14.7367	30	24.0877	0.6129
20	344.8	25.1333	30	25.3577	0.596443
21	344.8	23.8633	30	26.6277	0.5821
22	344.8	22.5933	30	27.8977	0.568686
23	344.8	21.3233	30	29.1677	0.555911
24	344.8	20.0639	30	30.4165	<u>0.543655</u>

U tabeli 37 se može uočiti da je servisni tank uvijek pun te da se u ovom slučaju obavlja preliv iz njega u taložni tank goriva. Pročišćenost goriva na ulasku u glavni motor iznosi 0.543655 što je prilično loše te će i dalje 54.3655% zaprljanog goriva ulaziti u glavni motor.

Kada se ovaj podatak uporedi sa simulacijskim modelom, može se uočiti velika razlika! U tabeli 38 na kraju dana će biti pročišćenost na ulasku u glavni motor 0.020036 tj. svega 2.0036% zaprljanog goriva. Međutim zbog veće potrošnje goriva od kapaciteta

separatora vidljivo je da će na kraju dana svirati alarm niskog nivoa goriva u servisnom tanku! Zbog toga je neophodno ili smanjiti potrošnju na motoru ili povećati protok kroz separator.

Tabela 38. Pročišćenost goriva na ulasku u *ME* (model simulacije)

Simulacijski sist.	NIVO GORIVA U TANKOVIMA			Petrošnja ME (t)	Pročišćenost na ulasku u <i>ME</i> Simulacija - max. protok separatora 2250 l/h (35%)
	Bunker tank(t)	Taložni tank(t)	Servisni tank(t)		
0	400	0	30	0	0
1	380	18.5433	29.445	1.22767	0.102124
2	373	24.7633	28.955	2.49767	0.0640702
3	373	23.9833	28.465	3.76767	0.0475316
4	373	23.2033	27.975	5.03767	0.0400788
5	373	22.4233	27.485	6.30767	0.0364658
6	373	21.6433	26.995	7.57767	0.0344784
7	373	20.8633	26.505	8.84767	0.0331822
8	373	20.0833	26.015	10.1177	0.0321828
9	373	19.3033	25.525	11.3877	0.0311098
10	373	18.5233	25.035	12.6577	0.030287
11	373	17.7433	24.545	13.9277	0.0294993
12	373	16.9633	24.055	15.1977	0.0287317
13	373	16.1833	23.565	16.4677	0.0279778
14	373	15.4033	23.075	17.7377	0.027235
15	373	14.6233	22.585	19.0077	0.0265023
16	361.7	25.1767	22.095	20.2777	0.0257812
17	361.7	24.3967	21.605	21.5477	0.0249071
18	361.7	23.6167	21.115	22.8177	0.0241951
19	361.7	22.8367	20.625	24.0877	0.0234964
20	361.7	22.0567	20.135	25.3577	0.022809
21	361.7	21.2767	19.645	26.6277	0.022132
22	361.7	20.4967	19.155	27.8977	0.0214652
23	361.7	19.7167	18.665	29.1677	0.0208085
24	361.7	18.9497	18.183	30.4165	<u>0.020036</u>

Uočljivo je da je najbolja pročišćenost (tabela 39) u analiziranom brodskom modelu (modelu za provjeru). Na kraju dana pročišćenost na ulasku u glavni motor iznosi 0.0179591 tj. svega 1.79591% zaprljanog goriva što je približno sa simulacijskim modelom. Takođe

zbog neznatno veće potrošnje goriva nego kapaciteta separatora vidljivo je da će nakon 76-tog sata rada motora, svirati alarm niskog nivoa goriva u servisnom tanku!

Tabela 39. Pročišćenost goriva na ulasku u *ME* (model za provjeru, analiza na brodu)

Provjera sist.	NIVO GORIVA U TANKOVIMA			Potrošnja ME (t)	Pročišćenost na ulasku u <i>ME</i>
	Bunke r tank(t)	Taložni tank(t)	Servisni tank(t)		
Radni sati u danu					Brod-provjera max.protok 3200l/h (35%)
0	400	0	30	0	0
1	380	18.2	29.7567	1.22767	0.101958
2	372.3	24.7467	29.6067	2.49767	0.0635854
3	372.3	23.6267	29.4567	3.76767	0.0467251
4	372.3	22.5067	29.3067	5.03767	0.0389809
5	372.3	21.3867	29.1567	6.30767	0.035111
6	372.3	20.2667	29.0067	7.57767	0.0328987
7	372.3	19.1467	28.8567	8.84767	0.0314063
8	372.3	18.0267	28.7067	10.1177	0.0302366
9	372.3	16.9067	28.5567	11.3877	0.0290269
10	372.3	15.7867	28.4067	12.6577	0.0280775
11	372.3	14.6667	28.2567	13.9277	0.0271845
12	360.7	25.2133	28.1067	15.1977	0.026335
13	360.7	24.0933	27.9567	16.4677	0.0255232
14	360.7	22.9733	27.8067	17.7377	0.0247413
15	360.7	21.8533	27.6567	19.0077	0.0239871
16	360.7	20.7333	27.5067	20.2777	0.0232592
17	360.7	19.6133	27.3567	21.5477	0.0224032
18	360.7	18.4933	27.2067	22.8177	0.0217087
19	360.7	17.3733	27.0567	24.0877	0.0210415
20	360.7	16.2533	26.9067	25.3577	0.020399
21	360.7	15.1333	26.7567	26.6277	0.0197797
22	354	20.68	26.6067	27.8977	0.0191835
23	349	24.56	26.4567	29.1677	0.0186187
24	349	23.4587	26.3092	30.4165	<u>0.0179591</u>
76	290.7	23.5333	18.5067	96.4777	

8.3.5. Provjera rezultata – Validacija simulacijskog modela

Analiza sva tri modela je predstavljena u zajedničkom dijagramu na slici 95 gdje se mogu uočiti modeli po bojama. Svakako smeđom bojom je predstavljen model „stanje na

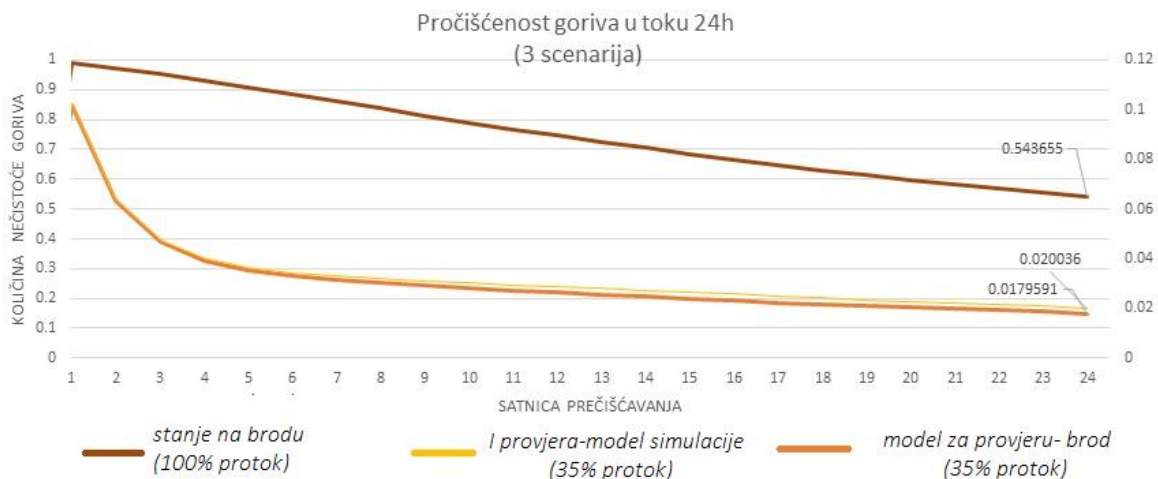
brodu“, dok su žutom i narandžastom prikazani preporučeni modeli prečišćavanja za „I provjeru (simulaciju)“ i „model za provjeru“ (verifikaciju na brodu). Vidljivo je i kod modela koji je čest na brodu („stanje na brodu“ sa 100% protoka kroz separator) da se obavlja prečišćavanje. Međutim ono je mnogo lošije nego kod druga dva preporučena modela prečišćavanja (sa 35% protoka kroz separator), kada se uzmu preporuke od značaja. Na slici 95 se može uočiti i početna razlika u pročišćavanju a to je iz razloga što se u druga dva modela automatski obavlja drenaža iz tankova a samim tim se i uklanjaju nataložene nečistoće iz tanka. Takođe vidljiva je i mala razlika između preporučenih modela prečišćavanja koja se ogleda najviše zbog koeficijenta prečišćavanja u modelu za provjeru u kome je dokazan nešto veći uticaj hemikalije u gorivu na poboljšanu efikasnost separatora. Iako je u radu naznačeno bolje odvajanje vode od goriva (uz upotrebu hemikalije) a samim tim i senzor za drenažu ima bolji i precizni rad (te se i nečistoće bolje odvajaju), u ovom modelu za provjeru se nije mijenjao koeficijent prečišćenosti. On je definisan nakon ispitivanja na brodu i na osnovu podataka iz laboratorije. Kada se poredi efikasnost separatora na brodomašinskom simulatoru sa efikasnošću separatora na brodu, mogu se uočiti male razlike u korist separatora na simulatoru. Efikasnost broskog separatora se ogleda i u radnim satima, zaprljanosti unutrašnjosti bubnja itd. Na analiziranom broskom separatoru su korišćeni kalibrisani metalni ulošci kako bi se omogućio i osigurao minimalni protok kroz separator od 35%. Razlika između modela „stanje na brodu“ i preporučenih modela prečišćavanja se ogleda i u efikasnosti finih filtera. Dostupni predimenzionisani filteri nemaju efekta kada su u pitanju sitne abrazivne nečistoće dok i filteri sa znatno manjom apsolutnom mrežom nemaju veliku efikasnost zbog samog oblika abrazivnih nečistoća.

Ukoliko se uzme podatak o srednjoj (dozvoljenoj) količini katalitičkih nečistoća, u nultom stanju sistem prečišćavanja neće ispuniti visoke normative proizvođača brodskih motora. Takođe može se uočiti postepeno smanjenje nečistoća u gorivu koje dolazi do glavnog motora. U ovom slučaju motor neće biti zaštićen od abrazivnog djelovanja katalitičkih nečistoća jer će njihova količina biti i dalje velika.

Za razliku od nultog stanja, u druga dva modela je uočljiv nagli pad količine nečistoća već u prvih pet sati rada sistema za prečišćavanje goriva. Ovo je moguće ukoliko se radi preporučena drenaža tankova, upotreba pravilnih finih filtera, upotreba dokazanih hemikalija

kao i maksimalno smanjenje količine goriva kroz separator. Vodeći računa o potrošnji goriva i brodskim uslovima rada.

Na ovom modelu je uočen slični trend prečišćavanja goriva te mala razlika u toku analize za jedan dan.

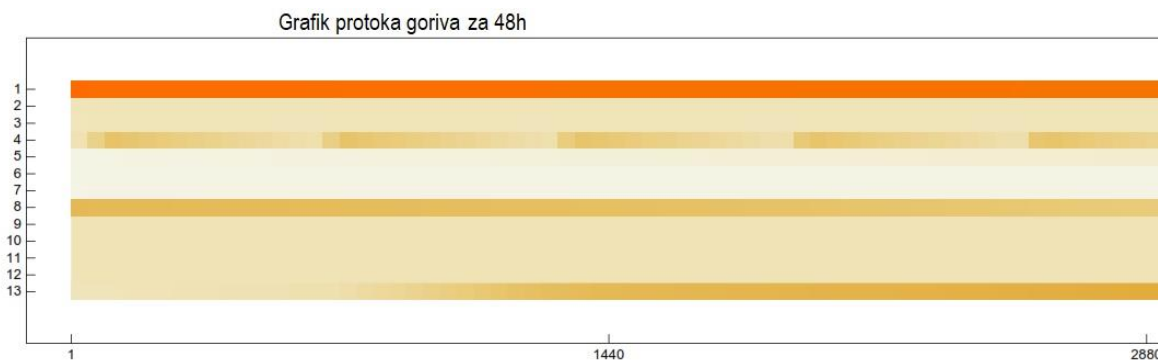


Slika 95. Prikaz čistoće goriva na ulazu u glavni motor simulacije po satima za analizirane modele

Vidljiva razlika između modela simulacije i modela koji je provjeren na brodu odnosi se na:

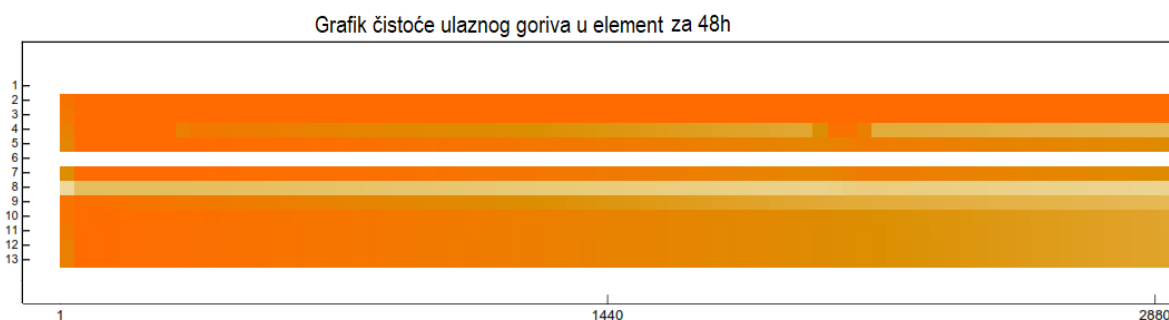
- uticaj redovnog dreniranja (za 1.5% veće eliminisanje katalitičkih nečistoća na brodu),
- poboljšane efikasnosti rada separatora goriva upotrebom hemikalije Aderco 2055G (za 6.17% u odnosu na simulacijski model),
- nešto lošija eliminacija katalitičkih nečistoća u brodskom modelu od simulacijskog za 6% (iako je najveća eliminacija ovih nečistoća upravo moguća uz pomoć separatora pri niskom protoku).

Za sve modele je moguće dobiti i grafike protoka goriva kao i grafik čistoće ulaznog goriva (slika 96 i 97), gdje tamna nijansa predstavlja veću količinu goriva (analiza protoka). Na slici koja prikazuje protok može se uočiti pod brojem 4 (taložni tank) kako se vremenom puni i prazni u zavisnosti od potrošnje, dok kod elementa 13 (glavni motor) se može uočiti sve tamnija nijansa tj. veća potrošnja goriva kako sati prolaze.



Slika 96. Protok goriva kroz analizirane elemente sistema za 48h

Kada je u pitanju grafik čistoće ulaznog goriva: tamnije nijansa odgovara nečistom gorivu dok svjetlija nijansa boje u dijagramu predstavlja čistije gorivo. Ovo se najbolje može vidjeti ako se pogleda tamnija nijansa na početku u elementima 1,2,3... dok u donjem desnom uglu na elementu 13, vremenom se prečišćava tretirano gorivo te ono biva sve čistije.



Slika 97. Čistoća ulaznog goriva po elementu za 48h

U analiziranim modelima treba istaći da pri nultom modelu, prelivanje iz servisnog u taložni tank nema veći efekat prečišćavanja te da upotreba pedeset mikronskog finog filtera pred glavni motor nema nikakav efekat ukoliko su nečistoće srednje i manje veličine. Pogotovo što ovaj filter treba da zadrži nečistoće koje separator nije uspio u svom radu. Problem kod ove simulacije je predstavljao geometrijski oblik nečistoća u gorivu. Da sve nečistoće imaju pravilan oblik npr. krug., simulacija bi bila jednostavnija. Veličine nečistoća koje se smatraju opasnim za sami motor su od 15 μm pa i veće.

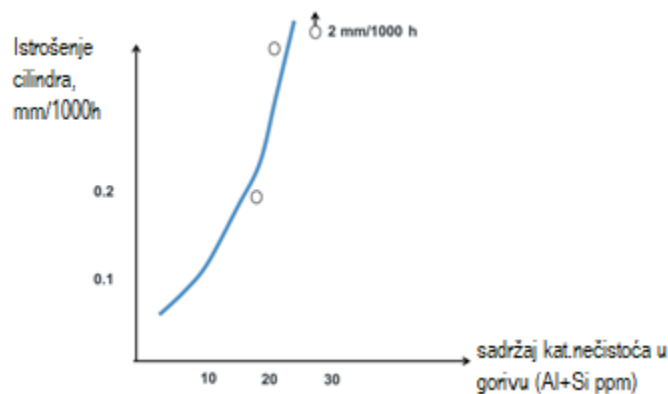
Redovno i pravilno podešavanje rada separatora u odnosu na ukupnu potrošnju goriva (plus dodatnih 10% viška goriva zbog sigurnosti) je najbitniji faktor za prečišćavanje najsitnijih katalitičkih nečistoća. Osim toga treba napomenuti da upotrebom hemikalije osim

poboljšano uklonjanje katalitičkih nečistoća, da se pospješuje eliminisanje natrijuma i gvožđa iz tretiranog goriva.

8.3.6. Analiza učinkovitosti broskog sistema za prečišćavanje goriva koji imaju katalitičke nečistoće

Nakon posmatrane simulacije i analize goriva na tankeru, uočljivo je na koji način je potrebno rukovati sistemom prečišćavanja kako ne bi došlo do istrošenja na glavnom motoru. Prilikom analize treba napomenuti još jednom da je kod konvencionalnih motora neophodno provjeriti i izmjeriti prečnik košuljice (na svakih 6000-8000 radnih sati). Takođe kod istih motora istrošenje od 0.6 - 0.8% od originalnog prečnika na 1000 radnih sati je prihvatljivo, kao i 1mm za 100mm prečnika košuljice je limit prije zamjene. A kad su u pitanju klipni prstenovi, dozvoljeno istrošenje je oko 0.1 mm/1000 radnih sati [85], (konvencionalni motori). Svakako ovo zavisi od opterećenja motora, efikasnosti podmazivanja, kvaliteta goriva i rasprskivača, od samog održavanja i kvaliteta prstenova itd.

Ono što je predstavljeno u radu [31], i praksi je da je veličina katalitičkih nečistoća usko povezana sa istrošenjima na košuljici. Ukoliko se pogleda slika 98, vidljivo je da kada motor radi sa većom količinom ovih abrazivnih nečistoća, dolazi i do naglog istrošenja. Te da su jedino prihvatljive nečistoće manje od 10 ppm u broskom gorivu.



Slika 98. Istrošenje košuljice u zavisnosti od abrazivnih nečistoća u odnosu na radne sate motora (mm/1000h)

Kada se analiziraju oštećenja koja nastaju na glavnom motoru, tj. na klipnim prstenovima [67], uslijed katalitičkih nečistoća, vidi se nagli porast istrošenja klipnog

prstena. U radu je napomenuto da je motor radio 833 radna sata sa normalnim istrošenjima i intervalom sladžiranja separatora od 4h.

Usljed “napada” katalitičkih nečistoća u motoru i pored smanjenja intervala sladžiranja separatora, ipak se desio ekstremni porast istrošenja klipnog prstena, za nešto više od 300 radnih sati.

Druga analiza koja je obavljena na tankeru [67], pokazuje nagli porast količine čestica gvožđa u otpadnom cilindričnom ulju glavnog motora sa 600 ppm na 1700 ppm, koje je počelo nakon 47.000 radnih sati. Za samo 18 minuta količina čestica gvožđa je dostigla 1900 ppm a nakon 30 minuta 2000 ppm. Te da se nije reagovalo, neminovno bi došlo do ekstremnog istrošenja u motoru.

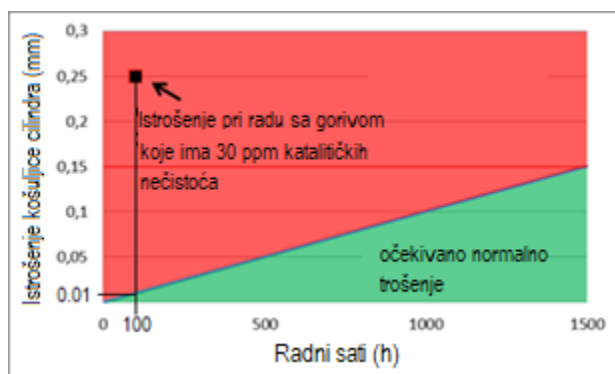
U radu [87] je osim iznosa troškova koji su nastali uslijed istrošenja u motoru zbog katalitičkih nečistoća, objašnjeno da su se sva ozbiljna istrošenja na svim košuljicama desila za samo 100 radnih sati ili četiri radna dana. Osim ovog slučaja, evidentirano je da su se desila istrošenja i na drugim motorima:

- MAN B&W 6S50MC - C slow speed direct reversing two - stroke diesel engine. Bore: 500 mm Stroke: 2,000 mm - nakon 240 radnih sati

- Sulzer 8RTA84T slow speed direct reversing two - stroke diesel engine. Bore: 840 mm Stroke: 3,150 mm – u slučaju da se gorivo koristilo nakon dobijanja analize - tj. nakon 888 radnih sati

- Wartsila RTA 58T slow speed two - stroke engine - nakon 332 radna sata se košuljica istrošila [7]

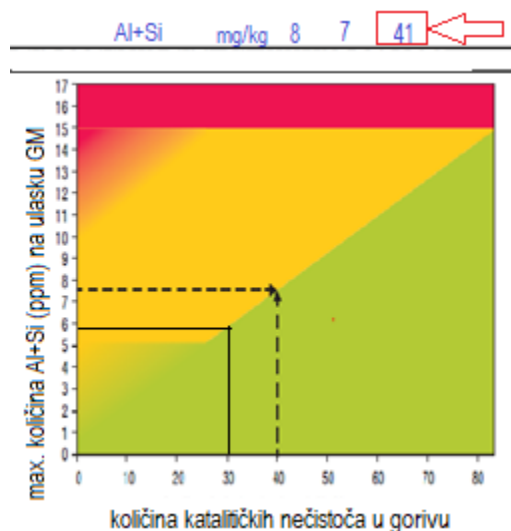
Ukoliko se uporede navedeni slučajevi, može se uzeti prosjek te da se nakon 372 radna sata (15 dana) dešavaju ekstremna istrošenja na vitalnim djelovima glavnog motora. Ovo znači da je neophodno iste mijenjati. Naglo istrošenje košuljice nakon 100 radnih sati je prikazano na slici 99, u slučaju kada motor radi sa gorivom koje ima 30 ppm nečistoća!



Slika 99. Istrošenje košuljice u nakon 100 radnih sati u slučaju kada motor radi sa gorivom koje ima 30 ppm nečistoća

Ako se primijene predložene metode, te obrati detaljna pažnja na sistem prečišćavanja, odrade neophodna dreniranja, koristi preporučena hemikalija za tretiranje goriva, reguliše protok kroz separator goriva te koristi fini filter ispod $25\mu\text{m}$, sistem će uspjeti da odvoji katalitičke nečistoće te ispuniti zahtjeve proizvođača motora!

Treba napomenuti da po ovlašćenim serviserima motora (dozvoljena količina katalitičkih nečistoća ispod 15 ppm je prihvatljiva samo za kratak period). Gorivo koje ima količinu nečistoća npr. od 41 ppm Al + Si, mora da se prečisti na brodu do 7 - 8 ppm, dok za 30 ppm onečišćenog goriva potrebno je prečistiti ispod 6 ppm Al + Si, tj. preko 80% (slika 100)! Ovo je jedino moguće ako se gore pomenuti predlozi usvoje i praktikuju na brodskom sistemu.



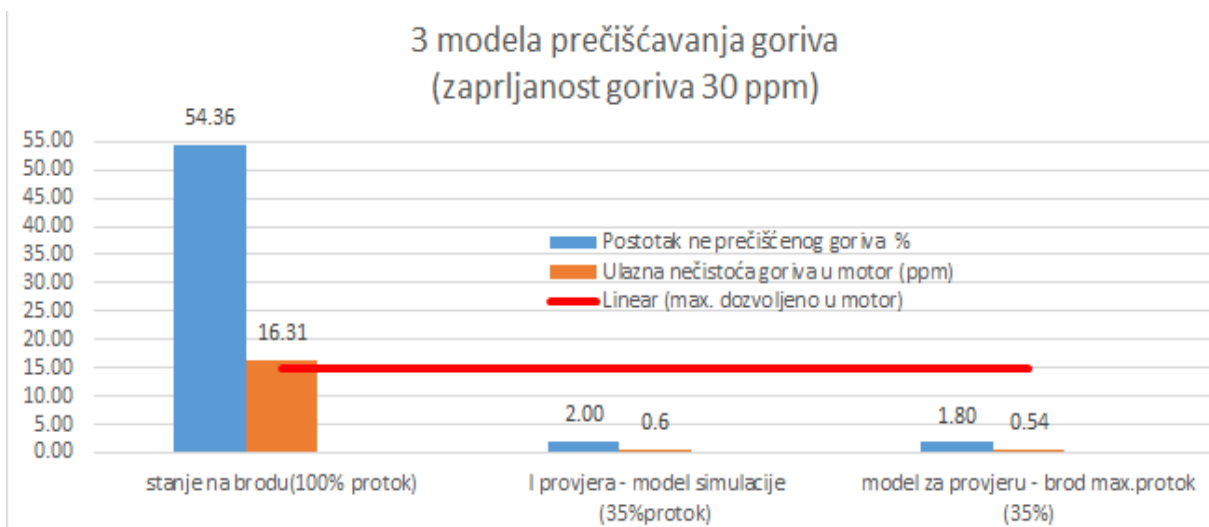
Slika 100. Odnos nečistoća u bunkerisanom gorivu (ppm) i maksimalne količine nečistoća na ulasku u motor, nakon neophodnog prečišćavanja

Kada se uporede maksimalne veličine abrazivnih nečistoća na ulasku u motor (slika 100) sa podacima dobijenim u tabeli 40 (analizom tri modela), može se zaključiti da u nultom modelu (koji je čest u brodskoj praksi), pri bunkerisanom gorivu koje ima srednju vrijednost nečistoća (30 ppm), da će sistem u najboljoj mjeri nakon jednog dana smanjiti nečistoće na 16.31 ppm što je nedopustivo! Kada se sagledaju izvještaji servisera u kojima je naznačeno da količina abrazivnih nečistoća na ulasku u motor mora biti manja od 15 ppm, može se zaključiti da ovakva praksa ne zadovoljava date kriterijume.

Tabela 40. Količina prečišćenosti goriva nakon 24h tretmana u tri analizirana modela (za ulaznu nečistoću goriva srednje vrijednosti od 30 ppm)

Provjera sistema prečišćavanja nakon 24h	NIVO GORIVA U TANKOVIMA			Pročišćeno st na ulasku u <i>ME</i>	Postotak ne prečišćeno g goriva	Ulazna nečistoća goriva u ME (pri 30 ppm AL+Si)
	Bunke r tank(t)	Taložni tank(t)	Servisni tank(t)			
Modeli (protok kroz separator)						
nulti model (100%)	344.8	20.0639	30	0.543655	54.3655 %	16.31ppm
model simulacije (35%)	361.7	18.9497	18.1832	0.020036	2.0036 %	0.6 ppm
brod - provjera max.protok (35%)	349	23.4587	26.3092	0.0179591	1.79591 %	0.54 ppm

Ipak ukoliko se pogledaju ostali modeli (model simulacije i model provjere), može se zaključiti da ukoliko se ispoštuju navedene preporuke, da se gorivo može adekvatno prečistiti i time neće oštetiti vitalne djelove u glavnom motoru! Procentualna prečišćenost goriva za nulti model (situacija na brodovima), te dva modela koja su analizirani (simulacijski model i provjera modela na brodu), te veličine abrazivnih nečistoća prečišćenog goriva na ulasku u motor (ppm) su prikazane na slici 101. Ukoliko se posmatra dati dijagram, crvenom linijom (linear) je prikazana granica maksimalne dozvoljene količine abrazivnih nečistoća na ulasku u motor i to za kraći period. Uočljivo je da najčešće brodski sistem ne ispunjava dati uslov, te da primjenom datih preporuka je moguće dovoljno prečistiti brodsko gorivo, koje će biti sigurno za upotrebu u brodskom motoru!



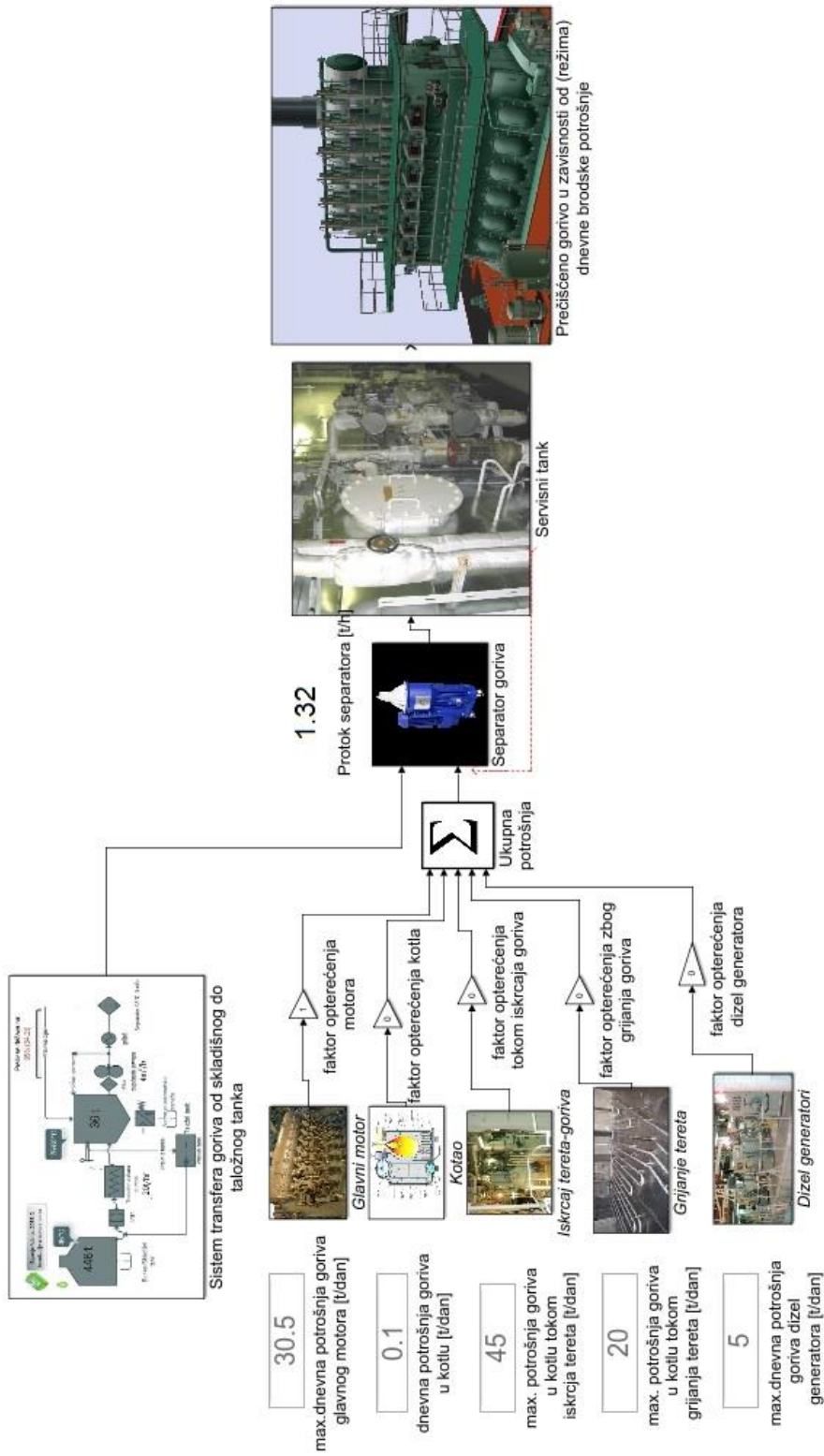
Slika 101. Procentualna prečišćenost goriva za 3 modela analize, veličine prečišćenog goriva na ulasku u motor (ppm) u odnosu na maksimalno preporučenu / dozvoljenu količinu abrazivnih nečistoća (manje od 15 ppm)

8.4. OPTIMIZACIJA RADA SEPARATORA GORIVA U CILJU BOLJEG ELIMINISANJA SITNIH NEČISTOĆA IZ GORIVA

U ovoj analizi korišćen je separator sa maksimalnim kapacitetom od 3.200 l/h. U praksi se pokazalo da veći broj brodskih oficira ne kontroliše rad separatora, već kad ga jednom podesi tako ostane za dugi period. Vodeći se idejom da i kad se veća količina goriva prečisti (pri maloj potrošnji), da će se ona dodatno prečistiti prilikom preliivanja iz servisnog tanka u taložni tank.

U ovom dijelu leži i glavna problematika koja se ogleda u dozi „straha“ jer su svjesni specifičnosti uređaja i kompleksnosti. Veliki broj oficira ne uključuje drugi separator i pored loših rezultata goriva koje upotrebljavaju. Sa druge strane, fino podešavanje na samom separatoru gotovo da i ne postoji. Jednom podešen separator ostavlja se da tako radi najčešće tokom trajanja ugovora, pa i duže. Možda problem leži u tome što ovaj kompleksan uređaj najčešće održava oficir mašine najniži po rangu (oficir sa najmanje iskustva). Iako upravitelj mašine ima odgovornost za ispravnost rada svih uređaja, rijetko se dešava da svojim predlozima i objašnjenjima približi složenu problematiku separatora. Na ovakav način bi i junior inženjeri drugačije razmišljali i više pažnje bi obraćali na sami rad separatora.

Kao najvažniji parametar koji bi trebalo da bude u podešavanju rada separatora je svakako dopuštena količina goriva kojom se puni separator tj. *feed rate*.



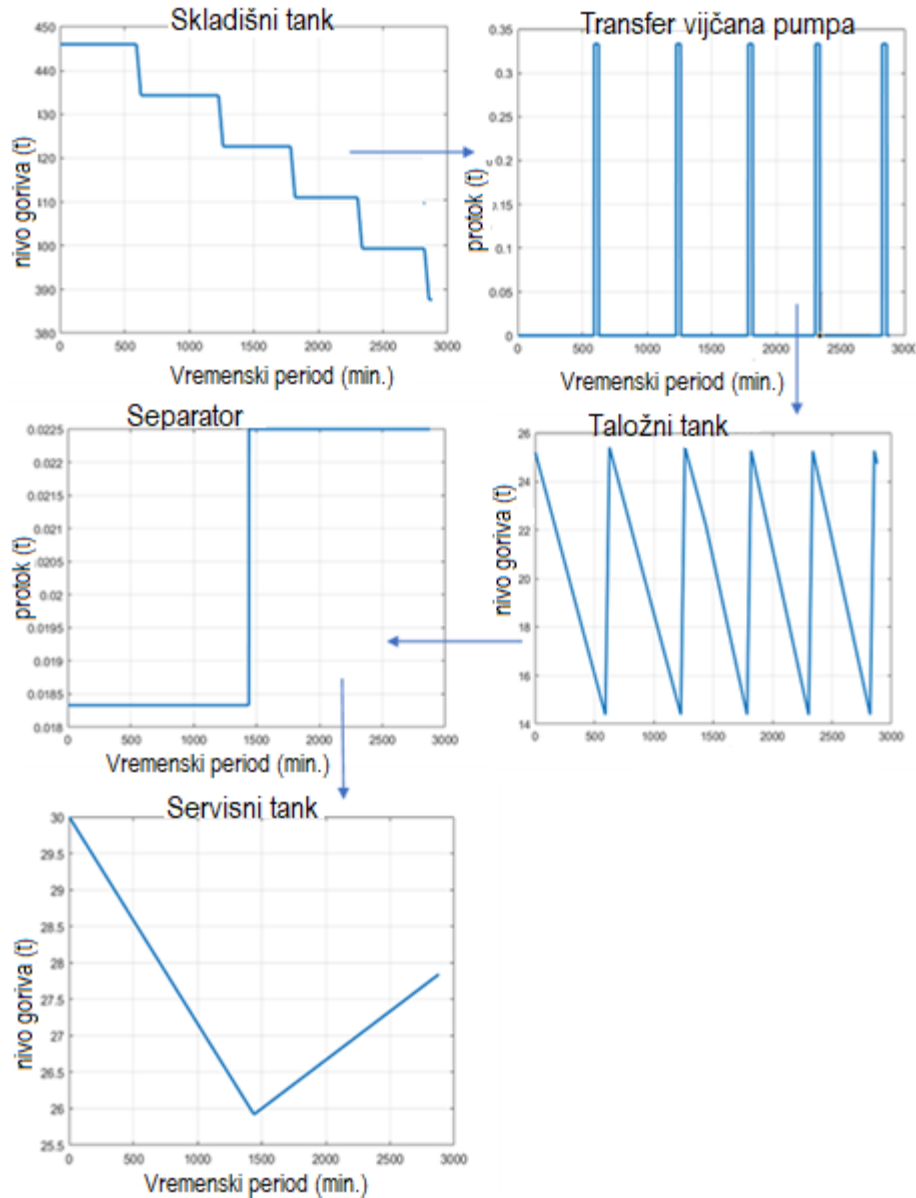
Slika 102. Optimizacija protoka goriva kroz separator u zavisnosti od trenutne potrošnje goriva

Na slici 102 je prikazana simulacija sistema koja je izvedena pomoću Simulink -a. Sistem je podijeljen na dva podsistema, brodski potrošači goriva (i povratni signal nivoa goriva iz servis tanka), i kontrola protoka goriva kroz separator. Kao i ranije, pod potrošačima mislimo na glavni motor, kotao i dizel generatore u različitim uslovima rada.

U prvi podsistem koji je predstavljen na prethodnoj slici spada sva oprema u sistemu goriva prije separatora, a koja se sastoji od dnevnog tanka, filtera, transfer pumpe, taložnog tanka i zupčaste pumpe. Drugi podsistem predstavlja svu opremu u sistemu nakon separatora, kao i pomenuti povratni signal nivoa goriva u servisnom tanku. Kako je dokazano da se najveća eliminacija sitnih abrazivnih nečistoća ostvaruje pri smanjenom protoku goriva kroz separator, on je podešen da bude nešto manji u odnosu na maksimalnu potrošnju goriva od strane glavnog motora. U Matlab programu je napisan dodatni kod koji simulira rad sistema u periodu od 48 sati sa vremenskim korakom od jednog minuta. Ova simulacija proizvodi grafikone koji pokazuju promjenu nivoa goriva u rezervoaru za skladištenje, taložnom i servisnom rezervoaru. Osim njih, uz pomoć ove simulacije moguće je prikazati grafikone koji prikazuju rad transfer pumpe te protok goriva kroz separator. Pumpa je podešena da se uključi kada nivo goriva u taložnom tanku padne na 40% maksimalnog kapaciteta, ili 14,4 tone, i da se ponovo isključi kada nivo goriva u rezervoaru dostigne 70% maksimalnog kapaciteta, odnosno 25,2 tona. Ova simulacija je rađena za slučaj kada je nivo goriva u svim tankovima na početku simulacije na maksimalnom nivou i kada motor radi na maksimalnom opterećenju. Prvi dio ove dinamičke simulacije je signal potrošnje goriva koji se šalje ventilu koji kontroliše protok goriva kroz separator. Pošto je u standardnim uslovima rada protok kroz separator manji od protoka kroz zupčastu pumpu, višak goriva se vraća u taložni tank. Količina goriva u taložnom tanku se smanjuje tokom procesa separacije goriva. Takođe, ako količina goriva u taložnom tanku padne na nivo od 14,4 tone, šalje se signal koji će upaliti transfer pumpu (protok od 20 t/h) i uz pomoć koje će se nadopuniti taložni tank do nivoa od 25,2 tone. Tokom perioda rada ove pumpe, nivo goriva u taložnom tanku se povećava za razliku između količine goriva koja je upumpana i količine goriva koja je prošla kroz separator. Promjena količine goriva u skladišnom tanku se dešava samo u periodu kada je transfer (vijčana) pumpa u radu, a smanjenje nivoa goriva je jednako protoku kroz samu

pumpu. Nivo goriva u servisnom tanku konstantno opada u analizirana prva 24 sata simulacije jer je potrošnja goriva motora veća od protoka goriva kroz separator, uz pomoć koga se servisni tank puni. Nakon 24 sata, kada nivo goriva u servisnom tanku padne ispod 26 t, šalje se signal (ventilu za napajanje) da kroz separator prođe veća količina goriva (1,35 t/h), što je nešto veća količina od potrošnje goriva motora. Na ovaj način je osigurano punjenje servisnog tanka gorivom a predstavljeno na slici 103. Naravno neophodno će biti izvršiti zamjenu skladišnih tankova kada se potroši gorivo (na puni i pripremljeni tank). Zbog specifičnih brodskih uslova, poželjno je da se odredi minimalni nivo goriva u skladišnom tanku, kako bi proces prebacivanja na novi tank goriva protekao bez mogućih problema. A odmah nakon toga bi bilo neophodno i da se filteri transfer pumpe očiste.

Na prikazani način bi se mogao optimizirati rad separatora goriva, te osigurati da u ostalim slučajevima radi na mogućem minimalnom protoku bez problema. Ovo je prikaz optimiziranja rada separatora u funkciji najefikasnije eliminacije sitnih abrazivnih nečistoća u gorivu a ide u prilogu i sve većim željama za autonomnosti brodskih sistema.



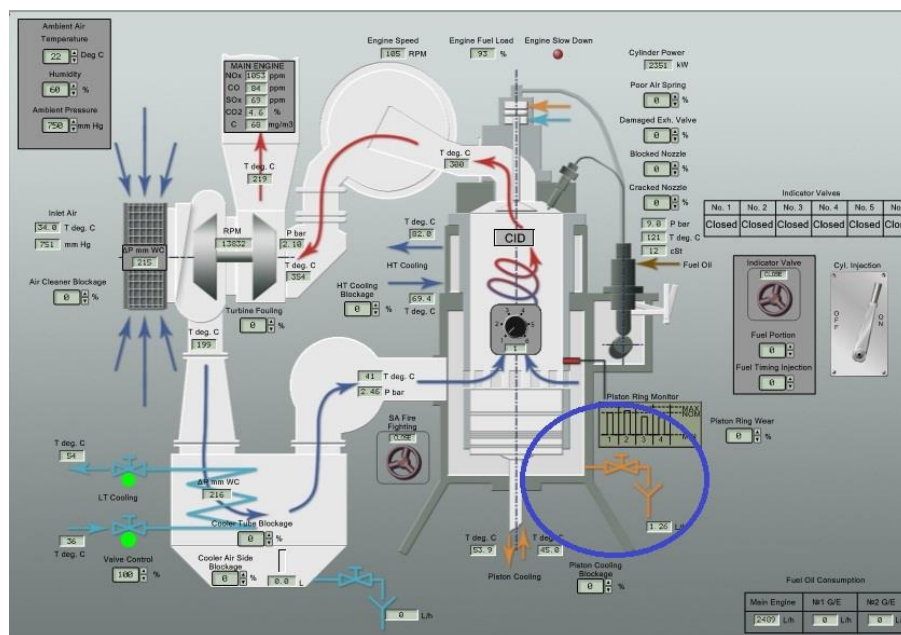
Slika 103. Blok šema nivoa i protoka goriva kroz simulacijske sisteme

8.5. SIMULACIJSKI MODEL ZA ALARMIRANJE U SLUČAJU NAGLE ISTROŠENOSTI KLIPNIH PRSTENOVA PROUZROKOVANE ABRAZIVNIM NEČISTOĆAMA IZ GORIVA

Problematika izražena ne mogućnošću praćenja, ranog alarmiranja stanja klipnih prstenova navela je na mogući scenarijo tokom simulacije.

Tendencija prilikom ubrizgavanja cilindarskog ulja je da se u svaki cilindar ubrizgava predviđena količina ulja, te da se obezbijedi jednak film ulja na košuljici. Glavna namjena

ulja je da obezbijedi osnovne funkcije podmazivanja klipa i košuljice i zaptivanje međuprostora (između klipnog prstena, klipa i košuljice). Dodatni aditivi u cilindarskom mazivu održavaju stabilnost ulja, neutrališu kiselinsku kondenzaciju na košuljici i spiraju zaostatke goriva i maziva.



Slika 104. Mjesto uzorkovanja i automatskog mjerenja otpadnog cilindričnog ulja na glavnom motoru

Ono što je vidljivo sa slike 104 je da se simulacijom istrošenja klipnih prstenova mogu pratiti ostali vitalni parametri na glavnom motoru. Ono što je velika razlika između simulacije i stvarnog stanja je da se na brodovima u eksploataciji cilindrično otpadno ulje sliva u zajednički tank. Stoga se ne može pouzdano znati ukoliko dođe do rapidnog istrošenja na pojedinom cilindru. Sa druge strane, ne postoji još mogućnost automatskog mjerenja istrošenja (u vidu dodatne opreme i mjerača), što je na modelu za simulaciju moguće.

Kvalitet ulja se svakako mijenja kako prolazi od tačke ubrizgavanja do dreniranja. Slivanjem niz zidove cilindra ulje poprima različite primjese i kao takvo odlazi u drenažni tank. Svaka promjena u karakteristikama ulja reflektuje se na uslove sagorijevanja i podmazivanja u svakom cilindru. Analizu drenažnog ulja sprovodi većina ozbiljnih brodskih operatera jer se mogu dobiti adekvatni odgovori na rad motora pa i da se prikaže da li je motor malo ili previše podmazan. U prošlom periodu uglavnom je analiziran procenat vode

u ulju, viskozitet, bazni broj, a od nedavno i sadržaj gvožđa u otpadnom ulju. Pokazalo se u praksi da je nedovoljno da se osloni samo na osnovna mjerenja, pa čak i da se analiza radi samo na brodu, već su se uzorci počeli slati i u sertifikovane laboratorije širom svijeta. Sama analiza drenažnog ulja ne znači mnogo ako se ona adekvatno ne tumači. Pouzdano tumačenje zavisi od uzimanja u obzir karakteristika goriva koje se koristi, uslova održavanja motora i podataka iz performansi broskog motora.

Uz pomoć broskog simulatora sa oznakom motora MAN tip 6S60MC je izvršena simulacija istrošenja klipnih prstenova na cilindru 1 (pri 15, 30, 45, 60, te 75 istrošenja) kako bi se dobijeni podaci uporedili sa podacima pri normalnim uslovima i time utvrdilo koji se to parametri mijenjaju pri većem istrošenju klipnog prstena.

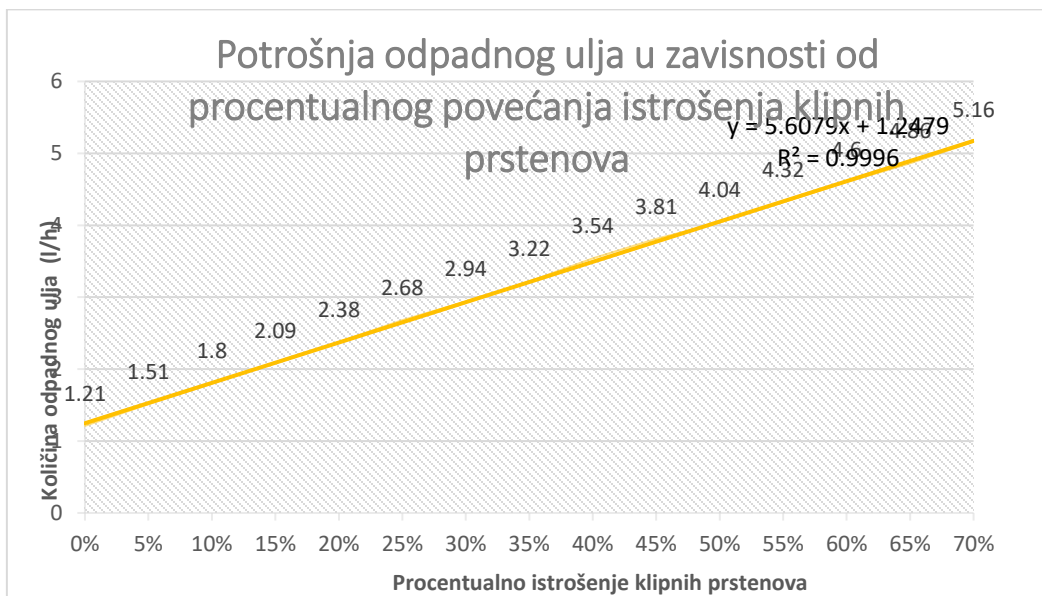
Simulacija je izvršena na cilindru broj 1 a rezultati simulacije su dati u tabeli 38 i to sa normalnim radnim, atmosferskim uslovima i pri:

- maksimalnoj brzini od 105 obrtaja (rpm),
- snage po cilindru od 2351 kW, dovedenog goriva od 9,0 bar sa temperaturom goriva od 121°C i viskoziteta od 12cSt,
- analiza je obavljena pri ambijentalnim parametrima; 22°C ambijentalne temperature, 60% vlažnosti i ambijentalni pritisak od 750mmHg.

Kao što je vidljivo iz tabele 41, tek nakon više od 70% simuliranog istrošenja će se pojaviti prvi alarm u vidu devijacije izduvne temperature. Što znači kasno za neko preventivno održavanje čemu se teži na brodu. Sa dijagrama na slici 105 se može uočiti linerana zavisnost između analiziranih elemenata.

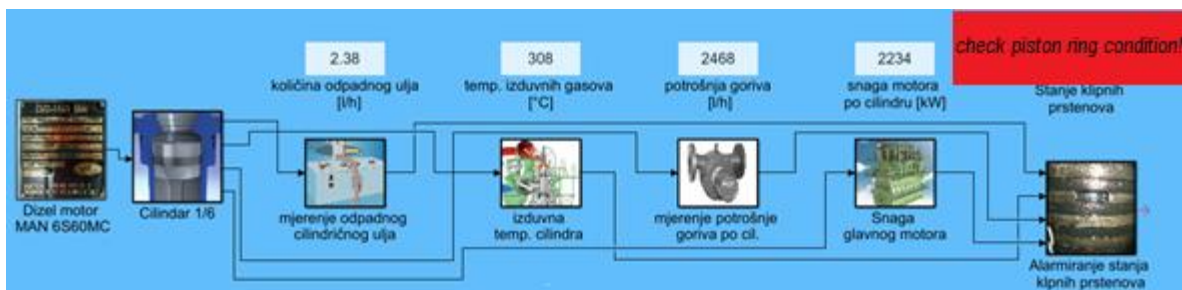
Tabela 41. Vrijednosti glavnog motora pri simulaciji procentualnog istrošenja klipnih prstenova

	Procentualno istrošenje klipnih prstenova po cilindru (%)								Dalje povećanje istrošenja
	0	10	20	30	40	50	60	70	
Potrošnja otpadnog ulja (l/h)	1.21	1.8	2.38	2.94	3.54	4.04	4.6	5.16	
Potrošnja goriva (l/h)	2461	2466	2468	2472	2476	2480	2485	2491	
Izdovna temperatura gasova (°C)	297	302	308	313	321	324	331	335	Alarm devijacije 50°C
Nox (ppm)	1044	1048	1051	1054	1061	1059	1062	1072	
SOx (ppm)	69	69	69	69	69	69	69	69	
Snaga cilindra motora (kW)	2277	2255	2234	2217	2202	2180	2166	2160	
Broj obrtaja turbine (rpm)	13825	13877	13904	13929	13988	13979	14005	14276	



Slika 105. Grafički prikaz zavisnosti procentualnog istrošenja klipnih prstenova u odnosu na količinu otpadnog cilindričnog ulja

Ovi podaci su pomogli da se uradi simulacija u simulinku, ranijeg javljanja alarma u vidu poruke - alarma, da se provjeri kondicija - stanje klipnih prstenova (*check piston ring condition*)! U analiziranom slučaju kada dođe do naglog porasta; količine otpadnog ulja, izdovne temperature po cilindru, potrošnje goriva dok istovremeno dolazi do pada snage na cilindru, te navedeno rezultira pojavi opisanog alarma (slika 106). Na ovakav način brodski inženjeri će imati vremena da urade dodatne provjere i da vizualno utvrde pravo stanje klipnih prstenova, te da pravovremeno reaguju dok nije suviše kasno. Simulacija je obavljena pri 20% istrošenja klipnih prstenova.



Slika 106. Model alarmiranja istrošenja klipnih prstenova pri vitalnim promjenama na glavnom motoru

Problematiku pri simulaciji predstavljaju nepromjenjivi parametri temperature rashladne vode, košuljice cilindra, kao i temperature ulja za hlađenje klipa tabela 42.

Tabela 42. Procentualno istrošenje klipnih prstenova na cilindru br.1, uticaj na analizirane parametre (rashladna voda ulaz/izlaz, ulje za hlađenje klipa)

Analiza	Procentualno istrošenje klipnih prstenova											
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
Cilindara 1												
<i>J.C.W. IN</i> °C	69.3	69.2	69.2	69.3	69.1	69.2	69.1	69.1	69.1	69	69.1	
<i>J.C.W. Out</i> °C	82	81.9	81.8	82.1	81.8	82	82	81.9	82	81.9	82.1	
<i>P.C.O. IN</i> °C	45.1	44.7	44.7	44.7	44.7	44.7	44.7	44.8	44.9	44.9	44.9	
<i>P.C.O. Out</i> °C	54.1	52.9	52.8	52.9	52.9	53	53.1	53.2	53.2	53.2	53.2	
Vrijeme simuliranja (min.)		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	

Iako se laboratorijskom analizom utvrdilo da keramički premazi na prstenovima mogu da izdrže veći stepen habanja i da su elastični, uslijed abrazivnih djelovanja katalitičkih nečistoća ipak će doći do abnormalnog habanja (klipnih prstenova ili košuljice cilindra). Stoga je bilo neophodno uraditi metodologiju poboljšane eliminacije katalitičkih nečistoća iz goriva.

Neophodno je bilo analizirati čitav sistem prečišćavanja goriva na brodu i utvrditi elemente (mjesto i uređaje), na kojima je moguće poboljšati koeficijent prečišćenosti. Analize koje su urađene (na brodovima i u laboratorijima) su bile neophodne kako bi se utvrdio stepen djelovanja raznih metoda koje utiču na smanjenje katalitičkih nečistoća u brodskom gorivu. Analizom je obuhvaćen trenutak od početka ukrcanja goriva u skladišni tank pa sve do ulaksa

prečišćenog goriva u glavni motor. Nakon izvršenih niza eksperimenata dobijeni su podaci o efikasnosti ukljanjanja katalitičkih nečistoća. Ti podaci su i implementirani u matematički model (MPIFG) a metodologija korišćena za izradu modela je „vremenski diskretno modelovanje sa rekurzivnim (diferencnim) jednačinama, Predloženi model prečišćenje i filtracije goriva sačinjen je od:

- upotreba Aderco hemikalije u skladišnom tanku (uz pomoć koje se poboljšava eliminacija katalitičkih nečistoća u separatoru),
- upotreba predložene automatske drenaže (sa senzorima) iz taložnog i servisnog tanka (kako bi se osigurala maksimalna eliminacija akumuliranih nečistoća sa dna tanka),
- optimizacije rada separatora, automatska regulacija protoka goriva (uz pomoć koje se osigurava maksimalno moguće odstranjivanje sitnih katalitičkih nečistoća), u odnosu na trenutnu maksimalnu potrošnju goriva (prikazani razni scenariji na tankerskom brodu) i stanju u tankovima,
- efikasnost upotrebe finih filtera (upotreba predloženog finog filtera od 10 μm) pred glavni motor.

Osim toga u ovom modelu su predloženi i: automatsko punjenje taložnog tanka (kako bi se osiguralo dovoljno vrijeme za taloženje nečistoća), upotreba visokih usisa na servisnom tanku (kako bi se eliminisalo moguće usisavanje sitnih nečistoća sa dna tanka), postavljanje prelivne cijevi iz servisnog tanka pri dnu tanka (iako je model rađen sa namjerom da ne dolazi do preliivanja, ukoliko se desi zbog male potrošnje da to bude na način što će se gorivo sa manjom čistoćom preliiti iz servisnog u taložni tank, te proći još jednom proces separacije).

Takođe preporučeni je i model alarmiranja ukoliko dođe do naglih promjena analiziranih parametara na glavnom motoru u cilju preventivnog održavanja, upotreba automatske analize (feromagnetne) otpadnog cilindričkog ulja, upotreba temperaturnih senzora košuljice cilindra te sistem automatskog mjerenja količine nečistoća u brodskom sistemu prečišćavanja. U radu su naznačeni načini utvrđivanja prisustva katalitičkih nečistoća u radnim elementima brodskog motora.

Predloženi model MPIFG je provjeren na brodomašinskom simulatoru, a pojedini podaci su provjereni sa podacima iz stručne literature, dok je verifikacija rezultata modela urađena preko niza testova na brodu. Ukupna efikasnost prečišćenja goriva se najbolje može uočiti na tabelama 37,38 i 39 a vidjeti na grafičkom prikazu (slika 95). Takođe opravdanost

predložene metodologije (kumulativno poboljšanje uklanjanja katalitičkih nečistoća) se najbolje može uočiti kada se simulira srednja dozvoljena veličina katalitičke nečistoće u gorivu od 30 ppm na slici 101. Sa slike se može uočiti da scenarijo koji je nazvan „stanje na brodu“ ne zadovoljava stroge zahtjeve proizvođača motora, dok ispunjavaju druga dva scenarija preporučenog sistema prečišćavanja: „prva provjera“ i „model za provjeru“ !

ZAKLJUČAK

Katalitičke nečistoće se nalaze u brodskom gorivu, te je potrebno da se obrati velika pažnja na njihovo prisustvo i maksimalno smanjenje. Male količine ovih nečistoća dolaze i nakon taloženja u tanku, separiranja, filtriranja, preko rasprskivača u komoru sagorijevanja. Kao jako abrazivne nečistoće mogu da naprave probleme velikih razmjera, a nastali problemi na glavnom motoru iziskuju velike direktne i indirektne troškove.

Kao prva linija zaštite od negativnih efekata ovih nečistoća na brodu je odgovornost broдача / menadžera tj. angažovanost na izboru kvalitetnih i na tržištu provjerenih dobavljača goriva, gdje će prethodno (u fazi kvotacija) dobijene "sertifikate o kvalitetu" goriva od više dobavljača evaluirati i odabrati najbolje / najkvalitetnije ponuđeno.

Mnogi brođari / menadžmenti u cilju ušteda izbjegavaju ugradnju uređaja koji mogu pospješiti efikasnost sistema pri odstranjivanju katalitičkih nečistoća kao i opreme za monitoring istih, primarno se oslanjajući na iskustvo i kvalitet brodske posade, što je vrlo upitno i nesigurno s obzirom na to da je kvalitet posade na brodovima u konstantnom padu. Takođe, ponovo u cilju ušteda, brođari / menadžeri ne ulažu dovoljna dodatna sredstva i vrijeme ka specijalizaciji i posebnoj obučenosti posada na brodu da se mogu kvalitetno nositi sa svim problemima ove teme i rizika koje nose sa sobom. U prvom planu se misli na proceduru analize broskog goriva (uzorkovanje i sama analiza koja je moguća na brodu ili pak u ispitnim laboratorijama). Neophodno je konstantno praćenje kvaliteta goriva odnosno kvaliteta separiranja (prečišćavanja goriva). Uvid u kvalitet prečišćavanja je moguć jedino konstantnim mjerenjima, što je opisano u samom radu. I pored tendencije da separator kao ključni faktor prečišćavanja goriva mora da odradi najveću ulogu, u radu su prikazani podaci koji ukazuju da efikasnost separatora uglavnom varira, ali da je u prosjeku ipak nešto iznad 60%.

Zbog svega navedenog, u radu su predstavljeni modeli i načini na koje je dokazano moguće povećanje efikasnosti rada separatora. Od početnog dodavanja hemikalije u skladišnom tanku goriva, redovnog i pravilnog održavanja, podešavanja protoka količine goriva kroz isti, te ukoliko je neophodno odraditi podešavanja na PID kontroleru kako bi

sistem mogao da pravilno radi ili pak postavljanje metalnih uložaka za smanjenje protoka “orifice” ukoliko nema drugog načina regulacije protoka.

Osim kvalitetnog otklanjanja sitnih nečistoća podešavanjem samog separatora goriva, ostaje mogućnost da se redovnim dreniranjem određena količina nečistoća eliminiše iz sistema goriva. Polazeći od težnje za autonomnosti broda pa i njegovih sistema, u radu je predstavljen sistem automatske drenaže, uz pomoć kojeg je moguće osigurati redovno otklanjanje vode i abrazivnih nečistoća. Takođe su predstavljeni modeli separacije uz pomoć kojih je moguće maksimalno odvajanje ovih nečistoća. Ono što se dreniranjem i separacijom ne uspije, otklanja se automatskim finim filterima koji se nalaze neposredno ispred glavnog motora. Međutim u radu je pokazano da oni imaju samo 50% mogućnost eliminacije u odnosu na promjer samog filtera (zbog geometrijskog oblika same nečistoće). Takođe je preporučena obavezna ugradnja visokog usisa na servisnom tanku ukoliko ga nema na brodu.

U disertaciji je dokazana hipoteza 1 da upotrebom adekvatnih savremenih metoda za utvrđivanje nečistoća, moguće je preventivno djelovati. U prilog hipoteze govori sistem rednog nadgledanja katalitičkih čestica u procesu prečišćavanja goriva. *Catguard* sistem osim automatskog mjerenja nivoa katalitičkih nečistoća na bitnim tačkama omogućuje i alarmiranje ukoliko se detektuje veća količina ovih nečistoća. Automatizacija ovog sistema mjerenja i alarmiranja omogućuje preventivnu zaštitu motora, momentalni uvid u zaprljanost goriva koji se koristi, te ne zavisi od slanja uzoraka i laboratorijske analize goriva

Takođe pravilnim - sveobuhvatnim tretmanom brodskog goriva i pravilnim preventivnim sistemskim održavanjem može se uveliko smanjiti uticaj abrazivnih katalitičkih nečistoća na motoru. Jako abrazivne katalitičke nečistoće se mogu otkloniti pravilnom metodom: taloženjem - drenažom iz tankova, dobrom filtracijom, upotrebom adekvatne hemikalije pri skladištenju novog goriva, kvalitetnim radom separatora goriva te pravilnim i optimalnim podešavanjem istih. Izbor adekvatnih automatskih-finih filtera neposredno prije motora predstavlja posljednji stepen zaštite od pomenutih nečistoća.

Osim toga u disertaciji je pokazano kako modifikacijom servisnog tanka uz upotrebu adekvatnih senzora na motoru, savremenih tehnologija te izborom najdetaljnije analize otpadnog cilindričnog ulja iz motora je moguće osigurati kontinuirano praćenje kvalitetnog rada motora te smanjena mogućnost istrošenja.

Analizom preko sto hiljada uzoraka o nečistoćama u gorivima fokus je dat na rezidualna brodska goriva koja se najčešće koriste i 12 najvećih brodskih luka koje isporučuju brodsko gorivo. Podaci koji se odnose na ove luke predstavljaju skoro 2/5 od ukupnog broja analiziranih podataka. Na osnovu prosječne vrijednosti analiziranih nečistoća u gorivu (u periodu od 2017 - 2020 god.) opovrgnuta je postavljena hipoteza 2. Naprotiv, primijećen je blagi pad ovih nečistoća, ali i dalje u visokom opsegu pogotovo kod teških goriva i goriva sa manjim procentom sumpora. Međutim, podatak da čak 80% uzoraka goriva u sebi imaju preko dozvoljene granice nečistoća (definisane od strane proizvođača motora) govori o opravdanosti istraživanja te o opasnosti po sami motor od abrazivnog istrošenja. Zbog navedenih podataka pristupljeno je detaljnoj analizi goriva u luci Singapur kao i mapiranju srednje veličine katalitičkih nečistoća u preostalim lukama koje zajedno distribuiraju preko 38% uzoraka goriva u svijetu.

U ovom radu su analizirani klipni prstenovi *RC running in coated* i *CC chrome coated* kod RTA dvotaktnog motora. Dostupnim mjerenjima i inspekcijama na brodu se može ustanoviti stanje klipnih prstenova. Oštećenja klipnih prstenova i lom prstenova mogu biti uzrok smetnji u radu motora. Oni dovode do veće potrošnje goriva i ulja, prouzrokuju nepravilan rad motora, što se reflektuje na smanjenje snage pogonskog motora i sl. Ovi problemi mogu na kraju dovesti i do prestanka rada samog motora.

Ispitivanjem je utvrđeno da RC klipni prstenovi bivaju oštećeni, slomljeni, a da se sama košuljica istroši više od dozvoljenog stepena.

Analizom laboratorijskih rezultata, utvrđen je hemijski sastav osnove i premaza klipnih prstenova te je izmjerena debljina premaza na klipnim prstenovima. Osim toga urađeno je mjerenjenje mikročvrstoće te je utvrđeno da klipni prsten Top ring G17 ima najveću prosječnu čvrstoću baznog materijala i ona iznosi 306,5 (hv 0.2). Međutim, čvrstoća na nanosima „cross section coating“ iznosi svega 385,5 (hv 0.2). To dokazuje da je prsten u predjelu premaza samo malo čvršći u odnosu na čvrstoću baznog materijala. Dok hromirani klipni prstenovi oznake GGIV imaju 217% veću čvrstoću u predjelu premaza, dok je ona najveća kod prstena oznake GGIII i iznosi 899 (hv 0.2). Treba napomenuti da kada su u pitanju abrazivna trošenja, obloga (coating) dolazi u dodir sa košuljicom cilindra, uljnim filmom i katalitičkim nečistoćama. U radu je predstavljen klipni prsten (sa hromiranim premazom) koji ima veću mikročvrstoću u površinskom predjelu, što je jako bitno kada

katalitičke nečistoće dođu u dodir sa ovim prstenovima. Zbog radnih procesa prilikom sagorijevanja i linijskog kretanja klipa (sa klipnim prstenovima) važno je bilo uporediti i modul elastičnosti. Modul elastičnosti kod kompleksno legiranog hromom sivog liva je znatno veći nego kod drugih klipnih prstenova te i ovaj podatak ide u prilog hromiranim prstenovima i za očekivati je da kasnije dođe do pucanja-loma nego što će se desiti kod drugih analiziranih prstenova. Ukoliko se desi naglo istrošenje klipnih prstenova uslijed abrazivnih čestica u gorivu, jedino što preostaje je da se koriste što kvalitetniji materijali u bazi i oblogama klipnih prstenova. U tom slučaju prednost je na strani CC klipnih prstenova koji imaju svoje dokazane prednosti u konkretnom slučaju.

Nakon svih obavljenih ispitivanja, potvrđena je hipoteza 3 da su kvalitetniji i abrazivno izdržljiviji klipni prstenovi koji imaju keramički premaz u odnosu na druge analizirane prstenove.

Kako se katalitičke nečistoće svakako moraju naći u brodskom gorivu, potrebno je da se obrati velika pažnja na njihovo prisustvo te njihovo maksimalno smanjenje. Pomenuti kvalitet klipnih prstenova će osigurati nešto duži radni vijek, ali se ne može precizirati koliko duži. Zaključuje se da mnogo faktora utiče na pravilan rad motora te ujedno i na same klipne prstenove pa i košuljice cilindra. Da bi se uočila široka lepeza uzroka koji mogu da utiču na istrošenje prstenova korišćen je dijagram uzroka i posljedica. Ovaj dijagram najbolje oslikava kompleksnost same problematike te nije moguće prepoznati samo jedan ili dva faktora koji doprinose istrošenju klipnih prstenova.

Nakon sprovedenih analiza u radu su opisani: sistemi sa sensorima na samom glavnom motoru koji mogu da detektuju porast temperature košuljice, koji mogu da mjere u svakom trenutku istrošenje klipnih prstenova (obloge), uređaji koji mogu pravilnije da izmjere ovalnost i istrošenost košuljice itd. Predložena je metoda analize otpadnog cilindričnog ulja koja je sveobuhvatna i preporučena kao takva od strane autora.

Uz pomoć razvijenog modela izvršena je analiza prečišćavanja brodskog goriva od trenutka ukrcaja na brod pa sve do ulaska u brodski dizel motor. U modelu su prikazani načini uz pomoć kojih je moguće maksimalno smanjiti abrazivne količine nečistoća. To je omogućeno uz upotrebu: adekvatne hemikalije u taložnom tanku, korišćenjem automatske drenaže iz tankova goriva, pravilnom optimizacijom rada separatora, osiguravanjem ispravnog rada PID regulatora, mogućnošću upotrebe visokog usisa goriva te upotrebom

adekvatnih finih filtera goriva. Kako bi simulacija bila mjerodavna, za potrebe simulacije uzeta je srednja vrijednost onečišćenog goriva od 30 ppm. Na ovaj način je potvrđena hipoteza (4), jer se predloženim modelom može prečistiti gorivo toliko da ulazna nečistoća u glavnom dizel motoru iznosi svega 0.54 – 0.6 ppm. Upotrebom predloženog modela dobio bi se pouzdaniji sistem, a cijena održavanja istog motora vremenom biva znatno niža.

Upotrebom modernog monitoringa čestica gvožđa (i ostalih elemenata) u otpadnom cilindričnom ulju može da se prikaže precizna i mjerodavna slika radnih uslova u motoru. Zaključuje se da je prednost u automatskom mjerenju, koji ima mogućnost trenutne analize stanja i omogućuje da sistem bude efikasan. Ukoliko se pokaže potreba, interval mjerenja može da bude čak i manji, pa se nagli porast istrošenja relativno brzo može uočiti. Ovo daje prilično vremena oficirima mašine da pravovremeno reaguju i pokušaju smanjiti buduću štetu. To je moguće, kao u analiziranom slučaju, poboljšanjem i boljim radom sistema za prečišćavanje goriva. Postoji i mogućnost prelaska na kvalitetnije pogonsko gorivo koje u svom sastavu sigurno ima manje katalitičkih nečistoća kao npr. dizel gorivo ili na modernim motorima sa *dual fuel* sistemom - upotrebom gasa.

Takođe u radu je predstavljen model alarmiranja (rađen u programu *simulink*), koji može ukazati oficirima mašine na trenutne promjene u motoru i na takav način pomoći preventivnom održavanju.

Da bi istraživanje bilo relevantno, analizirani su: uzorci goriva, postojeća efikasnost separatora goriva, sistemi za prečišćavanje goriva, kvalitet klipnih prstenova te mogućnost ugradnje novih sistema na brodu.

Nakon niza laboratorijskih analize nametnuo se, kao bolji hromirani klipni prsten. Međutim samo upotreba kvalitetnijih materijala ne čine pouzdan sistem na brodu. Stoga je bilo neophodno da se razvije efikasan model prečišćavanja goriva. Kada bi se primijenio predloženi model opisan u poglavlju 8.3.: upotreba adekvatne hemikalije prilikom bunkerisanja novog goriva, podešavanjem rada transfer pumpe, ugradnja automatsko-drenažnog sistema na tankovima goriva, automatsko podešavanje napajanja separatora goriva u zavisnosti od trenutne potrošnje, upotreba adekvatnih finih filtera ispred samog motora te automatskom kontrolom sistema prečišćavanja postiglo bi se adekvatno a neophodno prečišćavanje goriva. Uz pomoć matematičkog modela moguće je precizno izračunati efikasnost prečišćavanja za odabranu jedinicu vremena. Upotrebom ovog modela

izbjeglo bi se naglo (abnormalno) trošenje, te uspjelo produžiti vijek trajanja klipnih prstenova i košuljice cilindra. Kako proizvođači preporučuju da se klipni prstenovi (u zavisnosti od veličine promjera motora) mijenjaju na osnovu očekivanog broja radnih sati i svaki put kad se mijenja klip, onda je više nego jasno da klipni prstenovi i košuljice cilindra moraju da izdrže planirani radni vijek, pa čak i 60.000 rh.

U poglavlju 8.3.4 analizom dostupnih podataka je prikazano da nepravilno prečišćeno gorivo može prouzrokovati istrošenja (klipnih prstenova i košuljica cilindra) već pri: 100, 240, 300, 332, 882 radnih sata. U prosjeku već pri 370 radnih sati dolazi do neželjenog istrošenja kod ovih elemenata. Za analiziranu srednju veličinu nečistoće koja je obrađena u radu (30 ppm) pri kontrolnom pregledu od 1000 rh, ustanovljeno je ekstremno istrošenje košuljice cilindra od 2 mm / 1000 h [31]!

Klipni prstenovi kao i košuljice cilindra treba da izdrže planirani vijek eksploatacije, bez obzira dali će ići u među dok (2.5 god.) ili obavezni suvi dok svakih 5 godina. Model predstavljen u radu omogućuje da se ispune strogi zahtjevi brodara, (da ima siguran sistem koji može nesmetano raditi između perioda dokovanja), te da klipni prstenovi odrade preporučene radne sate. Zbog sigurnosti i specifičnog rada tankera sami period održavanje se usložnjava te je od vitalnog značaja imati kvalitetno prečišćavanje u zavisnosti od brodskog režima rada, te klipne prstenove od kvalitetnijih materijala. U poglavlju 8.3.3.1. je prikazana uspješnost prečišćavanja za model koji je čest na brodovima, te preporučeni model. Prečišćavanje goriva kod brodskog modela je iznosilo 45.6%, dok u preporučenom modelu je ona iznosila čak 98%. Model predstavljen u radu objedinjuje ove specifičnosti, te osigurava izdržljivost klipnih prstenova za planirani radni vijek.

Prednost ovog modela se ogleda u tome da može automatski da radi, te da se samopodešavanje sistema realizuju u zavisnosti od režima plovidbe, odnosno u zavisnosti od trenutne potrošnje goriva. Taj režim se naziva *online mode*, dok u režimu „van mreže“ tj. *offline mode*, ovaj model bi omogućavao da na osnovu svih promjenjivih parametara oficir mašine može unijeti podatke i dobiti preporučeno podešavanje opterećenja separatora goriva, koje će osigurati najboljem eliminisanju katalitičkih nečistoća.

Cijelo istraživanje potkrepljeno je i simulacijom prečišćavanja goriva na brodomašinskim simulatorima "*Wärtsilä Engine Room Simulator (ERS TechSim)*", u poglavlju 7.2.3.2, dok su ostale analize rađene na tankerskim brodovima u eksploataciji.

Literatura:

- [1] Vukičević, M., Račić N., Ivošević Š.: Piston ring material on a two-stroke engine that sustains wear due catalytic impurities, Brodogradnja 2019.
- [2] <http://www.imo.org/> (pristupio: 16.09.2018)
- [3] Jiang L. Kronbak J., L. (2014). The costs and benefits of sulphur reduction measures: Sulphur scrubber versus marine gas oil.
- [4] MAN Energy Solutions Future in the making: Propulsion trends in tankers, Copenhagen SV, Denmark 2021.
- [5] Vukičević Miroslav: Komparativna analiza emisije kod motora sa dual fuel sistemom na LNG, Pomorski fakultet Kotor (rad na doktorskih studijama), Kotor 2016.
- [6] MAN Diesel & Turbo: Guidelines for Operation on Fuels with less than 0.1% Sulphur, pdf. Decembar 2014, Danska.
- [7] Final letter of application –CatFines, Filtration 2020 Cat fines solution, Bollfilter, pdf fajl.
- [8] Breamar, J. H. JHC Report - Marine Engine Damage due to Catalytic Fines in Fuel (Technical Analysis) Septembar 2013
- [9] CIMAC Guideline ISO 8217:2017 - FAQ. INTERNATIONAL COUNCIL ON COMBUSTION ENGINES 2017.
- [10] Dan-bunkering: ISO 8217 2017 Fuel Standard for marine residual fuel. Retrieved from ISO 8217 2017 FUEL STANDARD, 15 Avgust 2018
- [11] Parat, Ž. Brodski motori s unutarnjim izgaranjem, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb 2005
- [12] https://webmaterial3.yokogawa.com/GD_A_001.sg.pdf?_ga=2.6268979.1640277828.1615380243-806112604.1615380243, pristupio 15.12.2020.god.
- [13] UK P&I Club; TECHNICAL ADVICE Catalytic Fines Reducing the risk of serious engine damage caused by catalytic fines
https://www.ukpandi.com/-/media/files/imports/13108/bulletins/30337---uk_cat_fines_web.pdf
- [14] Wright, A.: Marine Fuel Quality 2015 An Objective Review (FOBAS). Lloyd's Register GMT Ltd, Februar 2017.

[15] Laval, A. (2018). The daily grind - Cat fines and engine wear, Part 1. Retrieved from refuel/alfalaval_article_cat-fines-p1.pdf:

https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/industries/marine-and-transportation/marine/refuel/alfalaval_article_cat-fines-p1.pdf

[16] Henrik Rolsted, Rojgaard Charlotte, Jensen Ole, Englund Mats. (2013). Onboard Fuel Oil Cleaning, the ever neglected process How to restrain increasing Cat-fine damages in two-stroke Marine Engines. Sanghai: CIMAC Congress.

[17] FOBAS, L. r. (2017, June 2). Fobas alert off-spec aluminium and silicon (cat fines) fuels in Singapore. Retrieved from <https://shipandbunker.com/news/apac/684223-fobas-alert-off-spec-aluminium-and-silicon-cat-fines-fuels-in-singapore>

[18] Wright, A.: Marine Fuel Quality 2015 An Objective Review (FOBAS). Lloyd's Register GMT Ltd, Februar 2017.

[19] Ford, M.C.: A master's guide to: Using fuel oil onboard ships.pdf file, February 2012.

[20] Woodyard, D.: Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines. Elsevier Butterworth-Heinemann Linacre House 2004.

[21] Lazaridis, G.: Allied Shipping Research. Retrieved from Allied Shipbroking Inc, April 2018

[22] Mikael C Jensen, S. B.: Cleaning of Heavy Fuel Oil and Maximum 0.10% Sulphur Fuels. MAN Diesel & Turbo., Februar 2017

[23] Parker Kittiwake CMBU - Cat Fines Test Kit, Hydraulic & Fuel Filter Division Europe pdf fajl.

[24] McGeary T., C. F.: Investigations into abrasive and corrosive wear mechanisms of pistons and liners in large bore 2-stroke diesel engine. CIMAC, number 14, 2014.

[25] Exxon Mobil; Whitepaper The need for speed in scrape down oil analysis. pdf. fajl

[26] MITSUI Service note No.202: for MITSUI—MAN B&W engines, Precautions for operation of fuels with maximum 0.50% sulphur, SN 202 issued 2019.07.17 pdf fajl.

[27] David Atkinson: Determining Catalytic Fines Concentrations in Heavy Fuel Oils, Parker Kittiwake HFDE Condition Monitoring Business Unit of Parker Hannifin Corporation in Littlehampton (UK).pdf fajl.

- [28] Wärtsilä low-speed engines Services 2-stroke, Catalyst fines in fuel oils RT-140, pdf fajl.
- [29] Analytical chemistry, NMR Sensor for Onboard Ship Detection of Catalytic Fines in Marine Fuel Oils, <http://pubs.acs.org>.
- [30] Go or No-go Cat Fines Test kit, Parker Kittiwake, 11.11.2015.
- [31] MAN Diesel & Turbo; Cat Fines Impact on engine wear and how to reduce the wear, 29-11-2017/DOJA
- [32] Mohamed M Elgohary, Khaled M. Abdou, Computer based selection and performance analysis of marine diesel engine, 05.03.2011. www.elsevier.com/locate/aej.
- [33] Wartsila; Optimized 2- stroke engine lubrication mangement with wartsila blending on board,
https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/service-catalogue-files/engine-services---2-stroke/blending-on-board-system-for-2-stroke-engines.pdf?sfvrsn=f5411e45_2 pristupio: 29.12.2020
- [34] International Council on Combustion Engines: CIMAC Guideline Filter treatment of residual fuel oils, 2015-11 (1st edition), pdf fajl.
- [35] The Alfa Laval Adaptive Fuel Line BlueBook, Technical reference booklet – 2017 Edition.
- [36] Andreas Kyrtatos, Winterthur Gas & Diesel: The Development of the Modern Low-Speed Two-Stroke Marine Diesel Engine, CIMAC 2016 congress, Helsinki, Jun 6-10 2016.
- [37] Radulović, B., Perović, B., Mišović M.: Metalni materijali I, Metalurško tehnološki-fakultet Podgorica.,2001.
- [38] Federal-Mogul Burscheid GmbH: Piston rings for large bore engines (Goetze, Daros), Njemačka pdf. fajl.
- [39] DU-SULZER 6RTA58T INSTRUCTION MANUAL, Maintenance Manual pdf fajl
- [40] Technology Review Sulzer RTA48T-B, RTA58T-B and RTA68T-B types, Sulzer RTA-8T engines: Compact two-strokes for tankers and bulk carriers, pdf fajl.
- [41] Torsten Sjogren, Per Wigren, Fredrik Vilhelmsson, Peter Vomacka, CIMAC PAPER NO.: 79 High Performance Piston Rings for Two-StrokeMarine Engines, Kyoto 2004.

[42] Andrzej Adamkiewicz, ,. B. (6 - 8 September 2017). Operational problem in slow speed engines casused by use of poor quality fuels with high cat-fines, 58th ICMD 2017, (pp. 1-7). Prag, Češka

[43] Winterthur Gas & Diesel Ltd. Guide for judging condition of relevant piston-running components LINERS, PISTONS AND PISTON RINGS Version 3.0 June 2018 pdf. file.

[44] Wärtsilä 2 stroke, Technical Bulletin, RT – 135 Issue 2 – Piston rings, December 2014

[45] Ispitivanja urađena u Institut Crne Metalurgije AD Nikšić 2021 god.

[46] M. Jovanović, V. Lazić, D. Adamović, N. Ratković: Mašinski materijali, Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 2008.

[47] D. Bajić: Metalni materijali, Mašinski fakultet u Podgorica. <https://www.ucg.ac.me> (accessed: 6.12.2018)

[48] Kompanijska baza podataka (Kako je pomorska kompanija dozvolila pristup svojoj bazi podataka strogo pod uslovom neotkrivanja, svi detalji koji vode do identifikacije broda i / ili kompanije uklanjaju se iz članka. Neki od poverljivih podataka takođe će biti izostavljeni u ovom radu) word dokument.

[49] FSC Al+Si Reduction in fuel Treatman Plant, Managing Risk by DNV, pdf. fail.

[50] Nikola Barjamović; BRODSKA MJERENJA, Fakultet za pomorstvo, ISBN 86-80031-32-1, Kotor 2006 god.

[51] Sedmični izvještaji obavljenih poslova sa testiranog tankerskog broda sa motorem MAN B&W 6G50ME-C9.5 (period analize 11 Maj- 07 Jun 2020.god.)

[52] GEA Westfalia Separator CatFineMaster, Auto-adaptive separator solution for safe marine fuel

https://www.gea.com/en/binaries/BRO-MA-CatFineMaster-2014-10-EN_tcm11-23438.pdf

[53] DNV-GL Certificate No: TAM00000BF Revision No:1 This Certificate is valid until 2021-12-04. Issued at Hamburg on 2018-10-24

[54] [http://www.iacs.org.uk/publications/Recommendation for fuel oil treatment systems](http://www.iacs.org.uk/publications/Recommendation%20for%20fuel%20oil%20treatment%20systems), No.151 (July 2017) (Rev.1Nov 2020)

[55] BOLL Filtrator Type 8.64/8.72 BOLLFILTER Automatic Type 6.64/6.72,

<https://www.bollfilter.com/> pristupio 19.01.2021 god.

- [56] <https://www.chris-marine.com/product/liner-diameter-measurement-ldm/>
- [57] Sulzer Integrated Piston ring Wear-detecting Arrangement; Sulzer Brothers Limited, e/27.01.07 Winterthur, Švajcarska pdf fajl.
- [58] Kongsberg: ENGINE MONITORING UNIQUE ENGINE PROTECTION, Kongsberg Maritime, Avgust 2014
- [59] Maridis Maritime Diagnostic & Service; LIWAT- Liner Wall Temperature Monitoring System, Njemačka pdf fajl.
- [60] BWSC; Cylinder Liner Monitoring System, Burmeister & Wain Scandinavian Contractor A/S BWSC-10-0110-rev02-06/18 Danska pdf fajl.
- [61] CMT monitoring; Cylinder Drain Oil Service Sampling & Analysis Quick Start Guide, CM Technologies GmbH, Imshorn, Germany, DO-C10061-CT (Issue 8) pdf fajl.
- [62] MAN Service Letter SL2020-694/JUSV; Cylinder and system oils MAN B&W low-speed two-stroke engines, Maj 2020.pdf fajl.
- [63] Terence MC Geary, Fabian Chew; Cylinder Oil Drain & Engine Performance Analysis, pdf. fajl.
- [64] MAN Energy Solutions; MAN Fluid Monitor for lube oil- Man PrimeServ, Condition Monitorig System, France 2020.god. www.man-es.com
- [65] MAN Energy Solutions, Webinar - MAN Fluid Monitor for lube oil, pristupio 25.11.2020.god.
- [66] Parker Kittiwake, LinerSCAN, Cylinder Liner Monitor, www.kittiwake.com.
- [67] Vukičević, M, Ivošević, Š, Rudolf, R, Majerič, P.; “An Analysis of the Influence of Abrasive Particles in Fuel on the Degree of Damage to Piston Rings” 8th International maritime science conference IMSC 2019, Budva, 11-12 April 2019 ISSN 1847-1498 Page 301-315
- [68] K. Kuiken: Diesel II engines for ship propulsion and power plants, The Netherland, 2008.
- [69] Peter Lensen; With which innovative solution can we optimise the maintenance concept of pistons in slow turning 2-stroke engines? Maritiem Instituut Willem Barentsz Terschelling, Grootebroek 2017

[70] <https://www.wilhelmsen.com/product-catalogue/products/marine-chemicals/fuel-oil-chemicals/heavy-fuel-oil-treatment/fuel-power-conditioner-25-ltr/>

[71] <https://vecom-marine.com/product-categories/fuel-oil-treatment/fot-sludge-dispersant/>

[72] Tireli, E.: Goriva i njihova primjena na brodu, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka 2005.

[73] Matthias Berchtold, Roger Mäder; Guide for judging condition of relevant piston-running components LINERS, PISTONS AND PISTON RINGS, Winterthur Gas & Diesel Ltd. Research & Development, Version 4.0 July 2020

[74] Man PrimeServ; Procedure for inspection of piston ring & liners, parts I ,II and III, Version 1.1. Marts 2012 pdf fajl.

[75] Vukičević M., Račić N., Vukašinović D. “HEAVY FUEL TREATMENT FROM THE ASPECT OF HARMFUL ACTION OF CAT FINES” year 35 number 22, Kotor 2019, ISSN 0352-1052

[76] Alfa Laval: Alfa Laval Separation Efficiency Upgrade, Certified Flow Rate (CFR) and increased engine protection, pdf fail.

[77] Enco Tireli, Josip Orović; Analiza kvarova brodskih porivnih sustava, Pomorski zbornik 40 (2002), 51-59 str. ISSN 0554-6397

[78] MAN Guidelines for Fuels and Lubes Purchasing Operation on Heavy Residual Fuels, MAN Diesel & Turbo Copenhagen, Aug 2014 Printed in Denmark, pdf fajl.

[79] Gitis, V.J., Bondarenko, V.L., Jefimov, T.P., Poljakov, J.G., Čurbanov, B.M. (1973); Teorijske osnove eksploatacije brodskih dizel motora. Beograd: SSNO, prevod s ruskog.

[80] Samuel Affolter, Roger Mäder, Bartosz Rozmyslowicz; Impact of Sulphur Cap 2020 on TwoStroke Engine Tribology Aspects, CIMAC 19, Vancouver June 2019.

[81] MES servise note No.194; Cylinder lubrication all type engine, Maj 2016. pdf.file

[82] Izvještaj Viswa lab: *Purifier efficiency report regarding sampling fuel IFO 380 - RMG 380*, Avgust 2021. pdf. fajl.

[83] TechSim/ERS 5000 MAN B&W 6S50MC-C (and 6S60MC-C) Diesel Engine Product Tanker simulator

[84] FSC sampling guideline, MOL pdf fajl.

- [85] Hiroki Sayama: „Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems“, Binghamton University, State University of New York, LibreTexts, 2022
- [86] Akber Ayub: Marine Diesel Engines, ISBN: 978-14-3981-414-7, Delhi 2010
- [87] Vukičević M., Račić N., Vukašinović D.; „ Ways of reducing the content of catalytic fines in marine heavy fuel oil “1st International conference of maritime science & technology Naše more 2019, Dubrovnik, 17 – 18th October 2019, ISBN 978-953-7153-52-6, Page 611-624
- [88] <http://www.nanonord.dk/cases/catguard-case-study-chicago-express/>
- [89] Peter Lensen : With which innovative solution can we optimise the maintenance concept of pistons in slow turning 2-stroke engines?, Maritiem Instituut Willem Barentsz Terschelling, Grootebroek 2017
- [90] Vukičević M., Račić N., Vukašinović D.: „Tretman teškog brodskog goriva sa aspekta štetnog djelovanja katalitičkih nečistoća“ Zborniku Pomorskog fakulteta Kotor God.35 Broj 22, Kotor 2019, ISSN 0352 -1052
- [91] Vukičević M., Đurović Z., Hrnčić B., Bratić K.; „Optimization of Fuel Purifier Operation for More Efficient Elimination of Small Abrasive Impurities”1st Kotor International Maritime Conference KIMC 2021, Kotor, 26 -27 Novembar 2021
- [92] D.Martinović: „Modeliranje brodskih pomocnih sustava s gledišta sigurnosti poriva broda“ Disertacija, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci 2009
- [93] Ying L., Jianbo S.: „Research on Simulation and Application of Marine Oil Purifier System“ 4th International Conference on Information, Cybernetics and Computational Social Systems (ICCSS) 978-1-5386-3257-4/17/\$31.00 © 2017 IEEE

SPISAK SLIKA

Slika 1. Postupak katalitičkog razbijanja i kretanje tih nečistoća do produkata goriva [7]..	11
Slika 2. Šematski prikaz tečnog katalitičkog krakovanja u rafineriji [12]	16
Slika 3. Prikaz uticaja smanjenja sumpora u gorivu na povećanje katalitičkih nečistoća [16]	17
Slika 4. Prikaz maksimalne dozvoljene količine katalitičkih nečistoća na ulazu u motor za kratki vremenski period (ppm) [22]	21
Slika 5. Prikaz cilindarskog ulja nanesenog na košuljici [23].....	22
Slika 6. Prikaz povećanja gvožđa u analiziranim uzorcima zbog katalitičkih nečistoća [25]	23
Slika 7. Količina katalitičkih nečistoća u gorivima izražena u srednjim vrijednostima (analiza 12 najvećih luka za bunkerisanje goriva).....	25
Slika 8. Količina analiziranih uzoraka katalitičkih nečistoća u gorivima (analiza 12 najvećih luka za bunkerisanje goriva).....	26
Slika 9. Srednja količina katalitičkih nečistoća u teškom gorivu u.....	26
Slika 10. Količine katalitičkih nečistoća izražene u srednjim vrijednostima za luku Singapur (sa brojem analiziranih uzoraka)	27
Slika 11. Analizirana goriva koja u sebi imaju veću količinu katalitičkih nečistoća od 15 ppm u luci Singapur.....	27
Slika 12. Srednje vrijednosti katalitičkih nečistoća u gorivima oznake RMG i RMK.....	28
Slika 13. Srednje vrijednosti katalitičkih nečistoća u gorivima HSFO i VLSFO za 2019 -20 god.	29
Slika 14. Mikroskopski pregled površine klipnog prstena [28].....	32
Slika 15. Mikroskopski pregled površine košuljice cilindra [28].....	33
Slika 16. NMR senzor [29].....	34
Slika 17. <i>Parker Kittiwake</i> test katalitičkih nečistoća FG - K30566 - KW i prikaz analiziranih rezultata u praksi.....	35
Slika 18. Šematski prikaz trošenja cilindra [31].....	36
Slika 19. <i>SIPWA -TP</i> (senzor habanja klipnih prstenova) [32]	37
Slika 20. „SEA - Mate® XRF” analizator [33].....	38
Slika 21. <i>CatGuard</i> analizator nečistoća sa više pozicija na brodu [31].....	39
Slika 22. Separator prilikom održavanja	40
Slika 23. Izgled Alfa Laval 2Touch HMI uređaja [35]	43
Slika 24. Tabela prikaz FSC provjere efikasnosti sistema goriva sa različitim procentom sumpora i količinom katalitičkih nečistoća	45
Slika 25. Dijagram: Razvoj maksimalnih pritisaka[36]	48
Slika 26. Maurerov dijagram sivog liva u zavisnosti procentualnog sastava ugljenika i silicijuma [37].....	49
Slika 27. Distribucija pritisaka na različitim oblicima [38]	51
Slika 28. Geometrijski profil kompresionih prstenova [38]	51
Slika 29. Setovi prstenova za dvotaktne motore[38].....	53
Slika 30. Testirani motor RTA58T pod punim opterećenjem [40]	54
Slika 31. Distribucija temperature za klipne prstenove koji su ravno kidani <i>SC (straight cut)</i> [40]	55
Slika 32. Ishikawa dijagram (“riblja kost”) složeni uticaji na istrošenje prstenova i košuljice cilindra.....	58

Slika 33. Posada kao uzrok koji utiče na istrošenje klipnih prstenova i košuljica	59
Slika 34. Faktori u toku procesa koji utiču na istrošenja klipnih prstenova i košuljice cilindra.....	60
Slika 35. Oprema kao faktor koji utiče na istrošenja klipnih prstenova i košuljice cilindra	62
Slika 36. Menadžment (firme ili broda) kao faktor koji utiče na istrošenja klipnih prstenova i košuljice cilindra	63
Slika 37. Okolina kao faktor koji utiče na istrošenja klipnih prstenova i košuljice cilindra	64
Slika 38. Materijal kao faktor koji utiče na istrošenja klipnih prstenova i košuljice cilindra	66
Slika 39. Oštećenja klipnog prstena kod motora u eksploataciji.....	67
Slika 40. Izmjereno istrošenje košuljice cilindra.....	69
Slika 41. Prikaz instrumenta, mjesta za mjerenje kao i poluistrošen CC premaza na klipnom prstenu [44].....	70
Slika 42. Metodologija analize testiranih uzoraka klipnih prstenova.....	71
Slika 43. Analiza klipnog prstena Top ring G17 područja elemenata u nanosima Spectrum 1 i 2 kao i baznog materijala Spectrum 3 i 4	74
Slika 44. Analiza klipnog prstena Top ring GGV, područja elemenata u nanosu Spectrum 1 i 2 kao i baznog materijala Spectrum 3,4 i 5	75
Slika 45. Analiza klipnog prstena Top ring GGIII, područja elemenata u nanosu Spectrum 1 i 2 kao i baznog materijala Spectrum 3	76
Slika 46. Debljine sloja premaza kod <i>Top ring</i> GGV uz pomoć elektronskog mikroskopa (SEM)	77
Slika 47. Debljina nanosa donjeg sloja prstena G17	77
Slika 48. Debljina nanosa u gornjem sloju prstena G17.....	78
Slika 49. Debljina nanosa donjeg sloja prstena GGIII	78
Slika 50. Mjesta na kojima je mjerena mikro čvrstoća po Vickersu	79
Slika 51. Maurerov dijagram sivog liva u zavisnosti od C i Si %	82
Slika 52. Mikrostrukture svih pretenova (chemical etched with 4% nital, 5S)	83
Slika 53. Blok šema prečišćavanja goriva i analiza količine katalitičkih nečistoća u gorivuuvećati	86
Slika 54. Procentualno prečišćavanje goriva u procesu tretmana goriva na brodu [49]	89
Slika 55. Postotna efikasnost rada testiranog separatora eliminisanjem katalitičkih nečistoća.....	94
Slika 56. Efikasnost prečišćavanja katalitičkih nečistoća u zavisnosti od protoka i temperature goriva [baza CatGuard]	95
Slika 57. Efikasnost čišćenja separatora u zavisnosti od protoka - napajanja na različitim ulaznim temperaturama nečistog goriva [31]	95
Slika 58. PID regulator a) odziv b) realizacija pomoću tri paralelno vezana osnovna regulatora P,I,D [50].....	99
Slika 59. Prikaz tipa separatora, temperature alarma i izgleda PID podešavanog kontrolera.....	100
Slika 60. Kontrolni panel separatora goriva na kojem se može podešavati protok.....	102
Slika 61. Ventil sa oprugom i kalibrisani metalni umeci za smanjenje protoka nečistog goriva.....	103
Slika 62. Prikaz podesivog, maksimalno smanjenog protoka kroz separator goriva upotrebom kalibrisanih umetaka	103
Slika 63. Efikasno eliminisanje katalitičkih nečistoća uz pomoć smanjenja protoka goriva.....	104
Slika 64. Servisni sistem goriva na tankerskom brodu kao i opcija sa tri nivoa usisa goriva	106

Slika 65. Prikaz duplih taložnih i servisnih tankova sa gornjim i donjim usisom iz tankova goriva.....	107
Slika 66. Mikroskopska slika katalitičkih nečistoća zarobljenih u mrežici filtera goriva.....	108
Slika 67. Efikasnost filtracije prema ISO 16889 od 6 do 48 μm „apsolutnih“ mreža [34]	109
Slika 68. Veličine finih filtera od 50 μm koji su još u upotrebi (sistem goriva glavnog motora) ..	110
Slika 69. Izgled veličine katalitičkih nečistoća i uvećane apsolutne veličine mrežice filtera [55]	110
Slika 70. Akumulirane nečistoće na separatoru goriva i očišćeni djelovi separatora.....	111
Slika 71. Primjeri zaprljanog filtera, te provjere djelimično i očišćenog filtera	112
Slika 72. Efikasnost uklanjanja katalitičkih nečistoća upotrebom separatora i finog filtera od 10 μm	113
Slika 73. Preventivno održavanje na glavnom motoru, kako bi se spriječilo abrazivno trošenje	114
Slika 74. Prikaz ovalnosti košuljice izmjerene na dvije visine i istrošenja na svakom cilindru [56]	115
Slika 75. Prikaz jednostavne ugradnje senzora za kontinuiran monitoring istrošenja prstenova [57].....	116
Slika 76. Izgled temperaturnih senzora firme Kongsberg koji mjere temperaturu košuljice cilindra [58]	118
Slika 77. Maridis sistem monitoringa temperatura košuljica cilindra [59].....	118
Slika 78. BWCS sistem za nadzor košuljica cilindra.....	119
Slika 79. Rezultati analiziranog otpadnog cilindričnog ulja na glavnom motoru	121
Slika 80. Odnos baznog broja i količine gvožđa izmjereni u analiziranom ulju	122
Slika 81. Odnos baznog broja i količine gvožđa (MFA metodom) u analiziranom ulju	122
Slika 82. a) količina vanadijuma i vode u ulju b) odnos cilindričnog i sistemskog ulja po cilindru motora	124
Slika 83. Prikaz povećanja čestica gvožđa (ppm) u analiziranom drenažnom.....	128
Slika 84. Prikaz smanjenja čestica gvožđa (ppm) u drenažnom ulju nakon održavanja [67]	128
Slika 85. LDM uređaj za mjerenje prečnika cilindarske košuljice [56]	133
Slika 86. Provjera metoda separacije, filtracije goriva kao i upotreba uređaja koji bi preventivno uticali na rad motora (uslijed povećanog abrazivnog djelovanja).....	137
Slika 87. Razrađen model sistema separacije, filtracije goriva kao i upotreba automatike i senzora na tankovima zbog sigurnosti i eliminacije „ljudskog faktora“	140
Slika 88. Mjesto za postavljanje automatskog drenažnog ventila sa izgledom senzora za detekciju vode u gorivu	145
Slika 89. Šematski dijagram potrebne instalacije za senzor i elektro magnetni ventil.....	146
Slika 90. Šematski prikaz pozicija automatskog analiziranja nečistoća i fina regulacija protoka goriva kroz separator u odnosu na potrošnju.....	150
Slika 91. Šematski prikaz održavanja nivoa goriva.....	151
Slika 92. Prikaz sistema protoka goriva od servisnog tanka do glavnog motora	152
Slika 93. Automatska regulacija protoka goriva kroz separator u zavisnosti od aktuelne potrošnje na brodu	157
Slika 94. Podešavanja minimalnog protoka kroz separatore goriva u modelima 2 i 3.....	162
Slika 95. Prikaz čistoće goriva na ulazu u glavni motor simulacije po satima za analizirane modele	182

Slika 96. Protok goriva kroz analizirane elemente sistema za 48h	183
Slika 97. Čistoća ulaznog goriva po elementu za 48h.....	183
Slika 98. Istrošenje košuljice u zavisnosti od abrazivnih nečistoća u odnosu na radne sate motora (mm/1000h).....	184
Slika 99. Istrošenje košuljice u nakon 100 radnih sati u slučaju kada motor radi sa gorivom koje ima 30 ppm nečistoća	186
Slika 100. Odnos nečistoća u bunkerisanom gorivu (ppm) i maksimalne količine nečistoća na ulasku u motor, nakon neophodnog prečišćavanja	186
Slika 101. Procentualna prečišćenost goriva za 3 modela analize, veličine prečišćenog goriva na ulasku u motor (ppm) u odnosu na maksimalno preporučenu / dozvoljenu količinu abrazivnih nečistoća (manje od 15 ppm)	188
Slika 102. Optimizacija protoka goriva kroz separator u zavisnosti od trenutne potrošnje goriva.....	189
Slika 103. Blok šema nivoa i protoka goriva kroz simulacijske sisteme	192
Slika 104. Mjesto uzorkovanja i automatskog mjerenja otpadnog cilindričnog ulja na glavnom motoru.....	193
Slika 105. Grafički prikaz zavisnosti procentualnog istrošenja klipnih prstenova u odnosu na količinu otpadnog cilindričnog ulja	195
Slika 106. Model alarmiranja istrošenja klipnih prstenova pri vitalnim promjenama na glavnom motoru.....	196

SPISAK TABELA

Tabela 1. Limiti sastojaka u rezidualnom gorivu koji moraju biti ispoštovani po ISO standard 8217 - 2017 [10].....	13
Tabela 2. Štetni uticaj pojedinih sastojaka u gorivu [11]	14
Tabela 3. Procentualni prikaz različitih veličina nečistoća koje se nalazi u istom gorivu ...	16
Tabela 4. Troškovi na brodskim motorima uslijed oštećenja zbog katalitičkih nečistoća [1]	18
Tabela 5. Detaljna cijena troškova nastala prilikom oštećenja glavnog motora zbog visoke količine katalitičkih nečistoća u gorivu [18]	19
Tabela 6. Vozarina iznajmljenog tankerskog broda za charter u proteklih 5 godina [21]	20
Tabela 7. Mogući slučajevi otkaza (zbog problema sa gorivom) koji su izbjegnuti sa cijenom troškova	20
Tabela 8. Apsolutna veličina promjera mreže filtera u 2 -taktim <i>Wärtsilä</i> motorima [28]42	
Tabela 9. Materijali koji se koriste pri izradi klipnih prstenova za motore sa većim prečnikom[38]	50
Tabela 10. Podaci o testiranom motoru, vrsta goriva i ulja za podmazivanje.....	68
Tabela 11. Analiza hemijskog sastava uzoraka klipnih prstenova uz pomoć XRF analize	72
Tabela 12. Procentualni hemijski sastav obloge Top ring G17.....	74
Tabela 13. Procentualni hemijski sastav obloge Top ring GGIV	75
Tabela 14. Procentualni hemijski sastav obloge Top ring GGIII	76
Tabela 15. Rezultati mikro čvrstoće ispitivanih klipnih prstenova	80
Tabela 16. Mjerenje energije udara (KV) na uzorcima klipnih prstenova [47]	81

Tabela 17. Neplanirani otkazi na transfer pumpi tokom eksploatacije [48].....	90
Tabela 18. Upoređenje potrošnje goriva glavnog motora na tankeru pri različitim slučajevima opterećenja motora i različitim opterećenjima rada separatora	92
Tabela 19. Brodska provjera efikasnosti uklanjanja nečistoća i efikasnost rada separatora pri 50 i 87.5 % kapaciteta	93
Tabela 20. Provjera separacije na brodu i efikasnost rada separatora pri 50 i 87.5 % kapaciteta	97
Tabela 21. Efikasnost separacije nečistoća kod separatora na brodomašinskim simulatorima	102
Tabela 22. Prikaz podataka motora sa kojeg su uzorkovana cilindrična ulja.....	126
Tabela 23. Hemijski sastav - sadržaj metala u cilindričnom ulju cilindra 6 (mas %/ppm)	126
Tabela 24. Spektroskopska analiza goriva prije i nakon separatora (ukoliko je PEFN broj veći od 58 i AL+Si manje od 15 ppm, tada će se kvalitet separacije smatrati iznad prosjeka)	141
Tabela 25. Spektroskopska analiza goriva prije i nakon separatora sa upotrebom hemikalije (ukoliko je PEFN broj veći od 60 i AL+Si manje od 15 ppm, tada će se kvalitet separacije smatrati iznad prosjeka).....	142
Tabela 26. Upoređivanje efikasnosti prečišćavanja	142
Tabela 27. Podaci neophodni za modeliranje (za taložni i servisni tank goriva)	144
Tabela 28. Dnevna potrošnja goriva na tankerskom brodu i opterećenje separatora	155
Tabela 29. Parametri bunkerisanog goriva u luci Singapur.....	161
Tabela 30. Podešavanje protoka goriva kroz separator pri različitim modelima	161
Tabela 31. Analiza uzoraka goriva kod dva separatora (Efikasnost eliminacije katalitičkih nečistoća smanjenjem protoka goriva kroz separator)	163
Tabela 32. Efikasnost eliminacije katalitičkih nečistoća drenažom iz taložnog tanka.....	163
Tabela 33. Kumulativno pročišćenje broskog goriva u razvijenom modelu pri dnevnoj potrošnji goriva od 30.5t kod glavnog motora	164
Tabela 34. Oznake parametara u modelu protoka i filtriranja goriva (MPIFG).....	166
Tabela 35. Promjenljive modela.....	169
Tabela 36. Pomoćne promjenjive – algoritam PIFG	173
Tabela 37. Pročišćenost goriva na ulasku u <i>ME</i> (<i>stanje na brodu</i> model, 100% opterećenje separatora)	178
Tabela 38. Pročišćenost goriva na ulasku u <i>ME</i> (model simulacije).....	179
Tabela 39. Pročišćenost goriva na ulasku u <i>ME</i> (model za provjeru, analiza na brodu)	180
Tabela 40. Količina pročišćenosti goriva nakon 24h tretmana u tri analizirana modela (za ulaznu nečistoću goriva srednje vrijednosti od 30 ppm)	187
Tabela 41. Vrijednosti glavnog motora pri simulaciji procentualnog istrošenja klipnih prstenova	195
Tabela 42. Procentualno istrošenje klipnih prstenova na cilindru br.1, uticaj na analizirane parametre (rashladna voda ulaz/izlaz, ulje za hlađenje klipa)	196

Biografija autora

Miroslav Vukičević je rođen 16.09.1981. godine u Kotoru, gdje je pohađao osnovnu i srednju Pomorsku školu u kojoj je dobio nagradu za odličan uspjeh tokom srednje škole. Diplomirao je na Fakultetu za pomorstvo 2005.god., a uporedo se uspješno bavio trenerskim rukometnim poslom (viceprvak Crne Gore sezona 2003/04.)

Odmah nakon diplomiranja 2005. godine počinje da plovi na inostranoj Japanskoj kompaniji *Mitsui O.S.K. Lines*. Od 2013.godine dobija najveće zvanje u pomorstvu u svojoj struci i Sertifikat *Upravitelja mašine na brodu sa mašinskim kompleksom pogonske snage od 3.000 KW ili jačim*. Od početka svoje pomorske karijere, konstantno se stručno usavršava pohađajući razne kurseve u zemlji i inostranstvu. Neki od tih kurseva su: *-Fuel Management Course*-Kurs o kvalitetu goriva u Atini Grčka, *Safety Officer SO*-oficir za sigurnost, *Ship Security Officer, Risk Management and Incident Investigation Training, Engine Resource Management* - Upravljanje resursima u stroju, *Transas* simulator obuka (5 modela simulatora), *Unitest* simulator obuka na (4 modela simulatora), *ABB Unigear ZS1 switchgear training* (rad na sklopki visokog napona), *Internal audits according to ISO 9001:2015*, *Wärtsilä Training on RT-flex operations*- Švajcarska, *Engineering design* -Valona, Albanija i *Japanese Flag state course* Mumbai, India . Norveški univerzitet nauke i tehnologije (NTNU) - Procjena životnog ciklusa. Modernizacija i harmonizacija pomorskog obrazovanja u Crnoj Gori i Albaniji – MarED, "HSE Management in upstream operations" Budva 2017: Osnove iznenadnog zagađenja mora, Pomorska sigurnost Bar 2018: Istraživanje na uzorcima klipnih prstenova na brodskom dvotaktnom motoru preko Bilateralnog projekta SLO/CG 2018 Univerzitet u Mariboru, Slovenija 2018. Učestvovao na „Sustainable development of Blue economies through higher education and innovation in Western Balkan Countries – BLUEWBC“ Project no. 609693-EPP-1-2019-1-NO-EPPKA2-CBHE-JP www.bluewbc.eu (Obuka na „LNG Bunkering module“, „ DFDE LNG engine module “ i “Advanced training on Transas simulator”)

Od 2014. godine dobija priliku da radi kao stručni saradnik na Pomorskom fakultetu u Kotoru, brodomašinski simulator na kojem je i dalje angažovan kao saradnik u nastavi za oblast brodomaštva. Magistarske studije završava 2016. godine na istom fakultetu u Kotoru, smjer Pomorske nauke, odbranivši rad na temu „Mogućnosti upotrebe simulacionih

softvera u cilju predikcije emisije oksida azota (NO_x) iz broskog motora MAN B&W “,, pod mentorstvom prof. dr Danila Nikolića sa ocjenom „A “.

Koordinator na projektima Pomorskog fakulteta prilikom adaptiranja poligona za protiv požarstvo i remont čamca za spašavanje koje će koristiti studenti fakulteta.

Pokazana mobilnost za naučnoistraživački rad se ogleda u vidu Erasmus + mobility programa (Vlora 2017, Alesund 2018, Split 2018.) Erasmus + teaching u Chios 2019., Budimpešti 2020 i Dubrovniku 2021. god.

Učestvovao kao član organizacionog odbora prve međunarodne pomorske konferencije KIMC 2021.

Do sada je uspješno objavio više naučnih radova u međunarodnim časopisima, kao i na međunarodnim konferencijama:

[1] Miroslav Vukičević, Radmila Gagić, Danilo Nikolić: „Application of simulation software in estimation of NO_x emissions from ship’s main engine at different loads “, Internacionalna konferencija IMSC Split,2017 str. 531-543, ISSN 1847-1498

[2] Gagić, R., Vukičević, M., Nikolić, D: “Estimation of PM emissions from cruise ships in Kotor Bay” 6th International conference WeBIOPATR 2017, Belgrade, Serbia, 6.-8. septembar 2017.

[3] Vukičević Miroslav, Mraković Ivan, Ivošević Špiro: „Analysis of the influence of preventive maintenance of main engines on working parameters and emissions “, 5ta konferencija “Održavanje 2018” Zenica, 10-12 maj 2018., str. 247 - 254, ISSN 1986-583X

[4] Vukičević, M, Cvrk, S, Kovač, D, Lalić, B.;" M easurement of torsional vibration on Propeller Shafts Using Code Discs and Optical Forks” 8th International maritime science conference IMSC 2019, Budva,11-12 April 2019 ISSN 1847-1498 Page 345-351

[5] Vukičević, M, Ivošević, Š, Rudolf, R, Majerič, P.; “An Analysis of the Influence of Abrasive Particles in Fuel on the Degree of Damage to Piston Rings” 8th International maritime science conference IMSC 2019, Budva,11-12 April 2019 ISSN 1847-1498 Page 301-315

[6] Vukičević, M., Račić, N., Ivošević, Š.: “Piston ring material in two-stroke engine which sustains wear due to catalyst fines”, ISSN 0007-215X eISSN 1845-5859, Brodogradnja Vol. 70, No.2, 2019

- [7] Bogdanović M., Vukičević M.; “The environmental impacts of the offshore oil and gas industry” 21st DKMT Conference on Environment and Health, 06-08 June 2019, Faculty of Technology Novi Sad, Serbia ISBN 978-86-6253-107-0 Page 60-68
- [8] Vukičević M., Bogdanović M., Kovač D., Vujičić S.; „Prospective jobs for Montenegrin seafarers in the epicontinental area of Montenegro “1st International conference of maritime science & technology Naše more 2019, Dubrovnik, 17 – 18th October 2019, ISBN 978-953-7153-52-6 Page 600-610
- [9] Vukičević M., Račić N., Vukašinović D.; „ Ways of reducing the content of catalytic fines in marine heavy fuel oil “1st International conference of maritime science & technology Naše more 2019, Dubrovnik, 17 – 18th October 2019, ISBN 978-953-7153-52-6, Page 611-624
- [10] Ivošević Š., Rudolf R., Majerič P., Kovač D., Vukičević M., “Pregled baznih istraživanja mogućnosti primjene materijala sa oblikom u nautičkoj industriji” God.35 Broj 22, Kotor 2019, ISSN 0352-1052
- [11] Vukičević M., Račić N., Vukašinović D. “Tretman teškog goriva sa aspekta štetnog teškog brodskog goriva sa aspekta štetnog djelovanja katalitičkih nečistoća” God.35 Broj 22, Kotor 2019, ISSN 0352-1052
- [12] Š. Ivošević, P. Majerič, M. Vukičević, R. Rudolf: “A study of the possible using of materials with shape memory effect in nautics” Eighth conference on marine technology in memoriam of the academician Zlatko Winkler November 15 and 16, 2019, Faculty of Engineering University of Rijeka (ISSN 0554-6397 Print, ISSN 1848-9052 Online):
- [13] Š. Ivošević, P. Majerič, M. Vukičević, R. Rudolf: “A Study of the Possible Use of Materials With Shape Memory Effect in Shipbuilding” Journal of Maritime and Transportation Sciences, Vol. Special edition No. 3, 2020. Page 265-277. ISSN 0554-6397 Konferencijski članak (Conference paper)
- [14] Bratić, K., Stazić, L., Vukičević, M. and Lalić, B. (2021): “Cruise Vessels Air Pollution Inventory for the Port of Kotor”, Transactions on Maritime Science, 2021, Split, Croatia, 10(1), pp. 200–207. doi: 10.7225/toms.v10.n01.016.
- [15] Đurović, Z., Vuković Stamatović, M. and Vukičević, M.: „How much and what kind of English vocabulary do marine engineers need for adequate comprehension of ship instruction

books and manuals?“ ISSN: 1576-4737 *Círculo de Lingüística Aplicada a la Comunicación* 88,123-133, <https://dx.doi.org/10.5209/clac.78300>

[16] Igor Petrović, Špiro Ivošević & Miroslav Vukičević: “Does Increased Traffic Increase Risk in Boka Bay?” 1ST Kotor International Maritime Conference (KIMC 2021) 26-27 November 2021, Kotor, Montenegro

[17] Zorica Đurović & Miroslav Vukičević: “Hybrid “Twinning” in Maritime Education” 1ST Kotor International Maritime Conference (KIMC 2021) 26-27 November 2021, Kotor, Montenegro

[18] Tripo Moškov, Filip Petričević & Miroslav Vukičević: “The Benefits of Sailing Skills for Future Seafarers” 1ST Kotor International Maritime Conference (KIMC 2021) 26-27 November 2021, Kotor, Montenegro

[19] Miroslav Vukičević, Zorica Đurović, Boris Hrnčić & Karlo Bratić: “Optimization of Fuel Purifier Operation for More Efficient Elimination of Small Abrasive Impurities” 1ST Kotor International Maritime Conference (KIMC 2021) 26-27 November 2021, Kotor, Montenegro

Miroslav Vukičević je student doktorskih studija, sa položenim svim ispitima sa ocjenom “A”.

U pripremi izrade doktorata, obavio je polazna ispitivanja na brodskim tankerima i laboratorijska ispitivanja na Univerzitetu u Mariboru te u Institutu za crngu metalurgiju u Nikšiću. Govori i piše engleski jezik a dobro poznaje italijanski jezik.

Oženjen je i otac dva djeteta.