

Utjecaj "VIT" sustava i promjene temperature goriva na parametre rada glavnog motora

Sorel, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:715414>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-05**



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

Repository / Repozitorij:

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



uniri DIGITALNA
KNJIŽNICA



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET U RIJECI**

IVAN SOREL

**UTJECAJ „VIT“ SUSTAVA I PROMJENE TEMPERATURE
GORIVA NA PARAMETRE RADA GLAVNOG MOTORA**

ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2023.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET U RIJECI

**UTJECAJ „VIT“ SUSTAVA I PROMJENE TEMPERATURE
GORIVA NA PARAMETRE RADA GLAVNOG MOTORA**
**THE INFLUENCE OF VIT SYSTEM AND FUEL OIL
TEMPERATURE ON MAIN ENGINE PARAMETERS**

ZAVRŠNI RAD

Kolegij: Simulator 1

Mentor: Prof. dr. sc. Dean Bernečić

Student: Ivan Sorel

Studijski program: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112080271

Rijeka, srpanj 2023.

Student: Ivan Sorel

Studijski program: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112080271

IZJAVA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom „UTJECAJ „VIT“-a I PROMIJENE TEMPERATURE GORIVA NA PARAMETRE RADA GLAVNOG MOTORA“ izradio samostalno pod mentorstvom prof. dr. sc. Deana Bernečića.

U radu sam primijenio metodologiju znanstveno-istraživačkog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezao fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Suglasan sam s objavom završnog rada na službenim stranicama Fakulteta.

Student: IVAN SOREL



(potpis)

Student: IVAN SOREL

Studijski program:

JMBAG: 0112080271

IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa završnim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog završnog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student: IVAN SOREL



SAŽETAK

Glavni predmet istraživanja u ovom radu je utjecaj „VIT“ sustava (eng. „Variable Injection Timing” – hrv. Sustav za promjenjivo vrijeme ubrizgavanja) i promjene temperature goriva na parametre rada glavnog motora. Istraživanje je provedeno na Kongsberg-ovom simulatoru (MC90-V), na način da su objašnjene kemijske i fizikalne karakteristike teškog goriva, koje ujedno služi i kao glavni radni medij, kao i princip rada samog sustava goriva. Zatim su provedena ispitivanja na raznim opterećenjima kroz raspon temperatura goriva s uključenim i isključenim VIT-om.

Ključne riječi: teško gorivo, sustav goriva, temperatura goriva, glavni motor, VIT rasprskaci, ubrizgavanje goriva

SUMMARY

Main subject of research in this final thesis is influence of the VIT system and change of the fuel temperature on operating parameters of the main engine. Research was carried out on Kongsberg's simulator (MC90-V), in such a way that the chemical and physical characteristics of heavy fuel oil are explained, which is used for operation of the main engine, as well as the working principle of the fuel oil system. Tests were then performed at various engine loads across different fuel temperatures with VIT system turned on and off.

Key words: heavy fuel oil, fuel oil system, fuel oil temperature, main engine, VIT, fuel injectors, fuel injection

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. SUSTAV GORIVA GLAVNOG MOTORA	2
2.1. OPIS SUSTAVA GORIVA GLAVNOG MOTORA	2
2.2. VISOKOTLAČNI SUSTAV GORIVA GLAVNOG MOTORA	5
3. GORIVO	10
4. UTJECAJA „VIT“ SUSTAVA I PROMJENE TEMPERATURE GORIVA NA PARAMETRE RADA GLAVNOG MOTORA.....	14
4.1. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA VISKOZITET GORIVA	15
4.2. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA TLAK GORIVA PRIJE VISOKOTLAČNE PUMPE GORIVA	15
4.3. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA INDEKS POLUŽJA GORIVA	16
4.4. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA BRZINU VRTNJE GLAVNOG MOTORA.....	17
4.5. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA PROTOK GORIVA KROZ TANK ZA MIJEŠANJE	17
4.6. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA TLAK KOMPRESIJE	18
4.7. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA TLAK UBRIZGAVANJA GORIVA	19
4.8. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA MAKSIMALNI TLAK UBRIZGAVANJA GORIVA	19
4.9. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA POČETAK UBRIZGAVANJA GORIVA	20
4.10. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA TRAJANJE UBRIZGAVANJA GORIVA	21
4.11. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA TRENUTAK PALJENJA GORIVE SMJESE	22
4.12. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA MAKSIMALNI TLAK IZGARANJA	23
4.13. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA KUT NA KOJEM SE JAVLJA MAKSIMALNA TEMPERATURE IZGARANJA.....	24
4.14. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA SREDNJI INDICIRANI TLAK	25
4.15. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA INDICIRANU SNAGU MOTORA (PO CILINDRU)	26

4.16.	UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA SPECIFIČNU POTROŠNJA GORIVA	26
4.17.	UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA UDIO NOX-A U ISPUŠNIM PLINOVIMA	27
5.	ZAKLJUČAK.....	28
	LITERATURA	30
	POPIS SLIKA.....	31

1. UVOD

Sustav goriva na brodu se smatra jednim od najvažnijih sustava iz razloga što ima ulogu dobave i pripreme radnog medija potrebnog za rad glavnog motora.

Pomorski prijevoz, kao najjeftiniji način prijevoza dobara, je rastuća grana svjetske ekonomije u čijoj se trgovačkoj floti konstantno povećava broj plovila. Teško gorivo, čija je cijena značajno niža od drugih naftnih derivata kao što su npr. dizel ili benzin, je jedan od glavnih čimbenika koji omogućavaju ekonomični transport dobara diljem svijeta. Za razliku u cijeni je zaslužna značajno lošija kvaliteta goriva, naime, u teškom gorivu se nalazi određeni udio vode, te više vrsta raznih primjesa kao što su pepeo, sumpor, vanadij, aluminij-silicij (AlSi) i dr.

Zahvaljujući razvoju tehnologije, osmišljen je tzv. VIT sustav, čija je primarna namjena prilagodba sustava na gorivo lošije kvalitete i općenito podizanje stupnja iskoristivosti glavnog motora. VIT sustav ispunjava svoju zadaću na način da upravlja sa ubrizgavanjem goriva, odnosno tempiranjem početka i kraja ubrizgavanja goriva, te na taj način osigurava održavanje srednjeg indiciranog tlaka izgaranja i maksimalnog tlaka izgaranja na najvišim dopuštenim vrijednostima.

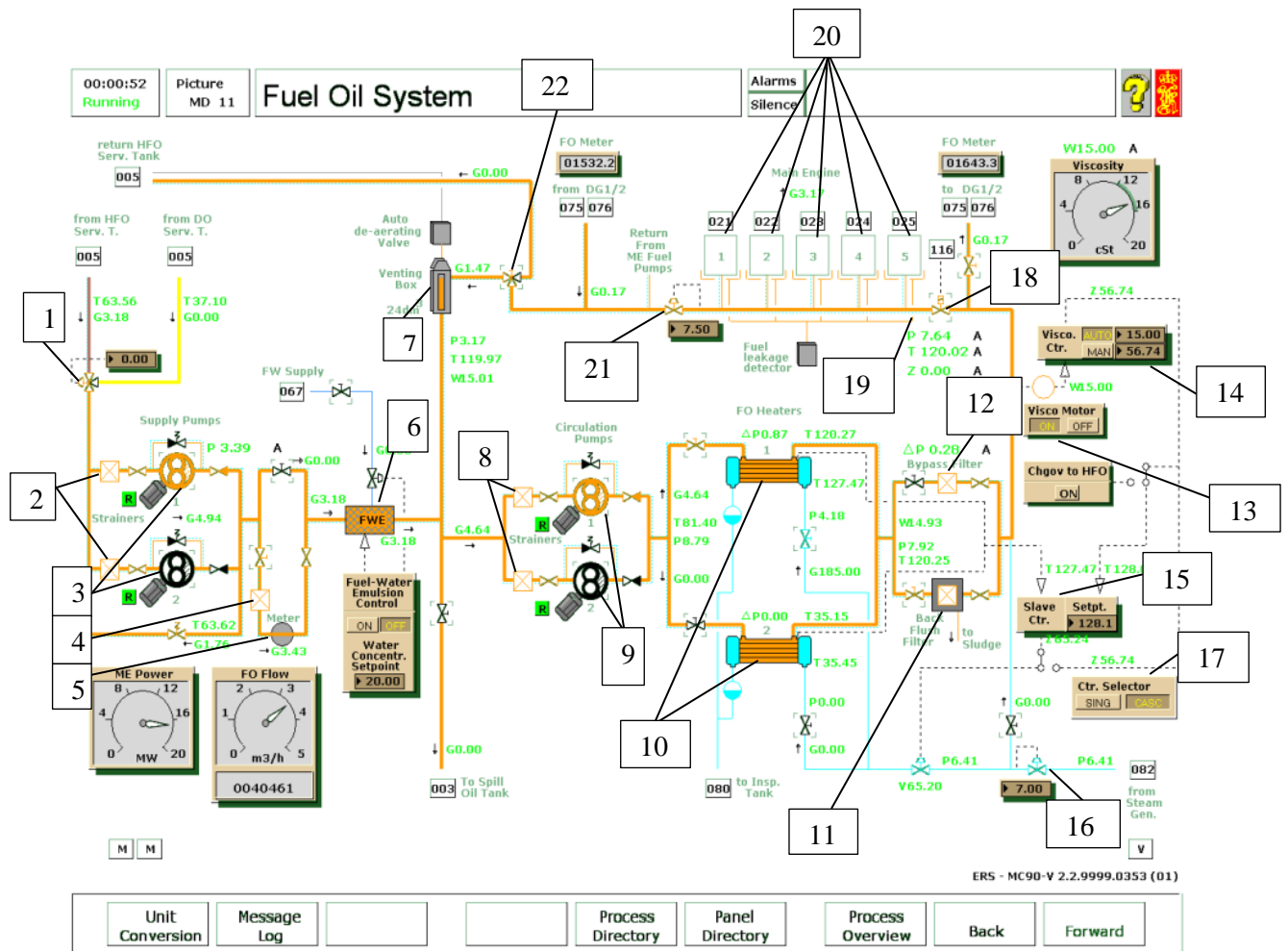
Cilj istraživanja koje se provodi u ovom radu je analiza uloge i rada VIT sustava na parametre rada glavnog motora, pri različitim temperaturama goriva i opterećenjima.

2. SUSTAV GORIVA GLAVNOG MOTORA

Sustav goriva glavnog motora je sustav koji se sastoji od rotacijskih elemenata poput pumpi, filtarskih jedinica za dodatno pročišćavanje goriva, parnih zagrijača za zagrijavanje goriva, raznih ventila, te regulatora viskoziteta. Zadaća ovog sustava je završna priprema goriva, koja uključuje odstranjivanje sitnih čestica i prljavština koje su zaostale nakon procesa taloženja i separacije, zagrijavanje radi postizanja traženog viskoziteta iz razloga što glavni motor broda na simulatoru u navigaciji koristi teško gorivo, te podizanje tlaka u visokotlačnom sustavu radi postizanja što boljeg raspršivanja goriva koje se ubrizgava u cilindar. Pravilan rad ovog sustava je ključan za postizanje performansi, odnosno postizanju maksimalne iskoristivosti izgaranja goriva i udovoljavanja sve strožim zahtjevima i međunarodnim propisima glede onečišćenja zraka ispušnim plinovima.

2.1. OPIS SUSTAVA GORIVA GLAVNOG MOTORA

Putem troputnog ventila (1), ovisno o otvorenoj strani ventila, iz dnevnih tankova dizelsko ili teško gorivo dolaze na usisnu stranu dobavnih pumpi (3) koje od krupnijih nečistoća štite filtri (2). Dobavne pumpe su najčešće vijčane ili zupčaste izvedbe. One zatim tlače gorivo kroz mjerač protoka (5), štice filtrom (4), koji služi kao mjerni uređaj za potrošnju goriva prilikom rada glavnog motora, a u slučaju pripreme sustava ili čišćenja filtra mjerača protoka, gorivo se šalje mimo njega. Sljedeći element nakon mjerača protoka je emulzifikator (6), a to je uređaj koji služi za miješanje vode u gorivo kako bi se smanjile emisije dušikovih oksida (NO_x). Nakon njega gorivo dolazi do tanka za miješanje (7) u kojem se novo gorivo miješa s gorivom koje se vraća iz sustava. Zadaća ovog tanka je i miješanje goriva prilikom prebacivanja rada sustava na dizelsko gorivo, na rad s teškim gorivom i obrnuto.

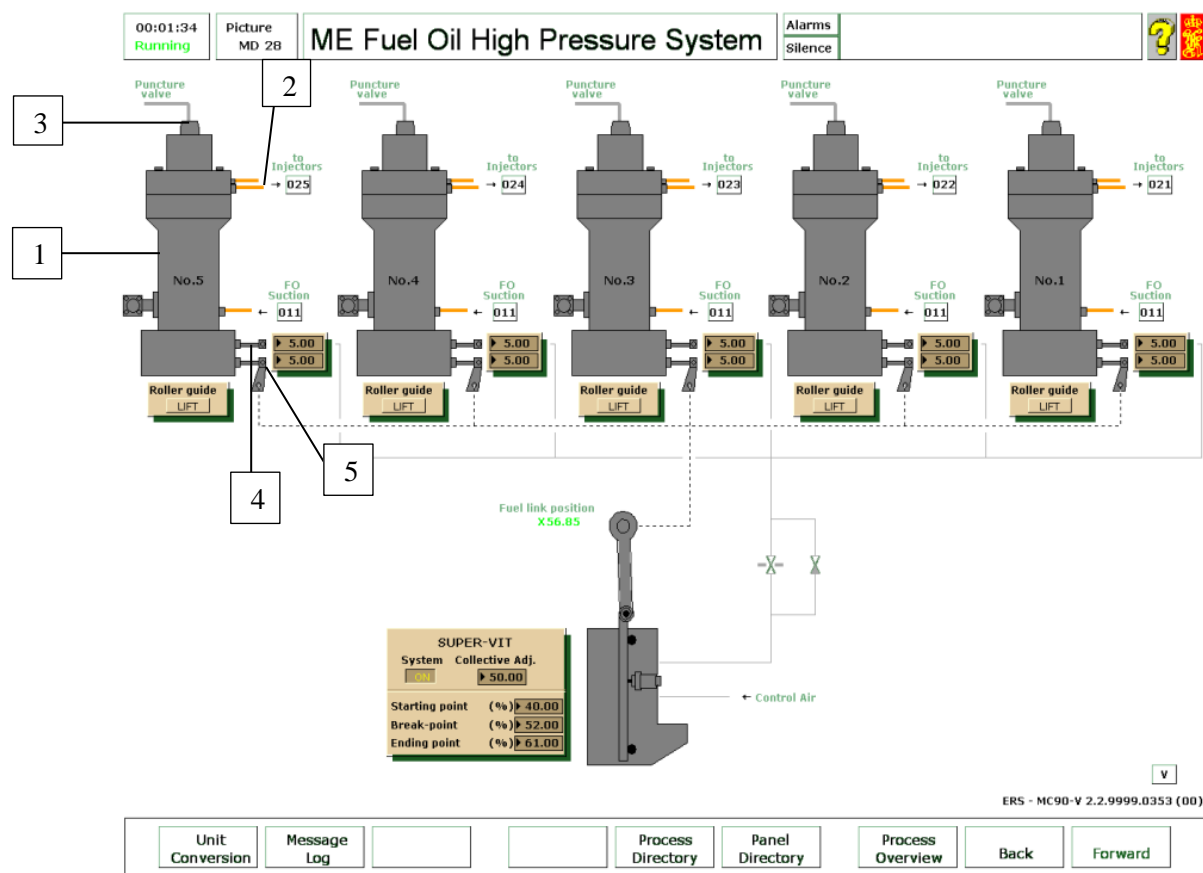


Slika 1. Prikaz sustava goriva glavnog motora [1]

Iz tanka za miješanje goriva (7), cirkulacijske pumpe (9) opremljene filtrima koji ih štite od nečistoća na usisnoj strani (8), najčešće su zupčaste ili vijčane izvedbe, usisavaju gorivo i podižu mu tlak, te ga tlače kroz parne zagrijače (10), gdje se gorivo zagrijava na potrebnu temperaturu. Važno je napomenuti da je cijeli cjevovod sustava goriva obavijen tankom cijevi pare koja služi održavanju temperature goriva, ali i u slučaju gašenja glavnog motora osigurava da se gorivo neće skrutiti i začepiti cjevovod. Nakon parnih zagrijača (10), gorivo prolazi kroz glavni filter (11) koji je samočistiv, no u slučaju potrebe za servisiranjem ili zamjenom, gorivo se prebacuje na pomoćni filter (12), čime se osigurava kontinuirani rad sustava goriva. Prije ulaska goriva u glavni motor ili pomoćne motore, nalazi se regulator viskoziteta (14) koji je putem male pumpe koju pokreće elektromotor (visko-motor) (13) spojen na cjevovod i mjeri viskozitet, te u slučaju kada je na izborniku režima rada regulatora (17) odabran režim rada u kojem se koristi samo jedna mjerna veličina (SING), direktno djeluje na ventil za dovod pare (16) u zagrijače goriva. Važno je napomenuti da je moguća i preciznija regulacija, u slučaju kada se na izborniku režima rada regulatora (17) odabere režim

rada (CASC), u kojem se uključuje pomoćni regulator (15). Tada regulator viskoziteta (14) više ne regulira otvorenost ventila pare (16) samo na temelju mjenog viskoziteta, već uzima u obzir i drugu mjerenu veličinu, a to je temperatura goriva nakon parnih zagrijača goriva (10), čime se postiže znatno preciznija i stabilnija regulacija viskoziteta uz manje oscilacije. Na ulazu goriva u motor se nalazi brzo-zatvarajući ventil (18), kojim se omogućuje daljinsko zatvaranje dovoda goriva u glavni motor u slučaju požara ili nekog drugog izvanrednog događaja. Nakon brzo-zatvarajućeg ventila, gorivo ulazi u motor uz pomoć visokotlačnih pumpi (20) putem cjevovoda (19), koje su stapne izvedbe radi potrebe za vrlo visokim tlakovima. Dostupnost goriva visokotlačnim pumpama osigurava ventil konstantnog tlaka (21), čija je uloga održavati konstantan tlak goriva u cjevovodu (19) u slučaju povećanja ili smanjenja opterećenja glavnog motora. Tlak se održava konstantnim na način da u slučaju povećanja opterećenja, samim time i potrebom za većom količinom goriva, ventil konstantnog tlaka pritvara kako bi time zadržao tlak, odnosno kompenzirao pad tlaka radi potrebe za većom količinom goriva. U slučaju smanjenja opterećenja glavnog motora, ventil konstantnog tlaka (21) će otvarati kako bi spriječio porast tlaka u cjevovodu (19) preko zadane vrijednosti. Nakon njega dolazi troputni ventil (22), kojim se definira smjer goriva na način da u slučaju pripremanja i zagrijavanja sustava na teško gorivo ili u slučaju brzog prebacivanja goriva, niske potrošnje ili boravka u luci otvara se desna strana, odnosno povrat goriva u dnevni tank teškog goriva. U navigaciji će biti otvorena lijeva strana koja gorivo vraća u tank za miješanje (7) od kuda će ga usisavati cirkulacijske pumpe (9) i to isto gorivo koje je bilo „višak“, odnosno koristilo se za podmazivanje i hlađenje visokotlačnih pumpi goriva (20), će se koristiti za pogon glavnog motora.

2.2. VISOKOTLAČNI SUSTAV GORIVA GLAVNOG MOTORA

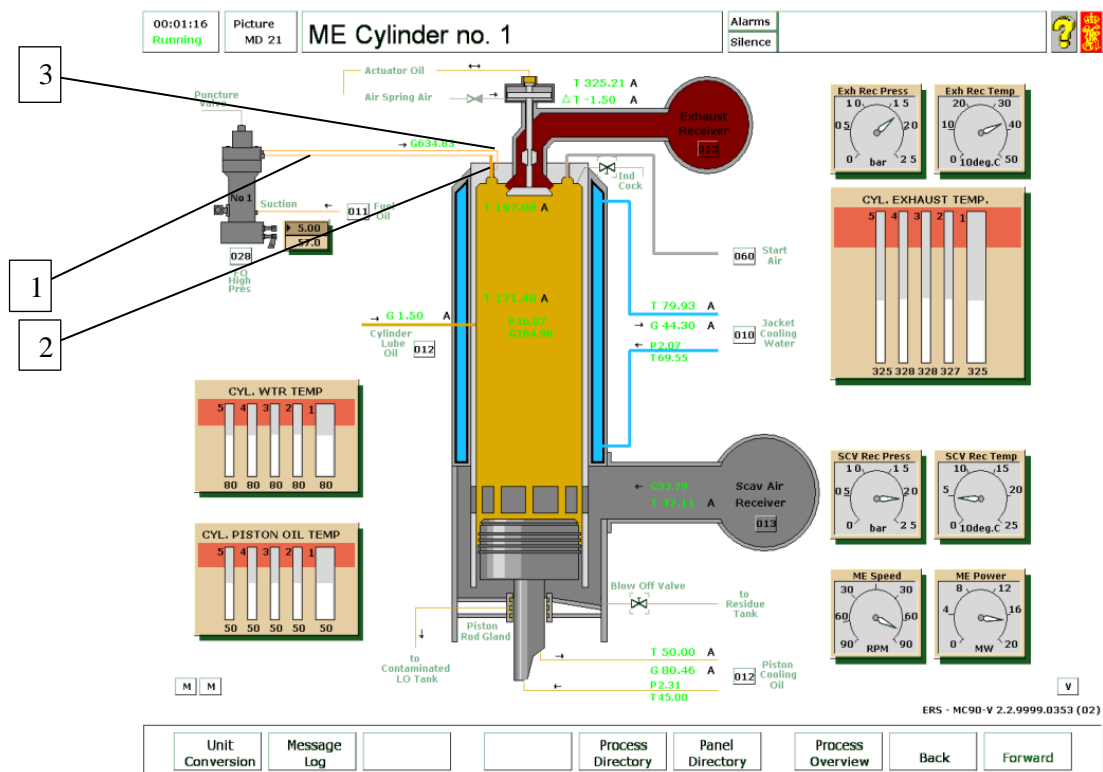


Slika 2. Visokotlačni sustav goriva glavnog motora [1]

U proučavanom primjeru susrećemo se s visokotlačnim sustavom goriva kod kojeg svaki cilindar ima vlastitu visokotlačnu pumpu goriva (1) koja značajno podiže tlak goriva, tlači ga kroz visokotlačni cjevovod (2) na rasprskalice, gdje se gorivo raspršuje u finu maglicu koja zatim izgara, dok se ne ubrizgano gorivo vraća povratnim cjevovodom u sustav (Slika 2.). Visokotlačne pumpe goriva su pogonjene kvrgama bregastog vratila. Potrebno je napomenuti da su navedene pumpe opremljene s igličastim ventilom (3) koji pomoću kontrolnog zraka, prilikom zaustavljanja, naglog zaustavljanja ili gašenja sustava djeluje na način da smanji visoki tlak tako da poveže visokotlačnu stranu i kućište pumpe čime se postiže dodatna sigurnost prekida dobave kod zaustavljanja motora.

Uloga polužja goriva (4) je mehaničko podešavanje pozicije zakretnog klipa pumpe goriva, koji određuje količinu goriva koja će se ubrizgati u cilindar. Pošto je ovaj sustav goriva opremljen VIT sustavom, u visokotlačnom sustavu goriva se nalazi i VIT polužje goriva (5), koje uz pomoć signala kontrolnog zraka djeluje na mehanizam koji

upravlja tempiranjem ubrizgavanja goriva na način da pomiče košuljicu u odnosu na klip visokotlačne pumpe.



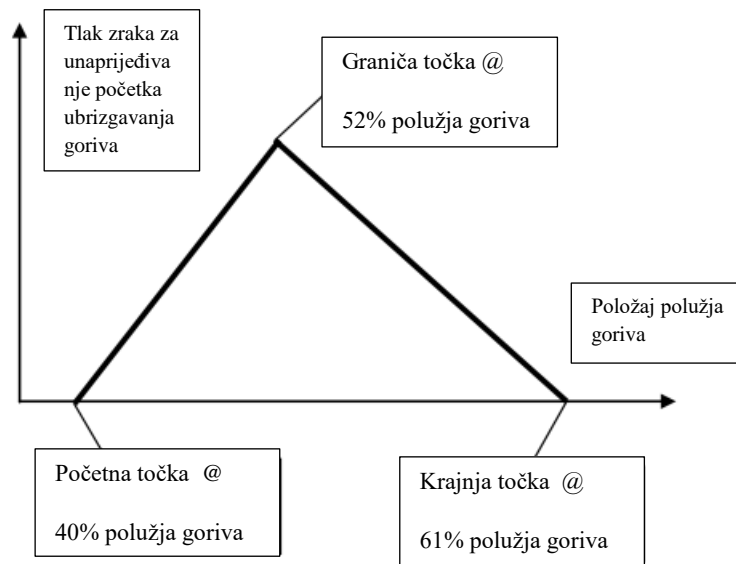
Slika 3. Cilindar br. 1 glavnog motora [1]

1. Visokotlačni cjevovod (tlačna strana visokotlačne pumpe goriva)
2. Rasprskać
3. Povratni cjevovod goriva iz rasprskaća

VIT sustav služi za održavanje maksimalnog tlaka izgaranja pri opterećenjima manjim od 100% kako bi se povećala iskoristivost motora, odnosno smanjila potrošnja goriva. To se postiže na način da se ugrađuje mehanizam koji automatski prilagođava početak ubrizgavanja goriva kako bi se osiguralo održavanje maksimalnog tlaka izgaranja za opterećenja manja od 100%, sve do unaprijed određenog djelomičnog opterećenja poznatog kao „granična točka“.

U konfiguraciji VIT sustava, koji se ugrađuje na velike MC motore, zakretni klip pumpe goriva nije profiliran, odnosno nema dodatnih kosih proreza, što znači je početak ubrizgavanja goriva isključivo određen promjenom okomitog položaja cilindra pumpe, što znači da je u ovom sustavu granična točka potpuno podesiva.

Cilindar pumpe goriva se pomiče gore-dolje (relativno s obzirom na klip pumpe) pomoću polužja i zupčanika u kombinaciji s dvostrukim navojem. Postavka polužja VIT-a se kontrolira pomoću pozicije regulacijske osovine, tj. s obzirom na opterećenje motora [7].



Slika 4. VIT dijagram [1]

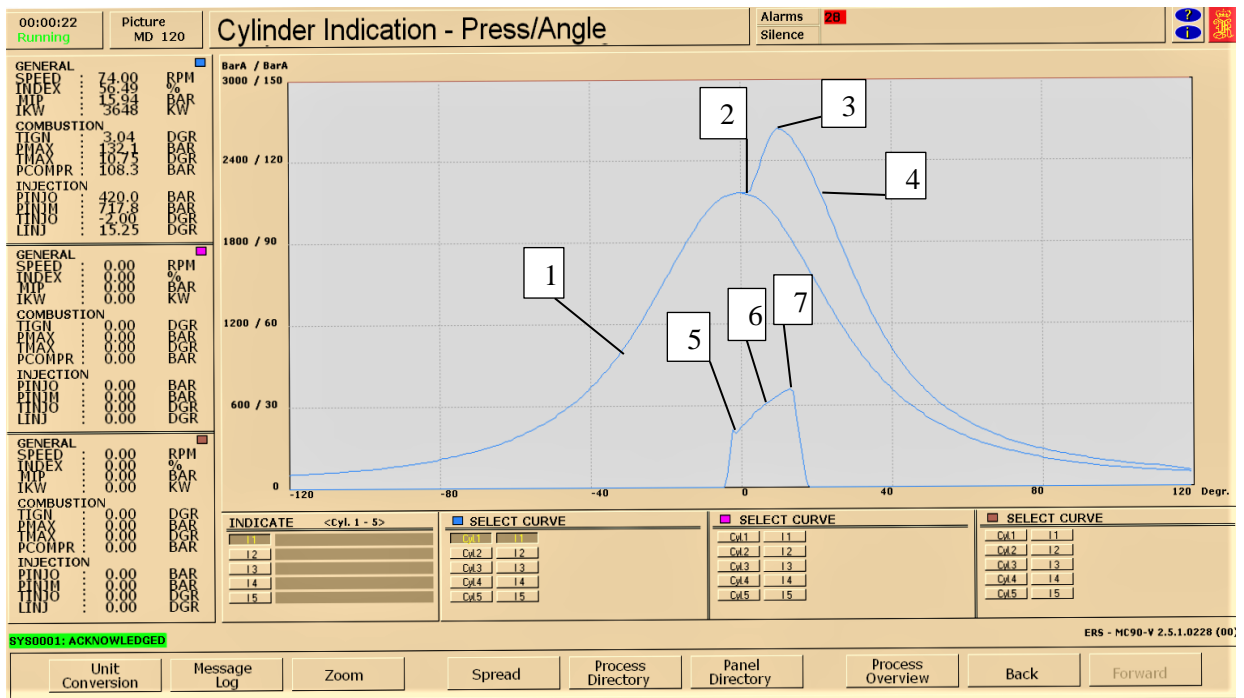
Na slici 4 je prikazan dijagram koji opisuje rad VIT sustava. Početna točka i krajnja točka se određuju s obzirom na raspon radnog opterećenja motora.

Početna točka, koja je unaprijed određena od strane proizvođača, određuje početak aktivacije VIT-a, odnosno označava opterećenje motora na kojem se počinje povećavati tlak kontrolnog zraka pomoću kojeg se upravlja VIT polužjem goriva koje ubrizgavanje goriva pomiče unaprijed sve do granične točke.

Nakon granične točke, tlak kontrolnog zraka se počinje smanjivati i samim time se gorivo počinje ubrizgavati kasnije – do granične točke se povećava predubrizgavanje, a nakon se smanjuje, sve do krajnje točke nakon koje se VIT isključuje.

VIT je automatski sustav, no u slučaju velikih varijacija u kvaliteti goriva ili velike istrošenosti pumpi goriva, potrebno je ručno podešavanje sustava. Iako je regulacijska osovina ta koja određuje položaj polužja VIT-a, postoje dvije vrste podešavanja koje VIT sustav može raditi, a to su:

1. Pojedinačno podešavanje svake pumpe – vrši se u slučajevima kada je potrebno balansiranje pojedinačnih tlakova izgaranja u cilindrima.
2. Zajedničko podešavanje svih pumpi u isto vrijeme – vrši se u slučajevima kada je došlo do takvih promjena da je u cijelom sustavu potrebno napraviti re-kalibraciju. [7]



Slika 5. Otvoreni indikatorski dijagram (promjena tlaka u cilindru u odnosu na kut koljenastog vratila) [1]

- 1 – Krivulja kompresije. Stap se giba prema gornjoj mrtvoj točki (GMT) i povećava tlak zraka u cilindru do 108.3 bar (PCOMPR).
- 2 – Stap je prešao GMT, te radi visoke temperature u cilindru dolazi do samozapaljenja ubrizganog goriva i početka izgaranja (3.04° nakon GMT, eng. „time of ignition“ „TIGN“).
- 3 – U točki 3 se postiže maksimalni tlak izgaranja (132.1 bar, eng. „maximum pressure“ „PMAX“).
- 4 – Predstavlja krivulju ekspanzije. Stap se giba prema donjoj mrtvoj točki (DMT).
- 5 – Predstavlja početak ubrizgavanja goriva (eng. „time of injection“ „TINJO“) pri tlaku otvaranje igle rasprskaača od 420 bar (eng. „pressure of injection open“ „PINJO“), 2° prije GMT.

6 – Odnosi se na krivulju, između točke 5 i točke 7, koja predstavlja duljinu trajanja ubrizgavanja od 15.5° (eng. „length of injection“ „LINJ“).

7 – U točki 7 se postiže najviši tlak ubrizgavanja goriva od 717,8 bar (eng. „pressure of injection maximum“ „PINJM“).

3. GORIVO

Sustav goriva glavnog motora, koji je predmet istraživanja u ovom radu, može raditi na lako gorivo (dizel) ili teško (ostatno) gorivo, no premda motor većinu svog radnog vijeka radi na teško gorivo, u ovom poglavlju će fokus biti na definiranju pojma teškog goriva i njegovoj primjeni, kao i na najmodernije međunarodne standarde koje mora ispunjavati.



Slika 6. Teško gorivo [7]

Gorivo je tvar koja se koristi za dobivanje toplinske energije koja se potom pretvara u mehaničku energiju. Gorivima se smatraju tvari koje sadrže visoki udio ugljikovodičnih spojeva, najčešće mješavina različitih tipova molekularnih struktura, te sadrže manji udio nekih tvari poput vode, sumpora, vanadija, koksa, pepela i dr. Brodska goriva prema molekularnoj strukturi možemo podijeliti na:

1. Parafinska goriva - imaju duge zasićene ugljikovodične lance. Imaju pogodan omjer ugljika i vodika, što rezultira odličnim predispozicijama za kvalitetno izgaranje.
2. Naftenska goriva za razliku od parafinskih imaju prstenastu molekularnu ugljikovodičnu strukturu, te imaju veći udio vodika od npr. parafinskih.
3. Aromatična goriva također imaju prstenastu molekularnu strukturu, no sadrže duple veze i samim time manje vodika što rezultira nepovoljnijim omjerom ugljika i vodika kao kod npr. parafinskih.

4. Asfaltenska goriva su velike molekule koje sadrže uglavnom ugljik i vodik, no također sadrže sumpor, dušik, kisik, vanadij, nikel i ostale elemente [2].

Osim kemijskih, izrazito je važno poznavati i fizikalna svojstva goriva, kako prilikom izbora i izgradnje glavnog porivnog stroja, tako i prilikom izbora uređaja i elemenata koji se nalaze i čine sustav goriva glavnog motora. Fizikalna se svojstva mogu podijeliti na:

1. Viskozitet goriva – usko je vezan s temperaturom, prilikom povišenja temperature viskozitet se smanjuje i obrnuto, a definira se kao veličina unutarnjeg trenja između molekula. Viskozitet brodskih goriva na 50 °C se kreće između 2 i 700 cSt [2].
2. Točka tečenja – definira se kao najniža temperatura prilikom koje gorivo može protjecati kroz standardizirani filter veličine 45 mikrona. Savjetuje se da odabrano gorivo ima točku tečenja oko 40 °C (za teška goriva, dizelska do -15 °C) kako bi se smanjila mogućnost kristalizacije i potencijalnih začepjenja u sustavu [2].
3. Gustoća goriva – proporcionalna je s viskozitetom i samim time ovisna o temperaturi. Prilikom povišenja temperature gustoća se smanjuje i obrnuto. Gustoća brodskih goriva se kreće između 800 i 1100 kg/m³ na 15 °C [2],
4. Ogrjevna vrijednost (*Hd*) – definira se kao količina topline koja se oslobađa iz jedinice mase goriva. Postoje donja i gornja ogrjevna vrijednost goriva, a razlika između njih je u količini topline koju je vodena para kondenzacijom predala okolini. Radi toga se prilikom izrade proračuna u praksi koristi donja ogrjevna vrijednost, koja iznosi minimalno 38 MJ/kg [3].
5. Plamište – definira se kao temperatura na kojoj se stvaraju gorive pare. Najniža točka paljenja za standardna brodska goriva je 60 °C [4].
6. Udio vode u gorivu – prema posljednjim standardima, brodska teška goriva smiju sadržavati udio vode od 0,30-0,50% od ukupne mase goriva. Poželjno je da je udio vode u gorivu što manji iz razloga što ona direktno utječe na smanjivanje ogrjevnosti goriva [4].
7. Udio pepela i vanadija – pepeo i vanadij spadaju pod nepoželjne primjese u gorivu iz razloga što dovode do ubrzanog trošenja motora. Naime, prilikom izgaranja dolazi do vezivanja molekula vanadija i kisika, što rezultira u stvaranju vanadij pentoksida koji je glavni uzročnik visoko-temperaturne korozije.

Najizloženija i najpogođenija komponenta pogođena visoko-temperaturnom korozijom su ispušni ventili velikih dvotaktnih dizelskih motora. Prema standardu ISO 8217 (2017 3) najveći dopušteni sadržaj pepela u dizelskim gorivima je 0,010%, a u teškim gorivima 0,040-0.150% pepela i 50-450 mg/kg vanadija [4].

8. Aluminijsilikat (Al+Si) – pojavljuje se u praksi kao nusproizvod katalitičkog kreiranja, odnosno to su vrlo tvrde i abrazivne čestice koje značajno ubrzavaju trošenje motora. Preporuča se korištenje adekvatnog sustava za pročišćavanje goriva kako bi se ono kvalitetno pročistilo, odnosno kako na ulazu u motor količina ne bi prelazila 15 ppm-a. Za kvalitetno pročišćavanje, preporuča se održavanje što manjeg protoka goriva kroz separator i održavanje što veće temperature goriva unutar separatora [2].
9. Cetanski broj (CN) je mjera zapaljivosti dizelskih goriva. Pokazuje odgodu paljenja ili vrijeme koje je potrebno dizelskom gorivu da se samozapali kada se ubrizga u vrući zrak kroz mlaznicu za gorivo. Jednostavno definirano, cetan je kemijska komponenta koja se nalazi u dizelu i lako se zapali pod pritiskom. To je industrijsko standardno mjerilo za procjenu kvalitete izgaranja goriva zbog njegove ekstremne zapaljivosti. Više razine cetana ukazuju na kraću odgodu paljenja i, kao rezultat toga, poboljšane performanse dizelskog motora. Ubrizgano gorivo sagorijeva ravnomjernije i potpunije, što rezultira boljom kvalitetom ispušnih plinova, posebno u pogledu čađe, čestica i neizgorjelih ugljikovodika [6].
10. Sumpor je jedan od elemenata koji se prirodno pojavljuje u teškom gorivu. Sumpor u gorivu djeluje kao prirodni EP (Extreme Pressure) aditiv, koji osigurava potrebno podmazivanje gorivom koje prolazi kroz pumpe i rasprskalice. Prilikom izgaranja goriva s visokim udjelom sumpora unutar cilindra, nalazi se puno dostupnog zraka, sumpor se pretvara u SO₂, te daljnjim spajanjem s kisikom u SO₃ (sumporni trioksid). Kada SO₃ dođe u kontakt s vodom ili vodenom parom prisutnom u ispirnom zraku, dolazi do reakcije i formiranja sumporne kiseline H₂SO₄. Ako motor radi neefikasno pri niskom broju okretaja, temperatura košuljice na donjem dijelu se spušta ispod temperature rosišta sumporne kiseline i vode (120-160 °C), što znači da će se korozivna mješavina kondenzirati i uzrokovati hladnu koroziju košuljice. Kod goriva s niskim udjelom sumpora, kasno ili sporo izgaranje unutar cilindra će

uzrokovati povećano toplinsko opterećenje na dijelove cilindra, što će rezultirati pregrijavanjem, problemima s podmazivanjem i hladnom korozijom [6].

4. UTJECAJA „VIT“ SUSTAVA I PROMJENE TEMPERATURE GORIVA NA PARAMETRE RADA GLAVNOG MOTORA

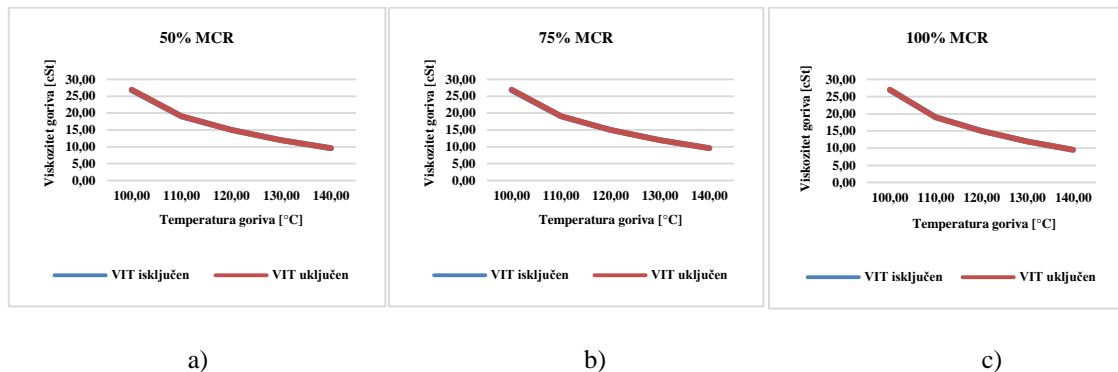
Za analizu utjecaja VIT sustava i promjene temperature goriva na parametre rada glavnog motora bilo je potrebno provesti niz simulacija, koje su rađene na Kongsberg-ovom MC90-V simulatoru. Važno je napomenuti da je to simulator predviđen za unaprjeđenje obrazovanja pomorca, te da svi dobiveni rezultati neće uvijek odgovarati onima koji bi bili dobiveni u praksi na stvarnom brodu.

Simulacije su rađene na način da su svi parametri mjereni prvo s isključenim VIT sustavom (prikazano plavom bojom u dijagramima), zatim s uključenim VIT sustavom (prikazano crvenom bojom u dijagramima) pri temperaturama goriva od 100 °C, 110 °C, 120 °C, 130 °C i 140 °C, te na 50%, 75% i 100% „MCR“ (eng. maximum continous rating – najveća snaga na kojoj motor može raditi unutar sigurnih granica) pri utrošku teškog goriva početne temperature od 120 °C, te viskoziteta 15 cSt. Mjereni parametri su:

1. Viskozitet goriva,
2. Tlak prije visokotlačne pumpe,
3. Indeks poluzja goriva,
4. Brzina vrtnje glavnog motora,
5. Protok goriva kroz tank za miješanje,
6. Tlak kompresije,
7. Tlak ubrizgavanja goriva,
8. Maksimalni tlak ubrizgavanja goriva,
9. Početak ubrizgavanja goriva,
10. Trajanje ubrizgavanja goriva,
11. Trenutak paljenja gorive smjese,
12. Maksimalni tlak izgaranja,
13. Kut na kojem se javlja maksimalna temperatura izgaranja,
14. Srednji indicirani tlak,
15. Indicirana snaga motora,
16. Specifična potrošnja goriva,
17. Udio NO_x-a u ispušnim plinovima.

Očitane vrijednosti promatranih parametara su analizirane i uspoređene.

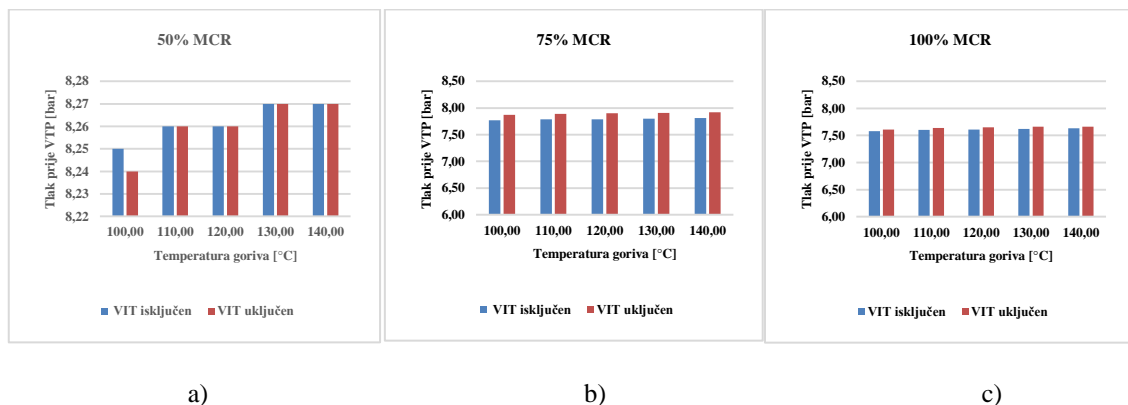
4.1. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA VISKOZITET GORIVA



Slika 7. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na viskozitet goriva pri različitim opterećenjima glavnog motora

Prilikom promjene temperature, mijenja se i viskozitet goriva. Kako temperatura raste, viskozitet pada, i obrnuto. Vidljivo je iz dijagrama da ni promjena opterećenja, kao ni VIT sustav, nema nikakav utjecaj na viskozitet goriva, što je i logično iz razloga da je viskozitet kao fizikalna veličina isključivo vezan uz temperaturu.

4.2. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA TLAK GORIVA PRIJE VISOKOTLAČNE PUMPE GORIVA

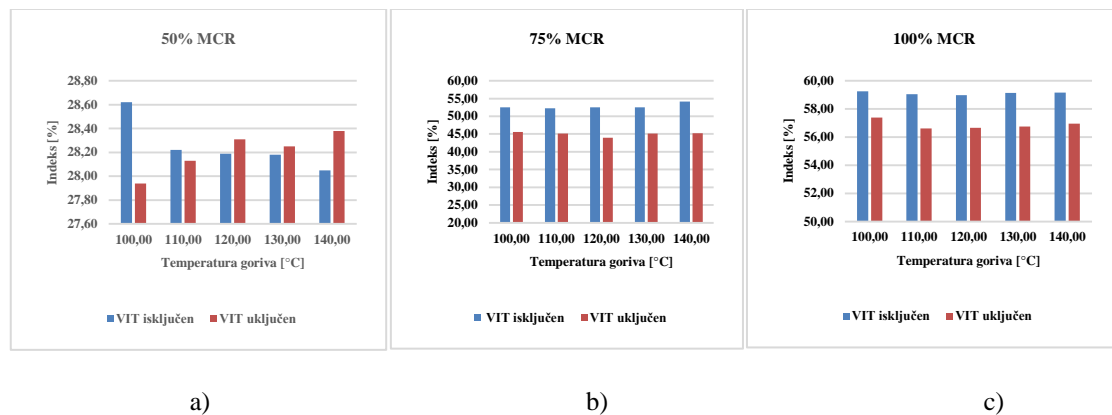


Slika 8. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na tlak goriva prije visokotlačne pumpe goriva pri različitim opterećenjima glavnog motora

Kod najnižeg promatranog opterećenja motora (50% MCR), u oba slučaja, kada je VIT isključen i uključen tlak prije visokotlačne pumpe je bio jednak kroz gotovo cijeli raspon temperature. Jedina razlika je zamijećena na najnižoj promatranj temperaturi goriva gdje je tlak prije visokotlačne pumpe bio manji u slučaju kada je VIT bio uključen.

Povećavanjem opterećenja na 75% MCR, vidljivo je da VIT sustav održava nešto više tlakove kroz cijeli raspon temperature od slučaja u kojem je VIT isključen. Kod 100% MCR je uočljiv isti trend kao i na 75% MCR.

4.3. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA INDEKS POLUŽJA GORIVA



Slika 9. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na indeks polužja goriva pri različitim opterećenjima glavnog motora

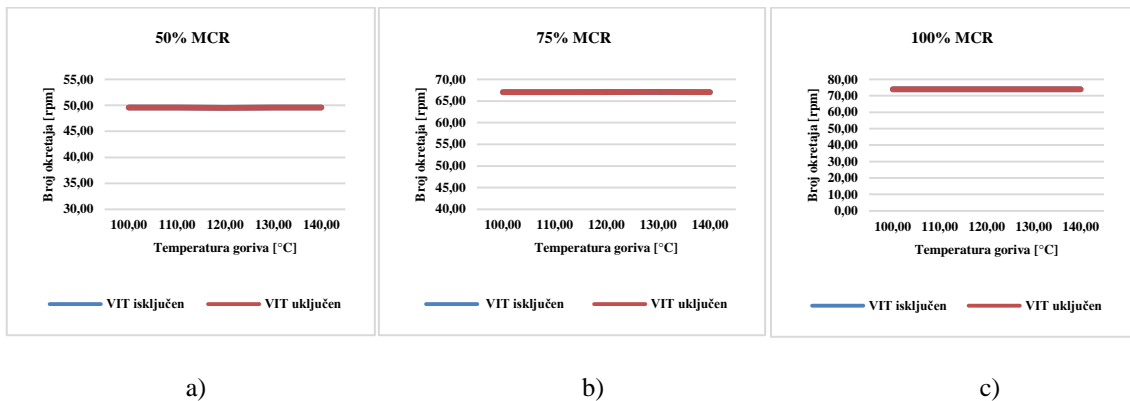
Indeks, odnosno položaj letve goriva direktno je vezan s opterećenjem, te ima izravan utjecaj na potrošnju.

Na 50% MCR-a, vidljivo je da s padom temperature goriva, u slučaju s isključenim VIT-om indeks raste, a s uključenim VIT-om blago pada. S rastom temperature goriva, kad je VIT isključen indeks pada, a kad je VIT uključen indeks varira.

Na 75% MCR-a je uočljiv trend da u slučaju gdje je isključen VIT, s porastom temperature raste i indeks, dok je u slučaju s uključenim VIT-om indeks gotovo konstantan i značajno niži nego u slučaju gdje je VIT isključen, kroz cijeli raspon temperatura goriva.

Na 100% MCR-a, indeks u slučaju s uključenim VIT-om više varira, te su zabilježene niže vrijednosti nego u slučaju gdje je VIT bio isključen. Iz ovoga se može zaključiti da neovisno o temperaturi goriva promjena početka ubrizgavanja optimizira rad motora i direktno utječe na smanjenje indeksa VT pumpi za isto opterećenje motora. Time se direktno utječe na smanjenje potrošnje goriva, što ima direktan utjecaj na smanjenje CO₂.

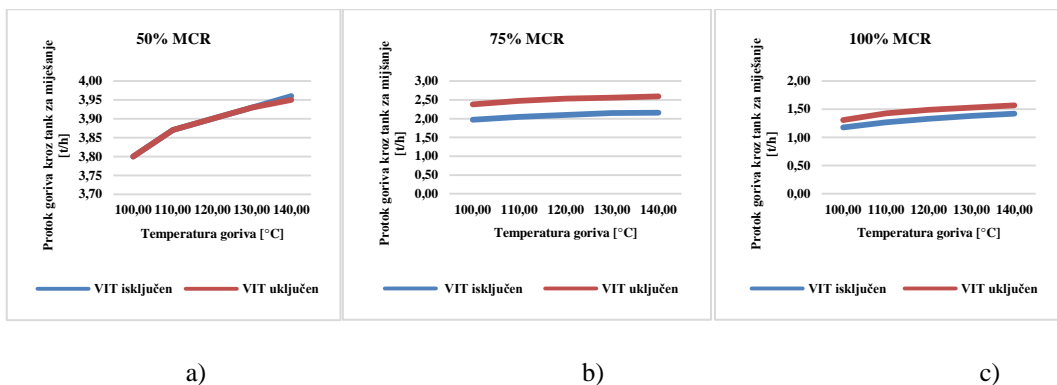
4.4. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA BRZINU VRTNJE GLAVNOG MOTORA



Slika 10. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na brzinu vrtnje glavnog motora pri različitim opterećenjima glavnog motora

Promatrajući brzinu vrtnje glavnog motora s isključenim i uključenim VIT-om, kroz sva promatrana opterećenja (50% MCR, 75% MCR i 100%) i raspon temperatura, vidljivo je da je motor uspjevao održavati konstantan zadani broj okretaja.

4.5. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA PROTOK GORIVA KROZ TANK ZA MIJEŠANJE



Slika 11. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na protok goriva kroz tank za miješanje pri različitim opterećenjima glavnog motora

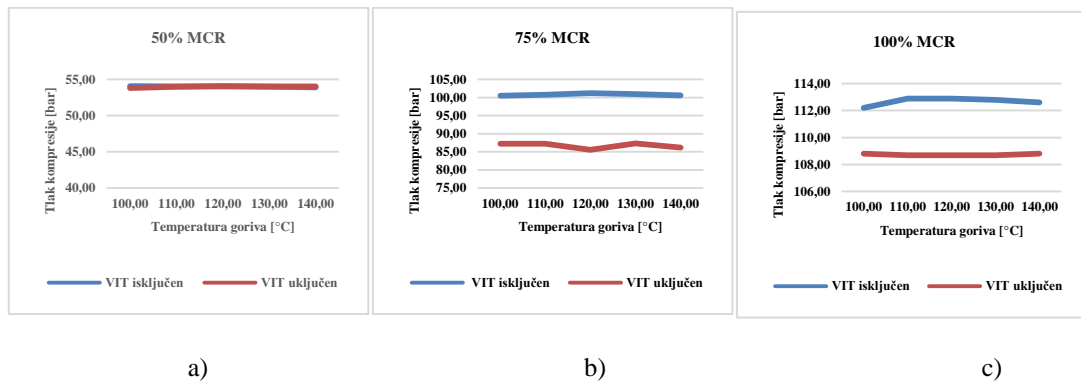
Na 50% MCR-a, u oba slučaja, s isključenim i uključenim VIT-om, uočljiv je trend da je s padom temperature, odnosno viskoziteta goriva, padao i protok kroz tank za miješanje.

Na 75% MCR-a, u oba slučaja, s isključenim i uključenim VIT-om, protok goriva kroz tank za miješanje imao je blagi rast s porastom temperature goriva, no u slučaju kada je VIT bio uključen, veći protok kroz tank za miješanje je direktna posljedica

manje potrošnje goriva na motoru. Budući da cirkulacijske pumpe imaju konstantnu dobavu, povećava se količina goriva koja se ne ubrizga, odnosno ona koja se vraća u tank.

Na 100% MCR-a, u oba slučaja, s isključenim i uključenim VIT-om, protok goriva kroz tank za miješanje imao je blagi rast s rastom temperature goriva, no razlika u protoku je bila manja nego na 75% MCR-a.

4.6. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA TLAK KOMPRESIJE



Slika 12. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na tlak kompresije pri različitim opterećenjima glavnog motora

Tlak kompresije je parametar vezan uz tlak koji stap stvori na putu od DMT do GMT u taktu kompresije

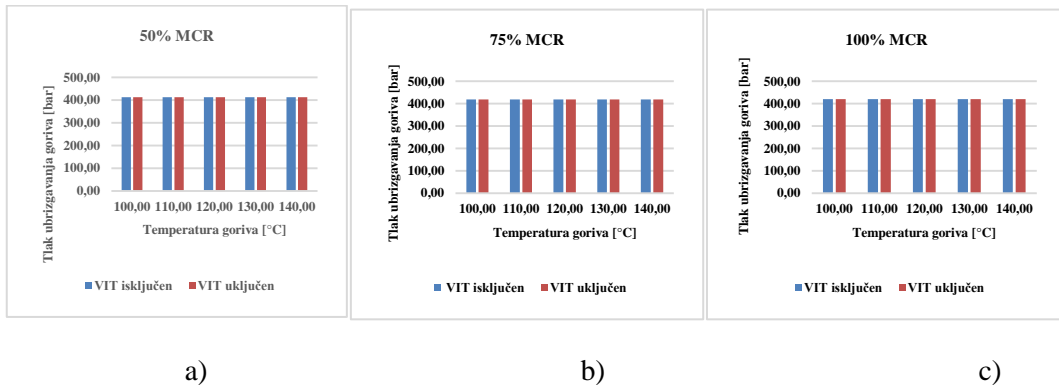
Na 50% MCR-a, vidljivo je da je tlak kompresije bio jednak kroz cijeli raspon temperatura, neovisno o uključenosti VIT sustava.

Na višim opterećenjima, 75% MCR-a i 100% MCR-a, u svim mjerenjima gdje je VIT bio uključen zabilježen je niži tlak kompresije, neovisno o temperaturi goriva.

Uzrok pada tlaka kompresije je posljedica glavne funkcija VIT-a. Naime, pomicanjem početka ubrizgavanja goriva ranije pomiče se i sam početak izgaranja ranije. Posljedica toga je porast maksimalnog, odnosno srednjeg indiciranog tlaka izgaranja.

U trenutku otvaranja ispušnog ventila, tlak i temperatura ispušnih plinova koji pogone turbo-puhalo su niži. Samim time pada snaga turbo-puhala što dovodi do usisavanja manje količine zraka i samim time, pada tlaka kompresije.

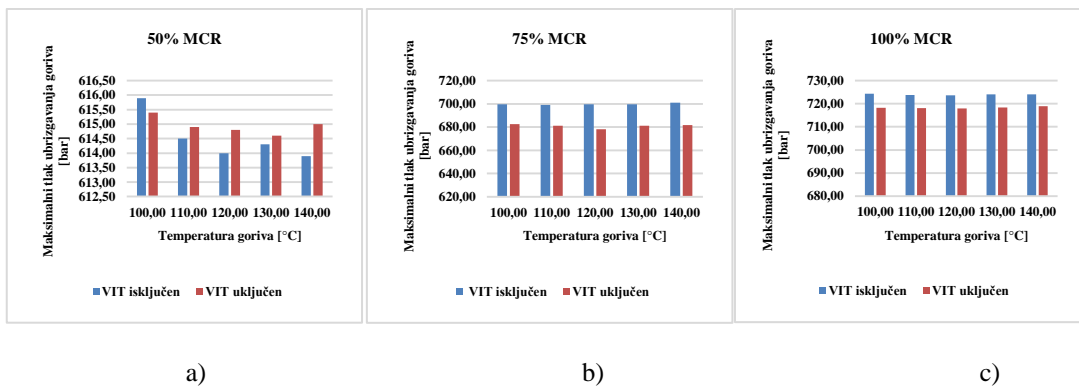
4.7. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA TLAK UBRIZGAVANJA GORIVA



Slika 13. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na tlak otvaranja rasprskaa pri različitim opterećenjima glavnog motora

Tlak otvaranja rasprskaa je direktno vezan uz karakteristiku opruge rasprskaa. Na temelju toga, te promatranja i analize dijagrama, donesen je zaključak da izvedene promjene temperature goriva, kao ni isključenost/uključenost VIT-a nisu imale nikakvog utjecaja na tlak ubrizgavanja goriva.

4.8. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA MAKSIMALNI TLAK UBRIZGAVANJA GORIVA



Slika 14. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na maksimalni tlak ubrizgavanja goriva pri različitim opterećenjima glavnog motora

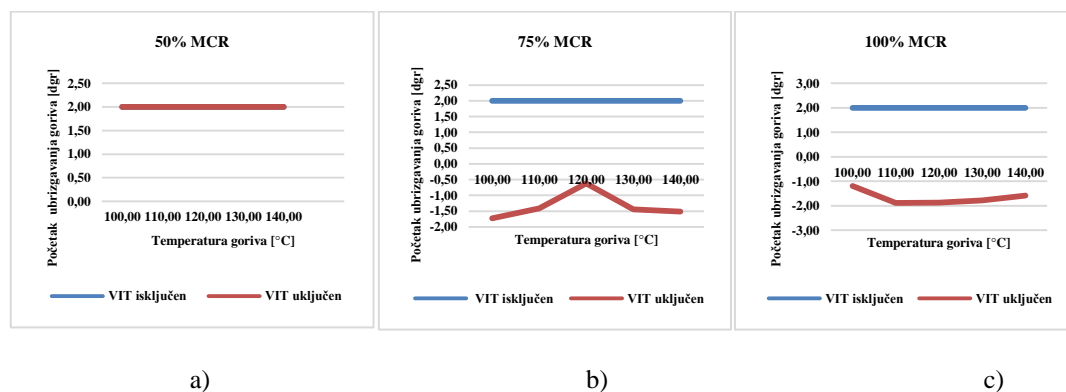
Maksimalni tlak ubrizgavanja goriva ovisi o karakteristikama VT pumpe i brzini vrtnje glavnog motora. Inače, što je temperatura goriva niža, odnosno gustoća veća, VTP ima manje propuštanja pa može postići na istoj brzini vrtnje glavnog motora veći maksimalni tlak ubrizgavanja. S druge strane, preniska temperatura goriva uzrokuje prevelik viskozitet koji može dovesti do zaribavanja pumpe kao preniski zbog

nedostatka podmazivanja. Upravo je iz tog razloga važno održavati temperaturu unutar propisanih granica.

Na 50% MCR-a, osim na najnižoj temperaturi goriva, najviši tlak koji je visokotlačna pumpa goriva uspjela razviti je zabilježen u slučajevima kada je VIT sustav bio uključen.

Na 75% MCR-a i 100% MCR-a, vidljivo je da neovisno o temperaturi goriva, postignuti maksimalni tlak ubrizgavanja je bio 10-20 bar-a viši kada je VIT bio isključen iz razloga što u slučaju kada je VIT uključen, VT pumpe dobavljaju manje goriva u motor i samim time dobava završi ranije – na manjem maksimalnom tlaku.

4.9. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA POČETAK UBRIZGAVANJA GORIVA



Slika 15. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na početak ubrizgavanja goriva pri različitim opterećenjima glavnog motora

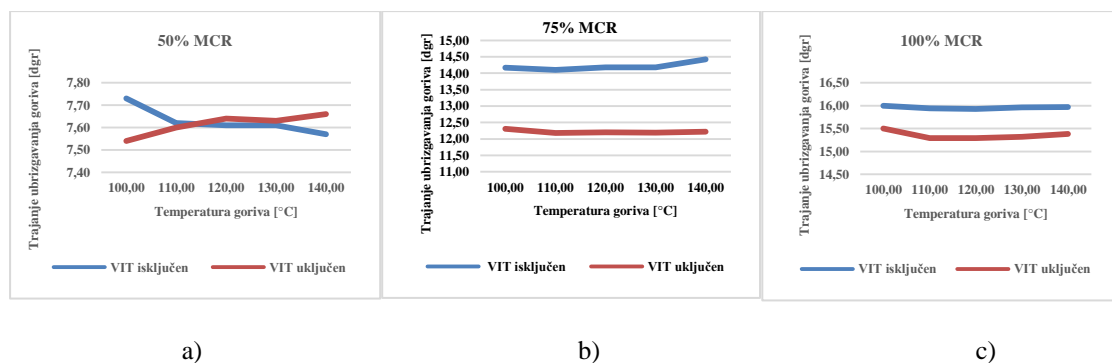
Pomicanje početka ubrizgavanja je glavna zadaća VIT-a, te upravo na taj način omogućava održavanje maksimalnih, odnosno srednjih indiciranih tlakova na višim vrijednostima od slučaja kada je VIT isključen. To poboljšanje performansi se očitava u smanjenoj potrošnji i povećanoj snazi motora.

Na 50% MCR-a nije zabilježena nikakva promjena početka ubrizgavanja goriva, neovisno o uključenosti VIT-a i promjeni temperature goriva, stoga se budi sumnja da je na nižem opterećenju kao što je 50% MCR VIT sustav je uključen, ali neaktivan iz razloga što na nikakav način ne utječe na početak ubrizgavanja goriva, čak ni prilikom promjena temperature goriva.

Na 75% MCR-a je vidljivo da se uključivanjem VIT-a, prilikom podizanja i spuštanja temperature, početak ubrizgavanja pomicao ranije. Također je vidljivo da se kod spuštanja temperature goriva početak ubrizgavanja pomiče u ranije više nego kod dizanja temperature goriva, iz razloga što prilikom pada temperature goriva pada viskozitet, a to produljuje vrijeme ubrizgavanja, te se samim time javlja potreba za ranijim početkom ubrizgavanja radi pravovremenog stvaranja gorive smjese.

Na 100% MCR-a ubrizgavanje goriva kad se nalazi na najnižoj temperature počinje kasnije nego na 75% MCR-a. Nakon toga, čim se gorivo ugrije, ubrizgavanje počinje ranije. Daljnjim grijanjem goriva, trenutak ubrizgavanja se počne pomicati unazad.

4.10. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA TRAJANJE UBRIZGAVANJA GORIVA

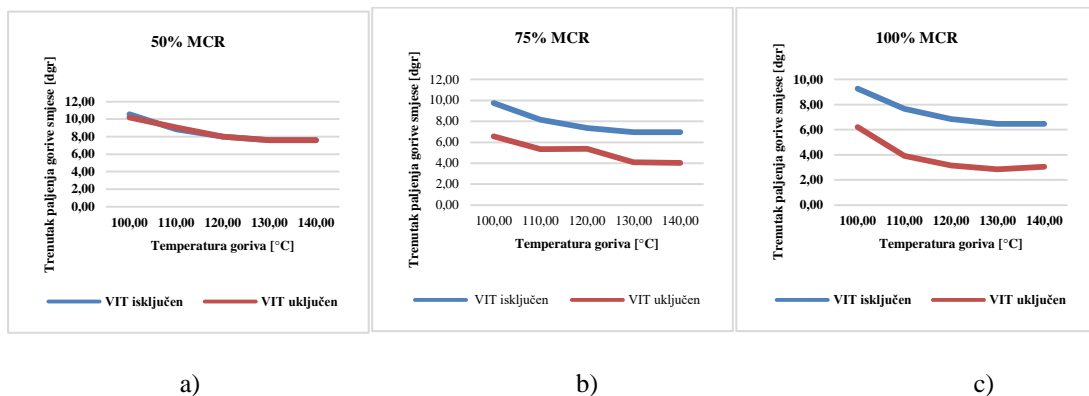


Slika 16. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na trajanje ubrizgavanja goriva

Na 50% MCR-a, kad je VIT uključen, trajanje ubrizgavanja goriva pri nižim temperaturama goriva traje kraće od slučaja kada je VIT isključen. Nakon podizanja temperature goriva, ubrizgavanje s uključenim VIT-om se produžuje, dok se u slučaju s isključenim VIT-om skraćuje.

Na 75% MCR-a i 100% MCR-a, neovisno o temperaturi goriva, uključivanjem VIT-a se skraćuje trajanje ubrizgavanja goriva. Trajanje ubrizgavanja goriva ima izravan utjecaj na količinu goriva koja se ubrizgava u cilindar, odnosno potrošnju goriva, stoga ne čudi što su vrijednosti specifične potrošnje goriva mjerene s uključenim VIT-om (na 75% MCR-a i 100% MCR-a) bile niže od onih gdje je VIT bio isključen.

4.11. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA TRENUTAK PALJENJA GORIVE SMJESE

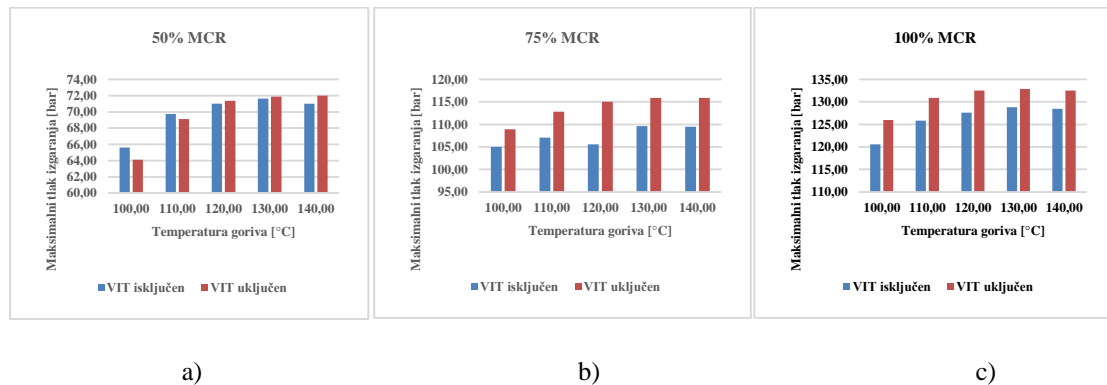


Slika 17. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na trenutak paljenja gorive smjese pri različitim opterećenjima glavnog motora

Na 50% MCR-a, neovisno o promjeni temperature goriva, trenutak paljenja je bio isti u slučaju kada je VIT bio uključen i isključen.

Promatrajući dijagrame (75% MCR i 100% MCR), vidljivo je da je u oba slučaja gdje je VIT bio uključen, paljenje gorive smjese počelo 1-3 stupnja osnog okreta koljena ranije nego kada je VIT bio isključen. Spuštanjem temperature goriva, trenutak paljenja pomicao se sve kasnije nakon GMT iz razloga što je radi niske temperature i povišenog viskoziteta gorivo je kasnije ubrizgano u cilindar, kao što je i atomizacija lošija pa samim time i paljenje smjese kasni.

4.12. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA MAKSIMALNI TLAK IZGARANJA

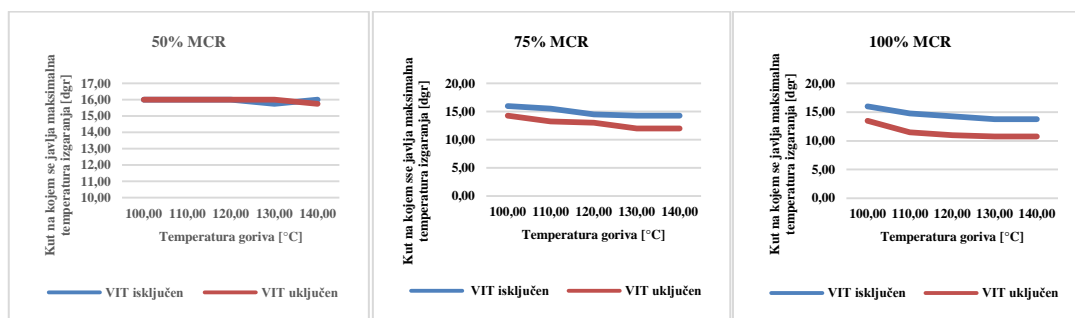


Slika 18. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a I temperature goriva na maksimalni tlak izgaranja pri različitim opterećenjima glavnog motora

Na 50% MCR-a, maksimalni tlak izgaranja je bio viši na nižim temperaturama u slučaju s isključenim VIT-om, a viši u slučaju s uključenim VIT-om pri višim temperaturama goriva.

Na višim opterećenjima, 75% MCR-a i 100% MCR-a, radi pomicanja početka ubrizgavanja goriva unaprijed (ubrizgavanje počinje ranije), pomiče se i trenutak paljenja gorive smjese, te se samim time stvore uvjeti da se uspije razviti veći maksimalni tlak izgaranja. Upravo to i je jedna od glavnih funkcija VIT-a. Rastom maksimalnog tlaka izgaranja podiže se srednji indicirani tlak, što rezultira povećanjem indicirane snage za istu količinu goriva.

4.13. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA KUT NA KOJEM SE JAVLJA MAKSIMALNA TEMPERATURE IZGARANJA



a)

b)

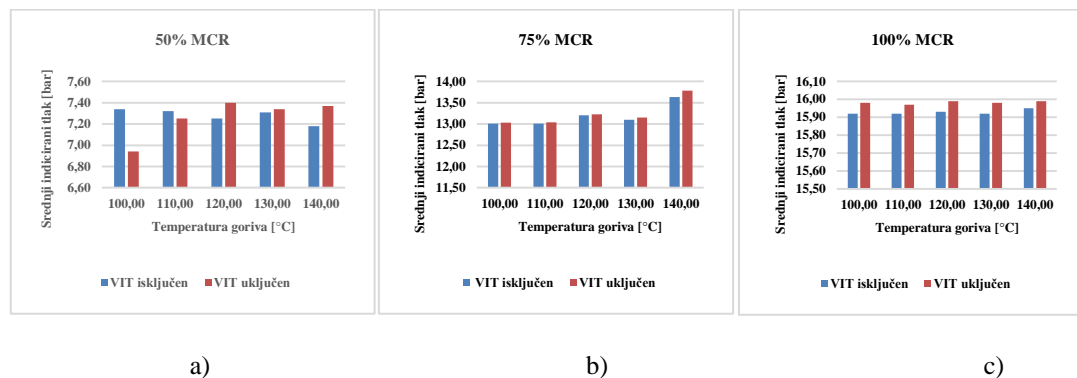
c)

Slika 19. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na kut na kojem se javlja maksimalna temperatura izgaranja pri različitim opterećenjima glavnog motora

Na 50% MCR-a je maksimalna temperatura izgaranja zabilježena na istom kutu osnovnog koljena, neovisno o promjeni temperature goriva i tome je li VIT bio isključen ili uključen.

Analizom i usporedbom dijagrama na 75% MCR-a i 100% MCR-a, vidljivo je da se prilikom povećanja opterećenja (s 75% na 100 MCR-a), povećala razlika, odnosno VIT sustav (kad je bio uključen) je postao efikasniji na način da je omogućio ranije postizanje maksimalne temperature izgaranja, što je izrazito važno za ostvarivanje potpunog izgaranja gorive smjese. Također je vidljivo da se je u oba slučaja podizanjem temperature goriva maksimalna temperatura izgaranja javljala prije.

4.14. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA SREDNJI INDICIRANI TLAK



Slika 20. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na srednji indicirani tlak pri različitim opterećenjima glavnog motora

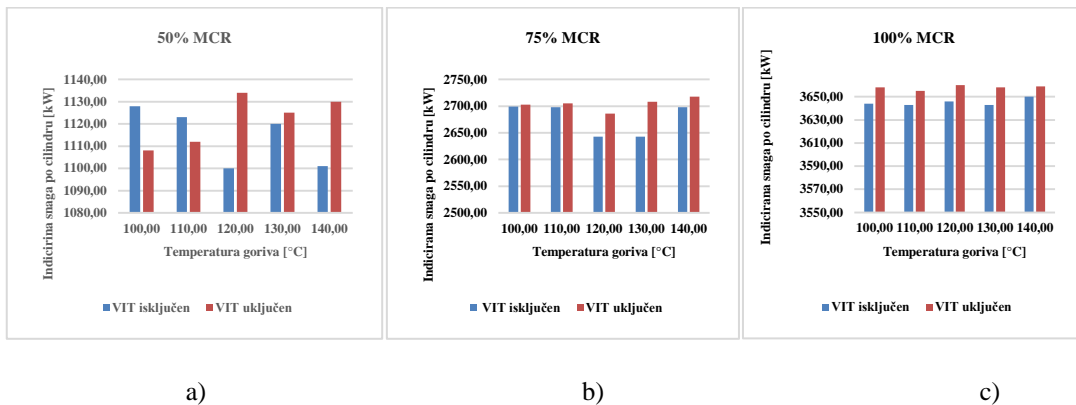
Srednji indicirani tlak je zamišljeni srednji tlak tijekom cijelog radnog ciklusa. On uključuje kompresiju i ekspanziju, a dobiva se matematičkim izračunom iz zatvorenog indiciranog dijagrama.

Zadaća VIT sustava je održavanje srednjeg indiciranog tlaka na najvišoj dopuštenoj razini upravo iz razloga što je srednji indicirani tlak direktno vezan uz snagu motora, koju možemo izračunati umnoškom srednjeg indiciranog tlaka, radnog volumena cilindra i broja okretaja motora.

Na 50% MCR-a, srednji indicirani tlak je varirao – na nižim temperaturama goriva je bio viši u slučaju kada je VIT isključen, dok je na višim temperaturama goriva zabilježen viši srednji indicirani tlak u slučaju kada je VIT uključen.

Na višim opterećenjima, 75% MCR-a i 100% MCR-a, u svim slučajevima gdje je VIT bio uključen, neovisno o temperaturi goriva, zabilježen je viši srednji indicirani tlak.

4.15. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA INDICIRANU SNAGU MOTORA (PO CILINDRU)

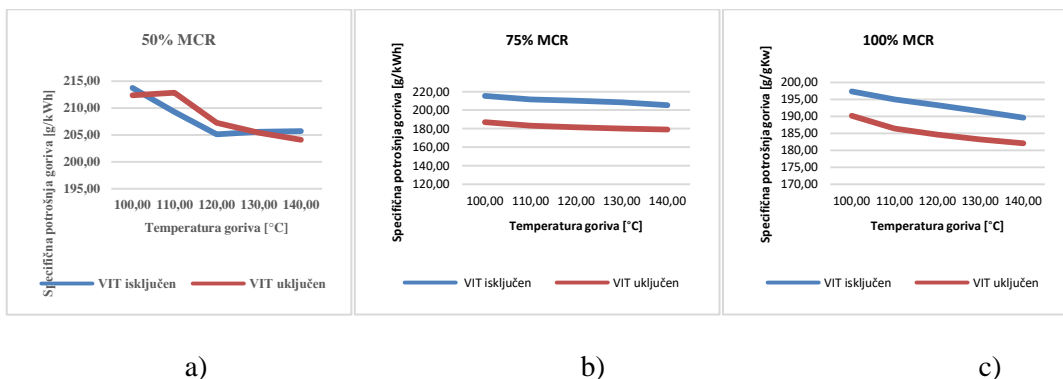


Slika 21. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na indiciranu snagu motora pri različitim opterećenjima glavnog motora

Na 50% MCR-a, uključivanjem VIT-a se indicirana snaga povećala na višim temperaturama goriva (120 °C, 130 °C, 140 °C), dok je na nižim temperaturama goriva (100 °C, 110 °C) indicirana snaga bila veća u slučaju s isključenim VIT-om.

Na 75% MCR-a i 100% MCR-a, zabilježena je veća indicirana snaga u svim mjerenjima odrađenim s uključenim VIT-om, neovisno o temperaturi goriva.

4.16. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA SPECIFIČNU POTROŠNJA GORIVA

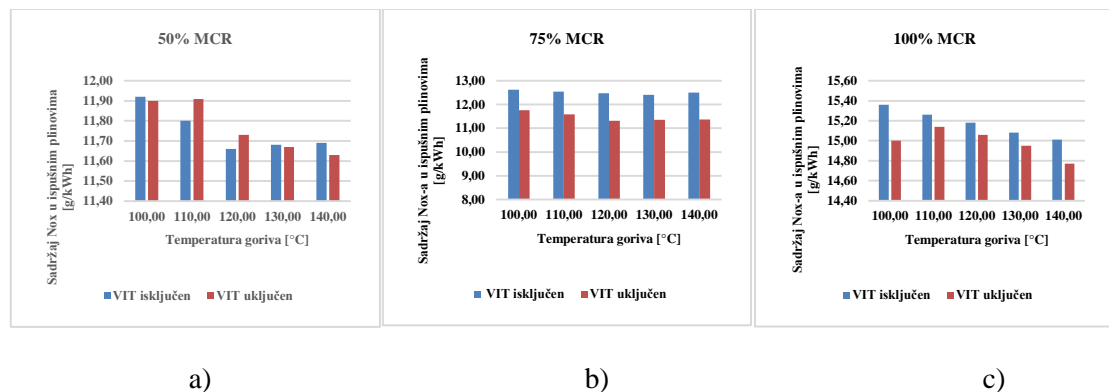


Slika 22. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na specifičnu potrošnju goriva pri različitim opterećenjima glavnog motora

Uključivanjem VIT-a na 50% MCR-a, specifična potrošnja je spuštena samo u slučajevima gdje je temperature goriva bila najviša ili najniža. U ostalim mjerenjima je niža potrošnja zabilježena kada je VIT bio isključen.

Na 75% MCR-a 100% MCR-a, kroz cijeli raspon temperature uključeni VIT sustav je održavao specifičnu potrošnju goriva značajno nižu od slučaja kada je bio isključen.

4.17. UTJECAJ VIT-A I TEMPERATURE GORIVA NA UDIO NOX-A U ISPUŠNIM PLINOVIMA



Slika 23. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na udio NOx-a u ispušnim plinovima pri različitim opterećenjima glavnog motora

Na 50% MCR-a nisu uočene značajnije razlike. Udio NOx-a u ispušnim plinovima varira neovisno o uključenosti VIT-a.

Na 75% MCR-a, te 100% MCR-a, neovisno o temperature goriva, u slučaju s uključenim VIT-om, zabilježene su niži udjeli NOx-a u ispušnim plinovima nego u slučaju kada je VIT bio isključen.

5. ZAKLJUČAK

Uloga VIT sustava je nezamjenjiva kada je riječ o ispunjavanju sve većih zahtjeva vezanih za eksploataciju broda, kao što je smanjivanje potrošnje goriva i postizanje veće snage kroz cijeli raspon opterećenja, a pogotovo na manjim opterećenjima od 100% MCR-a gdje bez VIT-a nije moguće održavanje srednjih, odnosno maksimalnih indiciranih tlakova na najvišoj dopuštenoj razini.

Temperatura je jedna od, ako ne i najvažnija fizikalna veličina koju vežemo za gorivo iz razloga što izravno utječe na veliki broj drugih fizikalnih svojstava goriva. Upravo zato je vrlo važno temperature goriva držati pod kontrolom, no u slučaju gdje to nije moguće, VIT sustav ima nezamjenjivu ulogu iz razloga što promjenom tempiranja ubrizgavanja goriva znatno povećava iskoristivost motora.

Zaključci doneseni na temelju provođenja simulacija utjecaja VIT-a i promjene temperature goriva na parametre rada glavnog motora:

- Na 50% MCR-a, VIT sustav je uključen, ali nije aktivan,
- VIT nema nikakav utjecaj na viskozitet goriva, već samo temperatura,
- VIT podiže tlak goriva prije visokotlačne pumpe goriva,
- VIT smanjuje indeks polužja goriva, što ima izravan utjecaj na potrošnju goriva (smanjuje ju),
- VIT nema nikakav utjecaj na brzinu vrtnje glavnog motora,
- VIT smanjuje tlak kompresije,
- Tlak otvaranja rasprskavača ne ovisi ni o VIT-u, ni o temperaturi goriva. On je isključivo vezan za karakteristiku opruge rasprskavača,
- Uključivanjem VIT-a se smanjuje maksimalni tlak ubrizgavanja goriva,
- Neovisno o padu ili rastu temperature goriva, VIT je pomicao početak ubrizgavanja ranije,
- U slučaju s uključenim VIT-om, trajanje ubrizgavanja je gotovo jednako kroz cijeli raspon temperature goriva,
- S porastom temperature goriva, trenutak paljenja gorive smjese se pomicao sve bliže GMT,
- VIT sustav je kroz cijeli raspon temperature održavao viši maksimalni tlak izgaranja,

- U slučaju s uključenim VIT-om, neovisno o promjeni temperature goriva, maksimalna temperatura izgaranja se postizala ranije nego kada je VIT bio isključen,
- VIT je kroz cijeli raspon temperatura goriva uspješno održavao viši srednji indicirani tlak od slučaja kada je bio isključen,
- Indicirana snaga motora je bila viša u slučaju gdje je VIT bio uključen, neovisno o promjeni temperature goriva,
- Specifična potrošnja goriva je bila značajno niža s uključenim VIT-om, neovisno o promjeni temperature goriva,
- Uključivanjem VIT-a, udio NO_x-a u ispušnim plinovima je smanjen kroz cijeli raspon temperatura goriva.

LITERATURA

1. Priručnik za rad na simulatoru:
https://www.pfri.uniri.hr/web/dokumenti/uploads_nastava/20180302_093441_bernecic_Engine_room_Simulator_MAN_B.W_5L90MC.L11_Mach_.Operation.pdf
2. <https://shipandbunker.com/download/Paper%200.50-s-fuel-operation-2020%20MAN%20ES%202-S.pdf>
3. Instrukcijska knjiga MAN B&W G90ME-C10.5GI MAN Energy solutions
4. <https://marine.wfscorp.com/sites/default/files/d7/documents/sites/default/files/ISO-8217-2017-Tables-1-and-2-1-1.pdf>
5. <https://marinerspointpro.com/what-is-a-cetane-number/>
6. <https://www.marineinsight.com/tech/understanding-hot-cold-corrosion-marine-engines/>
7. <https://marineinbox.com/marine-exams/man-bw-super-vit/>
8. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6a/Residual_fuel_oil.JPG

POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz sustava goriva glavnog motora [1].....	3
Slika 2. Visokotlačni sustav goriva glavnog motora [1]	5
Slika 3. Cilindar br. 1 glavnog motora [1]	6
Slika 4. VIT dijagram [1].....	7
Slika 5. Otvoreni indikatorski dijagram (promjena tlaka u cilindru u odnosu na kut koljenastog vratila) [1]	8
Slika 6. Teško gorivo [7].....	10
Slika 7. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na viskozitet goriva pri različitim opterećenjima glavnog motora.....	15
Slika 8. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na tlak goriva prije visokotlačne pumpe goriva pri različitim opterećenjima glavnog motora	15
Slika 9. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na indeks polužja goriva pri različitim opterećenjima glavnog motora.....	16
Slika 10. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na brzinu vrtnje glavnog motora pri različitim opterećenjima glavnog motora	17
Slika 11. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na protok goriva kroz tank za miješanje pri različitim opterećenjima glavnog motora.....	17
Slika 12. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na tlak kompresije pri različitim opterećenjima glavnog motora.....	18
Slika 13. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na tlak otvaranja rasprskavača pri različitim opterećenjima glavnog motora.....	19
Slika 14. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na maksimalni tlak ubrizgavanja goriva pri različitim opterećenjima glavnog motora	19
Slika 15. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na početak ubrizgavanja goriva pri različitim opterećenjima glavnog motora	20
Slika 16. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na trajanje ubrizgavanja goriva.....	21
Slika 17. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na trenutak paljenja gorive smijese pri različitim opterećenjima glavnog motora	22
Slika 18. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na maksimalni tlak izgaranja pri različitim opterećenjima glavnog motora.....	23
Slika 19. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na kut na kojem se javlja maksimalna temperature izgaranja pri različitim opterećenjima glavnog motora	24
Slika 20. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na srednji indicirani tlak pri različitim opterećenjima glavnog motora.....	25
Slika 21. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na indiciranu snagu motora pri različitim opterećenjima glavnog motora.....	26
Slika 22. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na specifičnu potrošnju goriva pri različitim opterećenjima glavnog motora	26
Slika 23. a), b) i c). Prikaz utjecaja VIT-a i temperature goriva na udio NO _x -a u ispušnim plinovima pri različitim opterećenjima glavnog motora	27