

# Utjecaj kvalitete goriva na rad brodskog generatora pare

---

**Petrović, Petar Josip**

**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:187:947541>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-18**



**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](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET U RIJECI**

**PETAR JOSIP PETROVIĆ**

**UTJECAJ KVALITETE GORIVA NA RAD BRODSKOG  
GENERATORA PARE**

**ZAVRŠNI RAD**

Rijeka, 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET U RIJECI**

**UTJECAJ KVALITETE GORIVA NA RAD BRODSKOG  
GENERATORA PARE**

**INFLUENCE OF FUEL QUALITY ON THE OPERATION OF  
THE MARINE STEAM GENERATOR  
ZAVRŠNI RAD**

Kolegij: Rad na simulatoru 1

Mentor: Prof. dr. sc. Dean Bernečić

Student: Petar Josip Petrović

Studijski smjer: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112083161

Rijeka, srpanj, 2023.

Student: Petar Josip Petrović  
Studijski program: Brodostrojarstvo  
JMBAG: 0112083161

## IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom

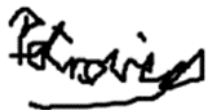
UTJECAJ KVALITETE GORIVA NA RAD BRODSKOG GENERATORA PARE

izradio samostalno pod mentorstvom

prof. dr. sc. Deana Bernečića

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

Student



---

(potpis)

Petar Josip Petrović

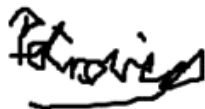
Student: Petar Josip Petrović  
Studijski program: Brodostrojarstvo  
JMBAG: 0112083161

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 - autor



---

(potpis)

Petar Josip Petrović

## **SAŽETAK**

U ovom završnom radu pod nazivom "UTJECAJ KVALITETE GORIVA NA RAD BRODSKOG GENERATORA PARE" opisane su opće stvari vezane uz goriva koje se koriste za brodske generatore pare, opisan je sustav gorača broskog generatora pare na simulatoru Kongsberg MC-90, te kroz tablice i dijagrame prikazano je kako se ponašaju produkti izgaranja goriva prilikom promjene ogrjevne vrijednosti goriva na već navedenom simulatoru.

Ključne riječi: goriva, brodski generator pare, ogrjevna vrijednost

## **SUMMARY**

In this final paper entitled " INFLUENCE OF FUEL QUALITY ON THE OPERATION OF THE MARINE STEAM GENERATOR" general matters related to the fuel oil used for marine steam generators are described, the burner system of the marine steam generator on the Kongsberg MC-90 simulator is described, and through tables and diagrams it is shown how the products of fuel combustion behave when the calorific value of the fuel is changed on the already mentioned simulator.

Keywords: fuel oil, marine steam generator, calorific value

# SADRŽAJ

<b>SAŽETAK .....</b>	<b>I</b>
<b>SADRŽAJ .....</b>	<b>II</b>
<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. GORIVA ZA BGP.....</b>	<b>2</b>
2.1. OPĆENITO .....	2
2.2. ZAHTJEVI ZA SUVREMENA GORIVA .....	2
2.3. ZNAČAJKE GORIVA ZA B.G.P. ....	4
2.3.1. KISELINSKI BROJ.....	4
2.3.2. UDIO PEPELA.....	4
2.3.3. UDIO UGLJIKA.....	4
2.3.4. UDIO SUMPORA.....	4
2.3.5. CETANSKI BROJ .....	4
2.3.6. TEMPERATURA PLAMIŠTA .....	4
2.3.7. TEMPERATURA SAMOZAPALJENJA.....	4
2.3.8. TEMPERATURA STINJAVANJA .....	5
2.3.9. TEMPERATURA VRELIŠTA.....	5
2.3.10. GUSTOĆA .....	5
2.3.11. OGRJEVNA VRIJEDNOST .....	5
2.3.12. VISKOZITET .....	5
2.3.12.1. DINAMIČKA VISKOZNOST .....	6
2.3.12.2. KINEMATSKA VISKOZNOST .....	6
2.3.12.3. RELATIVNA VISKOZNOST .....	6
<b>3. SUSTAV GORIVA ZA LOŽENI GENERATOR PARE NA SIMULATORU .....</b>	<b>7</b>
<b>4. ISPITIVANJE UTJECAJA KVALITETE GORIVA NA RAD B.G.P. ....</b>	<b>10</b>
4.1. RAD BRODSKOG GENERATORA PARE NA DIZELSKO GORIVO .....	10
4.1.1. ISPITIVANJE DIZELSKOG GORIVA PRI OGRJEVNOJ VRIJEDNOSTI OD 39 000 kJ/kg.....	11
4.1.2. ISPITIVANJE DIZELSKOG GORIVA PRI OGRJEVNOJ VRIJEDNOSTI OD 40 000 kJ/kg.....	12
4.1.3. ISPITIVANJE DIZELSKOG GORIVA PRI OGRJEVNOJ VRIJEDNOSTI OD 41 000 kJ/kg.....	13
4.2. UTJECAJ PROMJENE OGRJEVNE VRIJEDNOSTI NA PRODUKTE IZGARANJA DIZELSKOG GORIVA .....	13
4.2.1. POSTOTAK KISIKA.....	14

4.2.2. POSTOTAK DIMA .....	14
4.2.3. UDIO NO <sub>x</sub> (DUŠIKOVIH OKSIDA) U DIZELSKOM GORIVU .....	15
4.2.4. UDIO SO <sub>x</sub> (SUMPOROVIH OKSIDA) U DIZELSKOM GORIVU .....	16
4.2.5. UDIO CH (UGLJIKOVODIKA) U DIZELSKOM GORIVU.....	17
4.2.6. UDIO CO (UGLJIČNOG MONOKSIDA) U DIZELSKOM GORIVU.....	18
4.2.7. UDIO CO <sub>2</sub> (UGLJIČNOG DIOKSIDA) U DIZELSKOM GORIVU .....	19
4.3. RAD BRODSKOG GENERATORA PARE NA TEŠKO GORIVO (HFO) .....	20
4.3.1. ISPITIVANJE TEŠKOG GORIVA PRI OGRJEVNOJ VRIJEDNOSTI OD 39 000 kJ/kg.....	21
4.3.2. ISPITIVANJE TEŠKOG GORIVA PRI OGRJEVNOJ VRIJEDNOSTI OD 40 000 kJ/kg.....	22
4.3.3. ISPITIVANJE TEŠKOG GORIVA PRI OGRJEVNOJ VRIJEDNOSTI OD 41 000 kJ/kg.....	22
4.4. UTJECAJ PROMJENE OGRJEVNE VRIJEDNOSTI NA PRODUKTE IZGARANJA TEŠKOG GORIVA .....	23
4.4.1. POSTOTAK KISIKA U TEŠKOM GORIVU.....	23
4.4.2. POSTOTAK DIMA U TEŠKOM GORIVU .....	24
4.4.3. UDIO NO <sub>x</sub> U IZGARANJU TEŠKOG GORIVA .....	24
4.4.4. UDIO SO <sub>x</sub> U IZGARANJU TEŠKOG GORIVA .....	25
4.4.5. UDIO CH U IZGARANJU TEŠKOG GORIVA.....	26
4.4.6. UDIO CO U IZGARANJU TEŠKOG GORIVA.....	27
4.4.7. UDIO CO <sub>2</sub> U IZGARANJU TEŠKOG GORIVA.....	28
<b>5. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>30</b>
<b>POPIS TABLICA.....</b>	<b>32</b>
<b>POPIS GRAFIKONA .....</b>	<b>33</b>
<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>34</b>



## 1. UVOD

Loženi brodski generator pare (B.G.P.) je uređaj koji izgaranjem dizelskog ili teškog goriva oslobađa veliku količinu topline koja se prenosi na vodu i ona polagano postaje para. B.G.P. se sastoji od vodenog i parnog bubnja, pregrijača „superheatera“, isparivača „evaporator“, zagrijača „economizer“, ložišta, gorača, zagrijača zraka te zaporne, sigurnosne, mjerne i regulacijske armature .

B.G.P. se najprije upućuje dizelskim gorivom budući da njega nije potrebno prethodno grijati. U praksi B.G.P. se upućuje do nekoliko sati na način da se gorač odmah nakon upućivanja ugasi kako ne bi došlo do prevelikog termalnog šoka na cijevi kroz koje para cirkulira i kako bi se one postepeno zagrijavale. Nakon što se parom proizvedenom izgaranjem dizelskog goriva dovoljno zagrije teško gorivo, B.G.P. se polagano prebacuje na teško gorivo.

Teško gorivo je primarna opcija za izgaranje jer je ono puno isplativije nego dizelsko jer je dizelsko gorivo puno skuplje, ali i kvalitetnije. Dizelsko gorivo se izgara u generatoru pare samo kod prvog upućivanja dok teško gorivo nije zagrijano.

U ovom radu bit će prikazano kako se ponašaju produkti izgaranja kroz dva različita režima rada i promjenom kvalitete goriva odnosno ogrjevnosti. Ispitivanje je obavljeno na Kongsberg simulatoru MC-90. Ispituje se dizelsko i teško gorivo na režimu rada od 7 bara i 10 bara. Rezultati će biti prikazani unutar tablica i zatim će produkti izgaranja biti zasebno postavljeni u dijagrame i biti će objašnjeno kako se ponašaju pri različitim režimima rada B.G.P.-a i različitim ogrjevnim vrijednostima i na temelju ispitivanja pokušat će se izvesti zaključci.

## 2. GORIVA ZA BGP

### 2.1. Općenito

Sve vrste goriva stvaraju energiju izgaranjem. Izgaranjem goriva oslobađa se velika količina topline, koja se može koristiti za proizvodnju pare u brodskim generatorima pare [1].

Pri izgaranju goriva oslobađa se količina topline koja je definirana specifičnom energijom goriva, a izražava se u MJ/kg [1].

U ovom slučaju izgaranjem goriva u ložištu broskog generatora pare stvara se para koja služi za grijanje raznih medija poput vode, goriva ulja za podmazivanje itd.

### 2.2. Zahtjevi za suvremena goriva

U skupinu goriva za loženje pripadaju goriva koja se koriste pri loženju generatora pare u pomorstvu ili na kopnu. Ta su goriva prikazana u tablici, a razvrstana su prema standardu ASTM D-396[2]. ASTM International je američka organizacija za standardiziranje koja razvija i objavljuje tehničke standarde za širok raspon materijala, proizvoda, sustava i usluga.

Tablica 1. Vrste teškog goriva prema standardu ASTM D-396 [2]

Vrste teškog goriva	Primjena
No. 1	kod gorača generatora pare
No. 2	kod industrijskih gorača generatora pare i kućanskih gorača
No. 4 lagani	kod gorača pod tlačnim ubrizgavanjem; gorivo ima nisku točku tečenja
No. 4	kod gorača s tlačnim ubrizgavanjem; gorivo je teški destilat
No. 5 lagani	kod gorača za ostatna goriva; gorivo s niskom točkom tečenja
No. 5 teški	kod gorača za ostatna goriva
No. 6 ili "bunker C"	kod gorača za ostatnih goriva; vrlo viskozno gorivo koje prije uporabe treba zagrijavati

Budući da danas postoji prijetnja od globalnog zatopljenja standardi za goriva su puno stroži što čini ASTM standard malo *zastarjelim*, pa u pomorstvu standardi za goriva na brodu se ravnaju prema ISO ili “International Organization for Standardization”. Danas je na snazi standard ISO 8217 koji kaže da sva goriva bila dizelska ili teška ne smiju imati više od 0,50 % sumpora pri izgaranju [3].

Tablica 2. Standardi za dizelska goriva prema ISO 8217 [3]

Test	Mjerna jedinica	Granice	Vrsta dizel goriva						
			DMX	DMA	DFA	DMZ	DFZ	DMB	DFB
Viskoznost pri 40°C	mm <sup>2</sup> /s (cSt)	max.	5.500	6.000	6.000	6.000	6.000	11.00	11.00
		min.	1.400	2.000	2.000	3.000	3.000	2.000	2.000
Gustoća pri 15°C	kg/m <sup>3</sup>	max.	-	890	890	890	890	900	900
Cetanski broj	-	min.	45	40	40	40	40	35	35
Sumpor	masa u %	max.	1	1	1	1	1	1,5	1,5
Temperatura plamišta	°C	min.	43	60	60	60	60	60	60
Kiselnski broj	mg KOH/g	max.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Udio ugljika	masa u %	max.	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Temperatura stišništa	°C	max.	-16	-	-	-	-	-	-
Udio vode	volumen u %	max.	-	-	-	-	-	0.30	0.30
Udio pepela	masa u %	max.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Tablica 3. Standardi za teško gorivo prema ISO 8217 [3]

Test	Mjerna jedinica	Granice	Vrsta teškog goriva										
			RMA 10	RMB 30	RMD 80	RME 180	RMG 180	RMG 380	RMG 500	RMG 700	RMK 380	RMK 500	RMK 700
Viskoznost pri 40°C	mm <sup>2</sup> /s (cSt)	max.	10	30	80	180	180	380	500	700	380	500	700
Gustoća pri 15°C	kg/m <sup>3</sup>	max.	920	960	975	991	991	991	991	991	1010	1010	1010
Temperatura plamišta	°C	min.	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Kiselnski broj	mg KOH/g	max.	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Udio ugljika	masa u %	max.	2,5	10	14	15	18	18	18	18	20	20	20
Temperatura tečenja	°C	max.	0	0	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Udio vode	volumen u %	max.	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Udio pepela	masa u %	max.	0,04	0,07	0,07	0,07	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,15	0,15
Udio vanadija	mg/kg	max.	50	150	150	150	350	350	350	350	450	450	450

## **2.3. Značajke goriva za b.g.p.**

### **2.3.1. Kiselinski broj**

Sva goriva imaju prirodni kiselinski broj, međutim goriva s visokim kiselinskim brojem koja proizlaze iz kiselih spojeva mogu uzrokovati ubrzano oštećenje [1].

### **2.3.2. Udio pepela**

Udio pepela je mjera anorganskih nezapaljivih komponenti prisutnih u gorivu, bilo svojstvenih gorivu ili kao onečišćenje [1].

### **2.3.3. Udio ugljika**

Udio ugljika utvrđuje se laboratorijskim testom koji se izvodi pod određenim smanjenim dovodom zraka [2].

### **2.3.4. Udio sumpora**

Sumpor se izražava u masenim udjelima i uvodi se u sve standarde jer ima dalekosežne posljedice u uporabi svih vrsta dizelskih i teških goriva. Sumpor postoji u spojevima ugljikovodika u nafti u obliku sulfida i bisulfida [2].

Udio sumpora u gorivima se kreće od 0% (alkoholi) do 5% (brodska ostatna goriva) [1].

### **2.3.5. Cetanski broj**

Cetanski broj je pokazatelj kvalitete dizelskog goriva. Što je bolja zapaljivost goriva, kašnjenje je paljenja manje, a cetanski broj veći. Utvrđivanje cetanskog broja nekoga goriva obavlja se usporedbom izgaranja s referentnim gorivom pod istim uvjetima.

### **2.3.6. Temperatura plamišta**

Temperatura plamišta je temperatura pri kojoj se pare goriva zapale kada dođe u dodir s iskrom ili otvorenim plamenom [2].

### **2.3.7. Temperatura samozapaljenja**

Temperatura samozapaljenja najniža je temperatura na kojoj se gorivo zapali uz prisutnost zraka i pri odsutnosti izvora paljenja [2].

### 2.3.8. Temperatura stinjanja

Temperatura stinjanja je temperatura pri kojoj gorivo gubi sposobnost tečenja [2].

### 2.3.9. Temperatura vrelišta

Temperatura vrelišta je temperatura na kojoj neka tvar prelazi iz tekućeg u plinovito agregatno stanje [2].

### 2.3.10. Gustoća

Goriva dobivena iz sirove nafte s manjom gustoćom imaju veći postotak vodika, veću ogrjevnu moć i bolju zapaljivost. Kod tekućih i plinovitih goriva koristi se pojam relativna gustoća ( $\rho_r$ ). Za tekuća goriva te plinovita goriva u tekućem stanju relativna gustoća predstavlja odnos gustoće toga goriva i gustoće vode pri istim uvjetima, a za plinovita goriva u plinovitom stanju odnos gustoće tog goriva i gustoće zraka pri normalnim uvjetima [2].

### 2.3.11. Ogrjevna vrijednost

Ogrjevna vrijednost goriva predstavlja količinu topline koja se oslobađa izgaranjem jedinice mase goriva, a sadržana je u plinovima izgaranja.

Prema nazivu i vrijednosti, postoji donja i gornja ogrjevna moć goriva. Toplina oslobođena izgaranjem, a sadržana u plinovima izgaranja, naziva se gornja ogrjevna moć i označava se s (***H<sub>g</sub>***).

Gornja ogrjevna moć veća je za toplinu koju vodena para iz plinova izgaranja kondenzacijom predaje okolini i nije korisna za toplinski proces. Zbog tog se razloga za toplinske proračune upotrebljava donja ogrjevna moć (***H<sub>d</sub>***).

Razlika između donje i gornje ogrjevne moći ovisi o udjelu vlage u gorivu ( $w$ ) i vodika u gorivu ( $h$ ), a iznosi po jedinici mase vodene pare 2,5 MJ/kg i predstavlja toplinu isparavanja vode pri okolnom tlaku [2].

$$H_d = H_g - 2,5 \text{ W MJ/kg}$$

### 2.3.12. Viskozitet

Viskoznost je svojstvo tekućina i plinova, a odnosi se na veličinu unutarnjeg trenja između čestica i drugih među molekularnih sila. U definiranju unutarnjeg trenja tekućina i plinova, u primjeni je nekoliko vrsta viskoznosti:

- **dinamička ili apsolutna viskoznost,**
- **kinematska viskoznost,**
- **relativna viskoznost [2].**

#### **2.3.12.1. Dinamička viskoznost**

Dinamička ili apsolutna viskoznost ( $\eta$ ) mjera je otpornosti tekućine prema tečenju ili plina prema gibanju (općenito medij). Definira se kao odnos primijenjenoga smičnog naprezanja i gradijenta brzine smicanja. Jedinica za dinamičku viskoznost je Pascal sekunda ( $Pa \cdot s$ ) [2].

#### **2.3.12.2. Kinematska viskoznost**

Kinematska viskoznost ( $\nu$ ) definira se kao odnos dinamičke viskoznosti i gustoće medija. Predstavlja mjeru otpornosti medija prema tečenju u ovisnosti o njegovoj gustoći i unutarnjem naprezanju. Izražava se odnosom:

$$\nu = \eta / \rho \text{ (m}^2/\text{s)}$$

Jedinica za kinematsku viskoznost u c-g-s sustavu<sup>1</sup> je Stokes (St); vrlo često se upotrebljava, a iznosi:

$$1 \text{ St} = 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2 / \text{s} = 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s} [2]$$

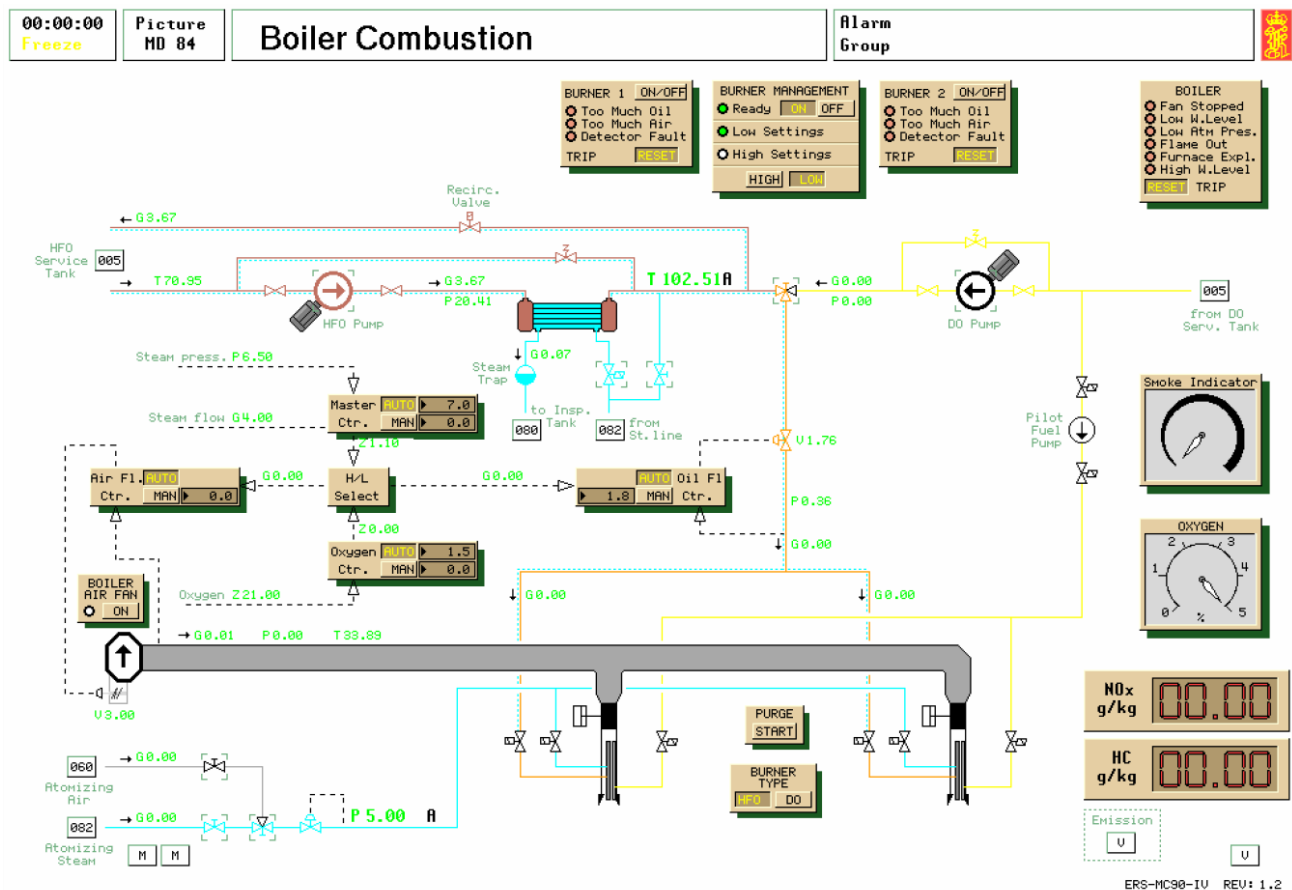
#### **2.3.12.3. Relativna viskoznost**

U praksi i za bolje razumijevanje upotrebljava se i relativna viskoznost, što znači da se viskoznost (pogotovo tekućina) uspoređuje s nekom standardnom vrijednosti. Relativna viskoznost se mjeri Englerovim viskozimetrom, a izražava u °E (stupnjevim Englera) [2].

---

<sup>1</sup> C-g-s sustav varijanta je metričkog sustava koji se temelji na centimetru kao jedinici za duljinu, gramu kao jedinici za masu i sekundi kao jedinici za vrijeme.

### 3. SUSTAV GORIVA ZA LOŽENI GENERATOR PARE NA SIMULATORU



Slika 1. Sustav goriva brodskog generatora pare [4]

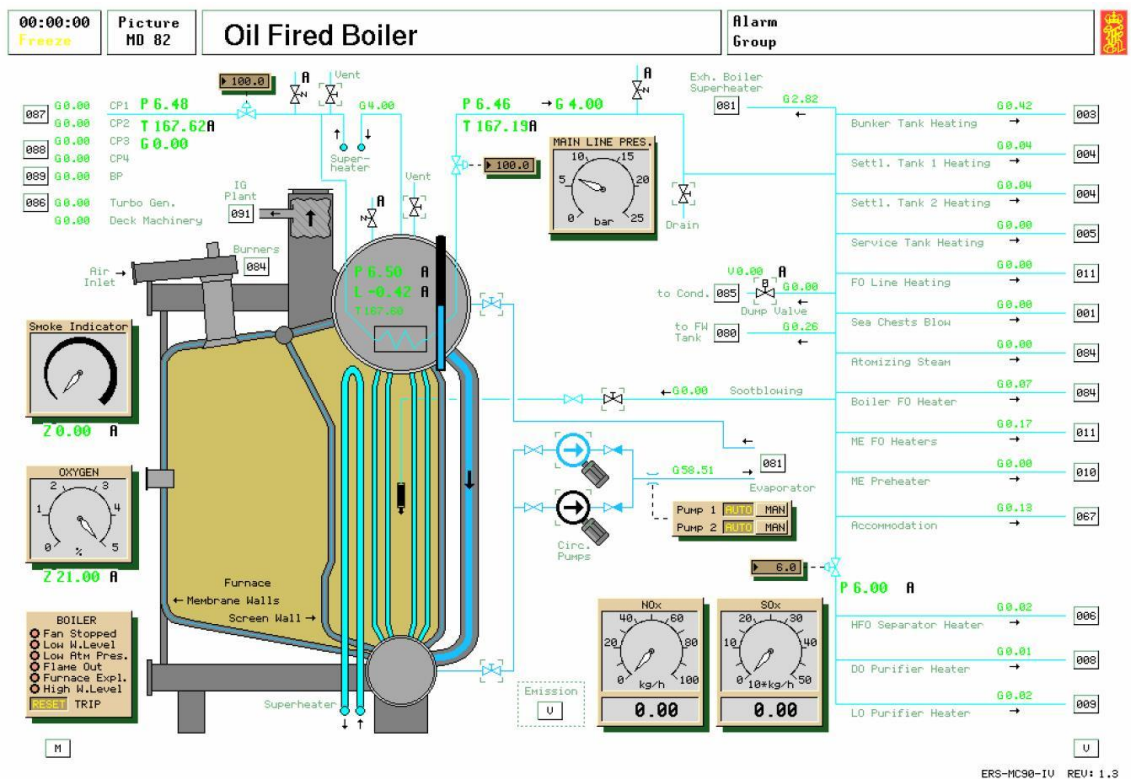
Na slici je prikazan sustav goriva loženog brodskog generatora pare. Sastoji se od dva gorača, ventilatora i dva podsustava goriva (za rad na dizelsko ili za rad na teško gorivo). Ovaj sustav ima mogućnost raspršivanja goriva zrakom ili parom.

Generator pare se najprije upućuje na dizelsko gorivo budući da ga nije potrebno prethodno zagrijavati. Najprije se provjerava jesu li gorači prebačeni na dizel. Zatim se upali ventilator zraka i regulator protoka zraka se prebaci na 100%. Starta se propuhivanje.

To je vrlo važna operacija budući da se na taj način propuhuje van bilo kakve zaostale ugljikovodike od ne izgorenog goriva. Na taj način se izbjegava eksplozija ložišta generatora pare. Prilikom propuhivanja ložišta priprema se upućivanje generatora pare na dizelsko gorivo odnosno prebacuje se troputni ventil kako bi do gorača dolazilo dizelsko gorivo.

Kada se ložište provjetri, upućuje se pumpa dizelskog goriva i podešava se regulator protoka zraka na 15%, a regulator protoka goriva na 35%. Omjerom goriva i zraka utječe se na pretičak zraka ( $\lambda$ ). Kada je sve spremno pale se gorači. Također se mora naglasiti da ako se čeka previše, generator pare se neće htjeti uputiti i mora se ponoviti operacija propuhivanja ložišta.

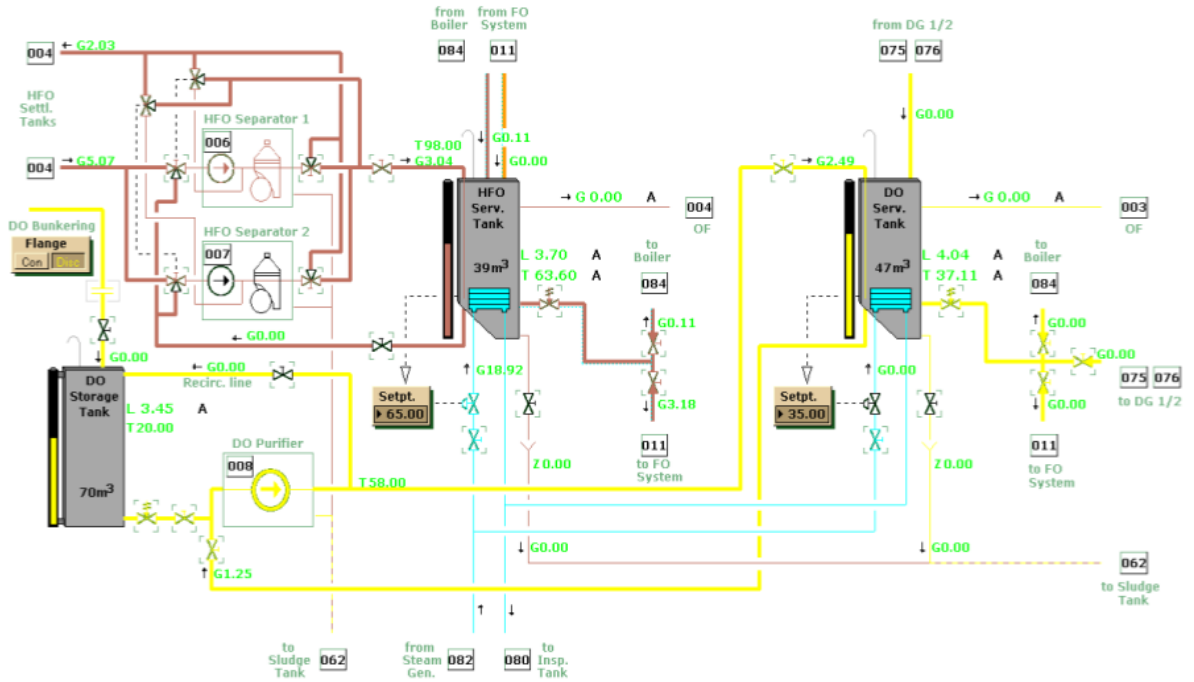
Kako gorači daju toplinu, voda koja cirkulira kroz cijevi se zagrijava, polagano postaje vodena para. Kako nam raste temperatura raste nam i tlak pare. Kada dođe tlak pare na približno 1 bar otvara se ventil koji pušta paru u potrošnju. Taj ventil se otvara postepeno kako ne bi došlo do prevelikog termalnog šoka cijevi kroz koje ta para cirkulira.



Slika 2. Loženi generator pare [4]

Proizvedenu paru se dovodi na razne potrošače poput grijača dnevnog tanka i taložnih tankova teškog goriva. Također se dovodi na grijač teškog goriva koji se nalazi na sustavu gorača kako bi se gorivo koje cirkulira kroz taj sustav dodatno grijalo. Upućuje se pumpa teškog goriva kako bi se omogućila cirkulacija.





Slika 3. Dnevni tankovi dizelskog i teškog goriva [4]

Kada generator pare postigne dovoljan tlak pare, gase se gorači. Počinje se postavljanje generatora pare na teško gorivo. Tu operaciju je najbolje izvesti na način da se B.G.P postavi na automatski rad. Za opću službu generator pare se stavlja na "Low setting". Svi se regulatori postavljaju na "Auto". Troputni ventil se prebacuje na teško gorivo. Resetira se generator pare jer se javio alarm "Flame out". Kada se upali lampica "Ready" generator pare je spreman za automatski rad. Važno je naglasiti da se generator pare također može prebaciti na automatski rad i dok on izgara dizelsko gorivo. Generator pare može raditi na "High setting"-u, odnosno kada je potreba za parom na brodu veća. To je najčešće kada se koriste turbo-generator.

## 4. ISPITIVANJE UTJECAJA KVALITETE GORIVA NA RAD B.G.P.

### 4.1. Rad broskog generatora pare na dizelsko gorivo

Kao što je prije navedeno broski generator pare se upućuje dizelskim gorivom budući da njega nije potrebno prethodno grijati. Kada se generator pare uputi, para se pušta u potrošnju.

Ispitivanje je obavljeno na način da je generator pare upućen na dizelsko gorivo i prebačen na automatski rad. To omogućava da se precizno regulira tlak pare da bi ispitivanje bilo što ispravnije. Kroz ispitivanje se mijenjaju ogrjevne vrijednosti kako bi se utvrdilo kako se ponašaju produkti izgaranja dizelskog goriva.

Kod produkata izgaranja i emisija ispušnih plinova prate se iste vrijednosti, a to su: dušikovi oksidi (NO<sub>x</sub>), sumporovi oksidi (SO<sub>x</sub>), ugljikovodici (CH), ugljikov monoksid (CO) i ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>). Produkti izgaranja dizelskog goriva se prate u dva režima rada B.G.P-a, a to su pri 7 i pri 10 bara.

Kako bi ispitivanje bilo korektno također se mora gledati da je protok pare jednak na svim ispitanim simulacijama, a kod ovih simulacija protok pare iznosi 0,29 ton/h.

Ispitivanje je obavljeno na četiri ogrjevne vrijednosti: 39000 kJ/kg, 40000 kJ/kg, 41000 kJ/kg i ogrjevnoj vrijednosti zadanoj po unaprijed učitanoj vrijednosti („default“).

Na simulatoru Kongsberg MC-90 ogrjevna vrijednost po „default-u“ za dizelsko gorivo iznosi: ***H<sub>d</sub>* = 42697.2 kJ/kg**. Vrijednosti dizelskog goriva na zadanoj ogrjevnoj vrijednosti su slijedeće:

Tablica 4. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete dizelskog goriva na  $H_d = 42697.2$  kJ/kg pri tlaku od 7 bara

Ispitane vrijednosti	Produkt izgaranja (g/kg)	Emisije ispušnih plinova (kg/h)	Postotci
NO <sub>x</sub>	28,08	0,96	-
SO <sub>x</sub>	12,5	0,34	-
CH	1,13	0,04	-
CO	0,31	0,01	-
CO <sub>2</sub>	3076,64	105,2	-
O <sub>2</sub>	-	-	13,64%
Dim	-	-	27,82%

Tablica 5. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete dizelskog goriva na  $H_d = 42697.2$  kJ/kg pri tlaku od 10 bara

Ispitane vrijednosti	Produkt izgaranja (g/kg)	Emisije ispušnih plinova (kg/h)	Postotci
NO <sub>x</sub>	28,16	0,96	-
SO <sub>x</sub>	12,5	0,34	-
CH	1,13	0,04	-
CO	0,31	0,01	-
CO <sub>2</sub>	3076,64	105,2	-
O <sub>2</sub>	-	-	13,64%
Dim	-	-	27,82%

#### 4.1.1. Ispitivanje dizelskog goriva pri ogrjevnoj vrijednosti od 39 000 kJ/kg

Drugo ispitivanje je obavljeno kada se ogrijevana vrijednost prebacila na 39 000 kJ/kg. Vrijednosti dizelskog goriva kod ove ogrjevne vrijednosti su slijedeće:

Tablica 6. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete dizelskog goriva na  $H_d = 39 000$  kJ/kg pri tlaku od 7 bara

Ispitane vrijednosti	Produkt izgaranja (g/kg)	Emisije ispušnih plinova (kg/h)	Postotci
NO <sub>x</sub>	28,47	0,97	-
SO <sub>x</sub>	12,5	0,34	-
CH	1,13	0,04	-
CO	0,31	0,01	-
CO <sub>2</sub>	3076,64	105,2	-
O <sub>2</sub>	-	-	13,99%
Dim	-	-	28,22%

Tablica 7. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete dizelskog goriva na  $H_d = 39 000$  kJ/kg pri tlaku od 10 bara

Ispitane vrijednosti	Produkt izgaranja (g/kg)	Emisije ispušnih plinova (kg/h)	Postotci
NO <sub>x</sub>	28,5	0,97	-
SO <sub>x</sub>	12,5	0,34	-
CH	1,13	0,04	-
CO	0,31	0,01	-
CO <sub>2</sub>	3076,64	105,2	-
O <sub>2</sub>	-	-	13,99%
Dim	-	-	28,22%

#### 4.1.2. Ispitivanje dizelskog goriva pri ogrjevnoj vrijednosti od 40 000 kJ/kg

Treće ispitivanje se obavlja kada je ogrjevna vrijednost dizelskog goriva postavljena na 40 000 kJ/kg. Vrijednosti dizelskog goriva trećeg ispitivanja ogrjevne vrijednosti su slijedeće:

Tablica 8. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete dizelskog goriva na  $H_d = 40\,000$  kJ/kg pri tlaku od 7 bara

Ispitane vrijednosti	Produkt izgaranja (g/kg)	Emisije ispušnih plinova (kg/h)	Postotci
NO <sub>x</sub>	28,33	0,97	-
SO <sub>x</sub>	12,5	0,34	-
CH	1,13	0,04	-
CO	0,31	0,01	-
CO <sub>2</sub>	3076,64	105,2	-
O <sub>2</sub>	-	-	13,85%
Dim	-	-	28,11%

Tablica 9. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete dizelskog goriva na  $H_d = 40\,000$  kJ/kg pri tlaku od 10 bara

Ispitane vrijednosti	Produkt izgaranja (g/kg)	Emisije ispušnih plinova (kg/h)	Postotci
NO <sub>x</sub>	28,41	0,97	-
SO <sub>x</sub>	12,5	0,34	-
CH	1,13	0,04	-
CO	0,31	0,01	-
CO <sub>2</sub>	3076,64	105,2	-
O <sub>2</sub>	-	-	13,85%
Dim	-	-	28,11%

#### 4.1.3. Ispitivanje dizelskog goriva pri ogrjevnoj vrijednosti od 41 000 kJ/kg

Četvrto ispitivanje je obavljeno kada je ogrjevna vrijednost postavljena na 41 000 kJ/kg. Vrijednosti dizelskog goriva ove ogrjevne vrijednosti su slijedeće:

Tablica 10. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete dizelskog goriva na  $H_d = 41\,000$  kJ/kg pri tlaku od 7 bara

Ispitane vrijednosti	Produkt izgaranja (g/kg)	Emisije ispušnih plinova (kg/h)	Postotci
NOx	28,24	0,96	-
SOx	12,5	0,34	-
CH	1,13	0,04	-
CO	0,31	0,01	-
CO <sub>2</sub>	3076,64	105,2	-
O <sub>2</sub>	-	-	13,70%
Dim	-	-	28,00%

Tablica 11. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete dizelskog goriva na  $H_d = 41\,000$  kJ/kg pri tlaku od 10 bara

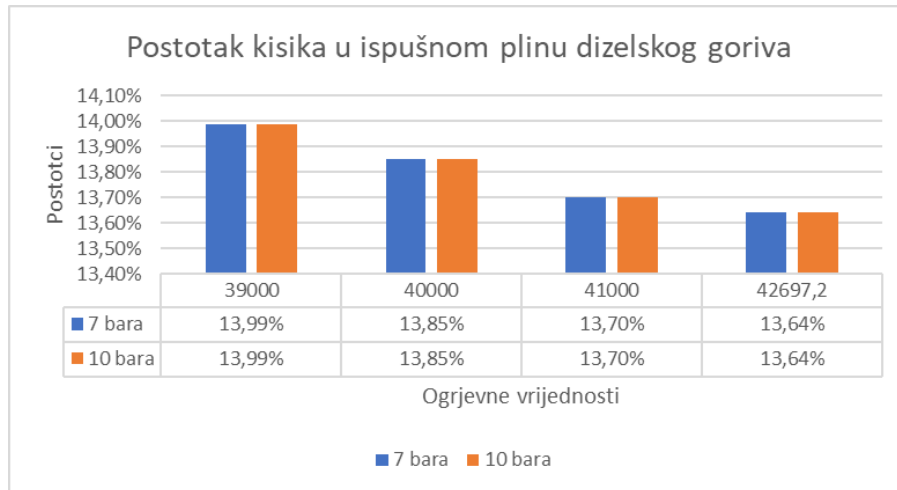
Ispitane vrijednosti	Produkt izgaranja (g/kg)	Emisije ispušnih plinova (kg/h)	Postotci
NOx	28,32	0,97	-
SOx	12,5	0,34	-
CH	1,13	0,04	-
CO	0,31	0,01	-
CO <sub>2</sub>	3076,64	105,2	-
O <sub>2</sub>	-	-	13,70%
Dim	-	-	28,00%

#### 4.2. utjecaj promjene ogrjevne vrijednosti na produkte izgaranja dizelskog goriva

U ovom poglavlju bit će prikazani rezultati iz tablica u obliku grafova za svaki produkt izgaranja kako bi se dobila bolja slika kako ogrjevna vrijednost utječe na pojedini produkt izgaranja.

Svaki produkt izgaranja je postavljen u dijagram na način da je prikazano kako se ponaša u oba režima rada B.G.P.-a odnosno pri 7 i 10 bara.

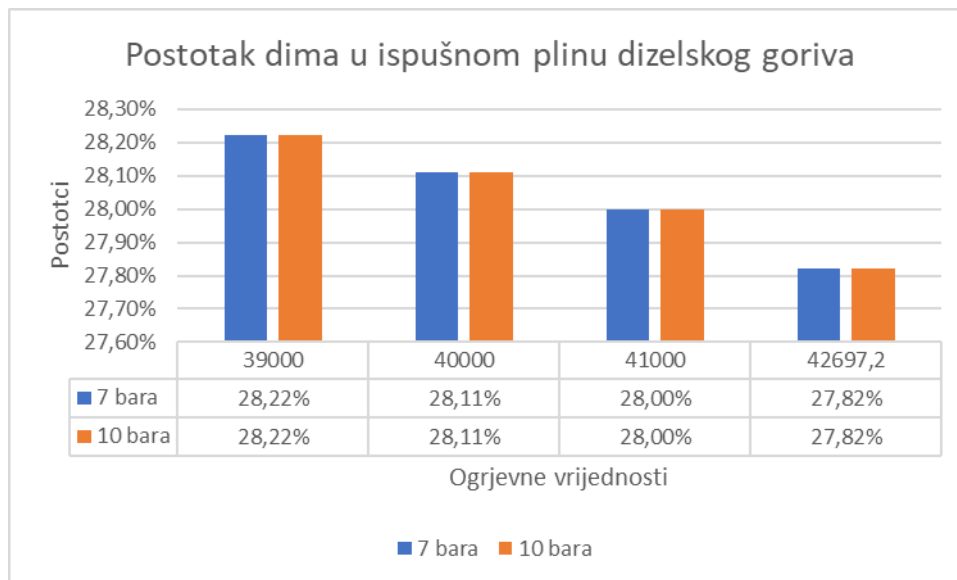
#### 4.2.1. Postotak kisika



Graf 1. Postotak kisika u ispušnom plinu dizelskog goriva

Iz ovog dijagrama se vidi kako promjenom režima rada broskog generatora pare nema utjecaja na promjenu postotka kisika. Najveći postotak kisika je pri ogrjevnoj vrijednosti od 39000 kJ/kg, a najmanji pri 42697,2 kJ/kg. Kako se povećava ogrjevna vrijednost tako postotak kisika u ispušnom plinu dizelskog goriva polagano pada.

#### 4.2.2. Postotak dima

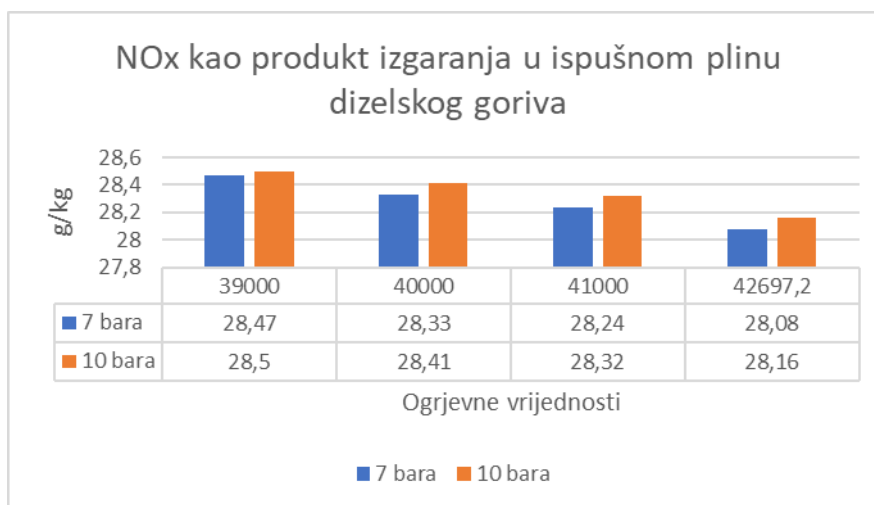


Graf 2. Postotak dima u ispušnom plinu dizelskog goriva

Kao i kod kisika, promjenom režima rada broskog generatora pare nema utjecaja na promjenu postotka dima u ispušnom plinu. Najveći postotak dima je pri ogrjevnoj vrijednosti od 39000 kJ/kg, a najmanji pri 42697,2 kJ/kg. Kako se povećava ogrjevna vrijednost tako postotak dima u ispušnom plinu dizelskog goriva polagano pada.

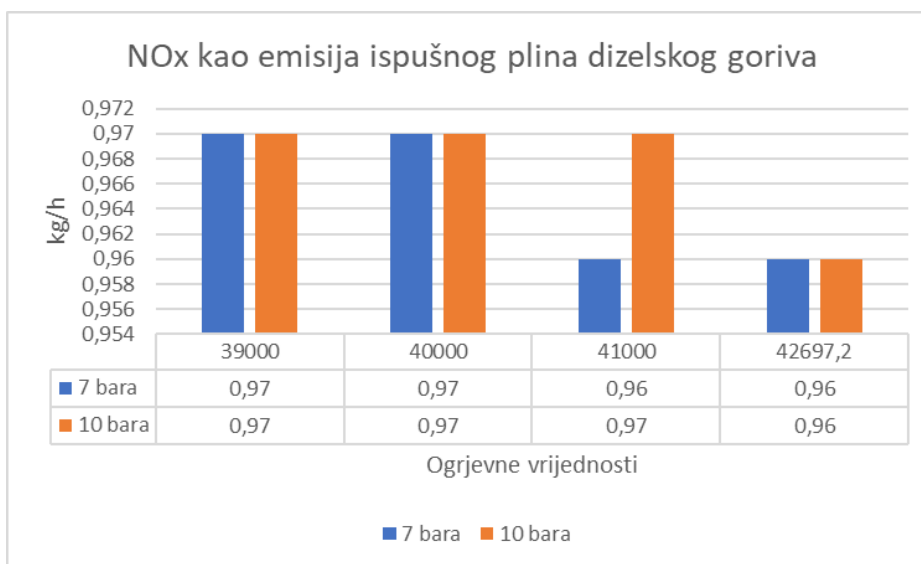
### 4.2.3. Udio NO<sub>x</sub> (dušikovih oksida) u dizelskom gorivu

Ovdje se NO<sub>x</sub> gleda u dvije faze: kao produkt izgaranja i kao emisija u ispušnom plinu. Kao produkt izgaranja NO<sub>x</sub> je izražen u g/kg, a kao emisija u ispušnom plinu izražen je u kg/h.



Graf 3. NO<sub>x</sub> kao produkt izgaranja u ispušnom plinu dizelskog goriva

Iz ovog dijagrama se vidi kako je pri tlaku od 10 bara udio NO<sub>x</sub> nešto malo veći nego kod tlaka od 7 bara. Kod oba tlaka udio NO<sub>x</sub>-a je najveći pri ogrjevnoj vrijednosti od 39000 kJ/kg, a najmanja pri 42697,2 kJ/kg. NO<sub>x</sub> se pri oba režima ponaša jednako na način da on polagano pada kako se povećava kvaliteta dizelskog goriva odnosno njegova ogrjevna vrijednost. Vidi se da nešto manje NO<sub>x</sub>-a ima na većim tlakovima što je u praksi i dokazano.

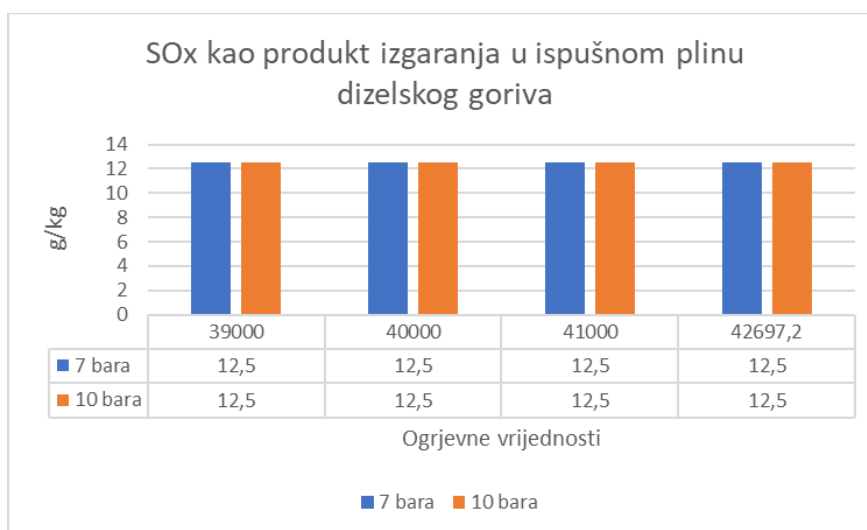


Graf 4. NO<sub>x</sub> kao emisija ispušnog plina dizelskog goriva

Iz ovog dijagrama se vidi da kroz oba režima rada brodske generatora pare udio NOx-a kao emisija u ispušnom plinu dizelskog goriva skoro pa nema utjecaja. Pri tlaku od 7 bara udio NOx počinje padati pri ogrjevnoj vrijednosti od 41000 kJ/kg, a pri 10 bara NOx pada pri ogrjevnoj vrijednosti od 42697,2 kJ/kg.

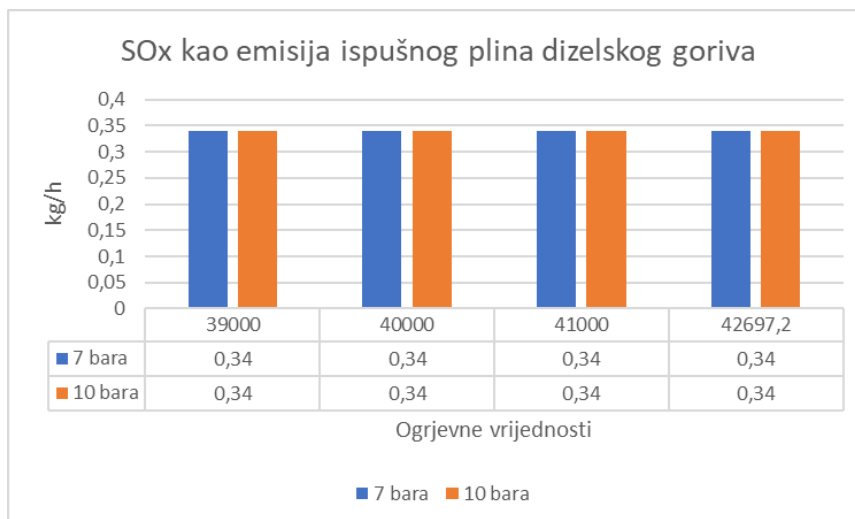
#### 4.2.4. Udio SOx (sumporovih oksida) u dizelskom gorivu

Kao i kod NOx-a, SOx je prikazan u dvije faze: kao produkt izgaranja i kao emisija u ispušnom plinu. Kao produkt izgaranja je izražen u g/kg, a kao emisija u ispušnom plinu izražen je u kg/h.



Iz ovog dijagrama se vidi kako SOx kao produkt izgaranja dizelskog goriva kroz oba režima rada brodske generatora pare se ne mijenja. Također, promjena ogrjevnih vrijednosti nema utjecaja na udio SOx-a jer on iznosi 12,5 g/kg kod svih ogrjevnih vrijednosti.



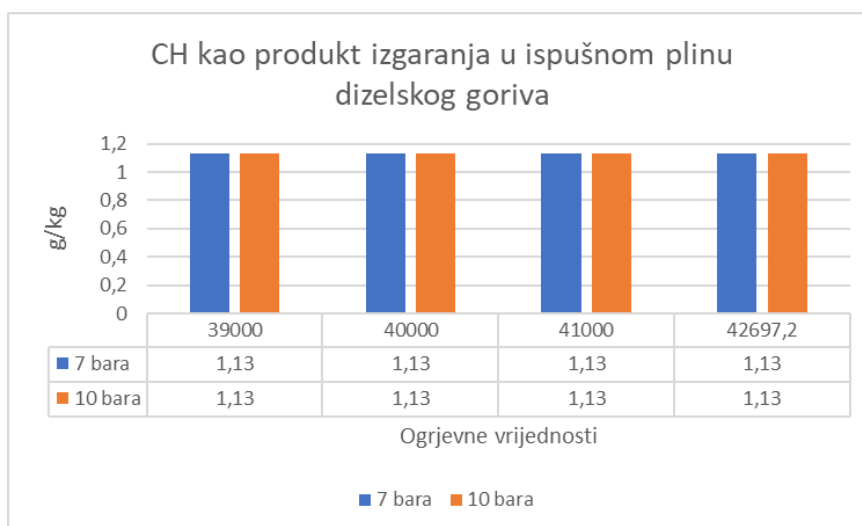


*Graf 5. SO<sub>x</sub> kao emisija u ispušnom plinu dizelskog goriva*

Iz ovog dijagrama se također vidi kako SO<sub>x</sub> kao emisija ispušnog plina dizelskog goriva kroz oba režima rada broskog generatora pare se ne mijenja. Također, promjena ogrjevne vrijednosti nema utjecaja na udio SO<sub>x</sub>-a jer on iznosi 0,34 kg/h kod svih ogrjevnih vrijednosti.

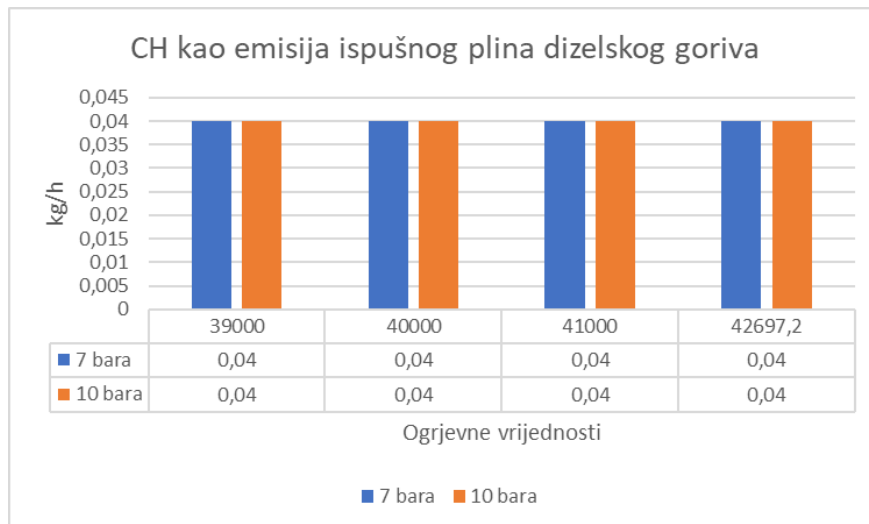
#### 4.2.5. Udio CH (ugljikovodika) u dizelskom gorivu

Ugljikovodici se također prikazuju u dvije faze: kao produkt izgaranja i kao emisija u ispušnom plinu. Kao produkt izgaranja je izražen u g/kg, a kao emisija u ispušnom plinu izražen je u kg/h.



*Graf 6. CH kao produkt izgaranja dizelskog goriva*

Iz ovog dijagrama vidimo kako promjenom režima rada ili promjenom kvalitete goriva odnosno njene ogrjevne vrijednosti, CH kao produkt izgaranja se ne mijenja odnosno nema utjecaja na njegovu vrijednost. CH kod svih veličina iznosi 1,13 g/kg.

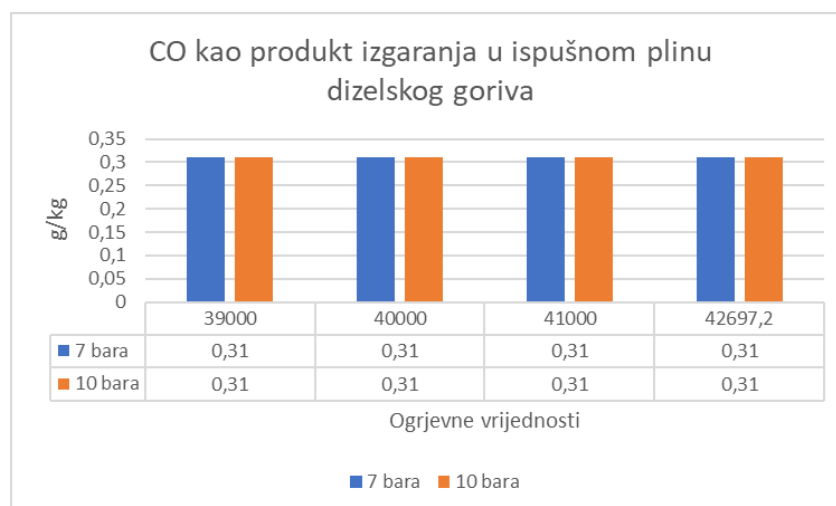


*Graf 7. CH kao emisija ispušnog plina dizelskog goriva*

Iz ovog dijagrama je razvidno kako promjenom režima rada ili promjenom kvalitete goriva odnosno njene ogrjevne vrijednosti, CH kao emisija u ispušnom plinu dizelskog goriva se ne mijenja odnosno nema utjecaja na njegov iznos. CH kod svih veličina iznosi 0,04 kg/h.

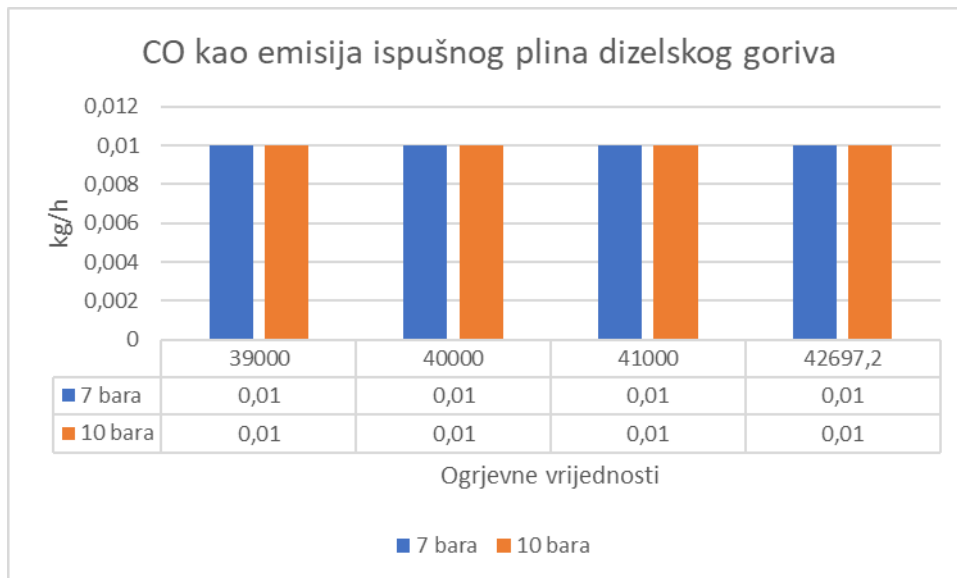
#### 4.2.6. Udio co (ugljičnog monoksida) u dizelskom gorivu

CO je prikazan u dvije faze: kao produkt izgaranja i kao emisija u ispušnom plinu. Kao produkt izgaranja je izražen u g/kg, a kao emisija u ispušnom plinu izražen je u kg/h.



*Graf 8. CO kao produkt izgaranja dizelskog goriva*

U ovom dijagramu se vidi kako se udio ugljikovog monoksida kao produkta izgaranja dizelskog goriva ne mijenja prilikom promjene režima rada ili ogrjevne vrijednosti. CO kod svih veličina iznosi 0,31 g/kg.

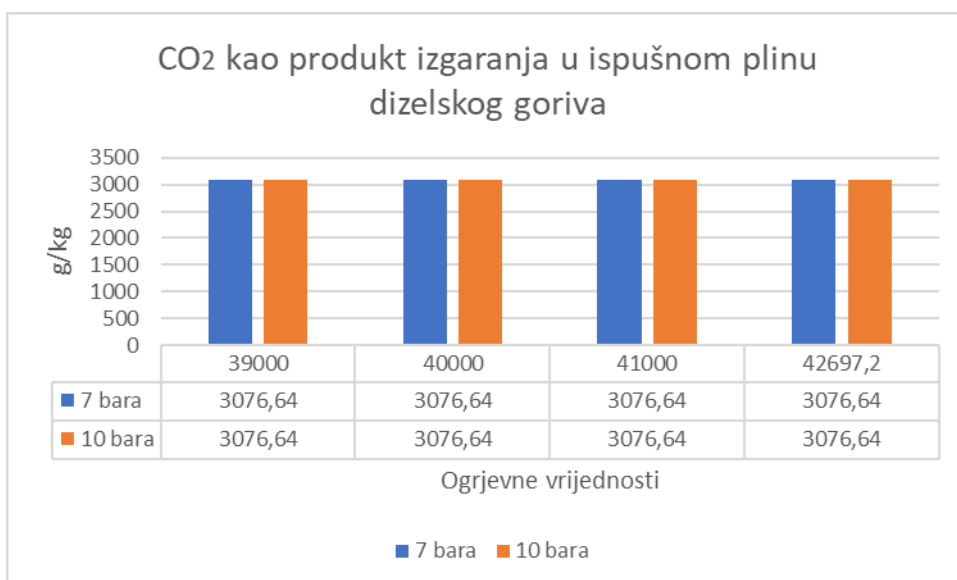


*Graf 9. CO kao emisija ispušnog plina dizelskog goriva*

U ovom dijagramu se vidi kako se udio ugljikovog monoksida kao emisije u ispušnom plinu dizelskog goriva ne mijenja prilikom promjene režima rada ili ogrjevne vrijednosti. CO kod svih veličina iznosi 0,01 kg/h.

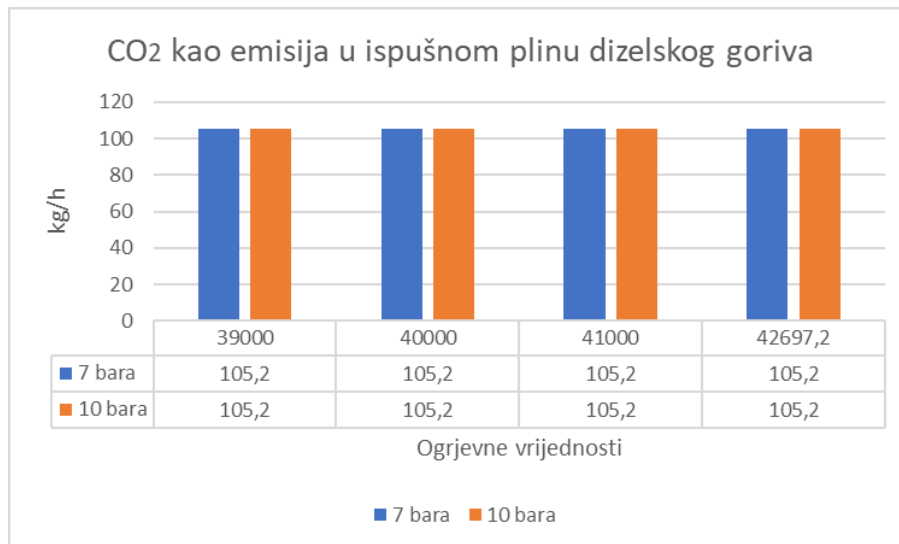
#### 4.2.7. Udio CO<sub>2</sub> (ugljičnog dioksida) u dizelskom gorivu

CO<sub>2</sub> je prikazan u dvije faze: kao produkt izgaranja i kao emisija u ispušnom plinu. Kao produkt izgaranja je izražen u g/kg, a kao emisija u ispušnom plinu izražen je u kg/h.



*Graf 10. CO<sub>2</sub> kao produkt izgaranja dizelskog goriva*

U ovom se dijagramu vidi kako promjena režima rada broskog generatora pare ili promjena kvalitete dizelskog goriva nema utjecaja na iznos ugljičnog dioksida kao produkta izgaranja. CO<sub>2</sub> kroz sve scenarije iznosi 3076,64 g/kg.



*Graf 11. CO<sub>2</sub> kao emisija u ispušnom plinu dizelskog goriva*

U ovom se dijagramu vidi kako promjena režima rada brodskog generatora pare ili promjena kvalitete dizelskog goriva nema utjecaja na iznos ugljikovog dioksida kao emisijom u ispušnom plinu. CO<sub>2</sub> je kroz sve scenarije 105,2 kg/h.

### 4.3. Rad brodskog generatora pare na teško gorivo (HFO)

Na teško gorivo se prebacuje kada je ono dovoljno zagrijano parom stvorenom izgaranjem dizelskog goriva.

Ispitivanje je obavljeno isto kao i kod dizelskog goriva na način da je generator pare prebačen na teško gorivo i stavljen na automatski rad. To omogućuje da se precizno regulira tlak pare kako bi ispitivanje bilo što preciznije.

Kroz ispitivanje se mijenjaju ogrjevne vrijednosti kako bi se usporedili izgaranja teškog goriva. Produkti izgaranja teškog goriva se prate u dva režima rada B.G.P-a a to su pri 7 i pri 10 bara.

Također se unificira protok pare na svim ispitanim simulacijama, a kod ovih simulacija on iznosi 0,32 ton/h. Protok pare je nešto viši nego kod dizelskog goriva iz razloga što je otvorena para za raspršivanje.

Ispitivanje je obavljeno na četiri ogrjevne vrijednosti: 39000 kJ/kg, 40000kJ/kg, 41000 kJ/kg i ogrjevnoj vrijednosti zadanoj po „default“-u.

Na simulatoru Kongsberg MC-90 ogrjevna vrijednost po „default“-u za dizelsko gorivo iznosi:  $H_d = 40604,2$  kJ/kg. Vrijednosti teškog goriva na zadanoj ogrjevnoj vrijednosti su slijedeće:

Tablica 12. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete teškog goriva na  $H_d = 40604,2$  kJ/kg pri tlaku od 7 bara

Ispitane vrijednosti	Produkt izgaranja (g/kg)	Emisije ispušnih plinova (kg/h)	Postotci
NOx	19,01	1,08	-
SOx	87,48	3,98	-
CH	1,24	0,07	-
CO	0,35	0,02	-
CO <sub>2</sub>	3369,25	192,03	-
O <sub>2</sub>	-	-	8,68%
Dim	-	-	32,09%

Tablica 13. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete teškog goriva na  $H_d = 40604,2$  kJ/kg pri tlaku od 10 bara

Ispitane vrijednosti	Produkt izgaranja (g/kg)	Emisije ispušnih plinova (kg/h)	Postotci
NOx	14,23	0,99	-
SOx	87,16	4,85	-
CH	1,31	0,09	-
CO	0,39	0,03	-
CO <sub>2</sub>	3369,03	233,95	-
O <sub>2</sub>	-	-	3,34%
Dim	-	-	25,22%

#### 4.3.1. Ispitivanje teškog goriva pri ogrjevnoj vrijednosti od 39 000 kJ/kg

Kao i kod dizelskog goriva drugo ispitivanje teškog goriva je obavljeno kada se ogrijevana vrijednost prebacila na 39 000 kJ/kg. Vrijednosti teškog goriva na zadanoj ogrjevnoj vrijednosti su slijedeće:

Tablica 14. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete teškog goriva na  $H_d = 39 000$  kJ/kg pri tlaku od 7 bara

Ispitane vrijednosti	Produkt izgaranja (g/kg)	Emisije ispušnih plinova (kg/h)	Postotci
NOx	19,4	1,1	-
SOx	87,49	3,98	-
CH	1,24	0,07	-
CO	0,35	0,02	-
CO <sub>2</sub>	3369,25	192,03	-
O <sub>2</sub>	-	-	9,20%
Dim	-	-	32,58%

Tablica 15. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete teškog goriva na  $H_d = 39 000$  kJ/kg pri tlaku od 10 bara

Ispitane vrijednosti	Produkt izgaranja (g/kg)	Emisije ispušnih plinova (kg/h)	Postotci
NOx	14,75	1,13	-
SOx	87,24	5,35	-
CH	1,28	0,1	-
CO	0,37	0,03	-
CO <sub>2</sub>	3369,11	258,88	-
O <sub>2</sub>	-	-	3,57%
Dim	-	-	25,48%

#### 4.3.2. Ispitivanje teškog goriva pri ogrjevnoj vrijednosti od 40 000 kJ/kg

Treće ispitivanje teškog goriva kod ogrjevne vrijednosti od 40 000 kJ/kg daje sljedeće rezultate:

Tablica 16. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete teškog goriva na  $H_d = 40\,000$  kJ/kg pri tlaku od 7 bara

Ispitane vrijednosti	Produkt izgaranja (g/kg)	Emisije ispušnih plinova (kg/h)	Postotci
NOx	19,18	1,09	-
SOx	87,48	3,98	-
CH	1,24	0,07	-
CO	0,35	0,02	-
CO <sub>2</sub>	3369,25	192,03	-
O <sub>2</sub>	-	-	8,90%
Dim	-	-	32,30%

Tablica 17. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete teškog goriva na  $H_d = 40\,000$  kJ/kg pri tlaku od 10 bara

Ispitane vrijednosti	Produkt izgaranja (g/kg)	Emisije ispušnih plinova (kg/h)	Postotci
NOx	14,13	1	-
SOx	87,08	4,93	-
CH	1,32	0,09	-
CO	0,39	0,03	-
CO <sub>2</sub>	3368,98	237,72	-
O <sub>2</sub>	-	-	3,21%
Dim	-	-	24,74%

#### 4.3.3. Ispitivanje teškog goriva pri ogrjevnoj vrijednosti od 41 000 kJ/kg

Rezultati četvrtog ispitivanja teškog goriva pri ogrjevnoj vrijednosti od 41 000 kJ/kg su prikazani u tablicama 18. i 19.

Tablica 18. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete teškog goriva na  $H_d = 41\,000$  kJ/kg pri tlaku od 7 bara

Ispitane vrijednosti	Produkt izgaranja (g/kg)	Emisije ispušnih plinova (kg/h)	Postotci
NOx	18,96	1,08	-
SOx	87,48	3,98	-
CH	1,24	0,07	-
CO	0,35	0,02	-
CO <sub>2</sub>	3369,25	192,03	-
O <sub>2</sub>	-	-	8,60%
Dim	-	-	32,03%

Tablica 19. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete teškog goriva na  $H_d = 41\,000$  kJ/kg pri tlaku od 10 bara

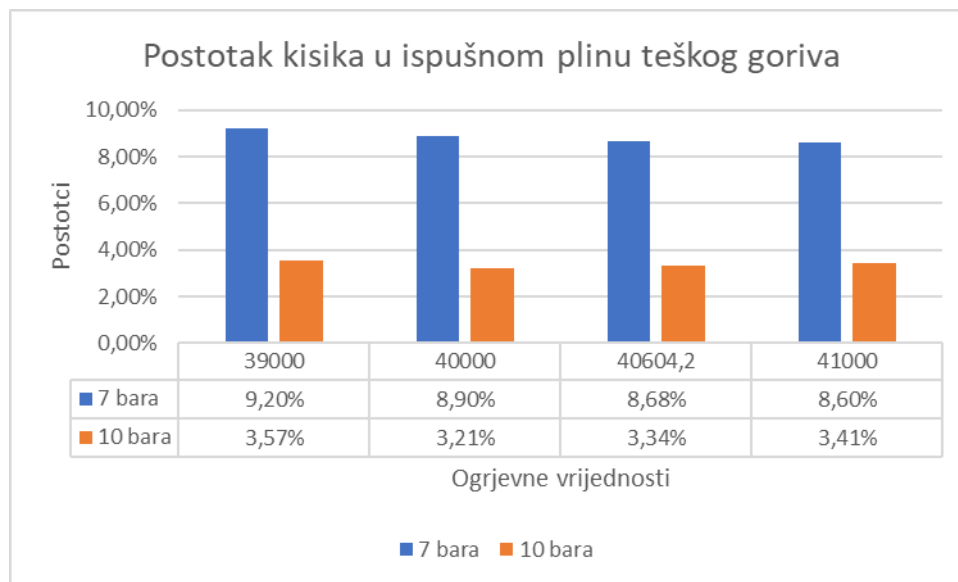
Ispitane vrijednosti	Produkt izgaranja (g/kg)	Emisije ispušnih plinova (kg/h)	Postotci
NOx	14,29	0,96	-
SOx	87,21	4,79	-
CH	1,33	0,09	-
CO	0,39	0,03	-
CO <sub>2</sub>	3369,03	233,95	-
O <sub>2</sub>	-	-	3,41%
Dim	-	-	25,53%

#### 4.4. Utjecaj promjene ogrjevnosti na produkte izgaranja teškog goriva

Kao i kod dizelskog goriva svi rezultati ispitivanja bit će prikazani u zasebnim dijagramima kako bi se dobila bolja slika ponašanja pojedinog produkta izgaranja teškog goriva.

Razlika između dijagrama dizelskog i teškog goriva je u tome što je nešto veći protok pare zbog već spomenutog otvaranja pare za raspršivanje.

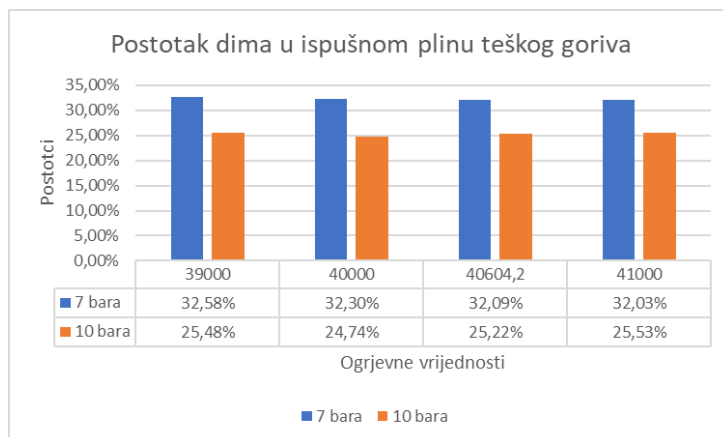
##### 4.4.1. Postotak kisika u teškom gorivu



Graf 12. Postotak kisika u ispušnom plinu teškog goriva

Iz ovog se dijagrama vidi kako je postotak kisika puno veći pri tlaku od 7 bara nego pri tlaku od 10 bara. Pri tlaku od 7 bara promjenom ogrjevnosti postotak kisika lagano pada. Najveći postotak kisika je pri ogrjevnoj vrijednosti od 39000 kJ/kg, a najmanji pri 40000 kJ/kg. Pri tlaku od 10 bara postotak kisika varira po ogrjevnim vrijednostima. Ima tendenciju pada od ogrjevnosti 39000 kJ/kg do 40000 kJ/kg, a nadalje ima tendenciju rasta.

#### 4.4.2. Postotak dima u teškom gorivu

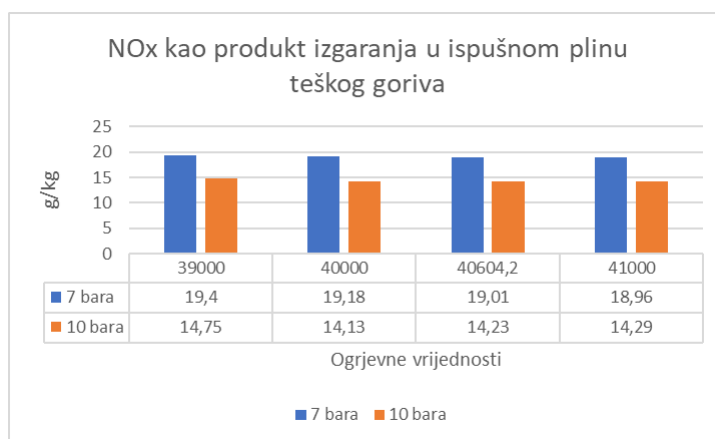


Graf 13. Postotak dima u ispušnom plinu teškog goriva

U ovom dijagramu se vidi kako je postotak dima puno veći na tlaku od 7 bara nego na tlaku od 10 bara. Pri tlaku od 10 bara postotak dima lagano pada kako povećavamo ogrjevnu vrijednost. Pri tlaku od 10 bara postotak dima, kao i kod kisika, varira po ogrjevnim vrijednostima. Od 39000 kJ/kg do 40000 kJ/kg postotak dima ima tendenciju pada dok nadalje od 40000 kJ/kg do 41000 kJ/kg ima tendenciju rasta.

#### 4.4.3. Udio NO<sub>x</sub> u izgaranju teškog goriva

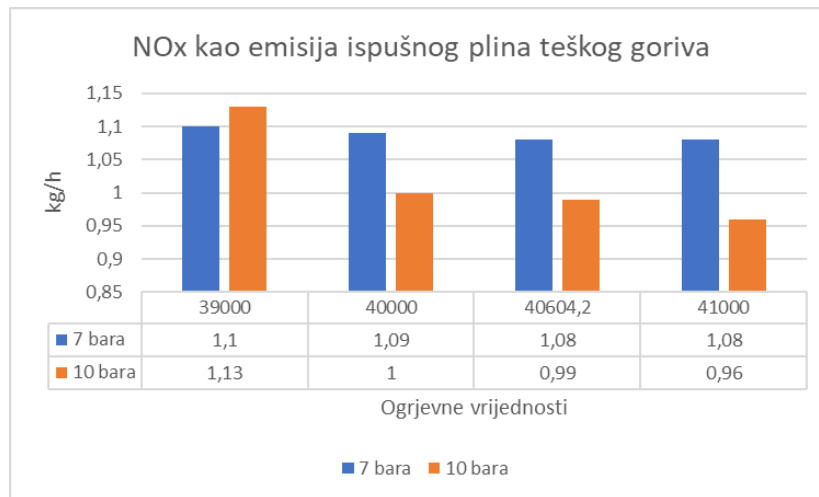
Kao i kod dizelskog goriva NO<sub>x</sub> će biti prikazan kao produkt izgaranja i kao emisija u ispušnom plinu teškog goriva.



Graf 14. NO<sub>x</sub> kao produkt izgaranja teškog goriva

U ovom dijagramu se vidi kako je NO<sub>x</sub> kao produkt izgaranja teškog goriva pri tlaku od 7 bara nešto viši nego pri tlaku od 10 bara. Pri tlaku od 7 bara, povećanjem ogrjevne vrijednosti udio NO<sub>x</sub>-a lagano pada. Pri tlaku od 10 bara NO<sub>x</sub> varira tako da od 39000 kJ/kg do 40000 kJ/kg ima tendenciju pada, a od 40000 kJ/kg do 41000 kJ/kg ima tendenciju rasta.



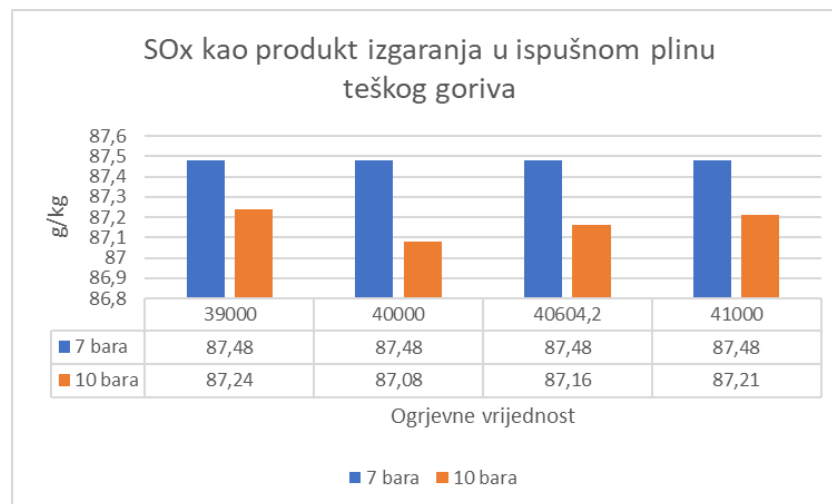


*Graf 15. NOx kao emisija u ispušnom plinu teškog goriva*

NOx kao emisija u ispušnom plinu teškog goriva se kroz dva režima rada generatora pare jedva mijenja i to na način da je pri tlaku od 7 bara nešto manji pad nego kod tlaka od 10 bara. Kod oba režima rada NOx povećanjem ogrjevne vrijednosti lagano pada.

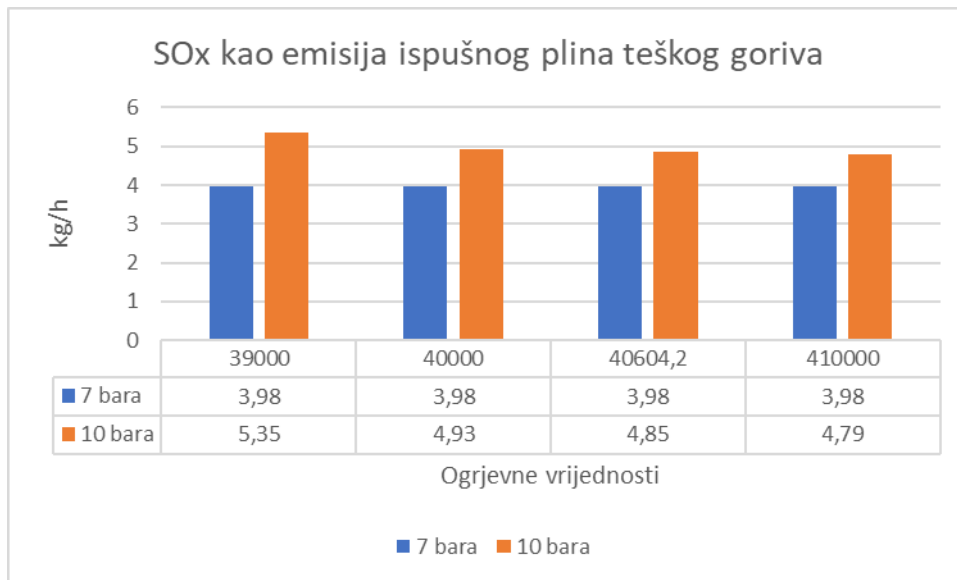
#### 4.4.4. Udio SOx u izgaranju teškog goriva

SOx kao i kod dizelskog goriva je prikazan kao produkt izgaranja i kao emisija u ispušnom plinu.



*Graf 16. SOx kao produkt izgaranja teškog goriva*

U ovom dijagramu je prikazano kako je SOx nešto niži pri tlaku od 10 bara nego pri tlaku od 7 bara. Pri tlaku od 7 bara SOx kao produkt izgaranja teškog goriva se ne mijenja promjenom ogrjevne vrijednosti odnosno kvalitete goriva. Pri tlaku od 10 bara SOx varira na način da od 39000 kJ/kg ima tendenciju pada, a od 40000 kJ/kg ima tendenciju rasta.

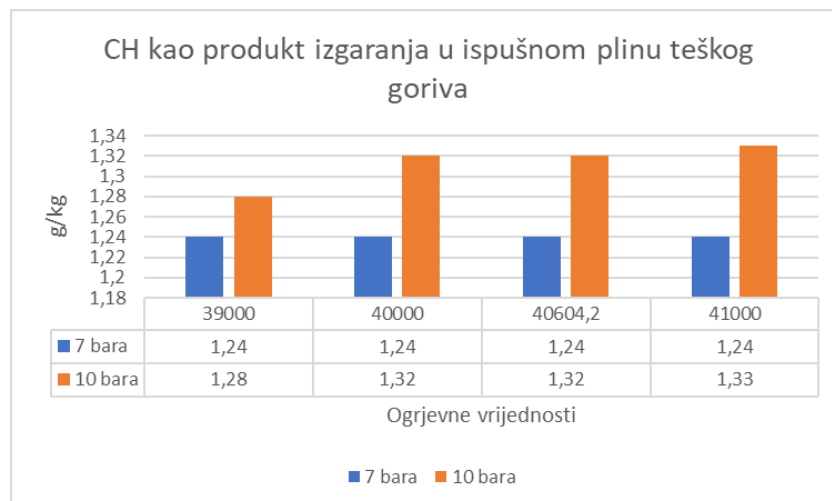


*Graf 17. SOx kao emisija u ispušnom plinu teškog goriva*

U ovom dijagramu se vidi da SOx kao emisija u ispušnom plinu je nešto manji pri tlaku od 7 bara nego pri tlaku 10 bara. Pri tlaku od 7 bara nema promjene veličina povećanjem ogrjevne vrijednosti dok kod tlaka od 10 bara promjenom ogrjevne vrijednosti udio sumporovih oksida, kao emisije u ispušnom plinu, se polagano smanjuje.

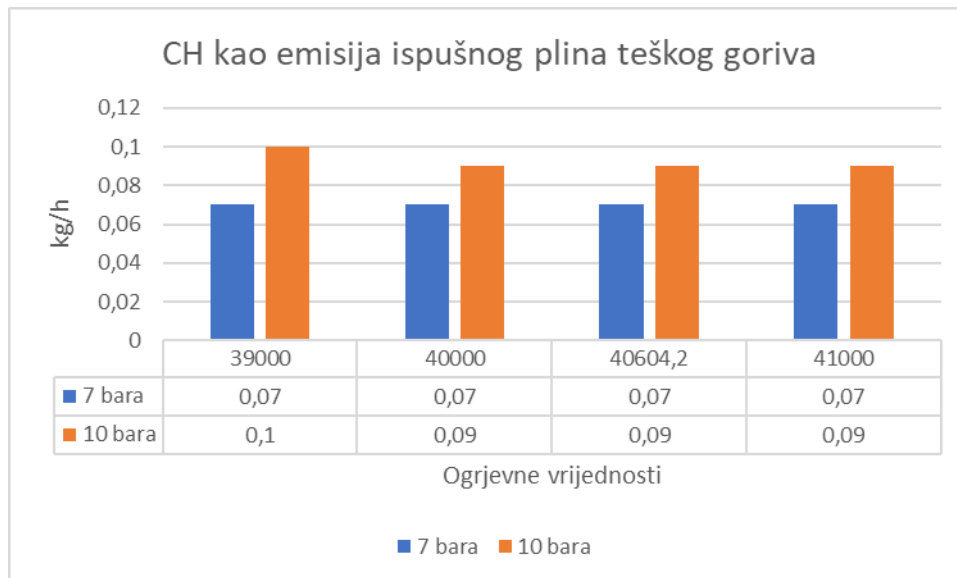
#### 4.4.5. Udio CH u izgaranju teškog goriva

CH kao i kod dizelskog goriva se prikazuje kao produkt izgaranja i kao emisija u ispušnom plinu teškog goriva.



*Graf 18. CH kao produkt izgaranja teškog goriva*

Iz ovog dijagrama se vidi kako pri tlaku od 7 bara CH je nešto malo manji nego pri tlaku od 10 bara. Kod tlaka od 7 bara nema promjene veličine CH prilikom povećanja ogrjevne vrijednosti dok kod tlaka od 10 bara promjenom, odnosno povećanjem ogrjevne vrijednosti, lagano se povećava i udio ugljikovodika kao produkta izgaranja u ispušnom plinu

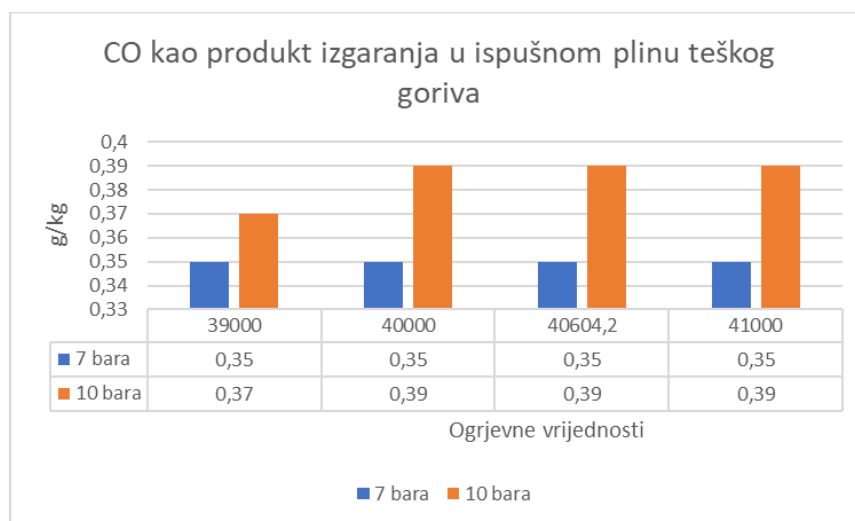


*Graf 19. CH kao emisija u ispušnom plinu teškog goriva*

Iz ovog dijagrama se vidi kako je pri tlaku od *7 bara* udio ugljikovodika kao emisija u ispušnom plinu nešto manji nego pri tlaku od *10 bara*. Pri tlaku od *7 bara* nema promjene veličina CH povećanjem ogrjevne vrijednosti. Pri tlaku od *10 bara* pri ogrjevnoj vrijednosti od *39000 kJ/kg* ima najveći iznos od *0,1 kg/h*. Na ogrjevnoj vrijednosti od *40000 kJ/kg* udio ugljikovodika lagano padne na *0,09 kg/h* i dalje se ne mijenja.

#### 4.4.6. Udio CO u izgaranju teškog goriva

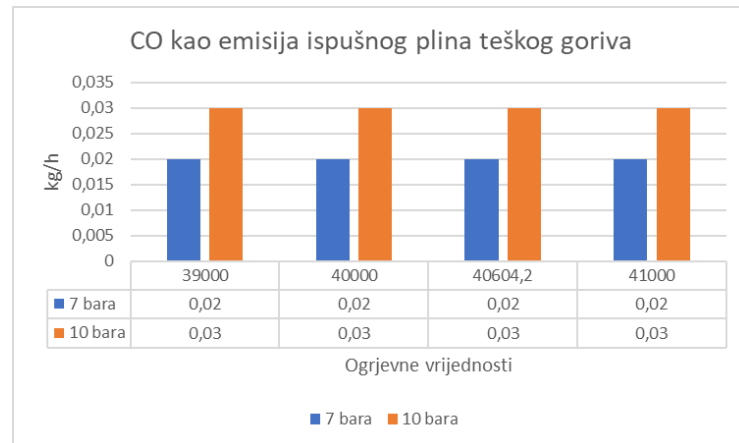
Ugljikov monoksid se kao i kod dizelskog goriva prikazuje kao produkt izgaranja i kao emisija u ispušnom plinu.



*Graf 20. CO kao produkt izgaranja teškog goriva*

U ovom se dijagramu vidi kako je pri tlaku od *7 bara* udio ugljikovog monoksida nešto malo manji nego na tlaku od *10 bara*. Kod tlaka *7 bara* nema promjene veličina udjela ugljikovog monoksida povećanjem ogrjevne vrijednosti, dok pri tlaku od *10 bara*

promjena ogrjevnosti utječe samo kada povećamo s  $39000 \text{ kJ/kg}$  na  $40000 \text{ kJ/kg}$ , gdje se vidi lagani porast CO. Nadalje nema promjena veličina udjela CO kao produkta izgaranja.

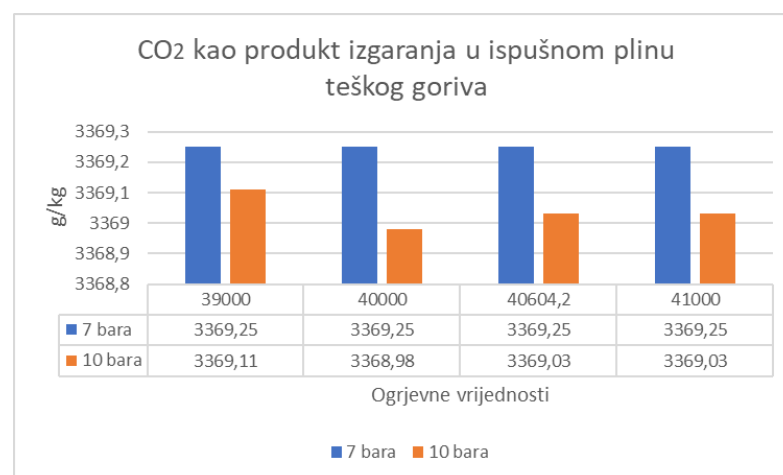


*Graf 21. CO kao emisija u ispušnom plinu teškog goriva*

U ovom se dijagramu vidi kako je pri tlaku od  $7 \text{ bara}$  udio ugljikovog monoksida nešto malo veći nego pri tlaku od  $10 \text{ bara}$ . Promjenom ogrjevnosti kroz oba režima rada generatora pare nema utjecaja na udio CO kao emisije u ispušnom plinu. Na  $7 \text{ bara}$  udio CO iznosi  $0,02 \text{ kg/h}$  dok na  $10 \text{ bara}$  udio CO iznosi  $0,03 \text{ kg/h}$ .

#### 4.4.7. Udio CO<sub>2</sub> u izgaranju teškog goriva

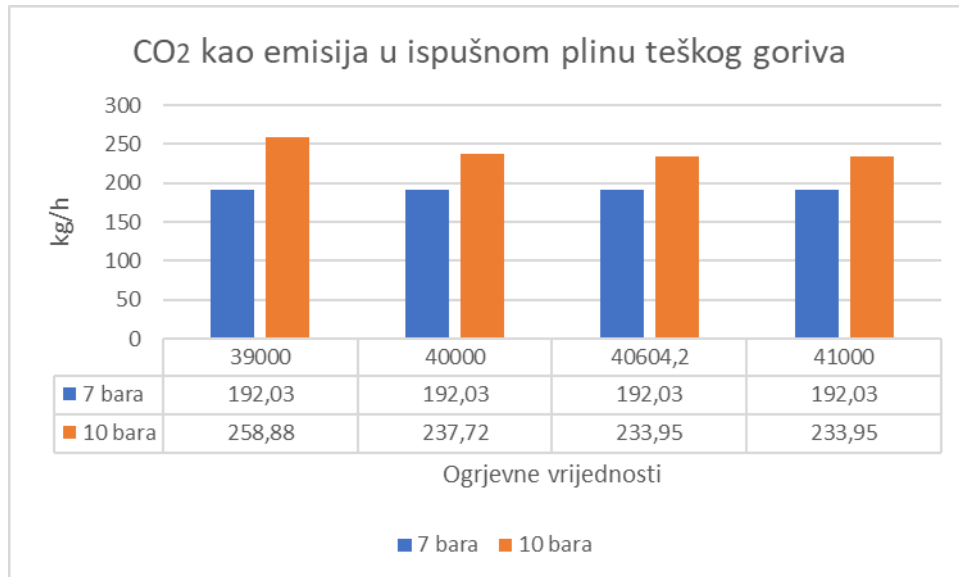
CO<sub>2</sub> se kao i kod dizelskog goriva prikazuje kao produkt izgaranja i kao emisija u ispušnom plinu teškog goriva.



*Graf 22. CO<sub>2</sub> kao produkt izgaranja teškog goriva*

U ovom dijagramu se vidi kako je pri tlaku od  $7 \text{ bara}$  udio ugljikovog dioksida nešto veći nego pri tlaku od  $10 \text{ bara}$ . Na  $7 \text{ bara}$  tlaka nema promjene veličina CO<sub>2</sub> povećanjem ogrjevnosti, dok pri tlaku od  $10 \text{ bara}$  udio CO<sub>2</sub> varira. Pri ogrjevnoj

vrijednosti od  $39000 \text{ kJ/kg}$  pa do  $40000 \text{ kJ/kg}$  udio  $\text{CO}_2$  ima tendenciju pada dok već na ogrjevnoj vrijednosti od  $40604,2 \text{ kJ/kg}$  poraste na  $3369,03 \text{ g/kg}$  i nadalje se ne mijenja.



*Graf 23. CO<sub>2</sub> kao emisija u ispušnom plinu teškog goriva*

Iz ovog se dijagrama vidi kako je pri tlaku od  $7 \text{ bara}$  udio ugljikovog dioksida puno manji nego pri tlaku od  $10 \text{ bara}$ . Na  $7 \text{ bara}$  tlaka nema promjene veličine  $\text{CO}_2$  povećanjem ogrjevne vrijednosti i u svakom scenariju iznosi  $192,03 \text{ kg/h}$ . Pri tlaku od  $10 \text{ bara}$  vidi se tendencija pada od  $39000 \text{ kJ/kg}$  do  $40604,2 \text{ kJ/kg}$ . Na  $40604,2 \text{ kJ/kg}$  i na  $41000 \text{ kJ/kg}$  iznos udjela  $\text{CO}_2$  kao emisije u ispušnom plinu teškog goriva je isti i on iznosi  $233,95 \text{ kg/h}$ .

## 5. ZAKLJUČAK

Analizom dobivenih rezultata tijekom ispitivanja rada broskog generatora pare na različitim režimima rada i promjenom ogrjevnosti dizelskog i teškog goriva zaključuje se da ima vrlo mali utjecaj na produkte izgaranja tih goriva.

Kod dizelskog goriva promjenom režima rada utječe samo na NO<sub>x</sub> kao produkte izgaranja koji su nešto viši pri radu na 10 bara tlaka. Promjena ogrjevnosti dizelskog goriva utječe na postotak kisika, postotak dima i udio NO<sub>x</sub> kao produkta izgaranja čije veličine padaju povećanjem kvalitete goriva odnosno njene ogrjevnosti.

Što se tiče teškog goriva promjena režima rada generatora pare je utjecala na protok goriva na način da je protok goriva bio veći pri tlaku od 10 bara. Pri tlaku od 7 bara gorivo pri svakoj ispitanoj simulaciji ima uvijek isti protok goriva dok pri tlaku od 10 bara protok goriva je veći čim je kvaliteta goriva odnosno njegova ogrjevna vrijednost manja.

Kod izgaranja teškog goriva te promjenom režima rada generatora pare, najveće promjene su vidljive kod postotka kisika, postotka dima, NO<sub>x</sub>-a, kao i kod SO<sub>x</sub>-a. Dok kisik, dim i NO<sub>x</sub> padaju pri tlaku od 10 bara, emisija SO<sub>x</sub>-a u ispušnom plinu je nešto veća nego pri tlaku od 7 bara. Promjena ogrjevnosti pri tlaku od 7 bara utječe na isti način kao i kod dizelskog goriva. Pri tlaku od 10 bara promjena ogrjevnosti utječe samo na SO<sub>x</sub> kao emisiju u ispušnom plinu koji lagano pada povećanjem kvalitete goriva. Ostali produkti izgaranja pri tlaku od 10 bara ili neznatno variraju ili na njih nema nikakvog utjecaja.

## LITERATURA

1. [https://www.chevronmarineproducts.com/content/dam/chevron-marine/fuels-brochure/Chevron\\_Everything%20You%20Need%20To%20Know%20About%20Marine%20Fuels\\_v8-21\\_DESKTOP.pdf](https://www.chevronmarineproducts.com/content/dam/chevron-marine/fuels-brochure/Chevron_Everything%20You%20Need%20To%20Know%20About%20Marine%20Fuels_v8-21_DESKTOP.pdf)
2. Goriva i njihova primjena na brodu- Enco Tireli
3. <https://www.exxonmobil.com/en/marine/technicalresource/marine-resources/marine-distillate-fuels-iso-8217-2017>
4. [ERS MAN B&W 5L90MC-L11 Machinery & Operation MC90-V \(uniri.hr\)](#)

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Vrste teškog goriva prema standardu ASTM D-396 [2].....	2
Tablica 2. Standardi za dizelska goriva prema ISO 8217 [3] .....	3
Tablica 3. Standardi za teško gorivo prema ISO 8217 [3].....	3
Tablica 4. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete dizelskog goriva na Hd= 42697.2 kJ/kg pri tlaku od 7 bara .....	10
Tablica 5. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete dizelskog goriva na Hd= 42697.2 kJ/kg pri tlaku od 10 bara .....	11
Tablica 6. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete dizelskog goriva na Hd= 39 000 kJ/kg pri tlaku od 7 bara .....	11
Tablica 7. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete dizelskog goriva na Hd= 39 000 kJ/kg pri tlaku od 10 bara .....	11
Tablica 8. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete dizelskog goriva na Hd= 40 000 kJ/kg pri tlaku od 7 bara .....	12
Tablica 9. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete dizelskog goriva na Hd= 40 000 kJ/kg pri tlaku od 10 bara .....	12
Tablica 10. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete dizelskog goriva na Hd= 41 000 kJ/kg pri tlaku od 7 bara.....	13
Tablica 11. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete dizelskog goriva na Hd= 41 000 kJ/kg pri tlaku od 10 bara.....	13
Tablica 12. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete teškog goriva na Hd= 40604,2 kJ/kg pri tlaku od 7 bara .....	21
Tablica 13. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete teškog goriva na Hd= 40604,2 kJ/kg pri tlaku od 10 bara .....	21
Tablica 14. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete teškog goriva na Hd= 39 000 kJ/kg pri tlaku od 7 bara .....	21
Tablica 15. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete teškog goriva na Hd= 39 000 kJ/kg pri tlaku od 10 bara .....	21
Tablica 16. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete teškog goriva na Hd= 40 000 kJ/kg pri tlaku od 7 bara .....	22
Tablica 17. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete teškog goriva na Hd= 40 000 kJ/kg pri tlaku od 10 bara .....	22
Tablica 18. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete teškog goriva na Hd= 41 000 kJ/kg pri tlaku od 7 bara .....	22
Tablica 19. Vrijednosti dobivene ispitivanjem utjecaja kvalitete teškog goriva na Hd= 41 000 kJ/kg pri tlaku od 10 bara .....	22



## POPIS GRAFIKONA

Graf 1. Postotak kisika u ispušnom plinu dizelskog goriva.....	14
Graf 2. Postotak dima u ispušnom plinu dizelskog goriva .....	14
Graf 3. NO <sub>x</sub> kao produkt izgaranja u ispušnom plinu dizelskog goriva .....	15
Graf 4. NO <sub>x</sub> kao emisija ispušnog plina dizelskog goriva .....	15
Graf 5. SO <sub>x</sub> kao produkt izgaranja dizelskog goriva.....	<b>Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.</b>
Graf 6. SO <sub>x</sub> kao emisija u ispušnom plinu dizelskog goriva.....	17
Graf 7. CH kao produkt izgaranja dizelskog goriva .....	17
Graf 8. CH kao emisija ispušnog plina dizelskog goriva .....	18
Graf 9. CO kao produkt izgaranja dizelskog goriva .....	18
Graf 10. CO kao emisija ispušnog plina dizelskog goriva .....	19
Graf 11. CO <sub>2</sub> kao produkt izgaranja dizelskog goriva .....	19
Graf 12. CO <sub>2</sub> kao emisija u ispušnom plinu dizelskog goriva .....	20
Graf 13. Postotak kisika u ispušnom plinu teškog goriva.....	23
Graf 14. Postotak dima u ispušnom plinu teškog goriva .....	24
Graf 15. NO <sub>x</sub> kao produkt izgaranja teškog goriva.....	24
Graf 16. NO <sub>x</sub> kao emisija u ispušnom plinu teškog goriva.....	25
Graf 17. SO <sub>x</sub> kao produkt izgaranja teškog goriva .....	25
Graf 18. SO <sub>x</sub> kao emisija u ispušnom plinu teškog goriva .....	26
Graf 19. CH kao produkt izgaranja teškog goriva .....	26
Graf 20. CH kao emisija u ispušnom plinu teškog goriva .....	27
Graf 21. CO kao produkt izgaranja teškog goriva .....	27
Graf 22. CO kao emisija u ispušnom plinu teškog goriva .....	28
Graf 23. CO <sub>2</sub> kao produkt izgaranja teškog goriva .....	28
Graf 24. CO <sub>2</sub> kao emisija u ispušnom plinu teškog goriva .....	29

## **POPIS SLIKA**

Slika 1. Sustav goriva brodskog generatora pare [4] .....	7
Slika 2. Loženi generator pare [4] .....	8
Slika 3. Dnevni tankovi dizelskog i teškog goriva [4].....	9