

Žarko Koboević *

Nikša Koboević **

Matko Bupić ***

ISSN 0469 - 6255
(179 - 185)

OŠTEĆENJA I KVAROVI BRODSKIH DIZELSKIH MOTORA ZBOG SVOJSTAVA TEŠKOG GORIVA

DAMAGE AND FAULTS IN DIESEL ENGINES DUE TO FUEL OIL PROPERTIES

UDK 621.436+368.02
Stručni rad
Professional paper

Sažetak

U radu se analizira utjecaj pojedinih svojstava teškog goriva, kao što su gustoća, viskoznost, zapaljivost, sadržaj vode, pepela, sumpora i drugo, na oštećenja i kvarove brodskih dizelskih motora. Razmatraju se pojedini mjerni parametri pomoću kojih se dijagnosticira stanje kvarova ili razvoj oštećenja, te iznose postupci za smanjenje mogućnosti nastanka oštećenja ili smetnji normalnog rada brodskih dizelskih motora.

Summary

The influence of particular fuel oil properties such as density, viscosity, inflammability, contents of water, ash, sulphur and other on the damage and faults in diesel engines has been analysed in this paper. Particular value parameters helping to diagnose the state of faults or development of damage have been considered and the methods for minimising the chances of damage or disturbances of the normal diesel engine running have also been stated.

1. Uvod Introduction

Goriva koja se danas isporučuju brodovima za rad njihovih dizelskih motora sve su lošije kvalitete i istovremeno sve skuplja, što nas obvezuje da s većom pozornošću pristupamo problemu obrade teškog goriva. Na taj način moguće je utjecati na smanjenje broja i opsega kvarova, zastoja i havarija, čime se smanjuju direktni i indirektni troškovi koji pri tome nastaju.

Moderna teška goriva uglavnom su mješavine destilata i rezidualnog goriva (ostataka poslije destilacije). Takva goriva imaju lošija svojstva zapaljivosti i izgaranja. Neka svojstva teškog goriva, kao što su: viskozitet, sadržaj asfalta i ostatak koksa, imaju sve manji utjecaj pri kvantificiranju kvalitete goriva. Istodobno, svojstva poput: gustoće, omjera gustoće i viskoziteta, kompatibilnosti, stabilnosti, tendencije proizvodnje taloga, zajedno s korozivnim i abrazivnim svojstvima, sve su važnija za definiranje kvalitete teškog goriva.

2. Veza između svojstva teškog goriva i oštećenja Connection between fuel oil properties and damage

Na veliki broj karakteristika teškog goriva nije moguće utjecati obradom prije uporabe. To znači da su, i pored optimalno izvršenog neophodnog obrađivanja teškog goriva, još uvijek mogući kvarovi ili oštećenja uzrokovani postignutim svojstvima goriva nakon obrade. Međutim, jasno je da se mnoga primjećena oštećenja i kvarovi mogu izbjeći ispravnim

* Žarko Koboević, dipl. ing.
Između dolaca 10, Mokošica

** Nikša Koboević, dipl. ing.
Pomorski fakultet Dubrovnik, Dubrovnik

*** Matko Bupić, dipl. ing.
Pomorski fakultet Dubrovnik, Dubrovnik
Auto-Dubrovnik d.d., Dubrovnik

obrađivanjem teškog goriva na brodu. Stoga, ako postoji sumnja u oštećenja motora, prije bilo kakvih zahvata na motoru, važno je uvjeriti se da je sustav za obradu i tretiranje goriva ispravan i da funkcionira besprijekorno. Uočeni problemi na pojedinom strojnom elementu, nastali kao posljedica svojstava goriva, mogu se očekivati i na ostalim istovrsnim elementima. Npr. ako se primjeti veliko istrošenje jedne košuljice zbog čestica u gorivu, realno je očekivati povećano istrošenje i na ostalim košuljicama. Jednako tako, abnormalnost dotičnog svojstva goriva uočiti će se u istovremenim promjenama mjerenih veličina koje pokazuju istovrsni instrumenti i pokazivači. Npr. povećanje temperature ispušnih plinova zbog sporijeg izgaranja primjetiti će se na pirometrima svih cilindara.

2.1. Abnormalno zapaljenje i izgaranje *Abnormal ignition and combustion*

Gustoća goriva opada s povećanjem temperature, ali na svojstvo gustoće ne može se utjecati obradom goriva. Općenito, gustoća nema neposrednog utjecaja na radne uvjete motora, ali visoka gustoća je pokazatelj da gorivo sadrži teške ili složene ugljikovodike. Ovo može dovesti do sporog izgaranja i povećanja stupnja zakašnjelog izgaranja. Sporo i zakašnjelo izgaranje ima sljedeće posljedice na motor:

- povećanje temperature stijenki cilindara (povećanje temperaturnih opterećenja);
- smanjenje efektivnosti i zbog toga povećani specifični potrošak goriva;
- povećanje temperature ispušnih plinova;
- povećanje tendencije stvaranja naslaga i nečistoća;
- povećanje trošenja uslijed termičkog preopterećenja sloja ulja na stijenkama cilindara.

Viskozitet je veoma ovisan o temperaturi goriva i opada s povećanjem temperature. Na viskozitet se također ne može utjecati procesom obrade goriva. Viskozitet se ne koristi za indikaciju kvalitete goriva. Mjeri se pri temperaturama od 50°C, 80°C i 100°C radi utvrđivanja neophodne temperature zagrijavanja za postizanje odgovarajuće vrijednosti viskoziteta na visokotlačnim pumpama za dani motor.

Tipične vrijednosti viskoziteta teškog goriva leže u rasponu od 10-20 cSt. Ispravne vrijednosti viskoziteta na visokotlačnim pumpama važne su radi osiguranja optimalnog zapaljenja i izgaranja. Zapaljenje i izgaranje nije naročito osjetljivo na varijacije u viskozitetu uštrcavanja. Ako je temperatura predgrijavanja jako velika, viskozitet goriva će biti suviše mali. Ovo može dovesti do smanjenja tlaka uštrcavanja. Veće odstupanje može rezultirati slabijim raspršivanjem, zbog čega dolazi do nepotpunog izgaranja.

Veće temperature goriva povećavaju termičko opterećenje visokotlačnih pumpi. Ovo može rezultirati ogrebotinama elemenata visokotlačne pumpe za vrijeme prekomjernog toplinskog opterećenja, kao i smanjenim podmazivanjem gorivom.

Niska temperatura predgrijavanja uzrokovat će previsoku vrijednost viskoziteta, što rezultira povećanjem

tlaka uštrcavanja. Veće odstupanje može dovesti do mlazova goriva koji su previše dugi i koji mogu dodirivati čelo stapa. Također dovodi do povećanja mehaničkih naprezanja u visokotlačnoj pumpi, što u krajnjem slučaju može uzrokovati lomove. Kad nismo sigurni koju temperaturu predgrijavanja koristiti, općenito je bolje izabrati nešto nižu vrijednost temperature predgrijavanja.

Goriva sa svojstvima slabe **zapaljivosti** povećavaju zakašnjenje zapaljenja smjese. To znači da treba više vremena (u milisekundama ili kutu zakreta koljenčaste osovine) od trenutka uštrcavanja do početka izgaranja. Svojstvo slabe zapaljivosti posebno dolazi do izražaja kad motor radi pri malom opterećenju i prilikom upućivanja motora, a posebno ako uz to motor nije dovoljno ugrijan.

Od trenutka uštrcavanja goriva, tijekom cijelog intervala kašnjenja zapaljenja, jedna izvjesna količina goriva će se akumulirati u prostoru izgaranja. Veći dio ove količine goriva će se pomiješati sa zrakom i tako pripremiti za trenutak početka izgaranja. Kad se zapaljenje konačno dogodi, počinje izgaranje povećane količine goriva, što se naziva teškim izgaranjem. Ono će uzrokovati iznenadno i naglo povećanje tlaka u cilindru, što ima za posljedicu mali pomak koljenčaste osovine. Rezultat je veliko povećanje mehaničkog opterećenja na stapnim prstenovima i na drugim dijelovima stapnog mehanizma.

Karakteristična oštećenja koja mogu nastati uporabom goriva s lošijim svojstvima zapaljenja su:

- oštećenja stapnih prstenova i njihovi lomovi;
- propuštanja plinova izgaranja mimo prstenova;
- smetnje u razmazivanju uljnog filma po košuljicama i prekomjerno istrošenje košuljica;
- lomovi i erozijska oštećenja stapova i klipova;
- povećana mehanička opterećenja kroz duže vrijeme mogu uzrokovati oštećenja ležaja motora.

Kasno zapaljenje uzrokom je i čitavom nizu drugih poremećaja, kao što su:

- povećana toplinska opterećenja motora, jer se izgaranje može nastaviti i poslije otvaranja ispušnog ventila;
- naslage na čelu stapa, ispušnim ventilima, u ispušnim granama te na rotorskim i statorskim lopaticama turbina;
- onečišćenje turbopuhala dovodi do smanjenja efikasnosti turbopuhala, što dodatno povećava toplinska opterećenja dizelskog motora.

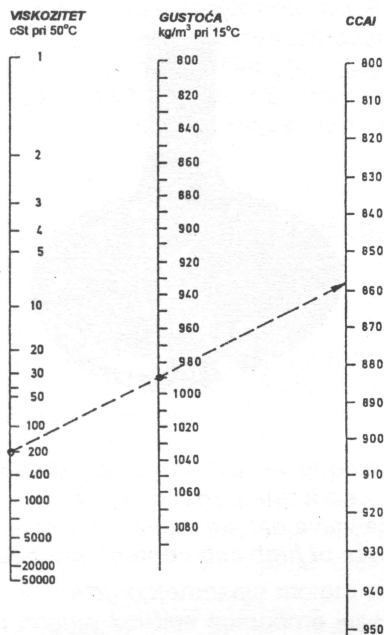
Zakašnjenje zapaljenja goriva približno se može utvrditi iz viskoziteta i gustoće, te izraziti kao **CCAI vrijednost** (Calculated Carbon Aromaticity Index). CCAI je parametar koji je razvila i predstavila naftna tvrtka "Shell" i može se izračunati pomoću izraza:

$$CCAI = D - 140,7 \cdot \log [(V + 0,85)] - 80,6 \quad (1)$$

gdje je: D ... gustoća u kg/m^3 pri 15°C

V ... viskozitet u cSt pri 50°C.

Slika 1. prikazuje nomogram koji se koristi umjesto gornjeg izraza za jednostavno određivanje CCAI vrijednosti teškog goriva. Izraz (1), tj. pripadni nomo-



Sl.1. Nomogram za približno određivanje CCAI vrijednosti
 Fig.1. Nomogram for calculating the approximate value for "Calculated Carbon Aromaticity Index - CCAI"

gram, može se koristiti za obje vrste goriva, destilate i teška goriva.

CCAI vrijednost leži u granicama od 790 do otprilike 950, ovisno o vrijednostima viskoziteta i gustoće teškog goriva.

Općenito niska CCAI vrijednost pokazuje da gorivo ima dobra svojstva zapaljivosti, dok je visoka CCAI vrijednost znak loše zapaljivosti goriva, što se može vidjeti u sljedećoj tablici:

CCAI vrijednost	Zapaljivost goriva
790 - 830	vrlo dobra / dobra
830 - 850	dobra / zadovoljavajuća
850 - 870	promjenjiva / loša
870 - 950	loša / neupotrebjljiva

Na slici 2. prikazano je stanje CCAI vrijednosti teškog goriva koje se koristi na brodovima posljednih nekoliko godina.

Potrebno je naglasiti da je CCAI vrijednost upotrebljiva jedino za indikaciju svojstva zapaljivosti i da CCAI vrijednost nije dio niti jednog standarda o gorivima.

Naftna tvrtka "BP" također je uvela matematički model za izračunavanje broja koji pokazuje kvalitetu izgaranja teškog goriva. Taj broj se naziva **CII vrijednost** (Calculated Ignition Index) i izračunava se pomoću sljedeće formule:

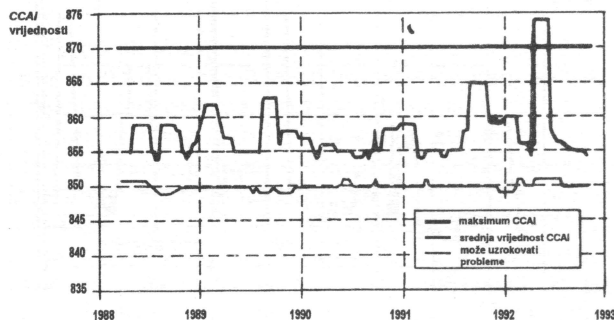
$$CII = (270,795 + 0,1038 \cdot T) - 254,565 \cdot D + 23,708 \cdot \log(V + 0,7) \quad (2)$$

gdje je :

D ... gustoća u g/ml pri 15°C

V ... viskozitet u cSt

T ... odgovarajuća temperatura za viskozitet u °C



Sl.2. CCAI vrijednosti teškog goriva koje je u uporabi na brodovima

Fig.2. Value for "Calculated Carbon Aromaticity Index - CCAI" of fuel oil

CII vrijednost kreće se od 65 do 15 i može do određenog stupnja biti nadomjestak cetanskog broju teškog goriva. Visoka CII vrijednost pokazuje dobru kvalitetu zapaljivosti, dok niska CII vrijednost pokazuje loša svojstva zapaljivosti. CII vrijednost u pravilu rjeđe se koristi za pokazivanje kvalitete zapaljivosti teškog goriva.

Općenito je nepoželjno da gorivo sadrži vodu kad se uštrcava u motor. U praksi je nemoguće odstraniti u potpunosti vodu iz goriva, ali sadržaj vode ne smije biti veći od 1%. Ovo posebno vrijedi za morsku vodu, jer predstavlja opasnost da natrijev klorid dospije u cilindar. Slatka voda se može tolerirati u većoj količini od morske. Veća količina vode imat će negativan utjecaj na uštrcavanje i proces izgaranja, te može dovesti do sljedećih problema:

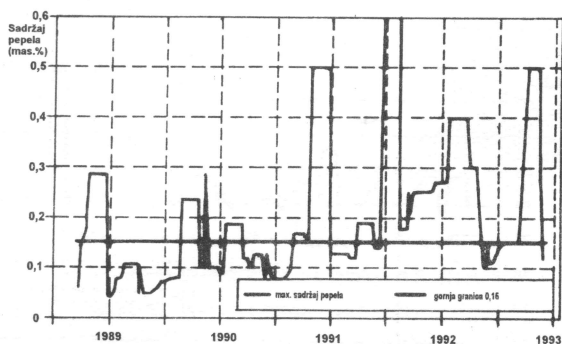
- isparavanja i stvaranja vodene pare;
- pojave kavitacije i erozije komponenti u sustavu uštrcavanja;
- nestabilnog i nepotpunog izgaranja goriva,
- pojave visokotemperaturne korozije u cilindru i turbopuhalu i do stvaranja naslaga i nečistoća.

2.2. Istrošenje, propadanje i lom stapnih prstenova, propuštanje plinova Wear, piston ring collapse and breakage, gas leakage

Sadržaj pepela u gorivu daje indirektnu informaciju o sadržaju neizgorivih nečistoća, kao što su:

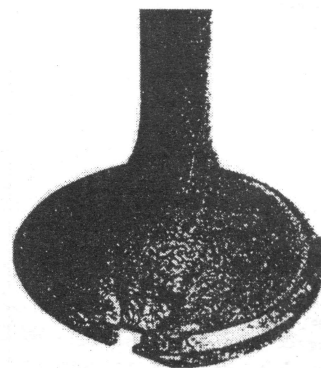
- čvrste nečistoće u obliku zrnaca (pijesak, rđa, ostaci katalizatora, itd.);
- soli metala (vanadija, natrija, itd.);
- ostale anorganske nečistoće.

Veliki sadržaj pepela, obično viši od 0.1%, pokazuje veliku razinu jedne ili više prije navedenih nečistoća. Sadržaj pepela ne pokazuje vrstu nečistoće. S gorivom koje sadrži veliki postotak pepela potrebno je



SI.3. Porast sadržaja pepela u teškom gorivu posljednjih godina

Fig.3. Bunker fuel ash content shows a rising trend last years



SI.4. Oštećenje ventila kao posljedica velikog sadržaja pepela u gorivu

Fig.4. The valve damage mechanism as consequence of high ash content in the fuel

biti vrlo oprezan u predobradi. Čestice nečistoća, obično ostaci katalitičkog procesa, mogu dovesti do ekstremnog abrazivnog trošenja košuljica i sustava uštrcavanja goriva. Teško je postaviti gornju granicu prihvatljivog sadržaja aluminija u gorivu. Gornja granica od 30 ppm, koja je preporučena od British Standard BS MA 100, daje malu sigurnost protiv ove vrste istrošenja. International Standard ISO 8317 ne propisuje preporučenu granicu.

Veliki sadržaj čestica neizgorivih nečistoća može uzrokovati sljedeća oštećenja:

- istrošenje stapova i košuljica visokotlačnih pumpi, te snižavanje radnih tlakova;
- pojavu brazgotina na stapovima visokotlačnih pumpi;
- istrošenje elemenata i loše performanse rasprskavača;
- istrošenje cilindarske košuljice, stapnih prstenova i stapnih utora;
- slabljenje funkcije stapnih prstenova, propuštanje plinova i lom samih prstenova.

Trošenje košuljice bit će veće u gornjim dijelovima i može doseći i nekoliko mm na 1000 radnih sati. Veliko istrošenje visokotlačnih pumpi često znači da je nemoguć rad motora s destilatom jer je radni tlak pumpe nedovoljan za tako mali viskozitet goriva. Ovo rezultira da se igla u rasprskavaču ne može podići sa sjedišta mlaznice, pa ne dolazi do uštrcavanja goriva.

Vrlo je nepovoljno prisustvo aluminijevog oksida i silikata u gorivu, što ukazuje na prisustvo tvari koje se koriste u rafinerijskom procesu katalitičkog kreiranja. Te katalitičke tvari su aluminijevi i silicijevi spojevi (Al_2O_3 i SiO_2). Iako se ove katalitičke tvari uklanjaju, ipak do 5% zaostane u teškom gorivu.

Međutim, pažljivim centrifugiranjem glavnina ovih aluminijevih i silicijevih sastojaka može se ukloniti iz goriva. S jednim klarifikatorom ukloni ih se 75%, a s dva i do 85%.

2.3. Visokotemperaturna korozija High temperature corrosion

Vanadij i natrij u gorivu mogu za vrijeme izgaranja prouzročiti nastanak nekoliko različitih oksida, koji su u obliku plinova, tekućina ili čvrstih tvari, ovisno o temperaturi u cilindru i sastavu oksida. Mnogi od ovih oksida mogu uzrokovati jaku koroziju (visokotemperaturnu koroziju) ako se talože na metalnu površinu. Naročito su pod ovim utjecajem ispušni ventili, čelo stapa i dijelovi turbine (sapnice i lopatice). Oštećenje nastaje kada je temperatura vrućih metalnih površina približno jednaka temperaturi prijanjanja metalnih oksida. Na toj temperaturi metalni oksid postaje korozivan i razara metalne površine. Ti se spojevi na ispušnim ventilima lijepe na dosjedne površine. Čim počne stvaranje naslage poraste temperatura ventila, uzrokujući smanjenje prijenosa topline do relativno dobro hlađenog sjedišta ventila. Budući da je debljina naslage dovoljno tanka, djelomično se lomi, a plinovi izgaranja prolazeći velikom brzinom kroz nastale pukotine uzrokuju pojavu oksidacije, koroziju i mehanička naprezanja materijala ventila.

Najniža temperatura na kojoj počinje visokotemperaturna korozija nije precizno određena, ali neka su ispitivanja pokazala da se korozija metala ubrzava na temperaturi višoj od $480^{\circ}C$ a naročito iznad $530^{\circ}C$.

Današnji dizelski motori mogu tolerirati sadržaj vanadija i preko 400 ppm. Za starije 4-taktne motore ova granica je niža, obično u rasponu od 150 do 250 ppm. Postojeći standardi za teška goriva propisuju granicu sadržaja vanadija od 600 ppm za teška goriva visokog viskoziteta, što znači veliki rizik od visokotemperaturne korozije, čak i za moderne dizelske motore, a naročito ako oni rade na većim opterećenjima

Osim navedenog vrlo je važan omjer natrija i vanadija u pepelu jer o tom omjeru ovisi i točka taljenja njihovih spojeva. Najnepovoljniji težinski omjer natrija i vanadija je 1:3. Pri nižim temperaturama vanadij djeluje kao katalizator i pospješuje izgaranje sumpora u sumporni trioksid.

Vanadij, jedan od sastojaka pepela koji je rastopljen u gorivu, ne može se u potpunosti odstraniti čak ni separiranjem ili filtriranjem. Natrij je uglavnom topljiv u vodi i njegov sadržaj može biti smanjen na manje opasnu količinu pomoću dobrog separiranja.

2.4. Niskotemperaturna korozija *Low temperature corrosion*

Sumpor u teškom gorivu u normalnim uvjetima rada ne uzrokuje nastajanje problema. Za vrijeme normalnog rada motora sumporna kiselina nastala izgaranjem goriva neutralizira se uporabom kvalitetnih cilindarskih i sistemskih ulja za podmazivanje. Od velikog je značaja izbor prave lužnatosti ulja (TBN vrijednosti) koja je u svezi sa sadržajem sumpora u gorivu. Za mnoga teška goriva najpovoljnije je cilindarsko ulje od 70 TBN. Za vrijeme djelomičnog opterećenja ili malog opterećenja motora može doći do nastanka znatne količine sumporne kiseline. Ovo se obično događa ako zrak za prednabijanje sadrži veću količinu vlage.

Pojava se manifestira u obliku točkaste korozije (pitting) na srednjem i donjem dijelu košuljice. Niskotemperaturna korozija ponekad napada mlaznice rasprskavača ili vreteno ventila kada su oni pojačano hlađeni. Također se niskotemperaturna korozija manifestira i na stijenkama kotlova i ekonomajzera grijanih ispušnim plinovima. Da bi se ovo izbjeglo, temperatura ispušnih plinova iza izmjenjivača topline ne bi smjela biti ispod 160°C.

2.5. Onečišćenje *Fouling*

Poznato je da mnogi problemi u eksploataciji nastaju zbog onečišćenja komponenti ili sustava. Međutim, normalno je da postoji određeni stupanj nečistoće u dizelskom motoru. Problemi u radu i oštećenja nastaju kad je sadržaj nečistoća i naslaga prevelik ili kad je prisutna posebna vrsta naslaga (korozivni slojevi nečistoća).

Veliki sadržaj pepela u gorivu dovodi do brzog nastajanja naslaga nečistoća, a naročito ako je sadržaj pepela u gorivu iznad 0,15%. Rad motora duže vrijeme na teško gorivo pri nižem opterećenju povećava stvaranje naslaga nečistoća u motoru. Zakašnjeno paljenje također uzrokuje stvaranje naslaga u motoru, što povećava toplinska opterećenja motora.

3. Dijagnoza kvarova i oštećenja *Diagnosis of faults and the effects of damage*

Pomoću uobičajenog mjernog instrumentarija brodskog motora može se pouzdano utvrditi stanje kvara ili razvoj oštećenja.

3.1. Temperatura ispušnih plinova *The exhaust temperature*

Sporo izgaranje ili kasno zapaljenje smjese za vrijeme takta ekspanzije rezultira povećanjem temperature ispušnih plinova. To znači da se količina energije ispušnih plinova također povećava, što može dovesti do povećanog broja okretaja turbopuhala. Sporog izgaranje može uzrokovati neravnomjeran rad turbopuhala i puknuće kućišta turbopuhala. U svezi s ovim potrebno je imati na umu da je temperatura ispušnih plinova u funkcionalnoj zavisnosti od temperature zraka prednabijanja, tj. temperature ispirog zraka. Povećanje temperature ispirog zraka za 1°C rezultira povećanjem temperature ispušnih plinova za 2 - 3°C.

Također treba imati na umu da promjene u toplinskom opterećenju pojedinih cilindara ne moraju imati za posljedicu nikakve promjene karakteristika ispušnih plinova. Postoji niz promjena i nepravilnosti u procesu izgaranja koje vrlo malo utječu na temperaturu ispušnih plinova. To znači da temperatura ispušnih plinova, kao dijagnostički parametar, pruža vrlo ograničenu mogućnost otkrivanja kvarova u početnom stupnju razvoja.

3.2. Tlak u cilindru *Cylinder pressure*

Krivulja tlaka u cilindru primarno ovisi o procesu izgaranja, ali također i o tlaku i temperaturi ispirog zraka, stanju sustava za uštrcavanje goriva, kao i o svojstvima samog goriva.

Za snimanje dijagrama tlaka izgaranja, tzv. indikatorskog dijagrama, koriste se moderne mjerne tehnike. Međutim, i pored uporabe pouzdanih analitičkih metoda postoje brojni razlozi zbog kojih je teško potpuno precizno odrediti vrijednost tlaka izgaranja, što znači da promjene u tlaku jedino mogu biti otkrivene kada kvar proizvede veće devijacije krivulje tlaka u cilindru.

Za otkrivanje nepravilnosti u procesu izgaranja koriste se sljedeći podaci iz indikatorskog dijagrama:

- točka zapaljenja, izražena u stupnju zakreta koljenčastog vratila;
- nagib krivulje tlaka nakon zapaljenja;
- maksimalni tlak izgaranja i položaj koljenčastog vratila u tom trenutku;
- povećanje tlaka od početka izgaranja do maksimalne vrijednosti ("skok paljenja").

Pri uporabi teškog goriva koje ima loša svojstva zapaljivosti (npr. kasno zapaljenje, dugo izgaranje i sl.) mogu biti zapažene sljedeće promjene u izgledu krivulje tlaka izgaranja:

- zakašnjeno zapaljenje;
- povećan nagib krivulje tlaka poslije zapaljenja;
- povećan maksimalni tlak izgaranja;
- promjenjen za nekoliko stupnjeva "skok paljenja" na sličan način kao i maksimalni tlak izgaranja.

3.3. Tlak uštrcavanja *Injection pressure*

Za dobijanje prave slike trajanja kašnjenja zapaljenja (npr. u stupnjevima koljenčaste osovine) mora biti poznata točka početka uštrcavanja goriva. To znači da krivulja tlaka uštrcavanja se mora izmjeriti. Moderni mjerni instrumentarij na brodskim dizel motorima obuhvaća i instrumente za ovu vrstu mjerenja. Kako krivulja tlaka uštrcavanja ovisi o viskozitetu goriva, koji opet ovisi o temperaturi predgrijavanja goriva, previše niska temperatura predgrijavanja goriva ima za posljedicu veći viskozitet pri uštrcavanju, što dovodi do povećanja maksimalnog tlaka uštrcavanja, te povećava nagib krivulje tlaka u cilindru u početku uštrcavanja. Povećanjem tlaka uštrcavanja skraćuje se trajanje uštrcavanja, jer se količina uštrcanog goriva povećava s povećanom razlikom tlaka. Previsoka temperatura predgrijavanja rezultira nižim viskozitetom pri uštrcavanju, što dovodi do smanjenja maksimalnog tlaka uštrcavanja i nižeg nagiba krivulje tlaka u cilindru u početku uštrcavanja.

Tlak uštrcavanja bitno ovisi o rasprskraču i o visokotlačnoj pumpi. Istrošena visokotlačna pumpa rezultira sporijim porastom tlaka za vrijeme perioda uštrcavanja, kasnijim uštrcavanjem i nižim maksimalnim tlakom uštrcavanja. Ovo direktno utječe na oblik mlaza goriva u cilindru, a tako i na prirodu procesa izgaranja. Istrošenje igle ili elementa rasprskrača rezultira nepreciznim početkom i završetkom perioda uštrcavanja. Ovo može dovesti do promjena vrijednosti tlaka uštrcavanja i samog procesa izgaranja. Također treba imati na umu da su istrošenja pogonskog dijela visokotlačnih pumpi obično uzrok zakašnjenja uštrcavanja.

4. Smanjenje mogućnosti pojave oštećenja *Minimising the chances of damage*

Vjerojatnost pojave oštećenja ili kvara dizelskog motora ovisi o sljedećim faktorima:

- vanjskim ili okolnim uvjetima;
- specifičnostima i usklađenostima motora;
- stanju motora i pomoćnih sustava;
- vrsti rada i opterećenju.

U nastavku iznesen je kratki pregled postupaka kojima rukovatelj može smanjiti mogućnosti pojave oštećenja ili smetnji normalnog rada motora uzrokovanih svojstvima teškog goriva.

4.1. Promjena kuta uštrcavanja *Changed injection angle*

Pri radu motora s gorivom koje ima loša svojstva zapaljivosti, npr. povećano kašnjenje zapaljenja, to kašnjenje je moguće kompezirati na način da se poveća kut preduštrcavanja. Međutim, iskustvo je pokazalo da rad motora s ovakvim gorivom i ovakav

način podešavanja ima mali pozitivni učinak. To je zbog toga što zapaljivost ovakve vrste goriva strogo ovisi o tlaku i temperaturi u cilindru. Za vrijeme uštrcavanja niži tlak i temperatura komprimiranog zraka u cilindru imaju utjecaj na dužinu kašnjenja zapaljenja.

4.2. Povećanje radne temperature *Increase of process temperature*

Kao što je prije navedeno, zapaljivost goriva s lošim svojstvima zapaljivosti strogo ovisi o tlaku i temperaturi zraka u cilindru. To znači da je vrlo učinkovita metoda za poništavanje dugog kašnjenja zapaljenja upravo povećanje temperature punjenja cilindra. U načelu se to može postići na nekoliko načina:

- povećanjem temperature rashladne vode;
- povećanjem temperature ulja za podmazivanje;
- povećanjem temperature ispirnog zraka.

Najčešće primjenjivana metoda je povećanje temperature ispirnog zraka prije ulaska u cilindre. Povećanjem temperature ispirnog zraka povećava se radna temperatura ciklusa, što znatno smanjuje kašnjenje zapaljenja goriva. Povećanje temperature pri djelomičnom opterećenju također ima i drugih prednosti. Smanjeno je onečišćenje jer se proces izgaranja odvija brže i potpunije. Također je smanjen rizik i opseg niskotemperaturne korozije. Osim toga, povećanje temperature ispirnog zraka uvijek znači da je masa zraka dobavljenog u cilindar smanjena. Ovo će imati negativne posljedice na proces izgaranja za vrijeme većih opterećenja (veće temperature ispušnih plinova, povećano trošenje košuljica pri velikim opterećenjima, itd.).

4.3. Promjena opterećenja motora *Change of engine load*

Gorivo s lošim svojstvima zapaljivosti može stvarati poteškoće pri niskim opterećenjima motora. To je zbog toga što su tlak i temperatura u cilindru smanjeni pri takvim uvjetima rada. Povećano kašnjenje zapaljenja rukovatelj može zapaziti kao "grublji" rad motora. Taj "grublji" rad je zbog povećanog gradijenta tlaka (nagiba krivulje tlaka) u cilindru uzrokovanog povećanim kašnjenjem zapaljenja goriva. To dovodi do većih mehaničkih opterećenja na stapnim prstenovima i drugim komponentama motora.

U takvim okolnostima pri nižem opterećenju motora, moguće je smanjiti mehanička naprezanja povećanjem opterećenja motora. Tada se povećavaju tlak i temperatura u cilindru i, kao što je spomenuto, tada je kašnjenje zapaljenja goriva manje. Rukovatelj će primjetiti da motor radi mirnije i ravnomjernije.

5. Zaključak *Conclusion*

Svjedoci smo naglog pada kvalitete goriva za brodske dizel motore posljednjih godina, a osnovana predviđanja upućuju da se to neće zaustaviti nego i dalje

nastaviti. Razlog tome je što se svijet sve više udaljava od energetskog izobilja i približava nestašicama i skućama za nas tako važnog fosilnog goriva.

Naravno, sve to rezultira povećanjima cijena goriva, ali s druge strane i povećanim naporom proizvođača motora koji koriste ta skupa goriva da iznađu rješenja za primjenu jeftinijih goriva znatno lošije kvalitete. Takvih rezultata ima sve više, tako da se na tržištu pojavljuje sve više dizelskih motora koji mogu koristiti vrlo loša, ali jeftinija goriva. Ni proizvođači ulja ne zaostaju za njima pa se na tržištu pojavljuju nova ulja koja mogu udovoljiti sve složenijim zahtjevima novih nekvalitetnih goriva. Također su uređaji za pripremu i obradu goriva na brodovima sve složeniji i osjetljiviji. Međutim, i dalje na brodovima rade ljudi koji trebaju imati dovoljno znanja i sposobnosti da predvide ili

spriječe teške kvarove ili zastoje koji mogu biti uzrokovani lošom kvalitetom goriva.

Literatura References

- [1] Diesel United, Ltd., Course for Sludge Deposit in Diesel Engines, Bulletin No. TSI20(E)
- [2] "Marintek" - Norwegian Marine Tehnology Research Institute, Fuel Oil Hand Book, Publication P-08/90, 1990.
- [3] Norrmen Elizabeth, Fuel Review - Wartsila Diesel Group, Marine News, 1994.
- [4] Žarko Koboević, Utjecaj kvalitete goriva i ulja na glavne karakteristike diesel motora s osvrtom na moderne sustave za obradu goriva i ulja na brodovima /diplomski rad/, Pomorski fakultet Dubrovnik, 1991.

Rukopis primljen: 11. 9. 1996.

NO TIME LOST



When your ship needs repair, every hour lost means money down the drain. That's why Scheldepoort Repairyard works around your schedule. Backed by Royal Schelde, we've got all equipment and spare parts you need when there's no time to lose. Not to mention a dedicated and reliable staff who are trained in all aspects of ship repair. Whether your ship is in port or at sea, our team of ship mechanics will be there with the required expertise and means when you need it most.

Located off Vlissingen roads, Scheldepoort Repairyard delivers high-quality maintenance, repairs and ship-conversion work for both planned dockings and unexpected casualties. Even the most complex challenges are welcome.

For projects that demand urgent attention, our mobile repair units are on call 24 hours a day, seven days a week. Ideally, we try to handle all repairs while the ship is being loaded or unloaded. We'll see to it that there's no time lost.



SCHELDEPOORT
REPAIRYARD

Saving you time is our business

Ritthemsestraat 500, Harbour 1010, Vlissingen-Oost. P.O. Box 16, 4380 AA Vlissingen, The Netherlands. Phone: +31 118-483000, Telefax: +31 118-483010, Telex: 37825