

PROMJENA GORIVA NA BRODU U KONTEKSTU SIGURNOSTI PLOVIDBE

Onboard Switching of Fuel in the context of Safety of Navigation

Astrid Zekić, dipl. ing.

Pomorski fakultet u Rijeci
Sveučilište u Rijeci
E-mail: astrid.zekic@gmail.com

Radoslav Radonja, mag. ing.

Pomorski fakultet u Rijeci
Sveučilište u Rijeci
E-mail: radonja@pfri.hr

Dean Bernečić, dr. sc.

Pomorski fakultet u Rijeci
Sveučilište u Rijeci
E-mail: berneccic@pfri.hr

UDK 629.12:665.7
656.61

Sažetak

Zahtjevi za smanjenjem onečišćenja atmosfere s brodova i ograničavnje emisija SO_x-a iz brodskih ispušnih sustava u pojedinim područjima rezultirali su uporabom „nisko sumpornog goriva“ (umjesto prethodno uobičajenog „visoko sumpornog“), čime se omogućuje brodovima usklađivanje s donesenim propisima. No, to je za posljedicu imalo poteškoće u radu dizelskih motora, poglavito pri promjeni goriva u pogonu. Kako se promjena obavlja pri ulasku ili izlasku iz područja gdje se nadzire emisija, a koja su obično prometno visoko opterećena, poteškoće su se odrazile i na sigurnost plovidbe.

Cilj ovom radu je istražiti uzroke poteškoća pri promjeni goriva na brodu, te na osnovi dobivenih rezultata i pregleda objavljenih istraživanja predstaviti prijedlog za sprječavanje njihova nastanka.

Ključne riječi: sigurnost plovidbe, ograničenje sadržaja sumpora u brodskom gorivu, promjena goriva.

Summary

Requirements for reducing air pollution from ships and limiting of SO_x emissions from ship's exhaust system in some areas resulted in the use of 'low-sulphur fuels' (instead of the previously common 'high-sulphur' fuel), which allows ships compliance with legislation. However, it has caused difficulties in the operation of diesel engines as a consequence, particularly when fuel switching. As the fuel switching occurs when entering or leaving emission controlled areas, which are usually loaded with high traffic, the difficulties are reflected on the safety of navigation.

The aim of this paper is to analyse the causes of onboard fuel switching problems, and based on the results obtained and published researches reviewed to propose solutions to prevent their occurrence.

Keywords: safety of navigation, marine fuels sulphur content limit, fuel switching.

UVOD / Introduction

Povećani zahtjevi na ograničenje emisije štetnih plinova iz izvora na kopnu odrazili su se i na brodove na kojima su u širokoj uporabi dizelski motori (poradi propulzije ili kao primarni pokretači generatora) i uljni kotlovi.¹ Za izgaranje, najčešće je u uporabi teško dizelsko gorivo koje uz ugljikovodik sadržava i mnoge druge sastojke s produktima izgaranja štetnima po okoliš i ljudsko zdravlje. Zbog toga su na međunarodnoj razini prihvaćene konvencije i pravila (npr. MARPOL 73/78) kojima se nastoji smanjiti čovjekov utjecaj na onečišćenje.

Kao primarni onečišćivači atmosfere iz brodskih energetskih sustava prepoznati su [11]: NO_x, SO_x, CO, CO₂, LHOS², krute čestice³, teški metali i različiti vrlo štetni mikroonečišćivači (npr. PCB, PCDD, PCDF⁴ i sl.).

Udovoljenju zahtjeva iz donesenih propisa o sprječavanju onečišćenja atmosfere (globalno, MARPOL 73/78 – Prilog VI, te lokalno, različiti propisi pojedinih država, npr. Kalifornije) pokušao se poboljšati proces izgaranja u dizelskim motorima i uljnim kotlovima ili naknadno obraditi ispušne plinove[4].

Problemi s promjenom goriva na brodu i, posljedično, ugrožavanje sigurnosti plovidbe primarno su uzrokovani potrebom da se spriječi onečišćenje atmosfere sumporom. Pritom, ograničavanje udjela sumpora u gorivu (dakle na ulazu u proces izgaranja) najučinkovitija je metoda jer naknadna obrada ispušnih plinova (uporabom npr. hladnjaka – pročistača, engl. *scrubber*) uzrokuje dodatne probleme s odlaganjem ostataka.

Prihvaćenim zahtjevima da se onemogući onečišćenje atmosfere i proglašavanjem nekih područja posebno osjetljivima, te uvođenjem nadzora emisija s brodova u tim prostorima,⁵ uporaba teškoga goriva s visokim sadržajem sumpora postala je neprihvatljiva, pa je za brodove određena uporaba goriva s niskim udjelom sumpora.⁶

¹ Globalno, gotovo 92% dizelskih motora instalirano je poradi propulzije ili opskrbe električnom energijom [11].

² LHOS - lakohlapljivi organski sastojci - engl. *volatile organic compounds* –VOC.

³ Krute čestice - engl. *particulate matters* – PM.

⁴ PCB – poliklorirani bifenili; PCDD – poliklorirani dibenzodioksini; PCDF – poliklorirani dibenzofurani

⁵ Područja s nadzorom emisija - engl. *emission controlled areas* – ECAs.

⁶ U plovidbi izvan takvih područja dopuštena je uporaba visokosumpornog teškog goriva (HFO – engl. *heavy fuel oil*), no prije ulaska u takvo područje brod treba dostatno prije promijeniti gorivo na niskosumporno (npr. engl. *low sulfur fuel oil* – LSFO, ili na MDO – engl. *marine diesel oil*), kako bi pri ulasku u nadzirano područje u sustavu goriva glavnog motora gorivo već bilo zamijenjeno. LSFO – dopušteni maseni udio sumpora u gorivu je do 1%; HFO – ograničenje masenog udjela sumpora do 3,5% (iako je svjetski prosjek svega oko 2,7% – o.a.).

UTJECAJ POTEŠKOĆA PRI PROMJENI GORIVA NA SIGURNOST PLOVIDBE / The impact of difficulties when switching the fuel to safety of navigation

Promjena goriva za glavni motor postupak je koji može utjecati na sigurnost plovidbe, ili zbog zaustavljanja glavnog motora ili zbog njegova neispravnog rada, pri čemu se u prometno opterećenim područjima takvim događajem mogu dovesti u opasnost i drugi brodovi u blizini ili onečistiti okoliš.

U područjima u kojima se nadziru emisije ispušnih plinova iz brodskih energetskih postrojenja, promjena goriva mora se provesti i na pomoćnim motorima (brodskim dizelskim generatorima) i kotlovima. Problemi s promjenom goriva na pomoćnim motorima od posebne su važnosti jer svaka poteškoća u njihovu radu može uzrokovati ispad generatora iz brodske električne mreže, čega posljedica zna biti i raspad energetskog sustava (engl. *black-out*). To će zasigurno uzrokovati i zaustavljanje glavnog motora (zbog pomoćnih sustava o kojima ovisi njegov ispravan rad, npr. pumpe ulja ili vode za hlađenje kada nisu privještene uz sam motor i sl.). Vrijeme potrebno za ponovnu uspostavu pogona u tim okolnostima znatno je duže jer se mora prvo uspostaviti normalno stanje i opskrba električnog sustava (povratak iz stanja „u nuždi“ što nastane raspadom energetskog sustava), a tek potom i ponovno upućivati glavni motor. Posljedično će i sigurnost plovidbe tada biti ugrožena duže vrijeme i brod će predstavljati veći rizik u području u kojemu se nalazi.

Kako se na brodu u vrijeme manovre očekuje povećano opterećenje na generatorima, u uporabi su najčešće dva pomoćna motora koji takvo opterećenje mogu podnijeti. Zbog toga se pomoćni motor pred manovru obično priprema postupno tako da se gorivo promijeni na jednome pomoćnom motoru, pa se potom (kada je posada sigurna da je promjena uspješno obavljena i da taj motor ispravno radi) može promijeniti goriva na drugome motoru. Sam postupak promjene traje neznatno duže, ali je sigurniji za pogon.

Na svim brodovima gdje je u uporabi teško gorivo, ugrađeni su i kotlovi da proizvode paru za grijanje goriva⁷ i opću namjenu. Procedura promjene goriva za njih je slična, no poteškoće pritom ne bi smjele utjecati na sigurnost plovidbe, pa zato nisu predmet istraživanja u ovom radu.

⁷ Zbog vrlo malog udjela u svjetskoj floti brodova pogonjenih parnom turbinom gdje su u uporabi kotlovi loženi teškim gorivom koji podliježu zahtijevanoj regulativi, u ovom radu su takvi slučajevi izostavljeni (o. a.).

Nedavno objavljena studija [10] sadržava rezultate istraživanja provedenih u razdoblju od 2009. do 2010. godine na zahtjev CARB⁸-a zbog uočenih problema na brodovima kojima je uzrok promjena goriva nakon uvođenja propisa o uporabi niskosumpornog goriva na udaljenosti 24 NM od kalifornijske obale. U studiji su sigurnosni problemi s promjenom goriva prepoznati u:

- gubitku pogona,
- variranju brodske brzine pri nižim opterećenjima,
- otežanom upućivanju,
- nemogućnosti dostizanja maksimalne brzine.

Kao glavni uzročnik problema ustanovljeno je da je grijanje destiliranoga goriva rezultiralo viskoznošću manjom od minimalno dopuštene vrijednosti (npr. viskozitet manji od 2 cSt), ali vrlo je često taj uzrok bio povezan i s nekim drugim čimbenicima, npr.: 1) istrošenim dijelovima u sustavu goriva, 2) neoptimiranim ugađanjem motora za destilirana goriva (npr. regulatori broja okretaja ili ručke goriva na pumpama), 3) neoptimirane procedure za uporabu destiliranoga goriva.

Uobičajena praksa Obalne straže SAD-a (engl. USCG) registriranje je incidenata u svezi s gubitkom propulzije u obliku izvješća,⁹ u kojima je od 2009. godine dodana stavka „gubitak propulzije uzrokovan promjenom goriva“, što pokazuje značenje prepoznatog uzroka. U tablici 1. prikazan je pregled takvih incidenata u razdoblju od 2009. do 2010. [10]. Na temelju izvješća i uočenih problema, brodovima je odobreno tzv. sigurnosno izuzeće¹⁰ (poštuda), što omogućuje zapovjednicima uporabu visokosumpornoga teškog goriva (HFO) kad uoče da bi promjena mogla ugroziti sigurnost broda, njegove posade, tereta ili putnike pri npr. nepovoljnim vremenskim prilikama, otkazivanju opreme, kontaminaciji goriva ili zbog nekih drugih neočekivanih razloga koji su objektivno izvan mogućnosti zapovjednikova djelovanja. Broj takvih izuzeća prikazan je u tablici 1., i razvidan je njihov povećan broj kako bi se dalo posadi stroja dostatno vremena da provede popravke na motorima ili sustavima goriva.

U izvješću studije istaknuto je da se ukupno 48% svih incidenata s gubitkom propulzije odnosi na one nastale pri promjeni goriva, a uzroci su bili sljedeći:

- 19% - nestabilnost pri radu u načinu „sasvim polako“ (engl. *dead slow*) – pri čemu je brzina motora varirala ili je došlo do zaustavljanja, dok je motor radio stabilno pri višim okretajima; najčešće rješenje problema bilo je u regulaciji broja okretaja, gdje su oni povišeni za 2 - 3 okretaja u takvu načinu rada uz preuzimanje nadzora sa zapovjedničkog mosta u nadzornu kabinu strojarne, gdje je moguća preciznija regulacija motora;
- 18% - nemogućnost upućivanja motora, gdje je uzrok zapravo prethodio nestabilnostima u radu pri načinu „sasvim polako“ – iako su specifični uzroci varirali u najčešćem broju primjera - oni su uključivali: prekomjerno istrošene elemente pumpi goriva, neugodnost ili neispravnost varijabilnog sustava ubrizgavanja, nizak tlak u sustavu goriva, zaglavljene komponente visokotlačne pumpe goriva ili prenizak viskozitet goriva;
- 7% - nemogućnost prekreta motora – koje se očitovale u normalnom radu motora u jednom smjeru (npr. naprijed), no do poremećaja je dolazilo pri pokušaju prekreta motora (npr. krmom) za vrijeme dok je brod inercijom još plovio u tom smjeru pri čemu se stvara negativni okretni moment na brodom vijku što dodatno opterećuje motor, a uzrok je najčešće prepoznat u niskom tlaku ubrizgavanja goriva ili neugodnom vremenu ubrizgavanja;
- 4% - propuštanje u sustavu goriva – očitovano na rasprskičima, brtvenim prstenovima i gubicama ili na cjevovodu goriva – a zaustavljanje se uglavnom obavljalo s namjerom popravka i otklanjanja propuštanja prije nego brod nastavi s plovidbom.

Od ukupno gotovo 10.000 brodova u razdoblju između 1. 1. 2009. i 31. 7. 2010. velika je većina uspješno plovila uz uporabu destiliranoga goriva; ipak, zaključak je studije da kontinuirano ponavljanje incidenata zahtijeva organizirani rad na njihovu sprječavanju [10].

⁸ CARB - engl. *California Air Resources Board* (Kalifornijski odbor za zračne resurse).

⁹ LOP incident reports (engl. *loss of propulsion*) – Izvješća o gubitku propulzije.

¹⁰ Sigurnosno izuzeće - engl. *Safety Exemption*.

Tablica 1. Incidenti koji su rezultirali gubitkom propulzije [10]
 Table 1 Incidents concluded with loss of propulsion

	Ukupni broj incidenata s gubitkom propulzije	Broj incidenata s gubitkom propulzije uzrokovanim promjenom goriva	Broj „sigurnosnih izuzeća“	Broj problema prema izvješću pilota
Siječanj '09	5	2		
Veljača '09	3	2		
Ožujak '09	3	2		
Travanj '09	4	0		
Svibanj '09	2	1		
Lipanj '09	4	2		
Srpanj '09	13	6	1	33
Kolovoz '09	8	4	2	25
Rujan '09	9	5	1	14
Listopad '09	8	3	1	14
Studeni '09	3	2	2	4
Prosinac '09	5	4	4	6
Siječanj '10	5	1	5	
Veljača '10	3	0	2	
Ožujak '10	3	2	5	
Travanj '10	2	0	2	
Svibanj '10	4	0	2	
Lipanj '10	2	0	1	
Srpanj '10	3	2	0	
Ukupno	89	38	28	96

POSTUPAK PROMJENE POGONSKOGA GORIVA U PLOVIDBI / *The procedure of fuel switching at sea*

Promjena goriva na brodu dobro je poznata procedura, koja se na onima starijih godišta redovito primjenjivala prije manevriranja brodom jer recirkulacija unutar sustava goriva na glavnom motoru nije bila moguća, pa je postojala mogućnost da se gorivo skruti tijekom zaustavljanja glavnog motora i za vrijeme boravka u luci [14]. Stoga se promjena s teškoga goriva (HFO) na lako (MDO) obavljala prije početka manovre pri dolasku u luku (i obratno) u trenutku za koji bi posada ocijenila pogodnim da se ostvari zamjena goriva u sustavu, a što ovisi o veličini i izvedbi samog sustava i može biti različito za svaki brod.

Općenito, s porastom cijene goriva i razlike u cijeni između teškoga i lakog goriva te, posljedično, zbog porasta troškova za gorivo, na gotovo svim novijim motorima omogućila se recirkulacija u sustavu goriva glavnog motora, čime se ostvarila mogućnost uporabe teškoga goriva pri manovri i za vrijeme lučkih aktivnosti, pa nije trebala zamjena, što je postala uobičajena praksa u proteklih dvadesetak i više godina. To je za posljednju imalo prilagođavanje i optimizaciju osnovnih

dijelova sustava goriva na glavnome motoru pri radu s teškim gorivom (npr. visokotlačne pumpe, rasprski dr.) jer se lako gorivo vrlo rijetko upotrebljavalo.

Supanjem na snagu propisa o sprječavanju onečišćenja zraka, procedura zamjene goriva ponovno je počela, no sada zbog različitog udjela sumpora.

U osnovi se postupak odvija promjenom položaja troputnog ventila na ulazu u sustav, gdje se odabire iz kojega dnevnog (servisnog) tanka će gorivo dolaziti (HFO ili MDO). Ako brod ima dostatno vremena za promjenu, može se pričekati da se preostalo gorivo u sustavu potroši, a viskozimetar automatski nadzire zahtijevani viskozitet, regulirajući temperaturu djelovanjem na regulacijski ventil protoka pare u sustavu grijanja goriva. Kada na brodu nije ugrađen automatski nadzor temperature, ona se mora regulirati ručno, pri čemu treba paziti na gradijent njezina porasta ili snižavanja (obično se održava na razini od 2 °C/min).

Promjena goriva na pomoćnim motorima i kotlovima izvodi se na sličan način, no poteškoće za kotlove smatraju se manje opasnim/rizičnim s gledišta sigurnosti plovidbe (izuzev kada su oni u uporabi u pogonsku svrhu, no njihov udjel u ukupnom broju brodova nije velik - o. a.).

Tablica 2. Važni datumi za sadržaj sumpora u brodskim gorivima [11, str. 155]
 Table 2 Important dates for the sulphur content in ship fuels

2005.	19. svibnja 11. kolovoza	IMO EU	MARPOL Prilog VI stupio na snagu. EU odredba o sumporu 1999/32, dopunjena s 2005/33 stupila na snagu.
2006.	19. svibanja 11. kolovoza	IMO EU EU	SECA* područje Baltičkog zaljeva stupilo na snagu. SECA područje Baltičkog zaljeva prema EU odredbi 2005/33. Max. 1,5% sumpora za putničke brodove za/iz EU luka (2005/33).
2007.	1. siječnja 11. kolovoza 22. studenoga	CARB EU IMO	Max. 0,5% sumpora unutar 24 NM od kalifornijske obale. SECA područje Sjevernog mora i Engleskog kanala stupilo na snagu. SECA područje Sjevernog mora i Engleskog kanala stupilo na snagu.
2010.	1. siječnja	EU EU CARB	Max. 0,1% sumpora u gorivu za brodove u EU lukama. Max. 0,1% sumpora u gorivu za sve unutarnje plovne puteve u EU. Max. 0,1% sumpora u gorivu unutar 24 NM od kalifornijske obale.
2012.	1. siječnja	EU	Max. 0,1% sumpora u gorivu za grčke brodove u grčkim lukama.

* SECA – područje nadzora emisije sumpora (engl. *Sulfur Emission Controlled Area*) – od 1. srpnja 2010. promijenjeno u ECA – područje nadzora emisije (engl. *Emission Controlled Area*).

MEĐUNARODNI ZAHTEVI U POGLEDU SADRŽAJA SUMPORA U BRODSKOM GORIVU / *International requirements in terms of sulphur content in marine fuel*

Povijest uvođenja značajnih propisa u svezi sa sadržajem sumpora u gorivu za brodove prikazana je u tablici 2.

Od značenja je istaknuti i neka nova ograničenja u svezi sa sadržajem sumpora u gorivu:

- 1. 1. 2012. – globalno ograničenje sumpora u gorivu smanjeno je na 3,5 %,
- 1. 1. 2020. – globalno ograničenje sumpora u gorivu smanjiti će se na 0,5%,
- 1. 1. 2015. – ECA ograničenje sumpora u gorivu smanjiti će se na 0,1%.

Alternativne mjere za smanjenje sumpornih emisija također su dopuštene (npr. metoda hladnjaka pročištača ili sustav pročišćavanja ispušnih plinova ili primjena neke druge tehnologije za ograničenje SO_x emisija na ≤ 6 g/kWh kao SO₂) [9].

Ipak, globalni limit sumpora u gorivu bit će smanjen na 0,5% (5.000 ppm) od 1. 1. 2020. ovisno o „provjeri mogućnosti“ koja će se provesti najkasnije do 2018. godine (provjera mogućnosti proizvođača da proizvodnjom zadovolje zahtjeve za niskosumpornim gorivima). Ako provjera u 2018. godini završi negativnim zaključkom, datum stupanja na snagu pomaknut će se na 1. siječnja 2025. [9].

MOGUĆI UZROCI POTEŠKOĆA PRI PROMJENI POGONSKOGA GORIVA I NJIHOV UTJECAJ NA SIGURNOST PLOVIDBE / *Possible causes of difficulties when switching the fuel and their impact on safety of navigation*

Učestalost pojavljivanja problema (nehotično zaustavljanje motora, nemiran rad pri niskim okretajima, nemogućnost prekreta i sl.) povezanih s promjenom goriva na brodovima u područjima u kojima se nadzire emisija štetnih plinova brodskih energetskih postrojenja, a koja su prometno najčešće vrlo opterećena, dovela je do prepoznavanja postupka promjene goriva na brodu kao mogućeg uzroka ugroze sigurnosti plovidbe i visoko je rizičan događaj, kako s aspekta sigurnosti samog broda i posade, tako i po sigurnost ostalih brodova i okoliša [7], [16].

Analizirajući moguće uzroke nastalih problema, spoznalo se da su uglavnom oni promatrani s tehnološkog aspekta i zahtjeva pogona (ovise o tipu motora i ugrađenog sustava goriva, preporuci proizvođača i sl.) pri proceduri promjene goriva na brodu [3]. No, uzroci se moraju promatrati i s organizacijskog aspekta, kako na brodu, tako i unutar kompanije, a nerijetko nisu uzete u obzir i pogreške operatora (nedostatak znanja ili iskustva).

Pokušaj da se otkriju uzroci spomenutih poteškoća prije svih je zanimao proizvođače motora, koji za svoje motore obvezatno propisuju procedure koje

treba poštovati [12], [13], [17], [18]. No, analize su pokazale da nisu u pitanju samo pogreške u proceduri ni tehnički nedostaci motora već i samo gorivo ili ulje za podmazivanje u pogonu. To je za posljedicu imalo uključivanje i proizvođača koji brodove opskrbljuju gorivom i uljem [6]. Na osnovi uočavanja poteškoća u području Kalifornije, API (eng. *American Petroleum Institute*) je još 2009. godine objavio studiju „Tehnička razmatranja prakse promjene goriva“ (engl. *Technical Considerations of Fuel Switching Practices*), u kojoj se mogući uzroci prepoznaju u sljedećim događajima [3]:

- a) temperatura goriva za vrijeme promjene uzrokuje zaribavanje/zapinjanje visokotlačnih ubrizgavajućih komponenata goriva kao rezultat „termičkog šoka“ i reducirane viskoznosti goriva i podmazivanja na ulazu u visokotlačne pumpe goriva;
- b) preduga uporaba neodgovarajućeg ulja za podmazivanje ležajeva ili cilindara koje za posljedicu ima povećano istrošenje prstenova ili košuljica;
- c) nekompatibilnost goriva u uporabi i promjeni koje uzrokuje zaribavanje/zapinjanje visokotlačnih ubrizgavajućih dijelova ili potpuno zaglavljenje pumpe;
- d) stvaranje „laka“¹¹ na košuljicama kao posljedica nedostatnog sloja ulja za podmazivanje.

Pritom je ispravno naglašeno da se problemi uzrokovani temperaturom, uporabom neodgovarajućeg ulja i stvaranjem „laka“ na košuljicama mogu nadzirati i izbjeći ako se slijedi propisana procedura pri promjeni goriva, dok su oni izazvani nekompatibilnošću samoga goriva, posadi na brodu teško prepoznatljivi, pa se preporučuje da ona mora biti svjesna takve mogućnosti i biti spremna na nju ispravno reagirati.

Tehnički/tehnološki uzroci poteškoća pri promjeni goriva / *Technical/technological causes of the difficulties when switching the fuel*

U osnovi se uzroci mogu povezati s tipovima motora u uporabi i njihovim ispravnim radom, pa poteškoće mogu uzrokovati [3]:

a) *Ulje za podmazivanje košuljica i ležajeva*

Za produljenu uporabu niskosumpornog goriva potrebno je i odgovarajuće (u odnosu prema ukupnom baznom broju) ulje za podmazivanje (ili smanjenje dobave u motor onoga s višim ukupnim baznim brojem).

b) *Reducirana viskoznost i smanjeno svojstvo podmazivanja niskosumpornoga goriva*

Udio sumpora u gorivu ima i podmazujući učinak, pa se smanjenjem njegovog udjela pri uporabi niskosumpornoga goriva smanjuje podmazivanje, a kako destilirana goriva imaju i manji viskozitet od ostalih, njihova uporaba može uzrokovati povećano trošenje tih dijelova ili unutarnja propuštanja. Na nekim motorima može se u takvim okolnostima ugraditi odvojeni sustav podmazivanja za te komponente.

c) *Smanjena gustoća i veća ogrjevna moć destiliranoga goriva*

Smanjena gustoća i veća ogrjevna moć destiliranoga goriva može rezultirati većim odklonom ručke goriva (ili indeksom pumpe) za dobavu iste specifične energije po taktu motora, i to može uzrokovati da pumpa goriva dosegne svoj vršni kapacitet pri nižoj izlaznoj snazi od onoga pri uporabi ostatnoga goriva.

d) *Temperatura*

Promjena temperature¹² pri promjeni goriva mora biti postupna uz gradijent promjene održavan na razini od 2 °C/min (u skladu s preporukama većine proizvođača motora - o. a.). Prebrza ili neujednačena promjena temperature katkad rezultira povećanim „termičkim šokom“ na komponentama u sustavu i njihovim eventualnim zaribavanjem/zapinjanjem, a uporaba destiliranoga goriva na povišenim temperaturama nekad uzrokuje njegovo isparivanje, te i zaustavljanje motora.

e) *Nekompatibilnost goriva*

Iako je većina dostupnih destiliranih goriva kompatibilna s većinom dostupnih ostatnih goriva, ipak se može dogoditi da dizelsko gorivo s niskim sadržajem sumpora i aromatskih ugljikovodika (što je u korelaciji sa slabom topljivošću asfaltena) bude zapravo nekompatibilno s ostatnim gorivom koje je bogato asfaltenima. Zbog dugotrajnosti procesa promjene goriva može doći do njihova izdvajanja u obliku taloga i on može uzrokovati začepljenje/onečišćenje filtera, pumpa goriva, rasprskavača i slično. U proceduri testiranja goriva posada je uglavnom limitirana na tzv. *spot-test* na brodu, koji je obično nedostatan.

f) *Stvaranje „laka“ na košuljicama*

Ako dođe do stvaranja „laka“ na košuljicama cilindra [8], ono je obično povezano sa slabijom mogućnošću održavanja potrebnoga uljnog sloja za podmazivanje, što može uzrokovati povećanu potrošnju ulja.

¹¹ Više o tome vidjeti u [8].

¹² Pri uporabi teškoga goriva u motorima zahtijeva se održavanje viskoziteta u rasponu od 13 do 17 cSt, a kako bi se to postiglo, teško je gorivo potrebno predgrijati na oko 120 – 130 °C prije ubrizgavanja.

Organizacijski uzroci poteškoća pri promjeni goriva / *The organizational causes of the difficulties when switching the fuel*

Organizacijski uzroci poteškoća mogu se u načelu prepoznati kao:

- a) propusti u organizaciji unutar kompanije,
- b) propusti u organizaciji na brodu.

a) Propusti na razini kompanije znatno su opasniji/ rizičniji¹³ jer mogu izazvati probleme na svim brodovima u floti, dok oni na razini broda ovise o znanju i sposobnostima i zapovjednika i upravitelja stroja.

Iako je postojeća međunarodna regulativa (npr. Marpol, Solas) primorala kompanije na promjene u organizacijskoj strukturi i ponašanju, nerijetko se događa da se one na brodovima provode samo „na papiru“ [15].

Neki od učestalijih propusta u svezi s promjenom goriva jesu:

- nedefiniranje ekološke politike u poslovnoj politici kompanije koja bi utjecala na promjene u svojoj organizaciji u smislu analize rasporeda plovidbe i usklađenosti flote s propisima,
- opskrba broda neodgovarajućim gorivom i uljem za podmazivanje,
- nedostatna suradnja s priznatim organizacijama (registri) pri traženju odgovarajućih tehničkih rješenja,
- nedostatna ili loše organizirana dostava pričuvnih dijelova na brodove,
- nedostatak instruktorskih knjiga, priručnika ili nacrti na brodovima,
- propusti u definiranju procedura za promjenu goriva s obzirom na karakteristike pojedinih pogona.

Iako su nabrojani propusti *direktno* povezani s poteškoćama koje mogu nastati pri promjeni goriva, ima i mnogih *indirektnih* što dovode do istih ili sličnih problema za sigurnost plovidbe, kao što su nepostojanje sustava dodatne kontinuirane izobrazbe i usavršavanja kojim bi posada upoznala i prihvatila nove spoznaje u pomorstvu, pa zatim i zapošljavanje samo minimalno potrebnog broja članova posade, bez obzira na stvarno stanje broda i eventualne potrebe za dodatnim članovima zbog preopterećenosti posade, i drugi.

¹³ U ovom se radu u kontekstu „opasnosti“ podrazumijeva da mogu nastati oštećenje broda, ozljede članova posade ili manje onečišćenje mora i morskog okoliša, a pod „rizikom“ se podrazumijeva da može doći do gubitka broda, ugroze života članova posade ili većeg onečišćenja mora i morskog okoliša (o. a.)

b) Propusti u organizaciji na brodu ponekad su posljedica propusta na razini kompanije, no zapovjednik broda i upravitelj stroja trebali bi to prepoznati, i osigurati sigurno upravljanje brodom i postrojenjima za koje su izravno zaduženi. Nepostojanje definiranih procedura ili instrukcija ne može umanjiti njihovu odgovornost u tom smislu, pa su dužni: samostalno ih definirati i provesti (kroz npr. „stalne naloge“¹⁴ upravitelja stroja ili zapovjednika) ili zatražiti „sigurnosno izuzeće“, kako bi upravljali brodom i rukovodili posadom poštujući propise i sigurnosne standarde. Iako u tehničkim uredima kompanija obično rade inspektori s plovidbenim iskustvom, oni nerijetko upravljaju s nekoliko brodova i nisu ih uvijek u mogućnosti poznavati tako dobro kao oni koji na njima plove, pa je dobra komunikacija i suradnja između zapovjednika, upravitelja stroja i inspektora zapravo nužnost i preduvjet sigurnoj plovidbi [15].

Pogreške operatora / *Operator error*

U svakom tehnološkom sustavu u koji je, na bilo koji način, uključen čovjek, pri analizi mogućih poteškoća u radu ne smije se izostaviti „ljudski faktor“ [15].

Mogu se uočiti dva slučaja: kada je promjena na brodu automatizirana i kada se promjena obavlja ručno. Pri automatiziranoj promjeni nadzor je nad viskoznošću i temperaturom jednostavniji, no mogućnost pojave prethodno spomenutih tehničkih poteškoća treba prevenirati kako je to iznijeto u nastavku. U ručnoj promjeni goriva, sama je procedura zahtjevnija i očekuje se dobro poznavanje cijelog sustava goriva i procesa koji se pritom u njemu odvijaju (miješanje goriva, regulacija temperature i viskoznosti i dr.) a utječu na pouzdanost pogona, te sigurnost broda.

Mogući uzroci pogreške operatora pri promjeni goriva mogu biti:

- njegovo neznanje ili neiskustvo,
- nepoštovanje redoslijeda izvođenja postupka,
- „oslanjanje“ na automatski nadzor iako je i on podložan kvarovima ili neispravnom radu, pa ga treba nadzirati,
- nedostatna suradnja između članova posade,
- ostali mogući uzroci (umor ili iscrpljenost, bez obzira na njihov uzrok, kao zbog prekomjernoga rada, vremenske neprilike i sl., zatim nemar, uporaba nedopuštenih sredstava prije ili za vrijeme obavljanja straže - alkohol, droga i dr.).

Bez obzira na uzrok same *poteškoće*, treba istaknuti kako se nerijetko događa da je *operator* po nastanku vrlo često nije u stanju prepoznati kao uzrokovanu vlastitom

¹⁴ Stalni nalozi – eng. *Standing Orders*.

pogreškom, što je posebno važno po sigurnost broda u onim okolnostima kada pravovremena reakcija može biti presudna.

POSTUPCI KOJI MOGU PRIDONIJETI POVEĆANOJ SIGURNOSTI PRI PROMJENI GORIVA / *Procedures that may contribute to increased safety when switching the fuel*

Prethodno provedena sistematizacija mogućih uzroka poteškoća pri promjeni goriva na brodu, djelomično upućuje na moguća rješenja tako da se ona prikažu s organizacijskoga gledišta.

Poradi sigurnosti plovidbe, zbog utjecaja promjene goriva na brodu svaka bi *kompanija* ispravno postavljenom ekološkom politikom trebala rasporediti brodove u floti prema uporabi niskosumpornoga goriva na sljedeći način [6]:

- brodovi koji neprekidno troše niskosumporno gorivo (primarno plove unutar područja s nadziranom emisijom),
- brodovi kojima je pogon povremeno na niskosumporno gorivo (povremeno ulaze u područja s nadziranom emisijom),
- brodovi kojima ne rabe gorivo u kojemu je sumpor (npr. oni koji se koriste LNG, pa se propisi na njih ne odnose).

Za one brodove kojima je pogon neprekidno na niskosumporno gorivo, *kompanija* bi trebala:

- u dogovoru s proizvođačima motora i registrom provjeriti komponente u sustavu goriva ili provesti potrebne izmjene [2], [1], [5],
- provjerene dobavljače goriva i ulja za podmazivanje uz uporabu ulja s odgovarajućim TBN-om prema preporuci proizvođača,
- održavati motore i sustave prema preporuci proizvođača,
- osigurati dodatnu izobrazbu i usavršavanje posade.

Za one brodove što povremeno rabe niskosumporno gorivo, trebalo bi uz prethodne stavke još nadodati i:

- izradbu „procedurâ promjene goriva s planom razmještaja ventila i opreme“ na brodu (procedura u skladu s preporukom proizvođača ili registra), te pripremu „liste provjere“ i uključiti ih u SMS broda,
- provjeru poznavanja procedura u sklopu ISM provjera na brodu.

S *organizacijskog aspekta* posade na brodu, dužnost je zapovjednika i upravitelja stroja: primjerno provoditi načela dobrog rukovođenja posadom

broda, kvalitetno informirati posadu i podržavati dobre međuljudske odnose, pravovremeno i ispravno provoditi preporučene procedure, nadzirati njihovu provedbu i uvježbavati nove članova posade ili zatražiti „sigurnosno izuzeće“ kada se za to pokaže potreba.

S tehnološkog aspekta dužnost je upravitelja stroja nadzirati pogon (poglavito pri manevriranju), biti u strojarnici pri izvođenju promjene goriva i spreman promptno djelovati pri pojavljivanju poteškoća. Posebno je dužan osigurati provedbu sljedećih zahtjeva:

- nadzirati rad motora i osigurati pravilnu ugođenost regulatora a, kada je potrebno, i preuzeti nadzor nad motorom sa zapovjedničkog mosta u nadzornu kabinu strojarnice,
- održavati/nadzirati viskozitet goriva čak i kada postoji automatska regulacija viskoziteta (minimalno iznad 2 cSt za destilirano gorivo, a teško gorivo održava se u rasponu od 13 do 17 cSt – prema preporuci proizvođača motora),
- održavati gradijent porasta/sniženja temperature u skladu s preporukom proizvođača, te omogućiti ravnomjerno hlađenje/zagrijavanje komponenata u sustavu goriva,
- održavati/nadzirati tlakove u sustavu goriva i rad ventila konstantnog tlaka na izlazu iz motora,
- prilagoditi podmazivanje košuljica u skladu sa zahtjevima proizvođača, ovisno o vrsti goriva i ulja za podmazivanje cilindara,
- održavati/nadzirati temperature u tankovima goriva i izbjegavati njegovo miješanje,
- nadzirati stanje filtara, rad automatskih filtara i ostalih komponenata sustava goriva (cjevovodi, ventili, separatori i dr.), te uočiti i otkloniti eventualna propuštanja,
- redovito provjeravati sustav goriva i stanje opreme u njemu a provjere ili redovito preventivno održavanje uskladiti s uočenim stanjem i zahtijevanom razinom održavanja,
- kada god je to moguće, promjenu obaviti dostatno prije ulaska u zaštićeno područje, čime će se omogućiti provjera sustava i ranije uočavanje eventualnih poteškoća.

ZAKLJUČAK / *Conclusion*

Problemi s promjenom goriva na brodu i, posljedično, ugrožavanje time sigurnosti plovidbe primarno su uzrokovani nužnošću sprječavanja onečišćenja atmosfere sumporom i sumpornim oksidima iz ispuha

brodskih energetskih postrojenja, koji nastaju kao produkt izgaranja goriva sa sadržajem sumpora.

Prihvaćenim zahtjevima za sprječavanje onečišćenja atmosfere i proglašavanjem određenih područja posebno osjetljivima, te uvođenjem nadzora emisija s brodova u tim područjima, uporaba teškog goriva s visokim sadržajem sumpora postala je neprihvatljiva, pa su brodovi dužni rabiti gorivo s niskim udjelom sumpora ili ugraditi posebnu opremu za pročišćavanje ispušnih plinova. Iako većina brodara uspješno zadovoljava postavljene zahtjeve bez incidenata, neki od njih ipak izvješćuju o problemima pri promjeni goriva što mogu uzrokovati opasne ili rizične situacije u prometno gusto opterećenim područjima, posebno onima koja su proglašena posebnim područjima.

Analizirajući moguće uzroke nastalih problema, jasno je da su to uglavnom oni promatrani s tehnološkog aspekta i zahtjeva pogona pri proceduri promjene goriva na brodu. No, uzroci se moraju promatrati i s organizacijskoga gledišta, i na samom brodu i unutar kompanije, a nerijetko nisu uzete u obzir i pogreške operatora.

U dostupnim studijama koje obrađuju ovu problematiku nisu razmatrane moguće poteškoće nastale promjenom goriva na pomoćnim motorima, što je realno moguće, pa su rezultati ovog istraživanja obuhvatili rješenja i načelni pristup kojim se omogućuje izbjegavanje takvih događaja. Pregledom dostupnih objavljenih studija uočeno je da niti u jednoj nije predloženo uvođenje „procedure promjene goriva s planom razmještaja ventila i opreme“ ili „liste provjere“ za takvu proceduru na brodovima (kroz SMS) (slično, ali ne i isto, kao npr. kormilarenje u nuždi, ukrcaj goriva i dr.). Ovo istraživanje pokazuje da bi se uvođenjem liste provjere moglo pouzdano slijediti propisane procedure i nadzor nad njihovom provedbom, te smanjiti mogućnosti pogreške operatora. Takav holistički pristup rezultirao bi snižavanjem broja opasnih/rizičnih situacija u plovidbi zbog promjene goriva, i time sigurnijom plovidbom.

Utjecaj promjene goriva na sigurnost plovidbe i sprječavanje incidenata u području hrvatskog dijela Jadrana bit će predmetom daljnjih istraživanja ovih autorâ.

LITERATURA / References

- [1] ABS, *Use of Low-Sulphur Marine Fuel for Boilers*, dostupno na: http://ecmeurope.net/wp-content/uploads/2010/01/ABS-LowSulphurNote_Boilers.pdf, zadnji pristup 28.10.2011.
- [2] ABS, *Use of Low-Sulphur Marine fuel for Main and Auxiliary Diesel Engines*, dostupno na: http://ecmeurope.net/wp-content/uploads/2010/01/ABS-LowSulphurNote_Engine.pdf; zadnji pristup 28.10.2011.
- [3] American Petroleum Institute, *Technical Considerations of Fuel Switching Practices*, dostupno na: http://www.marinelog.com/PDF/API_TCOFP.pdf; zadnji pristup 28.10.2011.
- [4] Bernecic, D., Radonja, R., Primjena selektivne katalitičke redukcije na dvotaktne sporookretne brodske dizelske motore – Pomorstvo – Scientific Journal of Maritime Research, god. 25. br.1, PFRI, 2011., 15-28.
- [5] DNV, *Low sulphur fuels – Properties and associated challenges*, dostupno na: <http://www.infomarine.gr/attachments/article/961/DNV%20Low%20Sulfur%20Recommendations.pdf>; zadnji pristup, 28.10.2011.
- [6] ExxonMobil, *Low Sulfur Fuel: Impacts on the Marine Industry*, dostupno na: http://www.exxonmobil.com/lubes/exxonmobil/marine/files/LSF_Bulletin.pdf, zadnji pristup; 28.10.2011.
- [7] HSC, *CARB Low Sulphur Fuel Switching Regulation*, dostupno na: <http://www.sfm.org/support/hsc/archivedocs/2009/CARB%20Low%20Sulphur%20Fuel%20Switching%20Regulation%2009-06-2009%20letter.pdf>; zadnji pristup 28.10.2011.
- [8] http://www.cectests.org/public/info/_g003/cec08_1882_p.pdf; zadnji pristup 21.11.2011.
- [9] <http://www.dieselnets.com/standards/inter/imo.php>; zadnji pristup 28.10.2011.
- [10] Jackson, K.R., *OGV Clean Fuel Regulation Investigation of Operational Issues Preliminary Findings*, California Maritime Academy, CMA, Vallejo, CA, August 2011., dostupno na: http://www.arb.ca.gov/portsmarine/evess/documents/emissionstest/cma_technical_report.pdf; zadnji pristup 28.10.2011.
- [11] Kuiken, K., *Diesel engines parts I and II*, Target Global Energy Training, Onnen, NL, 2008.
- [12] MAN Diesel, *Operation on Low-Sulphur Fuels Two-Stroke Engines*, dostupno na: <http://www.mandiesel.com/files/news/files/5271/Operation%20on%20Low-Sulphur%20Fuels.pdf>; zadnji pristup 28.10.2011.
- [13] MAN Diesel & Turbo, *Operation on Low-Sulphur Fuels, MAN B&W Two-stroke Engines*, dostupno na: http://mandieselturbo.com/files/news/files/15012/5510-0075-00ppr_low.pdf; zadnji pristup 28.10.2011.
- [14] Radonja, R., Koljatić, V., *Uporaba lakih i teških dizelskih goriva na primjeru dvaju brodova za rashlađeni teret –*

- Pomorstvo – Scientific Journal of Maritime Research, god. 24. br.1, PFRI, 2010., 67-76.
- [15] The Nautical Institute project, Alert! Bulletins, Issues Nos.1-27, Loyd's Register, 2004., dostupno na: <http://www.he-alert.org>; zadnji pristup 8.12.2011.
- [16] USCG, *Marine safety alert 11-01, Fuel switching Safety*, U.S. Coast Guard District Eleven, Department of Homeland Security, July 11, 2011., dostupno na: http://www.arb.ca.gov/ports/marinevess/ogv/d11_marine_safety_alert_2011.pdf; zadnji pristup 28.10.2011.
- [17] Wartsila, *Considerations for using low-sulphur fuel*, dostupno na: <http://www.ancomaritime.com/page5/page6/files/WARTSILA.pdf>; zadnji pristup 28.10.2011.
- [18] Wartsila, *Low sulphur guidelines*, dostupno na: <http://www.cleanairactionplan.org/civica/filebank/blobdload.asp?BlobID=2323>; zadnji pristup 28.10.2011.

Rukopis primljen: 7. 5. 2012.

