
ISSN 0554-6397
UDK 629.5.026:621.436.7
STRUČNI RAD (*Professional paper*)
Primljeno (*Received*): 03/2004.

Bernard Luka Baraka, dipl.ing.
Tankerkomerc d.d. Zadar TTTR
Terminal i Trgovina Tekućom Robom
Obala Kneza Trpimira 2, 23000 Zadar
Josip Orović, dipl.ing.
Pomorski fakultet u Rijeci
Studentska 2, 51000 Rijeka

Analiza uštede goriva brodskog porivnog motora

Sažetak

Danas je, bez obzira na napredak tehnologije i sustava kvalitete poslovanja, teško pronaći manevarski prostor za ostvarenje kapitalne uštede u nekom logističkom sustavu. U radu se analizira mogućnost uštede u potrošnji goriva brodskog porivnog motora promjenom viskoziteta goriva prije ubrizgavanja u motor, s ciljem ostvarivanja polivalentne uštede i poboljšanja kvalitete, kako poslovanja, tako i sustava.

Ključne riječi: ušteda, motor, viskozitet, gorivo

1. Uvod

Problemu analize uštede goriva brodskog porivnog motora pristupa se s različitih aspekata. Neka od mogućih rješenja (u cilju smanjenja troškova goriva brodskog porivnog motora) su: dodavanje raznih aditiva gorivu, izrada kvalitetnijih i preciznijih elemenata koji služe za distribuciju goriva, kvalitetnija obrada goriva u brodskom sustavu goriva, analiza sastava goriva (udjeli sumpora, vanadija, natrija...) itd. Međutim, svi ti aspekti, bez obzira na učinkovitost, zahtijevaju inicijalne i manipulativne (rentabilne) investicije.

Viskozitet goriva prije ubrizgavanja važan je parametar za rad motora. Kako različiti proizvođači brodskih motora omogućavaju određene granice između kojih se može nalaziti viskozitet, potreban za kvalitetno ubrizgavanje i izgaranje goriva, tako postoji i mogućnost analize uštede goriva na brodu kod različitih uvjeta rada.

Posljedica promjene viskoziteta izravno utječe na promjenu potrošnje goriva, što je jedna od najvažnijih stavki ukupnih troškova broda u plovidbi.

Cilj ovog rada je prikazati uštedu u potrošnji goriva brodskog porivnog motora promjenom temperature goriva, odnosno promjenom viskoziteta goriva prije ubrizgavanja u motor. Taj pristup analizi problema uštede goriva, ne samo da je kompatibilan s ostalim pristupima, već ih i nadopunjuje. Kroz sljedeći tekst bit će prikazano na koji način se, ispravnom pristupom tehničkom sustavu, može osigurati ispravan rad tog sustava i ušteda.

To je samo jedan mali dio logističkog sustava na brodu, kojim se, pomoću brojnih zakonitosti i složenih aktivnosti, pokušava optimizirati odnos između uloženih logističkih resursa (potencijala) i učinkovitosti (iskoristivosti) čitavog tehničkog i poslovnog sustava.

Podaci potrebni za ovaj rad simulirani su na NOR Controlovom simulatoru PPT2000 MC90 na Pomorskom fakultetu u Rijeci, dok su cijene brodskih goriva preuzete s web stranica www.bunkerworld.com.

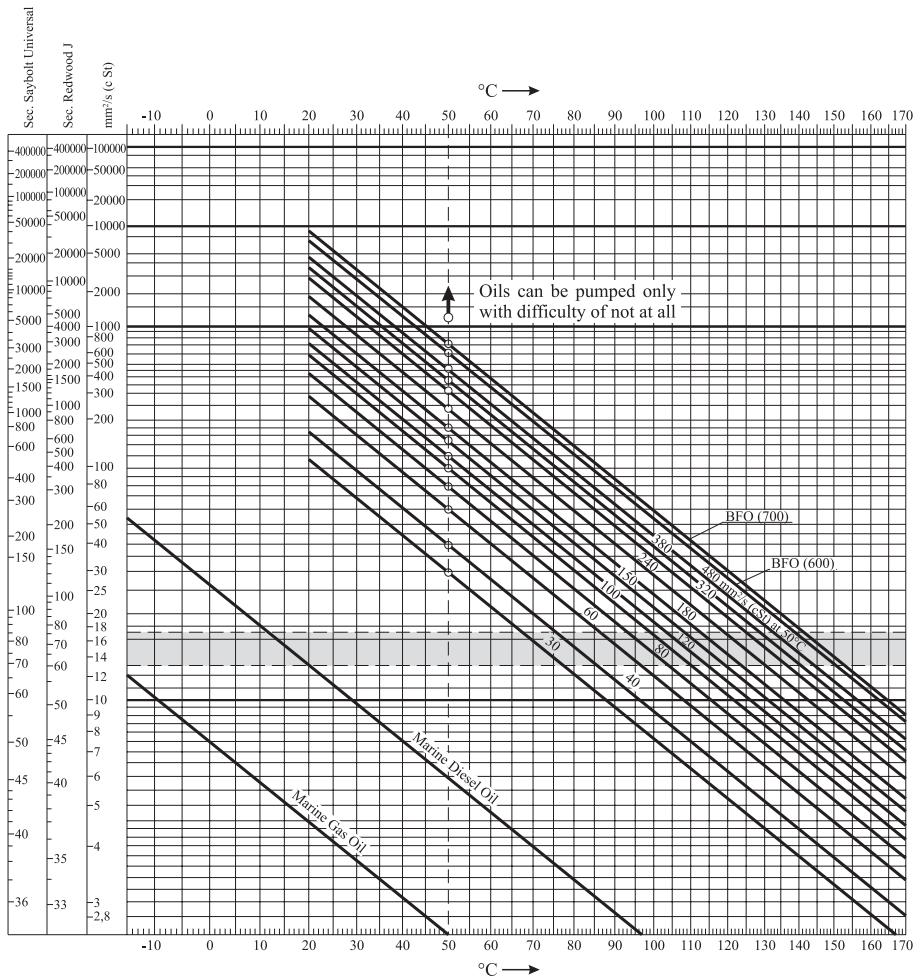
2. Svojstva goriva

Viskozitet je svojstvo tekućina koje govori o unutarnjem trenju između čestica kao i drugim međumolekularnim silama. Kinematski viskozitet, koji se u praksi najčešće primjenjuje, predstavlja mjeru otpornosti tekućine prema tečenju u zavisnosti o gustoći i unutarnjem naprezanju tekućine [2].

Jedinica kinematskog viskoziteta je m^2/s i jednaka je kinematskom viskozitetu homogenog fluida kojemu je dinamički viskozitet $1 Pa \cdot s$, a gustoća $1 kg/m^3$. Jedinica koja se najčešće koristi za kinematski viskozitet je $1 cSt$ ($1 cSt = 1 mm^2/s = 10^{-6} m^2/s$).

Viskozitet svih tekućina opada s porastom temperature. Zavisnost viskoziteta i temperature prikazana je na slici 1. [3]. Svaka vrsta goriva, prikazana na slici 1., prikazuje se pravcem. Nagib pravca ovisi o strukturi nafte iz koje gorivo potječe, o tehnološkom procesu i komponentama iz kojih je miješano.

Kvaliteta goriva implicitno ovisi i o gustoći. Što je gustoća veća, to je kvaliteta goriva niža i obrnuto. Gustoća se obično određuje pri temperaturi od $15,5^\circ C$ i dijeli se na laka goriva ($650-800 kg/m^3$) i teška goriva ($800-991 kg/m^3$). Danas se pojavljuju na tržištu i teška goriva gustoće iznad $1.000 kg/m^3$ [2]. Na slici 1., također se vidi na koju temperaturu treba zagrijati gorivo određene gustoće da bi postiglo traženi viskozitet.

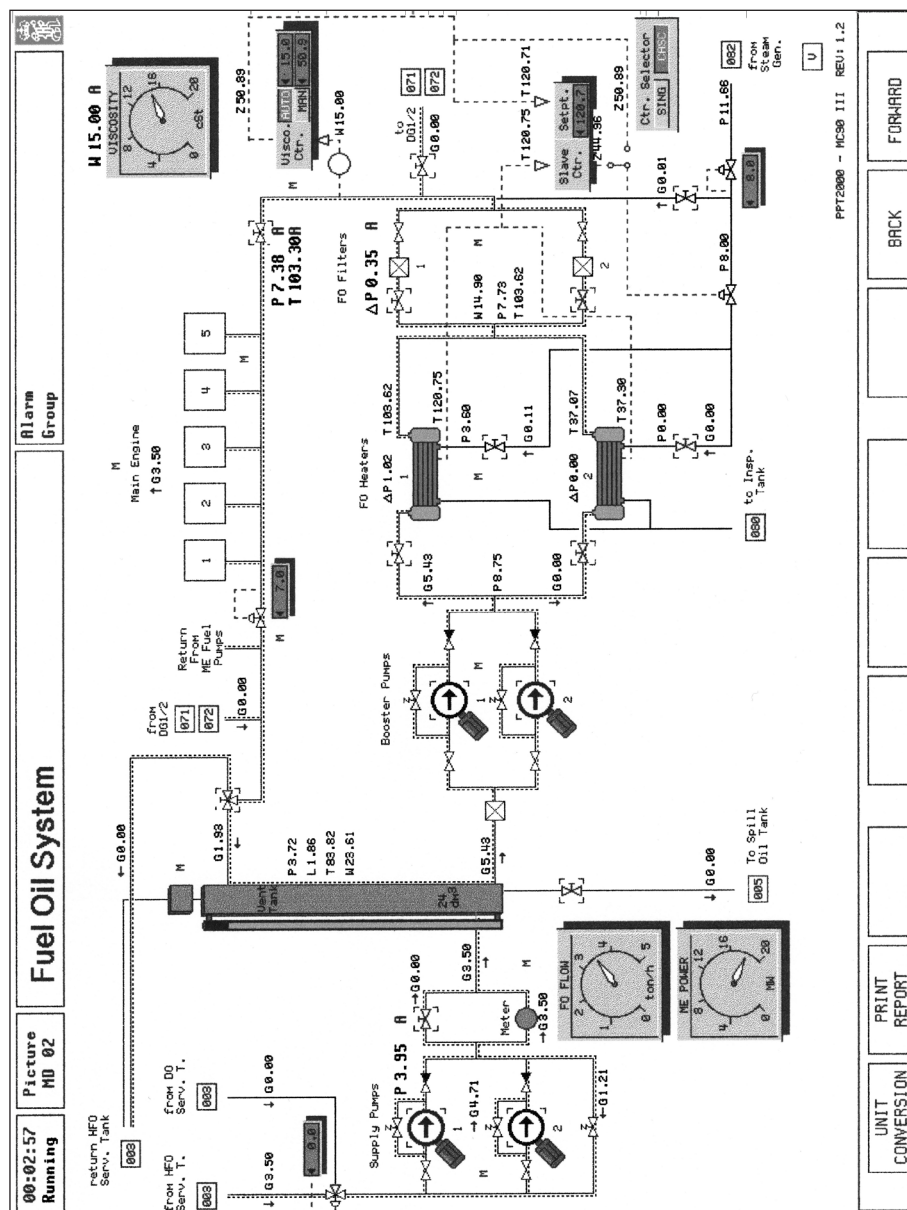


Slika 1. Ovisnost viskoziteta različitih goriva o promjeni temperature [3]

3. Sustav goriva

Sustav goriva na brodu može se podijeliti na dio cjevovoda koji služi za ukrcaj, skladištenje i prebacivanje goriva, na dio koji služi za pripremu goriva te na dio cjevovoda za dovod goriva na visokotlačnu pumpu motora [6].

Gorivo se iz skladišnih tankova dvodna, putem transfer pumpe, odvodi u taložne tankove, pa putem separatora u dnevni tank goriva za dnevnu potrošnju. Iz dnevnog tanka gorivo se dobavnim pumpama tlači u cirkulacijski sustav na tlak od 4 bara.



Slika 2. Sustav goriva glavnog motora [1]

“Buster” pumpe u cirkulacijskom krugu (slika 2.) tlače gorivo iz dobavnog sustava na konstantni ulazni tlak prije motora na 7-8 bara. Ulazni tlak se održava pomoću oprugom opterećenog preljevnog ventila smještenog na cjevovodu nakon visokotlačnih pumpi glavnog motora. Rad zagrijača teškog goriva je reguliran temperaturom, odnosno viskozitetom (žitkošću) grijanog medija.

Da bi zaštitili dijelove visokotlačnog sustava glavnog motora, mora se ugraditi protočni 50 μm filter što je moguće bliže glavnom motoru. Višak goriva dovedenog motorima recirkulira kroz tank mješač (“bananu”) gdje se plinovi, ako ih ima, ispuštaju kroz odzračni ventil da bi se izbjegla kavitacija u sustavu [4].

4. Praćenje rada motora

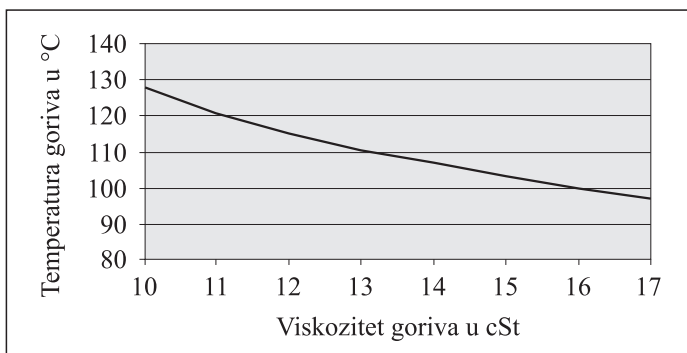
Brod na kojem je obavljena simulacija je brod za prijevoz nafte i naftnih derivata, s glavnim brodskim dvotaktnim motorom tvrtke MAN B&W tipa 5L90MC sa 18 MW snage pri 74 okretaja u minuti. Simulacija je obavljena kod potpuno ukrcanog broda, pri broju okretaja glavnog motora od 74 o/min i postignutom brzinom broda od 15 čvorova.

Kako proizvođači brodskih motora dozvoljavaju promjenu viskoziteta goriva prije ubrizgavanja u intervalu od 10 do 17 cSt (MAN B&W od 10-15 cSt [6], Wartsila od 13-17 cSt [3]), simulirana je promjena viskoziteta goriva upravo u tim granicama i izmjereni su ovi podaci za temperaturu goriva, potrošnju goriva i indeks visokotlačne pumpe goriva prvog cilindra:

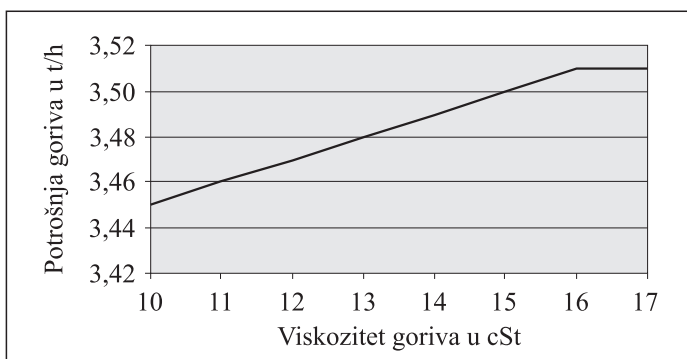
Tablica 1. [1]

Viskozitet goriva cSt	Temperatura goriva °C	Potrošnja goriva t/h	Index VT pumpe %
10	127,87	3,45	93,6
11	120,45	3,46	93,2
12	115,12	3,47	93
13	110,09	3,48	92,9
14	106,74	3,49	92,7
15	103,25	3,5	92,7
16	99,93	3,51	92,6
17	97,17	3,51	92,6

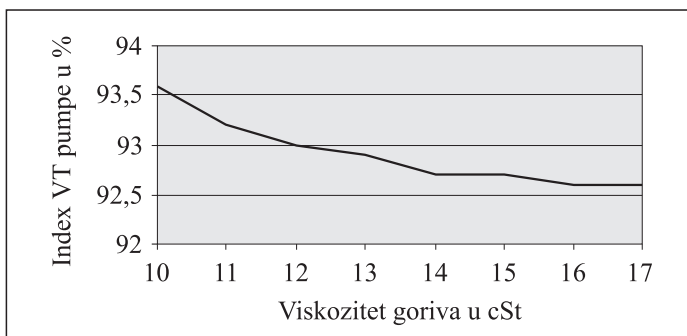
Iz tablice 1. mogu se prikazati sljedeći odnosi:



Slika 3. Ovisnost temperature o viskozitetu goriva



Slika 4. Ovisnost potrošnje o viskozitetu goriva



Slika 5. Ovisnost indeksa VT pumpe o viskozitetu goriva

Temperatura goriva ovisi obrnuto proporcionalno o viskozitetu goriva, tj. što se viskozitet smanjuje, to se temperatura goriva povećava i obrnuto. Potrošnja goriva opada sa smanjenjem viskoziteta goriva. Niži viskozitet podrazumijeva veće temperature goriva, a time i brže i bolje izgaranje što za posljedicu ima smanjenu potrošnju goriva za istu snagu motora. Indeks visokotlačne pumpe povećava se sa smanjenjem viskoziteta zbog povećanja volumena zagrijanog goriva. Visokotlačna pumpa pri nižem viskozitetu ima veći indeks (tlači veći volumen), ali ta promjena (volumena i indeksa pumpe) nije izravno proporcionalna s potrošnjom goriva tako da za posljedicu imamo smanjenu potrošnju goriva.

5. Analiza uštede goriva

Ako se pretpostavi da brod u plovidbi provede 10-11 mjeseci godišnje, odnosno da glavni porivni motor ima oko 7.000 radnih sati, može se izračunati potrošnja goriva za dva granična slučaja.

Uz viskozitet goriva od 10 cSt motor godišnje potroši:

$$B_{\min} = 3,45 \text{ t/h} \times 7.000 \text{ h/god.} = 24.150 \text{ t/god.}$$

Uz viskozitet goriva od 17 cSt motor godišnje potroši:

$$B_{\max} = 3,51 \text{ t/h} \times 7.000 \text{ h/god.} = 24.570 \text{ t/god.}$$

Razlika između B_{\max} i B_{\min} je 420 tona godišnje i predstavlja godišnju uštedu goriva.

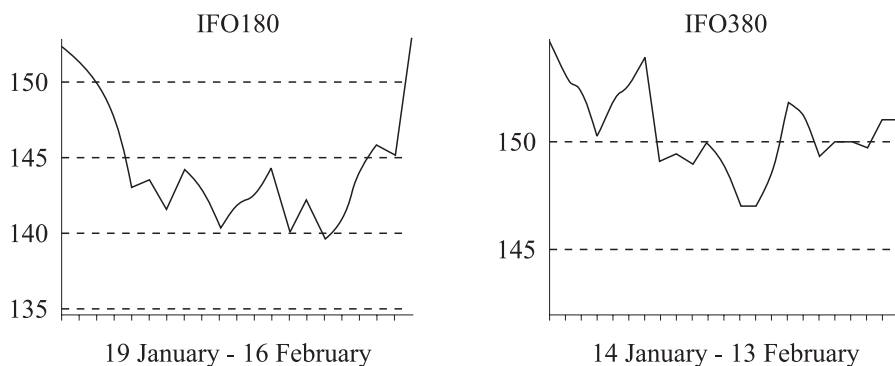
Gubitke pri zagrijavanju goriva do određenog viskoziteta možemo zanemariti jer se toplina potrebna za to zagrijavanje preuzima iz količine topline ispušnih plinova. Kod ove analize to omogućuje uštedu izraženu u US\$ bez inicijalnih i manipulativnih investicija.

Porast temperature goriva nema nikakvog utjecaja na radne dijelove motora jer su dimenzionirani za rad s gorivom najniže dopuštene kvalitete, odnosno za rad s najviše dopuštenom temperaturom zagrijanog goriva od 150°C.

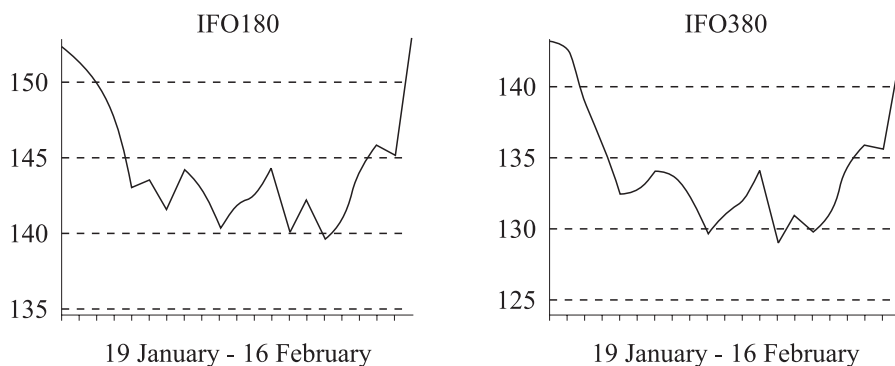
Gorivo koje je korišteno na simulatoru je IFO 100. Kako je to miješano gorivo koje se u praksi rijetko kupuje, ne postoji direktna mogućnost pronalaska cijene takvog goriva. Za ovu analizu nije toliko ni bitno koju se vrstu/cijenu goriva uzme jer se cijene goriva svakodnevno mijenjaju (od luke do luke ali i po iznosima, što se može vidjeti iz slike 6. i 7.) tako da krajnji iznosi uštede novca uvijek variraju.

Ako se uzme neka srednja vrijednost cijene goriva (IFO 180 cSt [7]) od 150 US\$/t goriva, ušteda iznosi 63.000 US\$ godišnje. Uz pretpostavku eksploatacijskog vijeka broda od 20-ak godina, to je ušteda od 1.260.000 US\$.

Ako se uzme da motor radi s gorivom IFO 380 i neka je srednja vrijednost cijene takvog goriva 140 US\$/t goriva [7], ušteda iznosi 58.800 US\$ godišnje. Uz pretpostavku eksploatacijskog vijeka broda od 20-ak godina, to je ušteda od 1.176.000 US\$.



Slika 6. Cijene goriva – Fos (Francuska)



Slika 7. Cijene goriva – Rotterdam (Nizozemska)

Ušteda bi bila još značajnija ako se gleda na kompaniju koja ima 25 brodova u svojoj floti. Primjera radi, ako jedan brod uštedi 1.000.000 US\$ u 20-ak godina, onda 25 brodova u floti uštedi 25.000.000 US\$ u istom razdoblju. Ako cijena novog tankera od 100.000 dwt iznosi, otprilike, 50 milijuna US\$, kompanija će uštedjeti polovicu tog iznosa.

6. Zaključak

Danas je, bez obzira na napredak tehnologije i sustava kvalitete poslovanja, teško pronaći manevarski prostor za ostvarenje kapitalne uštede u nekom logističkom sustavu (pogotovo bez inicijalnih i manipulativnih investicija). Stoga je analiziranje i rješavanje svakog problema koji donosi kvalitetnije i rentabilnije poslovanje svrsishodno i dobrodošlo. Tim više, što je ušteda veća uz što manje investicije.

Svrha i cilj ovog rada je prikazati kako se, uz primjeren inženjerski pristup tehničkom sustavu, može osigurati polivalentna ušteda i kvalitetan rad tog sustava. Konkretno, riječ je o potrošnji goriva brodskog porivnog motora. Prateći fizičko svojstvo goriva, odnosno njegov viskozitet, moguće je postići sljedeće efekte:

1. ušteda na gorivu,
2. povećan akcijski radijus broda s istom količinom goriva,
3. skraćuje se vrijeme potrebno za bunker broda,
4. postiže se kvalitetnije izgaranje goriva što za posljedicu ima manji broj emitiranih štetnih tvari u okoliš,
5. pojeftinjuje se prijevoz tereta (izražen u US\$/t sirove nafte za tankere, odnosno US\$/TEU kod brodova za prijevoz kontejnera).

Iz navedenih efekata može se pročitati jedan ekološki predznak koji je izuzetno važan s obzirom na današnju tendenciju globalnog zagađenja. Naime, može se zaključiti da postoji prostor unutar kojeg se može poraditi u cilju ostvarivanja ušteda i poboljšanja kvalitete, kako poslovanja, tako i sustava (i to bez inicijalnih i manipulativnih investicija).

7. Literatura

- [1] NOR Control simulator PPT2000 MC90
- [2] E. Tireli: *Goriva i njihova primjena na brodu*, Pomorski fakultet u Rijeci, 2003.
- [3] Wartsila NSD Ltd: *Engine documentation Sulzer RTA48T-B*, 2000.
- [4] MAN B&W: *Uni-concept Auxiliary Systems for Two-stroke Main Engines and Four-stroke Auxiliary Engines*, 2002.
- [5] MAN B&W: *Operation on Heavy Residual Fuels*, 2003.
- [6] D.Martinović-D.Martinović: *Strojarski priručnik za časnike palube*, Graftrade, 2000.
- [7] www.bunkerworld.com

Bernard Luka Baraka
Josip Orović

Ship's Propulsive Fuel Saving Analysis

Summary

Notwithstanding the development technology and business operation quality system, it seems hard to find the manoeuvring area for capital savings within a logistic system. This paper deals with an analysis of ship's propulsive fuel saving possibility to be achieved by changing fuel viscosity before injection, with a view to achieving polyvalent savings and an overall quality improvement.

Key words: savings, engine, viscosity, fuel

Analisi sull'economia di combustibile dell'apparato propulsore marino

Sommario

Nonostante lo sviluppo della tecnologia e di sistemi operativi ottimali è difficile oggi avere ulteriore campo di manovra per economie capitali nei sistemi logistici. Il lavoro prende in esame la possibilità di economia nel consumo di carburante dell'apparato propulsore marino ottenuto grazie alla differenziata viscosità del combustibile iniettato nel motore. Il metodo permette un risparmio polivalente e un miglioramento qualitativo, sia d'operazione che dei sistemi.

Parole chiave: economia, apparato motore, viscosità, combustibile