



16-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos
TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,
vykusios 2013 m. gegužės 8 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 16th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'
TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 8 May 2013, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 16-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»
ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 8 мая 2013 г., Вильнюс, Литва

LAIVO IŠMETAMŲJŲ DUJŲ TOKSIŠKUMO MAŽINIMO METODŲ LYGINAMOJI ANALIZĖ

Irina Panasiuk

Klaipėdos universitetas

El. paštas: irina.panasiuk@gmail.com

Santrauka. Griežtėjantys IMO reikalavimai (MARPOL VI priedas) riboja esamo laivyno eksploatavimo galimybes. Kol kas pakanka neženklus variklio modifikavimo, kad laivas atitiktų jam keliamus reikalavimus. Tačiau 2015/2016 m. įsigaliojus SO_x ir NO_x apribojimams, laivų savininkai bus priversti taikyti antrinius (nemotorinius) laivo išmetamųjų dujų valymo metodus. Straipsnyje analizuojami antriniai laivo išmetamųjų dujų valymo metodai. Nagrinėjami kiekvieno metodo panaudojimo ribojantis faktoriai. Pateikiama skirtingų metodų ekonominio bei technologinio efektyvumo lyginamoji analizė.

Reikšminiai žodžiai: MARPOL 73/78, laivo išmetamųjų dujų toksiškumas, mažasieriai degalai, skruberiai, LNG.

Įvadas

Tarptautinę jūrų organizaciją (IMO) parengusi ir įteisinsi MARPOL 78/73 VI priedą įpareigojo laivų savininkus ženkliai sumažinti išmetamųjų dujų toksiškumą. SO_x atžvilgiu – iki 0,1 % 2015m. emisijos kontrolės rajonuose (ECA) ir iki 0,5 % 2020m. globaliai. NO_x atžvilgiu – iki 80 % arba iki 2 g/kWh 2016 m. (MARPOL 73/78 Annex VI 2008). Artėjant naujų reikalavimo įsigaliojimo dienos laivų įrangos gamintojai siūlo vis daugiau skirtingų toksiškumo mažinimo metodų. Tačiau iki šiol nėra sukurtas ekonomiškai ir technologiškai pagrįstas metodas, vienų metų atitinkantis kiek SO_x tiek ir NO_x apribojimus.

Efektyviausio išmetamųjų dujų valymo metodo pasirinkimas yra gyvybiškai svarbus kiekvienai laivybos įmonei. Jau įsigalioję ECA rajonų apribojimai pastebimai paveikė jose eksploatuojamų laivų rentabilumą. Ateityje tokių rajonų tik daugės. Atsižvelgiant į tai, kad apie 80–90 % prekybinio laivyno per savo gyvavimo ciklą bent kartą įplaukia į ECA rajonus, nauji reikalavimai paveiks praktiškai kiekvieną laivo savininką. Atitinkamai įmonės orientuotos į laivybą turės pasirinkimą: pasitraukti iš šio verslo arba investuoti į toksiškumą mažinančių metodų įdiegimą. Šiai dienai, galima išskirti kelis per-

spektyviausius laivo išmetamųjų dujų valymo metodus: mažasierių degalų panaudojimas; skruberio įdiegimas; suskystintų gamtinių dujų (LNG) panaudojimas kaip alternatyvą laiviniams degalams. Nežiūrint į tai, kad dauguma išvardintų metodų vis dar yra bandymų stadijoje, kiekvienas jų turi savus privalumus bei trūkumus. Todėl metodų pritaikymo galimybes turi būti vertinamos kiek technologinių tiek ir į ekonominiu požiūriu.

1. Mažasieriai degalai

Šiai dienai vidutinis laivinių degalų sieringumas yra apie 2,7 % (Man diesel & Turbo 2010). Kaip jau buvo paminėta šis skaičius turi būti sumažintas iki 0,1 % 2015m. ECA rajonuose. Lengviausias ir atrodytų priimtinausias metodas būtų tiesiog sumažinti SO_x koncentraciją degaluose. Tačiau nėra taip paprasta pagaminti reikiamą kiekį mažasierių degalų bei išlaikyti konkurencingą jų kainą.

Šiandienos naftos pramonė yra nepajėgi pagaminti reikiamą kiekį mažasierių degalų su mažesne nei 1 % SO_x koncentracija. Gamyklos modernizavimas pareikalautų ženklių investicijų bei prastovų. Atsižvelgiant į tai, kad dėl pasaulinio ekonominio nuosmukio naftos perdirdimo įmonės jau dabar dirba nepilnu pajėgumu, šis iššūkis joms gali būti nepakeliamas. Taip pat pažymėtina, kad

desulfurizacijos procesas reikalauja didesnių energijos sąnaudų, o tai įtakoja gamybos kaštų augimą. Be to mažasierių degalų su mažesne nei 0,1 % SO_x koncentracija gamybos technologija yra sudėtinga ir mažai žinoma. Tuo tarpu degalų gamyba su koncentracija iki 0,5 % SO_x yra gerai žinoma ir išbandyta. Tam, kad užtikrinti 0,1 % SO_x koncentracija degaluose be didesniu investicijų gali būti panaudotas švaresnio, pavyzdžiui biokuro, bei įprasto kuro maišymo metodas. Tačiau kol kas biokuras yra brangus lyginant su HFO (*heavy fuel oil*).

Pažymėtina, kad dauguma laivo variklių pritaikyti HFO arba MDO (marine diesel oil). Todėl perėjimas prie mažasierių degalų gali būti lydimas variklio efektyvumo sumažėjimu arba gedimais eksploatavimo metu. Atliktų tyrimų duomenimis pagrindinės variklių gedimų priežastis – tai sumažėjęs degalų klampumas, rūgštingumas, degimo kokybė ir t.t. Siekiant užtikrinti saugų variklio eksploatavimą naudojant mažasierius degalus, laive būtina instaliuoti papildomas talpyklas, vamzdynus, modifikuoti degalų padavimo sistemą ir t.t. (EMSA 2010). Šiuo metų laivai, kurie ECA zonos praleidžia nevisą laivo eksploatavimo laikotarpį, siekdami sumažinti savo sąnaudas mažasierius degalus naudoja tik įplaukus į ECA, likusį laiką naudoja HFO. Beabejo tai ženkliai sumažina laivo sąnaudas, tačiau perjungimas nuo mažasierio į HFO lydimas ženkliais variklio modifikavimo išlaidomis. Priklausomai nuo variklio tipo toks modifikavimas gali kainuoti 350 000 € ir daugiau. Be to pats perjungimas reikalauja kelias papildomas perdirinimo valandas vienos kelionės metu, tokiu būdu patiriami papildomi nuostoliai, kurie gali siekti 30 000 € (EPA 2008). Atsižvelgiant į tai, kad nuo 2000m. per dešimtmetį degalų kainą pakilo beveik 2,8 karto ir siekė 340 €/tona. Remiantis pesimistinių scenarijumi priklausomai nuo SO_x koncentracijos jų savikaina gali padidėti net iki 60 % (1 lent.):

1 lentelė. Degalų kainos priklausomybė nuo SO_x koncentracijos (Smailys V., Bereisiene K., Dauksys V. 2012)

SO _x koncentracija		Degalų kaina (€/tona) Nuo–iki	Padidėjimas nuo HFO %
Nuo	Iki		
3,5 %	1,5 %	340–357	5
1,5 %	1,0 %	357–370	8
1,0 %	0,5 %	370–490	45
0,5 %	0,1 %	490–520	60

Be ženkliai brangesnio mažasierių degalų gamybos proceso, jų kainą įtakos ir mažėjanti rinkos pasiūla. Tokiu būdu nuo 2015 m. mažasieriai degalai vargu ar galės konkuruoti su kitais SO_x emisijos mažinimo metodais. Jų pranašumas gali būti pagrįstas tik tuo atveju, jeigu kiti

metodai nebus tinkami naudoti konkrečiam laivui. Tuo tarpu skruberiai su 67 % valymo efektyvumu leidžia naudoti 4,5 % SO_x koncentracijos degalus ir vis dar atitikti 1,5 % SO_x reikalavimus (Ship Operations Cooperative Program 2011).

Apibendrinant galima išskirti sekančius mažasierių degalų privalumus ir trūkumus:

- **Privalumai:** nesudėtingas perėjimas nuo HFO (tuo atveju jeigu variklio modifikacijos nėra būtinos); nereikalauja ženkliai variklio modifikavimo.
- **Trūkumai:** sudėtingas degalų gamybos procesas; degalų trūkumas; didesnė savikaina lyginant su HFO; esant mažesnei nei 0,5 % SO_x koncentracija būtinas variklio modifikavimas; įtakoja variklio gedimus; padidina degalų sąnaudas.

2. Skruberiai

VI MARPOL 73/78 konvencijos priedas leidžia kaip alternatyvą mažasieriams degalams naudoti antrinius (nemotorinius) išmetamųjų dujų toksikiškumo mažinimo metodus, prie kurių priskiriami ir skruberiai. Kol kas skruberiai nėra plačiai taikomi, tačiau 2015 m. įsigaliojus naujiems SO_x reikalavimams ir ženkliai pabrangus mažasieriams degalams jų pranašumas bus neginčytinas. Todėl šiandien vis daugiau laivo įrangos gamintojų įsitraukia į išmetamųjų dujų valymo sistemų kūrimą.

Antriniais išmetamųjų dujų valymo metodai pradėti naudoti gamyklose dar prieš 80 metų. Todėl pati technologija gerai žinoma ir išbandyta. Tačiau laivuose šis metodas pirmą kartą buvo išbandytas tik 1960 m. ir iki pat 1990m. nebuvo aktyviai tobulinamas ir bandomas realioje sąlygoje. Sugriežtėjus laivams keliamiems reikalavimams atsirado ir skruberių tobulinimo bei pritaikymo laivuose poreikis. Todėl įrangos gamintojai ėmė aktyviai siūlyti savo sukurtas sistemas. Šiai dienai tokios įmonės kaip Hamworthy, Marine exhaust solution, Wärtsilä ir kitos yra instaliavusios virš 20 skruberių, kurie patvirtino išmetamųjų dujų valymo efektyvumą: iki 99 % SO_x ir iki 60 % PM (Ministry of Transport and Communications Finland 2009).

Šiai dienai yra sukurti du skruberių tipai: sausieji (*dry*) ir šlapieji (*wet*). Taip jie apibūdinami pagal savo veikimo principą. Sausieji veikia be vandens valydami išmetamąsias dujas cheminių reagentų pagalba. Priešingai, šlapiuose skruberiuose yra naudojamas vanduo. Sausieji skruberiai yra beveik du kartus brangesni už šlapiuosius. Todėl laivams siūlomi šlapieji skruberiai, kurie taip pat skirstomi į atviro (*sea water SW*) ir uždaro

ciklo (*fresh water* FW) sistemas. Kiek atviro tiek uždaro tipo skruberiai yra efektyvus ir tinkami naudoti naujai statomose bei modernizuojamose laivuose.

Technologiniu požiūriu skruberiai yra efektyvus, tačiau pakankamai masyvus ir todėl mažesniuose laivuose būtų sunku juos instaliuoti. Projektuojant naujai statomą laivą skruberio gabaritai įvertinami dar projektavimo stadijoje. Tačiau modernizuojant laivą skruberis gali įtakoti laivo jūrinių savybių pakitimą. Dar vienas nemažiau svarbus trūkumas – tai krovinių tūrio sumažėjimas, dėl kurio laivo savininkas patiria papildomus nuostolius. Eksploatavimo metu aprūpinant sistema patiriami 1–3 % energijos nuostoliai, ko pasėkoje padidėja degalų sąnaudos. Tačiau lyginant su mažesnių degalų gamyba, kurios metų dėl sudėtingesnio technologinio proceso energijos sąnaudos padidėja maždaug 15 %, skruberiai turi pastebima pranašumą (EPA 2008). Vertinant ekonominių aspektu būtina pabrėžti, kad pati sistema yra brangi ir priklausomai nuo skruberio tipo bei instaliavimo sąlygų jos kaina gali siekti 2–3,5 mln. € (2 lent.):

2 lentelė. Uždaro ir atviro tipo skruberių instaliavimo kaina (Ministry of Transport and Communications Finland 2009)

	Kruizinis laivas (variklis apie 40 MW)	Krovinių laivas (variklis apie 20 MW)
Atviro tipo skruberis		
Naujai statomas	3 M €	2,1 M €
Modifikuojamas	3,5 M €	2,4 M €
Uždaro tipo skruberis		
Naujai statomas	2,4 M €	1,9 M €
Modifikuojamas	3,4 M €	2,4 M €

Vertinant atviro ir uždaro ciklo skruberių kainas pažymėtina, kad atviro ciklo skruberiai panaudotą jūros vandenį išleidžia atgal į jūrą. Dėl padidintos SO_x koncentracijos panaudotame vandenyje atviro tipo skruberiai gali būti naudojami nevisuose plaukiojimo rajonuose. Todėl net ir esant žemesnei kainai jie neturi ženklaus pranašumo lyginant su uždaro tipo skruberiais. Šiai dienai skruberių savikaina atbaido laivų savininkus. Tačiau 2015 m. skruberių pranašumas ženkliai išaugs. Vertinant ekonominį skruberių patrauklumą būtina paminėti, kad jų atsiperkamumas siekia 2–3 metus naujai statomiems ir 3–4 metus modernizuojamiems laivams (Ship Operations Cooperative Program 2011). Skruberių atsiperkamumas priklauso ne tik nuo sistemos tipo ir laivo charakteristikų bei plaukiojimo rajono, bet ir nuo skruberių instaliuojančios laivų statyklos galimybių.

Nepaisant išvardintų trūkumų skruberiai yra pranašesni už mažesnių kurą kiek technologiniu tiek ir ekonominiu požiūriu. Tačiau jie užtikrina tik SO_x reikalavimu

atitikimu. Atsižvelgiant į 2016 m. naujus NO_x reikalavimus laivų savininkai bus priversti kartu su skruberiais instaliuoti ir NO_x neutralizuojančią įrangą, kuri dar labiau padidins laivo savininko išlaidas.

Kiekvienais metais vis didėja kiek naujai statomų tiek ir modernizuojamų laivų skruberių užsakymų portfelis. Tai įrodo vis didėjanti laivų savininkų susidomėjimą šio išmetamųjų dujų valymo metodu ir skatina įrangos gamintojus dar aktyviau kurti bei testuoti savo sistemas. Nors skruberių eksploatavimas realiose sąlygose įrodė jų efektyvumą, tačiau atliktų tyrimų nepakanka. Šis metodas vis dar yra kūrimo bei bandymų stadijoje, todėl gali būti lydimas įvairiais techniniais nesklaidumais.

Apibendrinant galima išskirti sekančius skruberių privalumus ir trūkumus:

- **Privalumai:** pašalina 90–99 % SO_x ir 60–85 % PM; suteikia galimybę naudoti HFO; paliginus trumpas atsipirkimo laikotarpis; tinka naujai statomiems bei modifikuojamiems laivams.
- **Trūkumai:** nėra iki galo išbandyta realiomis sąlygomis; reikalauja ženklų investicijų; padidina degalų sąnaudas; būtinos atliekų talpyklos; sumažina krovinių laivo tūrį; neužtikrina NO_x reikalavimų ir todėl būtina papildoma įranga NO_x neutralizavimui.

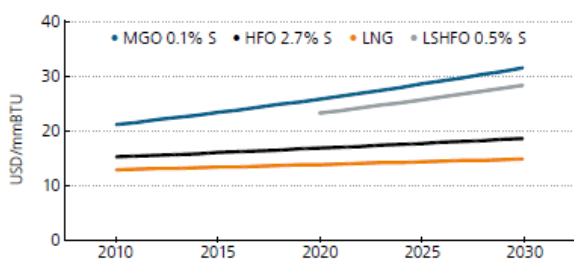
3. LNG

Vienas perspektyviausiu metodu sumažinti laivo išmetamųjų dujų toksiškumą – naudoti LNG kaip alternatyva įprastiems degalams. Tokiu būdu užtikrinamas laivo atitikimas kiek SO_x tiek ir NO_x reikalavimams. Todėl laivų savininkai vis labiau domisi galimybėmis pritaikyti esamą laivą LNG.

Iki šiol LNG kaip degalai buvo naudojami tik dujovežiuose. Pirmasis dujovežis varomas LNG buvo pastatytas Japonijoje 1993 m.. Vėliau buvo pastatyti dar trys tokio tipo laivai. Iki pat 2000 m. susidomėjimas šiais laivais buvo apmažėjas ir tik 2009 m. Norvegijos laivobos įmonė I.M. Skaugen užsisakė šešis LNG varomus dujovežius, kurie buvo pastatyti Kinijoje (Global Bunkering 2010). Didžiausias trikdys LNG plėtojimui yra infrastruktūros trūkumas. Todėl iki šiol tik nedidelis skaičius laivų eksploatuojami su LNG: viso 23 naujai pastatyti laivai, iš kurių 22 priklauso Norvegijos laivobos įmoneis. LNG tinka ne tik naujai statomiems laivams, bet ir laivų modernizavimui. Šiai dienai pasaulyje yra apie 25 laivai kurie buvo modifikuoti siekiant pritaikyti juos LNG. Didžioji modifikuotų laivų dalis yra keleiviniai keltai bei ofšoriniai laivai, priklausantis Japonijos ir Nor-

vegijos įmonėms (IMO 2012). Atliktų tyrimu rezultatai rodo, kad laivo pritaikymo LNG procesas yra įmanomas, tačiau vis dėl to jis yra ganėtinai sudėtingas ir reikalauja ženklaus variklio modifikavimo, didesniu degalų saugojimo talpyklų, specialios degalų padavimo sistemos ir t.t.

Nepaisant sudėtingo laivų modifikavimo bei LNG infrastruktūros stokos šio tipo degalai yra ekonomiškai patrauklesni. Jų atsiperkamumo laikotarpis siekia 1–3 metus ir yra trumpesnis nei skruberių (GL and MAN 2011). Tikimasi, kad ateityje kaip ir šiandien LNG kaina išliks artima HFO tai reiškia, kad šis kuras yra daug patrauklesnis ekonominiu atžvilgiu nei mažasieriai degalai (1 pav.):



1 pav. Degalų kainų pesimistinis scenarijus (GL and MAN 2011)

Turint omenyje, kad LNG užtikrina SO_x bei NO_x reikalavimų atitikimą šio kuro pranašumas artėjant 2015/2016 m. tik didės.

Apibendrinant galima išskirti sekančius LNG privalumus ir trūkumus:

- **Privalumai:** pašalina 90–100 % SO_x , 60 % NO_x , 70 % PM ir 25 % CO_2 ; kaina artima HFO; siekiant užtikrinti 2015/2016 m. reikalavimus nereikalinga jokia papildoma įranga.
- **Trūkumai:** reikalauja variklio bei laivo modifikacijos; laivo modifikacija labai sudėtinga ir brangi; LNG infrastruktūros trūkumas.

Išvados

1) Atlikta skirtingų laivo išmetamųjų dujų toksiškumo mažinimo metodų lyginamoji analizė leidžia teigti, kad šiuo metu LNG panaudojimas yra vienas perspektyviausių būdų siekiant užtikrinti 2015/2016 m. reikalavimų atitikimą.

2) Išvardintų metodų ribojantys faktoriai yra:

- **Mažasieriams degalams** – nepakankamas degalų kiekis ir ribotos naftos perdirbimo pramonės ga-

limybės, didesnė kaina lyginant su HFO, galimas variklio modifikavimo būtinumas;

- **Skruberiams** – ženklios pradinės investicijos, padidėjusios degalų sąnaudos eksploatavimo metų, atliekų saugojimo ir pridavimo būtinumas, sumažėjęs laivo krovininis tūris, neženklaus NO_x sumažėjimas;
- **LNG** – reikalauja variklio modifikacijos, specializuotos sistemos, didesnių degalų talpyklų ir t.t., modifikacija yra sudėtinga ir brangi, LNG infrastruktūros trūkumas.

3) Laivo išmetamųjų dujų valymo metodo pasirinkimas turi būti pagrįstas pateiktų aspektų kompleksinių vertinimų.

4) Kiekvieno metodo vertinimas turi būti atliekamas atsižvelgiant į laivo tipą, jo charakteristikas, plaukiojimo rajoną ir t.t. Būtent tokiu būdu planuojama išanalizuoti Lietuvos laivyną siekiant parinkti priimtinausią ekologinio modifikavimo metodą.

Literatūra

- Revised MARPOL Convention 73/78. 2008. Annex VI, IMO, London.
- Man Diesel & Turbo. 2010. Operation on Low-Sulphur Fuels, Denmark. 23 p.
- European Maritime Safety Agency. 2010. The 0,1 % sulphur in fuel requirement as from 1 January 2015 in SECAs, An assessment of available impact studies and alternative means of compliance, *Technical Report*. 30 p.
- EPA. 2008. Global Trade and Fuels Assessment Future Trends and Effects of Requiring Clean Fuels in the Marine Sector, US. 197 p.
- Smailys, V.; Bereisiene, K.; Dauksys, V. 2012. Biodiesel as the alternative fuel for marine transport, *Research paper of Aleksandras Stulginskis University*, 2012, vol xx, no x: 154–171.
- Ship Operations Cooperative Program. 2011. Exhaust Gas Cleaning Systems Selection Guide, U.S. Department of Transportation. 154 p.
- Ministry of Transport and Communications Finland. 2009. Sulphur content in ships bunker fuel in 2015. A study on the impacts of the new IMO regulations on transportation costs. Helsinki, Finland. 38 p.
- Global Bunkering. 2010. Suppliers take new sulphur restrictions in their stride, Use of LNG as a fuel set to rise as ECAs kick in. Lloyd's list. 88 p.
- IMO. 2012. Air pollution and energy efficiency, Interim Report of the Correspondence Group on Assessment of Technological Developments to Implement the Tier III NO_x Emission Standards under MARPOL Annex VI. 27 p.
- Germanischen Lloyd and MAN. 2011. GL and MAN joint study, Costs and benefits of LNG as ship fuel for container vessels. Germany. 12 p.