

Sieros junginių mažinimo laiviniame kure technologijų analizė

Alvydas Nikolajus, Audra Skaisgirienė*

Lietuvos aukštoji jūreivystės mokykla, I. Kanto g. 7, Klaipėda,
El. paštas: a.nikolajus@lajm.lt, a.skaisgiriene@lajm.lt

(Gauta 2020 m. sausio mėn.; atiduota spaudai 2020 m. kovo mėn.; prieiga internete nuo 2020 m. gegužės 11 d.)

Anotacija

Didėjanti pasaulio prekyba laivų transportu neišvengiamai padidina emisijas iš laivų, kartu prisideda prie klimato kaitos. Tarptautinės jūrų organizacijos (toliau TJO) standartai reikalauja labai sumažinti sieros emisijas. Atėjo laikas, kai įsigalioja naujieji reikalavimai sieros kiekiams jūriniame kure ir vežėjai turi prisitaikyti.

Šiame darbe apžvelgiamos įvairios oro taršos mažinimo iš laivų sieros junginiais galimybės. Atlikta įvairių tipų oro valymo sistemų (skruberių) apžvalga ir jų įrengimo galimybės. Analizuojami kuro mišinių komponavimo būdai ir sieros kiekio laivų kure mažinimo technologijos. Apžvelgiamos kitos alternatyvos laivų transporte, norint sumažinti sieros kuro panaudojimą.

Reikšminiai žodžiai: laivų transportas, emisijos, laivų kuras, skruberiai, alternatyvus kuras.

Abstract

Increasing world trade in maritime transport inevitably increases emissions from ships, while contributing to climate change. International Maritime Organization (IMO) standards require a significant reduction in sulfur emissions. The time has come for the new sulfur content requirements for marine fuels to come into force and carriers have to adapt.

This paper reviews various options for reducing air pollution with sulfur compounds in ships. An overview of different types of air purification systems (scrubbers) and their installation possibilities is provided. Methods of fuel blending and sulfur reduction technologies are analyzed. Other alternatives to reduce the use of sulfur fuel in shipping are reviewed.

Key words: Ship transport, emissions, marine fuel, scrubbers, alternative fuel

Įvadas

Gamyklų, automobilių sukeliama oro tarša daugumos pasaulio valstybių reguliuojama jau seniai, nuo praėjusio šimtmečio. Laivams taisyklės nustatytos MARPOL konvencijos VI priede, įsigaliojusiam 2005 metų gegužės 19 dieną. Šiame priede nustatyti reikalavimai, siekiant sumažinti oro taršą. 2012 m. sieros ribos laivų kure buvo sumažintos nuo 4,5 % iki 3,5 %. Tačiau kokie iššūkiai laukia nuo 2020 sausio 1 dienos? Tarptautinė jūrų organizacija (TJO) (*angl.* IMO - International Maritime Organization) yra specializuota Jungtinių Tautų standartų nustatymo agentūra, kuriai pavesta sureguliuoti tarptautinės laivybos saugos, saugumo ir aplinkos apsaugos aspektus. Pagal TJO standartus reikalaujama labai sumažinti sieros emisijas. 2016 m. Tarptautinė jūrų organizacija patvirtino savo sprendimą sumažinti sieros kiekį jūriniame kure nuo 3,5 % iki 0,5 % pradėdant įsipareigojimus vykdyti 2020 m. sausio mėnesį.

Visi sutinka, kad degimo procese esanti siera degaluose virsta sieros oksidais (SO_x), ir šie oksidai, išleidžiami į orą, daro didelę įtaką mūsų plaučiams ir žalą žmonių sveikatai. Dėl jų taip pat susidaro rūgščių lietus, veikiantis vandens ekosistemas, gyvūniją ir augmeniją (Zeldovich, 2019; Claremar et al., 2017).

Griežtesni aplinkosaugos kontrolės standartai teršalų emisijoms (Jonson et al., 2015) jau taikomi tokiuose regionuose, kaip Baltijos jūra, Šiaurės jūra ir Šiaurės Amerikos pakrantės (1 pav.).

Didžiausias leidžiamas sieros kiekis jūriniuose degaluose ES uostuose dabar yra 0,1 %, to reikalaujama Europos Sąjungos direktyvoje, kur teigiama, jog valstybės narės imasi visų priemonių, reikalingų užtikrinti, kad jų teritorinių jūrų, išskirtinių ekonominių zonų ir taršos kontrolės rajonų, priklausančių SO_x išskyrimo kontrolės rajonams, plotuose nebūtų naudojamas jūrinis kuras, kuriame sieros kiekis pagal masę viršija 0,10 % (Europos Parlamento ir Tarybos Direktyva, 2012).



1 pav. Griežtesnių teršalų emisijų reikalavimų regionai pasauliniame žemėlapyje
(8 Important points to consider when you order the new ECA fuel, 2015)

*Fig 1. Stricter emission requirements regions on the global map
(8 Important points to consider when you order the new ECA fuel, 2015)*

Kaip pasiekti atitiktį? Atėjo laikas, kai įsigalioja naujieji reikalavimai sieros kiekiams jūriniame kure ir vežėjai turi prisitaikyti. Savininkai gali arba deginti kūrą, neatitinkantį sieros kiekio, ir atlikti pakeitimus laivo įrengimuose, arba naudoti reikalavimus atitinkantį jūrinį kūrą.

Kai kurie savininkai jau yra investavę į išmetamųjų dujų valymo sistemas ir galės deginti pigesni, bet daugiau sieros (3,5 %) turintį kūrą. Perėjimas prie TJO 2020 reikalavimų atitinkančių degalų turės didelį poveikį energetinėms išlaidoms. Tikimasi, kad pagrindinė finansinė nauda savininkams, kurie investavo arba ketina investuoti į laivus, į kuriuos įmontuoti skruberiai, yra tai, kad bus labai sutaupyta prekybos laivais išlaidos dėl numatomo kainų skirtumo tarp degalų, turinčių didelį sieros kiekį, ir reikalavimus atitinkantį kūrą, kuriame mažai sieros.

Daug griežtesnės taisyklės turėtų įsigaliooti 2050 metais, kai IMO pareikalaus, kad laivai perpus sumažintų ir anglies dvideginio emisijas.

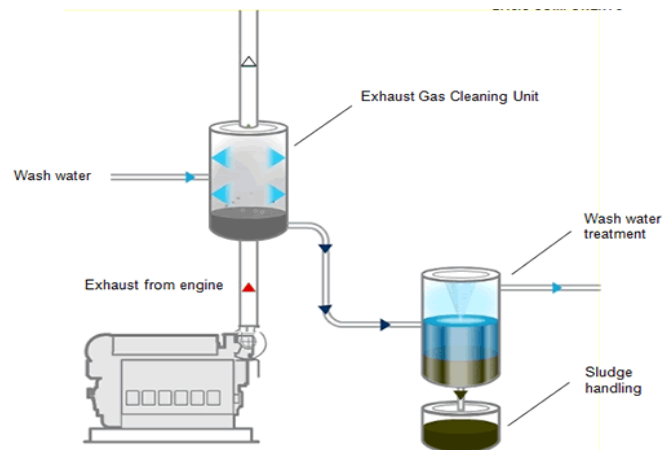
Mokslininkai ir atsakingos bendrovės jau eksperimentuoja naudodamos švaresnius degalus ir naujausias technologijas (Winnes et al., 2016).

Darbo tikslas – išanalizuoti oro taršos iš laivų sieros junginiais mažinimo galimybes ir apžvelgti kitas laivų kuro alternatyvas.

Emisijų mažinimo galimybės

Laivams, norintiems toliau deginti reikalavimų neatitinkantį, didelį sieros kiekį turintį kūrą (HSFO), yra galimybė naudoti išmetamųjų dujų valymo sistemą, paprastai vadinamą skruberiu. Kitas būdas emisijai sumažinti – naudoti mažasierį kūrą (alternatyvūs degalai ir jų mišiniai).

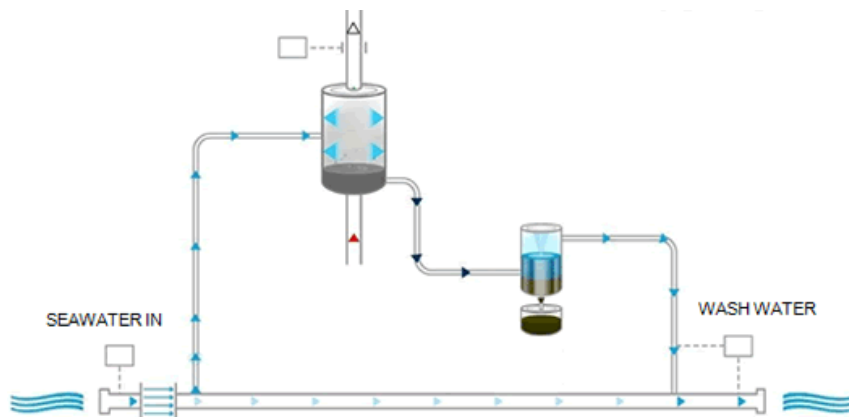
Išmetamųjų dujų skruberiai (valytuvai). Per artimiausius kelerius metus maždaug 10–15 proc. laivų turėtų būti įmontuota skruberių (oro valymo) sistemos, panašios į tas, kurios naudojamos gamyklų kaminuose, siekiant sumažinti sieros junginių emisijas ir smulkiųjų kietųjų dalelių išmetimus pro išmetamųjų dujų dūmtraukius. Išmetamųjų dujų valymo sistemos pagrindiniai komponentai parodyti 2 paveiksle.



2 pav. Išmetamų dujų valymo sistemos pagrindiniai komponentai (Bhavnani, 2015)
Fig 2. Exhaust gas cleaning system basic components (Bhavnani, 2015)

Šiuo metu yra keturi skirtingi skruberių tipai (den Boer and Hoen, 2015):

1. Jūros vandens skruberiai (atviro tipo) naudoja natūralų jūros vandens šarmingumą, kad neutralizuotų sieros dioksidą išmetamosiose dujose. Neigiama atviro tipo sistemos savybė yra didesnės energijos sąnaudos, palyginti su uždarojo tipo sistema, tačiau nereikia jokių cheminių priedų, tokių kaip kaustinė soda uždaro tipo sistemoje. Atviro tipo skruberio sistemos schema parodyta 3 paveiksle.

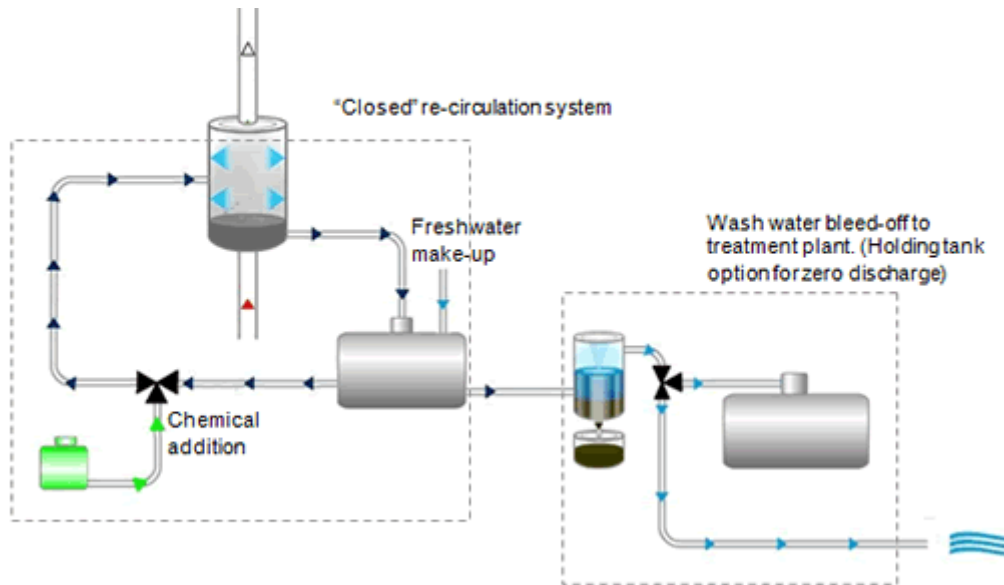


3 pav. Atviro tipo išmetamųjų dujų valymo sistema (European Commission, 2017)
Fig 3. Exhaust gas cleaning system in open-loop operation (European Commission, 2017)

Iš dalies dėl išlaidų sumažinimo, kai kurios įmonės pasirenka atviros grandinės skruberius, kurie dalį savo nuotekų išmeta pakeliui į vandenyną. Paprastai jie yra pigesni ir mažesni už uždaro ciklo skruberius, kurie savo išleidžiamąsias medžiagas kaupia rezervuaruose, kad galėtų jas pašalinti uoste. Kita vertus, kai kuriuose laivuose tam tiesiog nėra vietos (Zeldovich, 2019).

2. Gėlo vandens skruberiuose (uždaro tipo) išmetamosios dujos yra neutralizuojamos kaustine soda, kuri pridedama į gėlo vandens uždara sistemą. Cirkuliacinis vanduo apdorojamas po skruberio kaustine soda, kad būtų atkurtas vandens šarmingumas. Uždaro tipo skruberio sistemos schema parodyta 4 paveiksle.

Gerai suprojektuotas išmetamųjų dujų valymo įrenginys visiškai pašalins sieros oksidus iš išmetamųjų dujų. Valymas atliekamas naudojant jūros ar šarminius gėlus vandenį. Šarminis gėlas vanduo gaunamas pridedant šarmų, tokių kaip NaOH. Proceso metu sieros oksidai virsta natrio sulfatu, kuris gali būti išleidžiamas į jūros vandenį, kur jūros vandenyje jau yra dideli natrio sulfato kiekiai.



4 pav. Uždaro tipo skruberio principinė schema (European Commission, 2017)

Fig 4. Exhaust gas cleaning system (closed-type scrubber) (European Commission, 2017)

Esant gerai konstrukcijai, kontroliuojama per bortą išleidžiamo praplovimo vandens pH vertė, kad nepakenktų jūros gyvybei ir nepažeistų apsauginės laivo šonų dangos. Be to, skruberiai pašalina ir kietąsias daleles.

3. *Hibridiniai skruberiai* suteikia galimybę naudoti uždarojo (kai dirbama uoste) arba atvirojo (kai laivas dirba atviroje jūroje) tipo technologiją.

4. *Sausieji skruberiai* veikia be vandens valydami išmetamąsias dujas cheminiais reagentais (gesintų kalkių granulės ir kt.). Šie skruberiai neišleidžia jokių nuotekų į jūrinės sistemas. Sausųjų skruberių pranašumas yra mažesnės energijos sąnaudos, palyginti su šlapiųjų skruberių.

Įrenginių gamintojai, tokie kaip Suomijos „Wartsila OYJ“ ir Švedijos „Alfa Laval AB“, teigia, kad jau dabar yra daugybė vėluojančių užsakymų, todėl daugelyje laivų iki 2020 metų, kai įsigaliojo naujos taisyklės, tokia įranga nebuvo įrengta laiku.

Kai kurios aplinkosaugos grupės teigia, kad skruberių, kaip atitikimo norminiams reikalavimams, nauda yra per daug sureikšminama ir kad nebuvo atlikti sisteminiai-kompleksiniai poveikio jūrų aplinkai tyrimai. Jų nuomone, skruberių naudojimas yra pavojingų medžiagų išmetimas ne į orą, o į vandenyną.

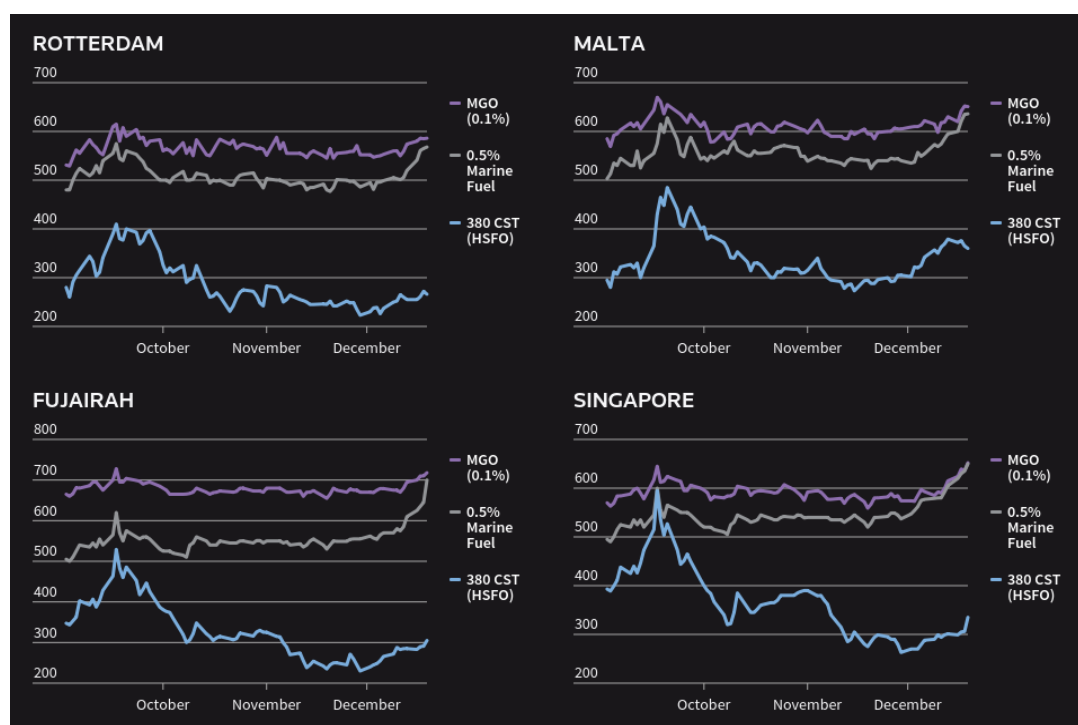
EGCSA (Išmetamųjų dujų valymo sistemų asociacija) pranešė, kad iš 1500 įrengtų ar užsakytų 2018 m. gegužės mėn. 63 % laivų išmetimo valymo sistemų buvo atvirojo ciklo (open-loop) (Scrubber orders full ahead. 2018). Yra daugybė skirtingų modelių, tačiau nėra atlikta pakankamai tyrimų lyginant skirtingus skruberius. TJO ataskaita pažymėjo, kad atviro ciklo skruberiai „į jūros aplinką išmes didelį kiekį cheminių medžiagų“, ir padaryta išvada, kad reikėtų dėti daugiau pastangų norint atlikti skruberių išleidimų stebėseną. Pramonės vadovaujamos organizacijos šią technologiją laiko saugia. „Švarios laivybos aljansas“ (CSA) 2020 patikrino daugiau kaip 50 kruizinių laivų išmetamųjų dujų valymo sistemų su atviru ciklu nuotekas ir padarė išvadą, kad skruberiai buvo veiksmingi ir saugūs. Pagrindiniai jonai išleidžiami su nuotekomis po skruberių yra natrio, chlorido ir sulfato, tai yra dažniausiai pasitaikantys natūralūs jonai, randami jūros vandenyje, todėl teigia, kad „nerimauti nėra pagrindo“. Tačiau kiti autoriai teigia (Turner et al., 2017), kad atviros grandinės skruberiai į paviršinį vandenį gali išleisti daugiau cinko ir vario nei „antifouling“ dažai.

Kol diskusijos tęsiasi, laivybos kompanijos ir toliau montuoja skruberius, taip pat bando ir naują mažai sieros turintį kurą dešimtims tūkstančių laivų, esančių pasauliniame prekybos laivyne. Brangių mažai sieros turinčių degalų ir išmetamųjų dujų skruberių naudojimas kompleksiskai galėtų būti tarsi dvigubas sprendimas, norint išspręsti šią problemą.

Specialaus (mažasio) kuro panaudojimas. Iki dabar populiariausias kuras laivyboje buvo jūrinis mazutas (HFO – Heavy Fuel Oil), kuris yra pigus, tačiau pagal naująjį reikalavimą jis yra per daug sieringas (iki 3,5 % sieros kiekio).

Vienas svarbiausių teisės aktų yra standartas ISO 8217:2017, kuriame nurodyti reikalavimai taikomi degalams, naudojamiems kaip laivų kura. Šiame dokumente yra pateiktos degalų specifikacijos, leistinos minimalios pliūpsnio temperatūros ribos, laikantis MARPOL 73/78 VI priede, kuris kontroliuoja oro taršą iš laivų, reikalavimų, kad degalai neviršytų nustatyto didžiausio sieros kiekio.

Tarptautinės energetikos agentūros (IEA) duomenimis 2019 m. aukšto sieringumo mazutinio kuro sunaudojimas buvo 3,13 mln Bd^{-1} (milijonai barelių per dieną), o jų prognozė 2020 m. yra 0,71 mln Bd^{-1} , t. y. prognozuojama, kad mazutinio kuro sunaudojimas sumažės beveik 4,5 karto (IEA Oil, 2019). Pasaulinių jūrinio kuro kainų kitimas per paskutinius tris praėjusių metų mėnesius parodytas 6 paveiksle.



6 pav. Pasaulinės jūrinio kuro kainos 2019 metais (dol. už toną) (Ghaddar et al., 2019)

Fig 6. Global marine fuel prices in 2019 (in \$ per tonne) (Ghaddar et al., 2019)

Hidrovalymo būdu sieros išvalymas naftos produktuose yra efektyvus, tačiau tai ekonomiškai brangus būdas, kadangi yra patiriamos didelės sąnaudos: sunaudojama daug vandenilio dujų, reikalinga aukšta temperatūra ir didelis slėgis, yra naudojami brangūs katalizatoriai. Todėl yra bandomi ir ieškomi kiti nusierinimo būdai (Javadli and Klerk, 2012).

Mokslininkai taip pat siūlo sieros junginių šalinimui naudoti sorbcijos metodą. Metodo našumas priklauso nuo naudojamos adsorbuojančios medžiagos. Kaip adsorbentai gali būti naudojami: aktyvioji anglis (Aguiar and Coelho, 2017), silikagelis, aliuminio oksidas bei sintetiniai aliuminio silikatai, natūralūs moliai, moliniai mineralai ir ceolitai. Taip pat, kaip adsorbentai, yra naudojami modifikuoti moliai, kurie pasiekia didesnę adsorbicijos lygį nei natūralūs (Ha et al., 2019). Pagrindiniai adsorbentų parametrai – tai adsorbicijos aktyvumas, poringumas ir porų dydis.

Oksidacinis nusierinimas vyksta ne tokiomis agresyviomis sąlygomis, kaip hidrovalymas. Organiniai sieros junginiai gali būti selektyviai oksiduojami, kad nesuardyti C-C ryšio (Choi et al., 2015). Oksidacinio nusierinimo trūkumai – pasirinkti oksidatoriai ne visada veikia selektyviai ir gali sukelti nepageidaujamas reakcijas, dėl ko gali sumažėti degalų kokybė ir kiekis. Be to, yra sudėtinga parinkti tinkamus ekstrahentus, o netinkamas gali iš degalų pašalinti aromatinius ar

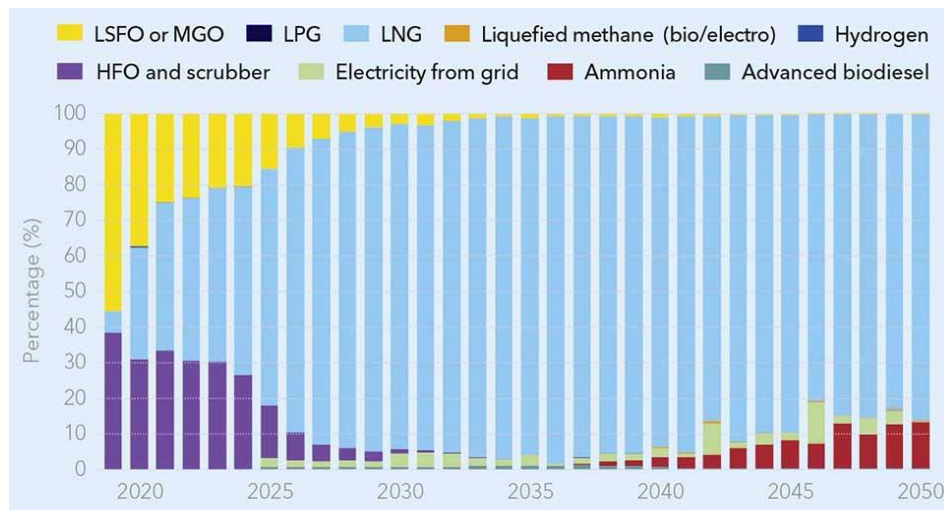
alkeninius junginius arba išskirti nedidelį kiekį sieros junginių. Tačiau parinkus tinkamą oksidatorių ir optimalias sąlygas jam veikti yra įmanoma pagerinti nusierinamų degalų kokybę (Capel-Sanchez et al., 2010).

Toksinių dalelių emisijų sumažinimui turi būti naudojamas efektyvesnis kuras. Tai yra kuro savaiminio užsiliepsnojimo savybių gerinimas, siekiant užtikrinti greitą liepsnos fronto pasiskirstymą degimo kameroje. Taip pat galima naudoti mažasierį kurą, kurį naudojant sumažinama išmetamųjų dujų SO_x emisija. Biodyzelinas ir dujos taip pat užtikrina geras ekonomines ir ekologines charakteristikas. Tačiau pagrindinis alternatyviojo kuro panaudojimo trūkumas – gamybos kaina, kuri atitinkamai padidina ir laivo eksploatacijos sąnaudas.

Mokslininkai jau kuris laikas intensyviai dirba komponuodami įvairius kuro mišinius ir tyrinėdami jų alternatyvas. Įprastinis kuras, kurio pagrindą sudaro angliavandeniliai, yra laikomas greitai išsekiojančiu ir kenksmingu aplinkai. O alkoholių ir biodyzelino panaudojimas tradicinių degalų mišiniuose tampa perspektyviais alternatyviais degalais dėl savo gamybos paprastumo ir nekenksmingumo aplinkai. Atlikti tyrimai parodė, kad naudojant alternatyvius degalus, tokius kaip alkoholiai ir biodyzelinas, būtų galima sumažinti ne tik dyzelino sunaudojimą, bet ir išmetamųjų teršalų kiekį (Erdiwansyah et al., 2019). Biodyzeline yra minimalus sieros ir aromatinių junginių kiekis, jis pasižymi aukšta pliūpsnio temperatūra, geresniu vidaus variklio sutepimu, aukštesniu cetaniniu skaičiumi, gera biodegradacija ir mažu toksiškumu. Alkoholių, tokių kaip metanolis, naudojimas biodyzelino mišiniuose labai praktiškas, kadangi jie lengvai susimaišo su grynu biodyzelinu (Hajba et al., 2011). Tokie degalų mišiniai galėtų būti panaudojami ir komponuojant mažasierį kurą laivams.

Jūrinis gazolis jau naudojamas išmetamųjų teršalų kontrolės rajonuose, pavyzdžiui, šalia Europos krantų, bet tam, kad jis būtų naudojamas visu pajėgumu pagal naujas emisijos taisykles, laivybos bendrovėms gali tekti kasmet pakloti papildomą 40–60 mlrd. JAV dolerių sumą, skelbia „Goldman Sachs Group Inc.“ ir pasaulinė tyrimų bendrovė „Wood Mackenzie“.

Suskystintos gamtinės dujos (SGD) yra dar vienas variantas, tačiau švaresniems degalams reikalingi visiškai nauji varikliai ir atitinkama uosto infrastruktūra jiems laikyti. 2016 metais pasaulinė laivybos bendrovė „Nippon Yusen KK“ pristatė pirmąjį pasaulyje SGD varomą laivą.



8 pav. Suskystintų gamtinių dujų ir alternatyvaus kuro panaudojimo prognozės iki 2050 metų (DNV GL Maritime forecast, 2019): LSFO - mažasieris kuras, LPG - suskystintos naftos dujos, LNG - suskystintos gamtinės dujos
Fig 8. Forecasts for the use of LNG and alternative fuels by 2050 (DNV GL Maritime forecast, 2019): LSFO – low sulphur fuel oil, MGO – marine gas oil, LPG – liquefied petroleum gas, LNG – liquefied natural gas, HFO – Heavy fuel oil

Sumažinti į orą išmetamųjų teršalų kiekį ir įdiegti naujausias technologijas laivyboje, verčia ir žymiai griežtesni TJO reikalavimai, kurie turėtų įsigalioti 2050 metais (DNV GL Maritime forecast, 2019), tuomet laivai perpus turės sumažinti ir anglies dvideginio emisijas. Suskystintų gamtinių

dujų ir alternatyvaus kuro panaudojimo bei energijos sunaudojimo prognozės iki 2050 metų parodytos 8 paveiksle.

Šiame prognozių modelyje (8 pav.) matyti, kad dėl laipsniškai griežtesnių šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimų, daugiausia dėmesio skiriant veiklos poreikiams, prognozuojama didesnė dalis panaudojamų degalų tarptautinei laivybai, t. y. suskystintos gamtinės dujos. Amoniako įsisavinimas yra ribotas ir laipsniškesnis. Nuo 2040 m. pradės didėti biodujų arba metano (elektrokuro) panaudojimas. Taigi iki 2050 m. turėtų siekti apie 70 % iškastinių SGD, 13 % metano ir 17 % kito kuro. Skystas iškastinis kuras beveik visiškai pašalinamas, nes laivybos sektoriuje palaipsniui numatoma sumažinti CO₂ emisijas.

Toks staigus perėjimas gali pasirodyti labai sudėtingas, kai atsižvelgiama, pavyzdžiui, į poreikį sutelkti infrastruktūrą ir vietinius pajėgumus. Į tai turėtų būti atsižvelgiama ir svarstant reglamentuojančius teisinius dokumentus.

Kitos alternatyvos ekologiškoje laivyboje

Akumulatoriais varomi laivai. Laivų statytojai šiais laikais eksperimentuoja statydami mažesnius upių laivus ir kitokius laivelius, liekančius netoli kranto. Norvegijos vyriausybė siekia, kad iki 2030 metų būtų elektrifikuoti du trečdaliai visų keleivius bei automobilius gabenančių keltų, kursuojančių palei Atlanto vandenyno pakrantę. Tarptautinė technologijų grupė „Kongsberg Gruppen ASA“ siūlo akumuliatorių baterijos maitinamus laivų variklius ir 2019 metais pastatė trumpojo nuotolio elektra varomą konteinerinį laivą. Kinijoje pastatytas ir 2017 metais į Perlų upę (šalia Honkongo) paleistas laivas buvo pirmasis vien tik elektra varomas krovinių vežėjas, rodo korporacijos „China State Shipbuilding Corp“ duomenys. Ši transporto priemonė neteršia oro, bet 2000 tonų sveriantis laivas gali nukeliauti tik maždaug 50 mylių be papildomo įkrovimo, teigia Kinijos naujienų tarnyba.

Vandenilio kuras. Didžiausia pasaulyje laivų gamintoja, „Hyundai Heavy Industries Co“, paskelbė kurianti vandeniliu varomus variklius didžiuliams laivams. Minėtos technologijos yra gana ankstyvoje stadijoje. Keltų sistemos vandenilio pagrindu planuojamos ir Norvegijoje bei atokiosiose Škotijos Orknio salose.

Burės. „A.P. Moller-Maersk A/S“ svarsto galimybę naudoti šiuolaikišką burės versiją laivui varyti. Įrenginiai neprimena burių, jie panašūs į milžiniškas marmurines kolonas. Dviejų dešimties namo aukštų aukščio cilindru naudojamos bendros vėjo energijos gali pakakti pakeisti 20 % laivo iškastinio kuro, skelbia jų gamintoja „Norsepower Oy Ltd“. „Eco Marine Power“ Japonijoje sukonstravo dar vieną burę – šįkart su saulės baterijomis korpuse. Įmonė pradėjo derybas su krovinių vežėjais dėl šios įrangos bandymų.

Burbuliukai. Laivų statytojai mėgina sumažinti trintį tarp laivo korpuso ir vandens. Parinkti tinkamiausią korpuso formą – viena strategija. Kitas būdas, kurį išbando tokios įmonės kaip „Samsung Heavy Industries Co“ ir „Mitsubishi Heavy Industries Ltd“, yra burbulų srautai iš mažyčių angučių laivo dugne, naudojami tarsi tepalas, siekiant sklandesnio slydimo vandens paviršiumi. Minėtos technologijos gali sumažinti degalų sunaudojimą iki 4–5 %.

Išvados

1. Išanalizavus daugelį šaltinių, išryškėja keletas galimybių, kaip pasiekti TJO reikalavimus sieros kiekiams sumažinti išmetamosiose dujose:
 - naudoti išmetamųjų dujų valymo sistemą – (paprastai vadinamą „skruberiu“) ir toliau deginant sieringą jūrinį mazutą (HFO);
 - pakeisti varikliais, kurie naudoja alternatyvų kurą, pvz., suskystintos gamtinės dujos, metanolis, suskystintos naftos dujos ir etanas;

- naudoti reikalavimus atitinkantį kurą, kuriame sieros kiekis yra < 0,5 %, ir kurio pakaks, kad sumažėtų sieros kiekiai išmetamosiose dujose.
- 2. Panaudojus kuro nusierinimo technologijas – oksidaciją, adsorbicijos metodus ar sudarant degalų mišinius, ne visuomet pasiekiamas reikiamas rezultatas, be to išauga kuro kaina. Todėl brangių mažai sieros turinčių degalų ir išmetamųjų dujų skruberių (uždaro tipo) naudojimas kompleksišškai galėtų būti šios problemos sprendimas.
- 3. Ieškant ekologiškų alternatyvų sieringam kurui, mažesniems laivams galėtų būti taikomi akumuliatorių baterijomis maitinami laivų varikliai, naudojamas vandenilinis kuras, vėjo energija ar kitos alternatyvos.

Literatūra

1. Aguiar, M. F. D. & Coelho, G. L. V. (2017). Adsorption of sulfur compounds from natural gas by different adsorbents and desorption using supercritical CO₂. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4353-4364.
2. Bhavnani, R. C. (2015) Marine Exhaust Gas Scrubbers – An Environment friendly solution!
3. den Boer, E. & Hoen, M. (2015). Scrubbers – An economic and ecological assessment. CE Delft. Prieiga per internetą: <https://www.nabu.de/downloads/150312-Scrubbers.pdf>.
4. Capel-Sanchez, M. C.; Perez-Presas, P.; Campos-Martin, J. M. & Fierro, J. L. G. (2010). Highly efficient deep desulfurization of fuels by chemical oxidation. *Catalysis Today*. 157, 390–396.
5. Choi, A. E. S.; Roces, S.; Dugos, N. & Wan, M. W. (2015). Mixing-assisted oxidative desulfurization of model sulfur compounds using polyoxometalate/H₂O₂ catalytic system. *Sustainable Environment Research*. 26, 184-190.
6. Claremar, B. et al. (2017). Temporal and spatial variation of contribution from ship emissions to the concentration and deposition of air pollutants in the Baltic Sea. *Earth System Dynamics*, in press.
7. DNV GL (2019). Concise global sulphur cap update for shippers.
8. DNV GL (2019). Maritime forecast to 2050. Energy transition outlook 2019.
9. EGCSA. (2016). Ship guide. Scrubber water sample analysis programme.
10. Erdiwansyah, M. R.; Sani M. S. M.; Sudhakar K. & Sardjono R. E. (2019). An overview of higher alcohol and biodiesel as alternative fuels in Engines, *Energy Reports*, 467-479.
11. Europos Parlamento ir Tarybos Direktyva 2012/33/Es.
12. European Commission. (2017). European Sustainable Shipping Forum. 7th Plenary Meeting, Brussels.
13. Ghaddar, A. et al. (2019). New mixes emerge as shipping fuel of choice ahead of IMO 2020. London.
14. Ha, J. W.; Japhe, T.; Demeke, T.; Moreno, B. & Navarro, A. E. (2019) On the Removal and Desorption of Sulfur Compounds from Model Fuels with Modified Clays. *Clean Technol.* 1, 58-69.
15. Hajba, L.; Eller, Z; Nagy, E. & Hancsok, J. (2011). Properties of diesel –alcohol blends. *Hungarian Journal of Industrial Chemistry*, 39, 349-352.
16. 8 Important points to consider when you order the new ECA fuel. (2015). For Marine Fuels and Marine Engine Users.
17. IEA Oil 2019. Prieiga per internetą: <https://www.iea.org/reports/market-report-series-oil-2019>.
18. ISO 8217. (2017). Fuel Standard for marine distillate fuels.
19. Javadli, R.; de Klerk, A. (2012). Desulfurization of heavy oil. *Applied Petrochemical Research*. 1, 3–19.
20. Jonson, J. E. et al. (2015). Model calculations of the effects of present and future emissions of air pollutants from shipping in the Baltic Sea and the North Sea. *Atmospheric Chemistry and Physics* 15(2), 783–798. Prieiga per internetą: <https://www.atmos-chem-phys.net/15/783/2015/>
21. MARPOL 73/78 ANNEX VI. (2006). Convention for the Prevention of Air Pollution from Ships. London: IMO.
22. Scrubber orders full ahead. (2018). Exhaust Gas Cleaning Systems Association. Prieiga per internetą: <https://www.egcsa.com/scrubber-orders-full-ahead/>
23. Turner, D. R. et al. (2017) Shipping and the environment: Smokestack emissions scrubbers and unregulated oceanic consequences. Prieiga per internetą: <https://www.elementscience.org/articles/>
24. Winnes, H. et al. (2016). On-board measurements of particle emissions from marine engines using fuels with different sulphur content. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part M-Journal of Engineering*

for the *Maritime Environment*. 230(1), 45–54, Prieiga per internetą:
<http://dx.doi.org/10.1177/1475090214530877>

25. Zeldovich, L. (2019). Ships Scrub Up to Meet New Pollution Standard: A new international limit for sulfur emissions is prompting a shift toward a controversial technology. *Hakai magazine: Coastal science and societies*. Prieiga per internetą: <https://www.hakaimagazine.com/profiles/lina-zeldovich/>

Reducing Sulfur Compounds from Ships

(Received in January, 2020; Accepted in March, 2020; Available Online from 11th of May, 2020)

Summary

The International Maritime Organisation is responsible for the regulation of ship emissions arising from fuel combustion. Their current regulations are, however, much less strict than those applying to land-based transport within the European Union. The Sulphur Environmental Control Areas (SECA), where the strictest controls apply, are located in coastal seas: the only SECA in European waters covers the Baltic Sea and the North Sea.

With less than a year to go until the sulphur content of marine fuels is capped at 0.5%, options available for ship operators to achieve this significant reduction from the pre-January 1, 2020 permitted sulphur content level of 3.5% remain limited to three choices: 1. Use an exhaust gas cleaning system (commonly known as a ‘scrubber’) and continue to burn high sulphur heavy fuel oil (HFO); 2. Use an engine that can run on an alternative, ultra-low sulphur fuel, such as liquefied natural gas (LNG), methanol, liquefied petroleum gas (LPG), and ethane; 3. Use a compliant fuel with a sulphur content of <0.5%, which, according to the IMO, will be available in sufficient quantities.

All of the choices listed above are applicable to both newbuildings and existing ships. Although, the retrofitting of engines that can burn alternative fuel types and scrubber technology has an increased cost compared to the installation incorporated into the building of a ship.

The use of fuel desulphurisation technologies, such as oxidation, adsorption, or fuel blending, does not always produce the desired result and increases the cost of fuel. Therefore, the use of expensive low-sulfur fuels and exhaust scrubbers in a complex manner could provide a solution to this problem.

Smaller ships could use battery-powered marine engines, hydrogen fuel, wind power or other alternatives to look for environmentally friendly alternatives to sulfur fuel.