

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos iš laivų mažinimas naudojant alternatyvųjį jūrinį kurą analizė

Jonas Gavėnas*, Alvydas Nikolajus

Lietuvos aukštoji jūreivystės mokykla, I. Kanto g.7, Klaipėda,
el. paštas j.gavenas1@gmail.com

(Gauta 2020 m. liepos mėn.; atiduota spaudai 2020 m. rugpjūčio mėn.; prieiga internete nuo 2021 m. gegužės 11 d.)

Anotacija

Norint sumažinti laivybos išmetamosiomis dujomis sukeltą taršą, kuri turi didelės įtakos aplinkos ekologijai ir klimato kaitai, yra būtina kuo greičiau atkreipti dėmesį į naujus galimus alternatyvius jūrinius degalus, kiek galima daugiau prisidėti prie aplinkos saugojimo, nes laivyba turi didelį poveikį, kuris susijęs su šiltnamio dujų emisija.

Straipsnyje analizuojama jūrų transporto įtaka ekologiniam aplinkos disbalansui. Nagrinėjama suskystintų natūralių dujų (LNG) sistemos konstrukcija ir jų panaudojimas. LNG yra palyginamos su sunkiuoju jūriniu kuru (HFO). Pateikiamos galimybės šiam kurui pritaikyti laivyboje tolimesniu laikotarpiu, žiūrint kaip į rimtą perspektyvą, mažinant laivų sukeltą neigiamą poveikį aplinkai. Atradimai parodo, kad dirbant su aukšto slėgio dviejų kurų vidaus degimo variklio (VDV) sistema, sumažinama šiltnamio dujų emisija (GHG) iki 21 proc. palyginant su VDV, dirbančiais vien HFO. Ši variklio technologija labiausiai tinka dideliems mažų apsuokų dvitakčiams varikliams, kurie naudojami jūriniam plaukiojimui didesniais atstumais. Kalbant apie oro taršą, varikliai, naudojantys kurui dujas, yra labai efektyvi priemonė mažinti tokią emisiją, kaip anglies dioksidas CO₂, azoto oksidai (NO_x), sieros oksidai (SO_x). Norint pasiekti Tarptautinės jūrų organizacijos (TJO; Tier) 3 reikalavimus dėl azoto oksidų, būtina taikyti išmetamųjų dujų valymą naudojant selektyvius katalizatorius (SCR) arba pačių išmetamųjų dujų recirkuliaciją (EGR).

Reikšminiai žodžiai: alternatyvusis kuras, suskystintos natūralios dujos, šiltnamio dujo, dujomis varomi varikliai.

Abstract

In order to reduce emissions from shipping, which have a significant impact on the environment and climate change, it is necessary to focus on new alternative marine fuels as soon as possible. Contributing as much as possible to environmental protection, as shipping has a significant impact on greenhouse gas emissions.

The article analyzes the impact of maritime transport on ecological environmental imbalances. The construction of liquefied natural gas (LNG) system and its use are considered. LNGs are comparable to heavy marine fuels (HFOs). Possibilities for the application of this fuel in shipping in the long run are presented as a serious perspective, reducing the negative impact of ships on the environment. The findings show that working with a high-pressure dual-fuel internal combustion engine (VDV) system reduces greenhouse gas emissions (GHG) by up to 21 percent compared to VDV's operating on HFO alone. This engine technology is best suited for large low-speed two-stroke engines used for long-distance sea navigation. In terms of air pollution, gas-powered engines are a very effective means of reducing emissions such as carbon dioxide CO₂, nitrogen oxides (NO_x) and sulfur oxides (SO_x). In order to meet the International Maritime Organisation's (IMO) Tier 3 requirements for nitrogen oxides, it is necessary to use exhaust gas cleaning using selective catalysts (SCR) or exhaust gas recirculation (EGR) itself.

Key words: Alternative fuels, liquefied natural gas, greenhouse gases, gas engines

Įvadas

Emisija iš laivų šiandien yra labai svarbi ir aktuali tema, kuri apima taršą šiltnamio dujomis, azoto oksidais (NO_x) ir sieros oksidais (SO_x). Kalbant apie patį progresą mažinant šių dujų emisiją, procesas yra labai lėtas ir reikalauja nemažų pastangų.

Laivyba sukelia nuo 2,5 % iki 3,5 % pasaulinės CO₂ emisijos (Olmer, 2017). TJO teigimu, šiltnamio dujų emisija iš laivų iki 2050 metų gali išaugti nuo 50 iki 250 % (Smith, 2014: 35). Pagrindinė didėjančios šiltnamio dujų emisijos iš laivų priežastis yra auganti prekyba, skatinanti didesnius krovinių pervežimo poreikius, o tai priverčia naudoti didesnę kuro, kurio molekulėse yra daug anglies, kiekį. Deginant tokius jūrinius degalus, kaip HFO ar MGO, į atmosferą yra išmetama



kartu su išmetamosiomis dujomis labai daug kenksmingų medžiagų, kurios daro didžiulę žalą aplinkai.

Būtina imtis veiksų, norint paskatinti alternatyviojo kuro – visų pirma, LNG panaudojimą. Naudojant šias dujas laivų varikliuose į atmosferą yra išmetami mažesni aplinkai pavojingų medžiagų kiekiai, palyginti su įprastu kuru (Nature and Biodiversity Conservation Union).

Pagrindinė konvencija, reglamentuojanti oro taršą iš laivų, yra MARPOL 6 priedas, kuris įsigaliojo 2005 metais, ir yra taikomas visame pasaulyje. Šios konvencijos 6 priede nustatyti SO_x ir NO_x emisijos limitai kontroliuojamų zonų teritorijose (ECA's) ir už jų ribų (International Maritime Organization).

Energijos efektyvumo indeksas (EEDI) yra taip pat susijęs su MARPOL 6 priedu. Jame nustatytas minimalus energijos efektyvumo lygis skirtingiems laivų dydžiams ir tipams. Šis efektyvumo indeksas buvo nustatytas 2013 metų sausį, norint sumažinti CO₂ emisiją iš laivų 10 %, ir toliau tęsiant variklių modernizavimą 2025–2030 metais pasiekti 30 % sumažėjimą (Campara, 2018: 8). Toks alternatyvusis kuras, kaip LNG, yra priimtinas sprendimas ir puikiai tinka tokiems reikalavimams įvykdyti, tačiau auganti laivybos transporto šaka vis tiek gali privesti prie šiltnamio dujų emisijos augimo. Kad būtų išspręsta ši didėjanti šiltnamio dujų emisijos problema, TJO 2018 metų balandžio mėnesį išskėlė tikslą sumažinti šiltnamio dujų emisiją, kurią sukelia laivyba 50 % iki 2050 metų, palyginti su 2008 metais užfiksuotu lygiu (DieselNet).

Įprastinis jūrinis kuras yra prieinamas visame pasaulyje, bet nauji MARPOL reikalavimai riboja jo naudojimą. Dabar dideli kiekiai LNG yra lygiai taip pat prieinami pasauliniu mastu ir jų prekyba labai auga. Galima teigti, kad ateityje jų panaudojimas tik didės. Kalbant apie poveikį aplinkai, LNG yra daug ekologiškesnis variantas, nei įprastas sunkusis kuras, ir laikomas labiausiai žadančių permainas alternatyviuoju kuru laivybos rinkoje iki šiol (Kolwzan, 2012: 398).

Straipsnio problema – auganti laivybos pramonė, kurios padariniai apima taršą šiltnamio dujomis, azoto oksidais (NO_x) ir sieros oksidais (SO_x).

Straipsnio tikslas – apibrėžti, kaip gali būti modernizuoti šiuolaikiniai laivai, pritaikant jiems suskystintų natūralių dujų kuro sistemą, norint sumažinti į aplinką išmetamus pavojingus teršalus.

Straipsnio objektas – dujovežiuose naudojami LNG rezervuarai ir dviejų rūšių kuro aukšto slėgio mažų apsukų dvitakčiai varikliai bei jų kuro tiekimo sistema.

Straipsnio uždaviniai:

1. Teoriniu aspektu aptarti laivybos sukeltą taršos išmetamosiomis dujomis sukeltą žalą aplinkai.
2. Išanalizuoti LNG kuro saugojimo talpyklas, išskirti labiausiai tinkantį rezervuarą.
3. Išanalizuoti dviejų rūšių kuro aukšto slėgio mažų apsukų dvitaktį variklį ir jo kuro padavimo sistemą, suprojektuotą naudoti LNG dujas.

Tyrimo metodai: mokslinės literatūros ir tarptautinių jūrų teisės konvencijų analizės, gerosios praktikos pavyzdžių analizės, gamintojų išleistų techninių leidinių apžvalga.

Rezultatų aptarimas

Suskystintų natūralių dujų panaudojimas. Keičiant HFO į suskystintas natūralias dujas, yra sumažinama CO₂ emisija 4–5 % sudeginant vieną toną kuro (Mersin, 2019: 2076). Dėl mažos anglies koncentracijos suskystintos natūralios dujos gali būti naudojamos kaip švarus alternatyvusis kuras. Pagrindinis natūralių dujų komponentas yra metanas (CH₄), kuris aptinkamas gamtoje ir naudojamas kaip kuras, išskiria daugiau energijos nei deginant įprastą kurą. Natūralios dujos, kita vertus, yra kuras, kuris itin sumažina SO_x ir NO_x emisiją (Mersin, 2019: 2076). 1 lentelėje pateikta anglies koncentracija skirtingų tipų degaluose, kurie plačiai naudojami.



1 lentelė. Anglies kiekis skirtingų tipų degaluose (Mersin, 2019: 2077)
Table 2. Carbon content of different types of fuels (Mersin, 2019: 2077)

Kuro tipas	Standartas	Anglies koncentracija, procentais
Dyzelinas	ISO8217 DMX	0,875
Mazasieries sunkusis kuras (LFO)	ISO8217 RMD	0,860
Sunkusis kuras (HFO)	ISO8217 RME	0,850
Suskystintos propano dujos	Propanas; Butanas	0,819; 0,827
Suskystintos natūralios dujos	Metanas	0,750

Suskystintų natūralių dujų laikymas laivuose ir pačios kuro padavimo sistemos pagrindiniui ir pagalbiniam varikliams projektavimas reikalauja daugiau papildomų investicijų, palyginti su įprastu kuru. Didžiausia problema yra ta, kad šias dujas reikia saugoti suslėgtas specialiai tam skirtuose tankuose. Jos nėra plačiai naudojamos dėl techninių ir saugumo reikalavimų. Tai padaro laivo eksploatavimą sudėtingesnę ir pavojingesnę. Jeigu naudotume šias dujas laivuose, tai šiltnamio dujų emisija būtų sumažinta apie 25 % (Mersin, 2019: 2077).

Galimi pavojai naudojant LNG. Pagrindiniai pavojai, susiję su suskystintomis natūraliosiomis dujomis yra:

- degumas,
- nušalimas,
- greitas garavimas.

Šios dujos yra saugomos kaip kriogeninis skystis. Įrengiant tokią tiekimo ir saugojimo sistemą, reikia naudoti specialiai tam skirtas medžiagas bei laikytis griežtų saugumo reikalavimų, nes kriogeninio skysčio virimo temperatūra yra $-151\text{ }^{\circ}\text{C}$ esant atmosferiniam slėgiui. Kalbant apie LNG, jo virimo temperatūra yra $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$, todėl reikalaujama, kad visa tiekimo ir saugojimo sistema būtų puikiai izoliuota, nebūtų jokio kontakto su laive dirbančia įgula, palaikoma tinkama skysčio temperatūra. Kontaktas su šiomis dujomis žmogui yra labai pavojingas net trumpam laiko tarpui (Cerf, 2016: 2).

Laivui irgi keliamas pavojus, nes jo korpusas ir pagalbinės konstrukcijos, kurios yra pagamintos iš paprasto plieno, dėl labai žemos temperatūros gali pradėti trūkinėti. Visa suskystintų natūralių dujų sistema turi būti pritaikyta ypač žemai temperatūrai. Prieš įrengiant tokią sistemą, privaloma atlikti sandarumo bandymus ir įsitikinti, kad nebūtų nė menkiausio dujų nutekėjimo. Laive, kuriame naudojamos suskystintos dujos, ventiliacija turi būti viena pagrindinių priemonių, kuri padėtų išvengti dujų nutekėjimo, nes susikaupusių dujų koncentracija yra pavojinga, galinti sukelti sprogimą. Projektuotojai turi atkreipti didelį dėmesį į laivo ventiliacijos planavimą (Miller, 2019).

Pagrindiniai reikalavimai. Naudojant LNG, pagrindinė kuro laikymo sistema turi būti visiškai atskirta nuo mašinų skyriaus ir tam tikrų patalpų, kuriose yra didesnė tikimybė gaisro kilimo pavojui. Kuro saugojimo tankai turi būti apsaugoti nuo mechaninių pažeidimų. Kuro laikymo įranga, kuri yra atvirame denyje, turi būti išdėstyta taip, kad būtų užtikrintas natūralus vėdinimas. Tankai uždaroje patalpoje yra įrengiami nukreipiant juos, kiek įmanoma, labiau į laivo centrą, norint užtikrinti saugumą laivo susidūrimo ir užplaukimo ant seklos atvejais (*Specific Requirements for Ships Using Natural Gas as Fuel*). LNG tankų vamzdinių vožtuvus privaloma įrengti kuo arčiau saugojimo tanko, kad juos būtų galima valdyti nuotoliniu būdu iš pagrindinės variklių valdymo patalpos ir tiltelio (*Fuel Supply to Consumers*).

Siekiant sumažinti dujų sprogimo tikimybę mašinų skyriuose, kuriuose yra LNG varomi varikliai, mašinų skyriaus įranga turi būti išdėstyta taip, kad dėl vieno kuro sistemos gedimo dujos nepatektų į aplinką, nes tai didina sprogimo tikimybę. Visi kuro vamzdiniai, esantys mašinų



skyriaus ribose, turi būti uždaromi specialiais dujiniais gaubtais (*Specific Requirements for Ships Using Natural Gas as Fuel*). Dujų tiekimo vamzdyną privaloma suprojektuoti taip, kad atlaikytų slėgį ne mažesnę nei 10 barų (*Fuel Supply to Consumers*).

Efektyvus LNG saugojimo tankų ir tiekimo sistemos išdėstymas yra nepaprastai svarbus, nes tokia sistema reikalauja ne tik didesnio saugumo, bet ir didesnio ploto, todėl tai yra reikšminga projektavimo kliūtis, galinti apriboti laivo efektyvumą ir universalumą, ypač pritaikant LNG varomas sistemas mažesniems laivams. Pagal Tarptautinio laivų, naudojančių dujas ar kitus degalus, turinčius žemą pliūpsnio temperatūrą saugumo kodekso (IGF code) reikalavimus, įpareigojančius atskirti LNG saugojimo tankus nuo mašinų skyriaus, yra nemenkas iššūkis. Dabartinių esamų laivų konfiguracijos modifikavimas gali būti netinkamas, jei norima atitikti standartus, todėl, norint maksimaliai išnaudoti erdvę esančią laive, gali tekti apsvarstyti naujus laivų planus.

Kuro saugojimas laive. Kuro tankai yra pati svarbiausia visos įrangos dalis, užtikrinanti saugų LNG laikymą ir naudojimą. Įvykus menkiausiai avarijai, iš sistemos gali pradėti tekėti dujos, kurios gali užsidegti ar net įvykti sprogdimas. Tankų, kuriuose yra laikomos suskystintos dujos, sistema susideda iš pirminio barjero (kuro tankas), antrinio barjero (išorinė papildoma apsauga), šilumos izoliacijos ir atraminės konstrukcijos (*Cargo Containment Systems*). Pirminis barjeras yra tanko, kuriame saugomas LNG kuras, korpusas, antrinis barjeras laikomas pačio laivo korpusu, kuris suteikia papildomą apsaugą.

LNG saugojimo tankai yra padalinti į dvi grupes, kurie pateikti antroje lentelėje.

2 lentelė. TJO LNG tankų klasifikacija (Daejun, 2017: 1)

Table 2. IMO LNG tanks classification (Daejun, 2017: 1)

Instaliacijos tipas	Tanko tipas	Suprojektuotas slėgis (bar)	Antrinis barjeras
Nepriklausomas tankas	A tipas	<0.7	Pilna
	B tipas	<0.7	Dalinė
	C tipas	>2.0	Nėra
Integruotas tankas	Membraninio tipo	<0.7	Pilna

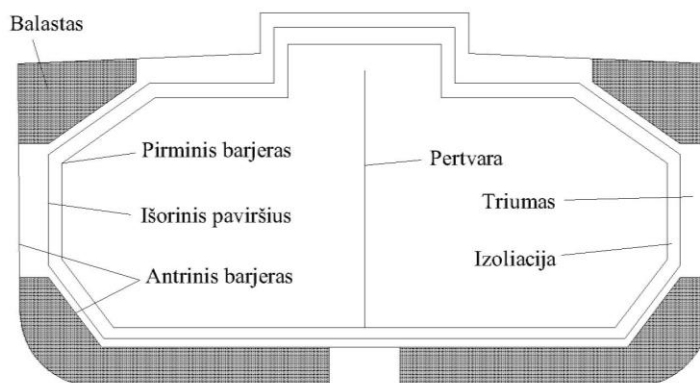
Nepriklausomo tipo tankas turi pakankamą struktūrą, kad palaikytų jame esančio skysčio statines, slinkimo ir slėgio jėgas. Šios cisternos yra visiškai nepriklausomos nuo laivo korpuso konstrukcijos, be to neprideda prie jo tvirtumo. Laivui reikalinga tik pagalbinė konstrukcinė parama, kad būtų užtikrintas rezervuaro pritvirtinimas prie laivo, kartu užtikrinant šiluminį plėtimąsi ir susitraukimą, kai tankas yra aušinamas arba šildomas. Integruoto tipo tankai yra dar vadinami membraninio tipo tankais, jiems reikalinga visapusiška laivo konstrukcijos parama, kad būtų užtikrintas jų tvirtumas ir išlaikoma forma.

Nepriklausomo A tipo tankai. A tipo tankai yra gaminami prizminės formos iš 3,5 % nikeliuoto plieno, mangano plieno arba aliuminio. Medžiaga yra atrinkta pagal standartą, kurios kokybę nustato ir prižiūri sertifikuotos įmonės. Šio tipo tankai yra naudojami gabenti LNG, suskystintas propano dujas (LPG) ir amoniaką (*Independent tank type A*).

A tipo tankai ir suprojektuoti mažesniame nei 0,7 baro slėgiui. Vidutinis operacinis slėgis yra 0,25 baro. Tankas sumontuojamas taip, kad jis galėtų laivai plėstis. Ant jo viršaus ir laivo šone suvirinami kronšteinai, kad cisterna laivo korpusė nejudėtų.

Tokio tipo rezervuarams reikia įrengti pilną antrinį barjerą, kuris apimtų visą tanko tūrį. Tam paprastai yra naudojamas laivo korpusas, pagamintas iš žemai temperatūrai atsparaus plieno. Jei nėra galimybės panaudoti korpusą, kaip antrinį barjerą, aplink tanką yra įrengiamas papildomas rezervuaras. Tarp rezervuarų, kaip izoliacija, naudojamas azotas arba inertinės dujos (*Independent tank type A*). A tipo tankai yra naudojami retai. Tanko pavyzdys pateiktas 1 pav.





1 pav. A tipo tankas (Chakraborty, 2019)

Fig 1. A type tank (Chakraborty, 2019)

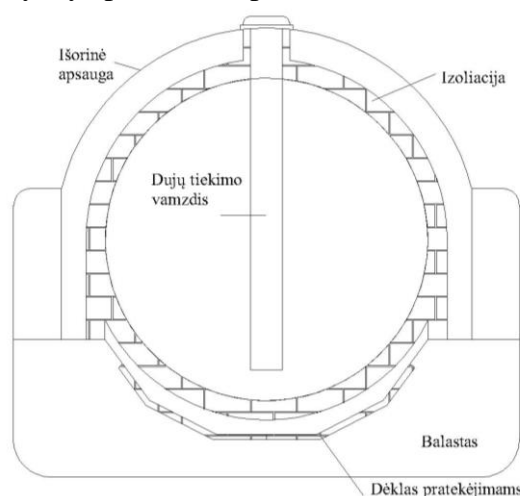
Nepriklausomo B tipo tankai. B tipo tankai yra gaminami sferiniai (Moss tank) ir plokščių paviršių (prizmatiniai). Šie tankai yra ekonomiškesnė A tipo versija, nes nereikalauja įrengti pilno antrinio barjero. Tanko apačioje įrengtas mažoms temperatūroms atsparus dėklas, skirtas nedideliems nutekėjimams surinkti. Sferiniai tankai gali atlaikyti didesnę slėgio (iki 2 barų) lygį, palyginti su prizmatiniais tankais, taip pat yra atsparesni įtrūkimams.

Triumo vieta (Hold Space) tarp pirminio ir antrinio barjero užpildoma sausomis inertinėmis dujomis, tačiau gali būti užpildyta ir sausu oru. Tai yra daroma, kad būtų užtikrintas inertiškumas, dujų nutekėjimo metu. Virš denio ant pirminio barjero išorės įrengiamas apsauginis plieninis kupolas, kuris suteikia papildomą apsaugą nuo galimų išorinių pažeidimų (*Cargo Containment Systems: Gas Tanker*).

Pagrindiniai privalumai, naudojant tokio tipo rezervuarus:

- Aukštas patikimumo lygis. Išsamios analizės įrodė, kad tankai yra pakankamai saugūs ir pažeidimo rizika yra labai maža.
- Lengva ir efektyvi priežiūra. Atliekant planinę ir būklės priežiūrą, yra įmanoma išlaikyti konstrukcijos patikimumą per visą laivo eksploatavimo laiką.
- Mažos aptarnavimo išlaidos. B tipo tankai yra pagaminti iš paprasto plieno, išskyrus dugną, kuris veikia kaip dalinis antrinis barjeras, todėl remontas reikalauja mažiau išlaidų (Tamura, 2013: 17).

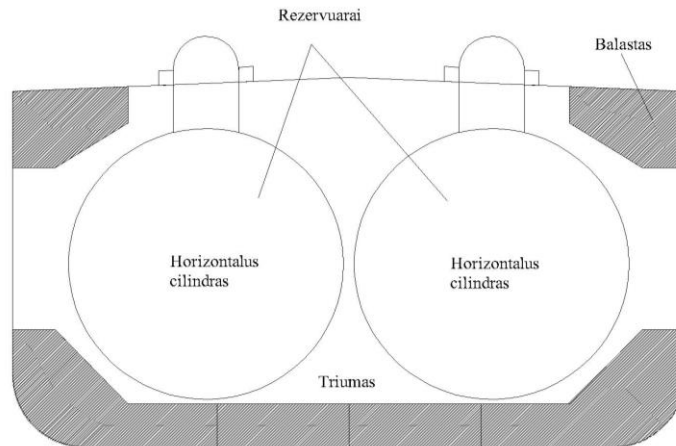
B tipo sferinio tanko pavyzdys pateiktas 2 pav.



2 pav. B tipo sferinis tankas (Chakraborty, 2019)

Fig 2. B type spherical tank (Chakraborty, 2019)

Nepriklausomo C tipo tankai. C tipo tankai paprastai yra projektuojami sferinės arba cilindrinės konstrukcijos, kurių darbinis slėgis daugiau nei 2 barai. Ant laivo yra montuojami vertikaliai arba horizontaliai. Šio tipo kuro tankai naudojami dujovežiuose, kur dujos laikomos visiškai suspaustos. Horizontaliai išdėstyti C tipo tankų pavyzdys pateiktas 3 pav.



3 pav. C tipo tankai išdėstyti horizontaliai (Chakraborty, 2019)
Fig 3. C type tanks arranged horizontally (Chakraborty, 2019)

Rezervuarai yra gaminami iš aukštos kokybės žemai temperatūrai atsparaus plieno. Juose dujos laikomos visiškai atšaldytos. C tipo tankai nereikalauja antrinio barjero. Triumo vieta užpildoma inertinėmis dujomis arba sausu oru.

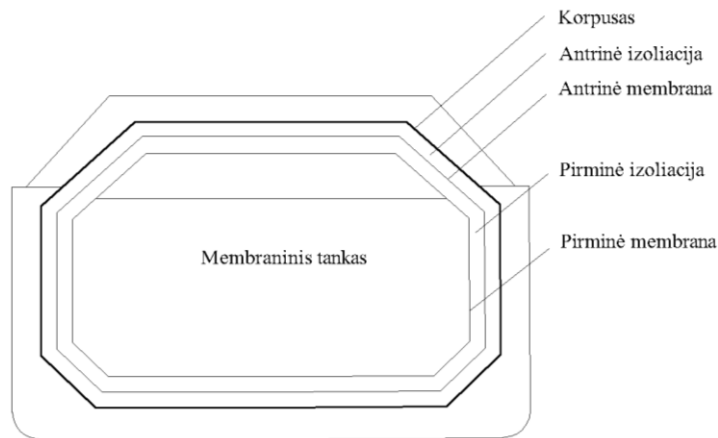
Dujovežiuose, kuriuose krovinyms gabenamas aplinkos temperatūros, suspaustų dujų slėgis cisternose gali siekti iki 18 barų. Laivuose, kur dujos gabenamos žemos temperatūros, cisternos suprojektuotos darbiniui slėgiui nuo 5 iki 7 barų ir -0,5 baro vakuomo. Paprastai tokių indų plienas gali atlaikyti nuo -48 °C iki -104 °C (*Cargo Containment Systems in Liquefied Gas Carriers*).

Šie tankai yra laikomi pačiais paprasčiausiais ir saugiausiais kriogeninių medžiagų laikymo rezervuarais. Šio tipo rezervuaras gali atlaikyti slėgio padidėjimus ir turi mažiau taškų, per kuriuos gali ištekėti kuras, palyginti su kitais tankais.

Integruoto membraninio tipo tankai. Šiandien beveik visuose naujuose LNG dujovežiuose yra naudojami membraninio tipo dujų laikymo rezervuarai. Šio tipo tankų pirminis barjeras yra labai plona nuo 0,7 iki 1,5 mm storio membrana, kuri yra palaikoma per izoliaciją. Tokie tankai nėra savarankiško tipo, palyginti su nepriklausomo tipo tankais, nes jų korpusas palaikomas papildomų konstrukcijų.

Membraninio tipo rezervuarai visada turi būti įrengiami su antriniu barjeru, kuris užtikrina visos sistemos vientisumą. Membrana yra suprojektuojama taip, kad būtų vietos kompensuoti šiluminiam plėtimuisi arba susitraukimui, nepakenkiant pačiai membranai (*Cargo Containment Systems in Liquefied Gas Carriers*). Jų maksimalus leistinas darbinis slėgis paprastai yra mažesnis nei 0,25 baro, bet jei korpuso konstrukcija yra tinkamai suprojektuota, maksimalų darbinį slėgį galima padidinti iki 0,7 baro. Tankai montuojami pagal korpusą, todėl laivo korpuso tūris turi labai didelę įtaką tanko tūriui. LNG kuro tankai pasižymi didele talpa nuo 100 iki 20000 m³ (Chorowski, 2015: 3). Membraninio tanko pavyzdys pateiktas 4 pav.





4 pav. Membraninio tipo tankas (Chakraborty, 2019)
Fig 4. Membrane type tank (Chakraborty, 2019)

Membraninio tanko konstrukciją sudaro:

- Plona lanksti membrana, vadinama pagrindine membrana, kuri liečiasi su kroviniu, yra pagaminta iš 36 procentų nikelio ir geležies lydinio, pasižymintio išskirtinai mažu šiluminio plėtimosi koeficientu. Jos tipinis storis yra 0,7 mm.
- Pagrindinė izoliacija – tai sluoksnis iš medinių dėžučių, užpildytų perlitu. Izoliacijos storis paprastai yra 230 mm
- Antroji lanksti membrana, kuri identiška pirmajai, dar vadinama antrine membrana. Ji pagaminta iš tokio paties storio medžiagos kaip pirmoji.
- Antrinis dėžučių sluoksnis, užpildytas perlitu, vadinamas antrine izoliacija, kuri liečiasi su laivo korpusu. Paprastai šio sluoksnio storis siekia maždaug 300 mm.

Taigi rezervuaro konstrukcija susideda iš dviejų vienodų membranos ir izoliacijos sluoksnių. Atsiradus pirminio barjero nutekėjimui, saugomas LNG dujas palaikys antrinis barjeras. Antrinis barjeras suprojektuotas atlaikyti nutekėjimą 15 dienų. Ši sistema užtikrina, kad visos hidrostatinės saugomo kuro apkrovos per membranas ir izoliaciją būtų perduodamos į laivo korpusą.

Membranos funkcija yra užkirsti kelią nutekėjimui, kol izoliacija palaiko ir perduoda krovinio apkrovą, taip pat sumažina šilumos mainus tarp saugomo krovinio ir laivo korpuso. Vidurinė (antrinė) membrana, įrengta tarp dviejų izoliacijos sluoksnių, ne tik sukuria apsauginį barjerą, bet ir sumažina konvekcines sroves izoliacijoje (*LNG vessel construction*). Konvekcija, tai šilumos perdavimas skysčiais arba dujomis.

Integruoto tipo tanko privalumai (Gaztransport & Technigaz, 2018):

- Membraniniai tankai yra atsparūs stambioms deformacijoms. Išorinis poveikis korpusui beveik neturi jokios įtakos rezervuarui
- Kompaktiškumas. Tankai montuojami pagal korpusą, todėl maksimaliai galima išnaudoti visą leistiną laivo korpuso erdvę.
- Lankstumas įvairioms suskystintoms dujoms. Galima naudoti ne tik LNG, bet ir kitas dujas.
- Papildomos saugos sistemos: termostatai, manometrai, dujų analizatoriai.
- Pilnas antrinis barjeras, suteikia visišką apsaugą.
- Mažo svorio korpusas, palyginti su kitais saugojimo rezervuarais.

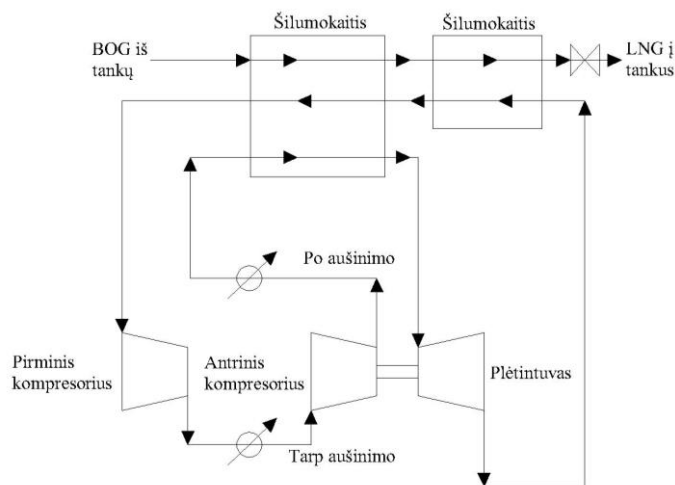
Erdvė tarp pirminės ir antrinės izoliacijos yra pripildyta azoto. Azoto slėgis niekada negali viršyti krovinio slėgio rezervuare, kad membrana neįlūžtų į vidų. Azotas yra naudojamas kaip inertinės dujos, kurių pripildymas sumažina deguonies koncentraciją, todėl degimas nutekėjimo atveju tampa neįmanomas.



LNG garavimas. Laikui bėgant saugomos LNG išyla, dalis skysčio pradeda virti, o tai sukelia garavimą, atsiranda anglų kalba vadinamosios „Boil-off gas“ (BOG) dujos, dėl jų padidėja tanke esantis slėgis. Todėl prieš pradėdant projektuoti ir pasirenkant rezervuarus reikia sukurti tinkamą slėgio kontroliavimo planą. Vidinis tanko slėgis yra susijęs su jame laikomo skysčio kritine temperatūra. Kritinė skysčio temperatūra yra temperatūra, kurią viršijus skystis pradeda garuoti (*Critical Temperatures and Pressures for some Common Substances*). Nesvarbu, koks bebūtų vidinis slėgis, dujos vis tiek nesusikondensuos. Visos LNG dujos yra metanas, kurių kritinė temperatūra $-82\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Vesovic, V). Norint suskystinti dujas, jų temperatūra turi būti žemesnė už $-82\text{ }^{\circ}\text{C}$, tačiau slėgis taip pat turi būti atitinkamas, atsižvelgiant į skysčio temperatūrą (William, 2018: 5).

Kai skystis keičia savo fazę, jo tūris padidėja, todėl padidėja ir vidinis rezervuaro slėgis. Parenkant talpyklą, reikia atsižvelgti į jos izoliaciją, kuri nulems, kaip greitai išils viduje esančios LNG, o struktūra ir konstrukcija, maksimalų slėgį. Pagal IGF kodą laivas privalo palaikyti slėgį tanke žemesnį už nustatyto apsauginio vožtuvo suveikimo slėgį 15 dienų (*Specific Requirements for Ships Using Natural Gas as Fuel*). Todėl tankus reikia suprojektuoti taip, kad per 15 dienų būtų apribotas slėgio padidėjimas (William, 2018: 6).

Naudojant LNG kurą laivų varikliuose, toks padidėjimas yra išvengiamas, nes perteklinis dujų slėgis priverstinai sudeginamas laivo variklyje. Laivai, kurie plaukioja mažesniais greičiais, dideliais atstumais ir daug laiko praleidžia uoste iškraudami krovinį, LNG garavimas yra greitesnis nei pačio kuro sunaudojimas. Tokiems laivams yra reikalingas suskystinimo įrenginys, kuris padeda išvengti perteklinio slėgio nuostolių kondensuojant LNG dujas (Belchior, 2015: 587). Šio įrenginio veikimas paremtas Braitono šaldymo ciklu.



5 pav. Suskystinimo įrenginio schema (Belchior, 2015: 587)
Fig 5. Liquefaction plant diagram (Belchior, 2015: 587)

5 pav. pavaizduota dujų suskystintuvo schema su turbo plėtikliu, ciklo kompresoriumi, aušintuvais ir kriogeniniais šilumokaičiais. Labai svarbu pažymėti, kad maždaug nuo 8 iki 10 procentų energijos sunaudojama suskystinti LNG (Belchior, 2015: 587). Norint išvengti tokių nuostolių, reikia suprojektuoti kuro saugojimo sistemą taip, kad LNG sunaudojimas būtų lygus arba didesnis už garavimo spartą rezervuare.

LNG tankų palyginimas. Yra daugybė galimų konstrukcijų, leidžiančių saugiai transportuoti LNG. Nepriklausomo A tipo tankai buvo pradėti naudoti pirmi, kol jų nepakeitė ekonomiškės B tipo cisternos, kurios gaminamos prizminio ir sferinio dizaino. B tipo cisternoms reikalingos didesnės pradinės išlaidos, bet yra efektyviau išnaudojama laivo erdvė, todėl ateityje galima



sutaupyti. Taip pat C tipo tankai yra vertas dėmesio pramonės standartas laivams, naudojantiems LNG, kurie siūlo savo saugumą ir mažą eksploataavimo kainą. Membraniniai tankai yra vieni populiariausių rezervuarų kurui laikyti, leidžiantys išnaudoti visą leistiną erdvę laivo korpuse. 3 lentelėje pateiktas LNG kuro tankų palyginimas.

3 lentelė. LNG tankų palyginimas (Rainer, 2015: 35)

Table 3. Comparison of LNG tanks (Rainer, 2015: 35)

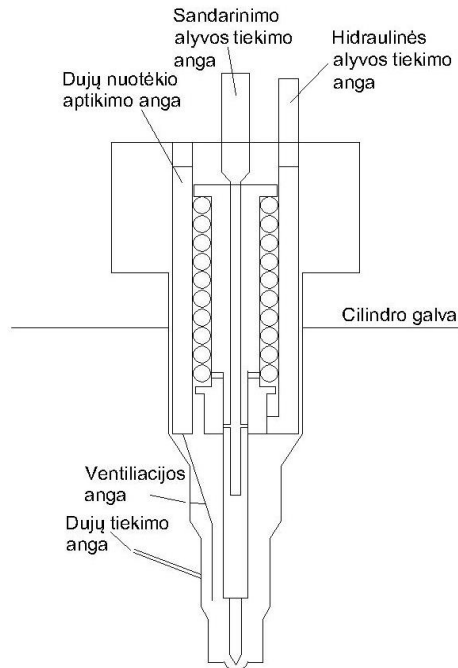
IMO tipas	Membraninis	A	B	B arba C	C
Tanko forma	Prizminė	Prizminė	Prizminė	Sferinė	Cilindrinė
Šilumine izoliacija	Išorinė	Išorinė			Išorinė Vakuuminė
Antrinis barjeras	Pilnas		Dalinis		Nėra
Maksimalus slėgis (bar)	0.7			0.7	> 2
Erdvės panaudojimas	Maksimalus			Vidutinis	Žemas
Dujų tiekimas	Siurbliais				Nuo slėgio
Svoris	Mažas			Didelis	
Konstrukcijos kaina	Vidutinė	Didelė		Vidutinė	Maža
BOG mažinimas	Suskystinant arba deginant variklyje				Didinant slėgi
Kuro sistema	Sudėtinga	Sudėtinga			Paprasta
Našumas	>3000				<2000
Eksploataavimo kaina	Didelė	Maža		Vidutinė	

Dvitakčio dyzelinio veikimas naudojant LNG. Dvitakčiai žemų apsakų dyzeliniai varikliai yra patys efektyviausi ir ekonomiškiausi, tačiau dujų tiekimo sistema jiems yra daug sudėtingesnė nei vidutinių apsakų keturtakčiams varikliams. Be to norint pasiekti reikiamą dujų slėgį, skirtą degimui cilindre, jas reikia suspausti iki 15-30 MPa, tam yra reikalingi daug energijos sunaudojantys daugiapakopiai kompresoriai. Dėl savo pobūdžio sudėtingesnė techninė sistema patiria judėjimo sutrikimų ir kitų gedimų. Todėl LNG kuro sistema dvitakčiams varikliams ilgą laiką liko tik eksperimentiniame etape (Morsy El-Gohary, 2012: 373).

Per pastaruosius metus pasaulyje įvyko didelis lūžis, kai buvo pradėti eksploatuoti pirmieji dviejų rūšių kuru varomi, mažų apsakų dvitakčiai varikliai. Dvitakčius variklius tapo įmanoma varyti suskystintomis dujomis ne tik dujovežiuose, bet ir kitų tipų laivuose. 2015 metais buvo pradėtas eksploatuoti pirmasis pasaulyje LNG varomas konteinerinio tipo laivas „ISLA BELLA“. Šis laivas turi įrengtą vieną pagrindinį dviejų rūšių kuro, mažų apsakų dvitaktį variklį „MAN D&T 8L70ME-C8.2 GI“, kurio galia siekia 21412 kW esant 98 apsisukimams per minutę. Apskaičiuota, kad naudojant LNG šio tipo variklyje sumažinama emisija SO_x 98 %, CO₂ 71 %, Nox 91 % (*Isla Bella Liquefied Natural Gas-Powered Containership, 2015*). LNG šiandien yra auganti įprasto kuro alternatyva padedanti kovoti su šiltnamio dujų emisija.

Kuro tiekimo sistemos pagrindiniam varikliui pritaikymas. Norint pritaikyti LNG kuro sistemą dvitakčiam varikliui, pirmiausia reikalingas degalų tiekimo sistemos modifikavimas, ypač tiekimas į cilindro galvutę. Dujų įpurškimas į degimo kamerą yra įmanomas cilindro galvutėje esančius kuro purkštukus aprūpinant elektroniniais dujų įpurškimo (ELGI) vožtuvais. Norint užtikrinti sklandų variklio veikimo darbą LNG dujomis, būtina naudoti pagalbinį kurą, kuris sudaro iki 8 procentų pagrindinio kuro tūrio. Jis įpurškiamas prieš pat pagrindinio LNG kuro įpurškimą. Gamintojo atlikti tyrimai įrodė, kad be pagalbinio kuro įpurškimo variklis dirba nestabiliai, pradeda bildėti ir kai kuriuose cilindruose praleidžiamas degimas (Ohashi, 2015). Tam yra naudojami skirtingų tipų, dujinio ir pagalbinio kuro įpurškimo vožtuvai. Dujų įpurškimo vožtuvas yra pavaizduotas 6 pav.





6 pav. Dujų įpurškimo vožtuvas (Fernandez, 2017: 1407)
Fig 6. Gas injection valve (Fernandez, 2017: 1407)

Šių vožtuvų sistemai reikalinga tokia instaliacija:

- aukšto slėgio dujų tiekimas,
- pagalbinio kuro tiekimas,
- hidraulinės alyvos tiekimas, dujų įpurškimo vožtuvams sandarinti ir valdyti.

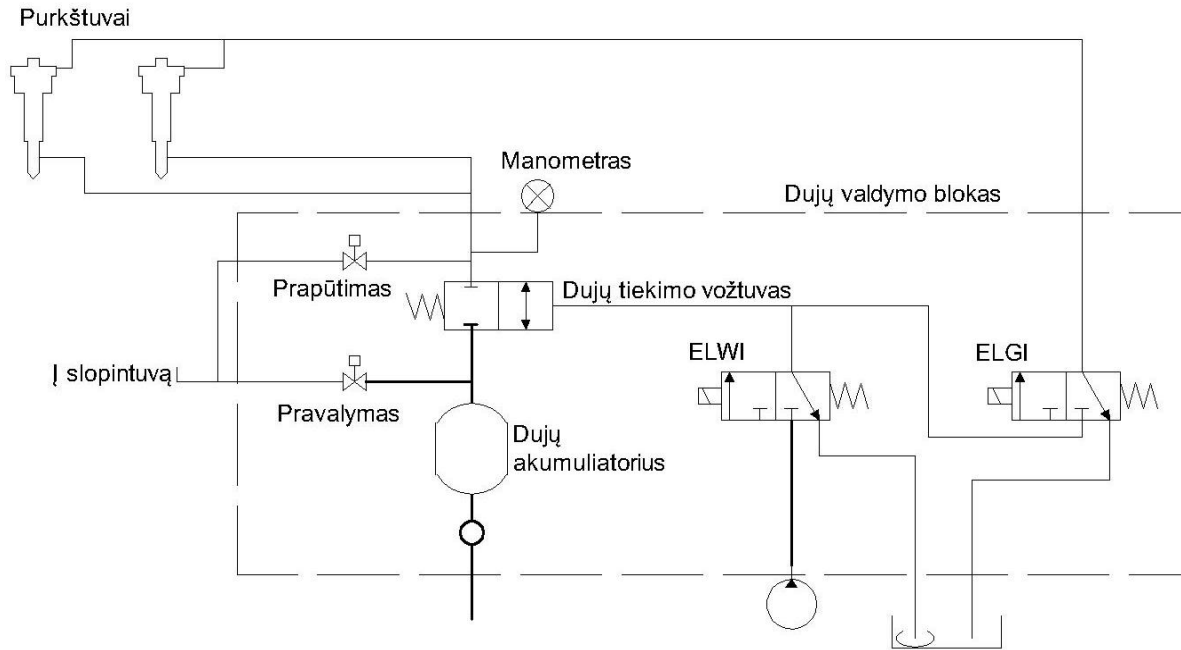
Dujos yra tiekiamos į purkštuvą per cilindro galvoje esančias kiaurymes. Norėdami išvengti dujų nutekėjimo, tarp cilindro galvos, dujų įpurškimo vožtuvo ir jo kreipiančiųjų reikia naudoti specialiai tam skirtus dujoms ir aukštai temperatūrai atsparius sandarinimo žiedus. Atsiradus net menkiausiam nutekėjimui per sandarinimo žiedus, dujos yra pastebimos angliavandeniliniai jutikliais.

Vožtuvo kreipiančiosios nuolat veikiamos suspaustų dujų, kurių slėgis yra apie 30 MPa. Norint išvengti dujų nutekėjimo į hidraulinės alyvos sistemą, kurios paskirtis valdyti dujų įpurškimo vožtuvus, yra naudojama sandarinimo alyva, kurios slėgis visada nuo 25 iki 50 barų didesnis už dujų slėgį (MAN Diesel & Turbo, 2014:11).

Pagalbiniam kurui įpurkšti yra naudojamas standartinis dvitakčio variklio kuro purkštuvus, neatliekant jam jokių pakeitimų. Kaip pagalbinis kuras gali būti naudojamas dyzelinas arba sunkusis kuras.

MAN ME-GI tipo dviejų rūšių kuro, mažų apskukų dvitakčių variklių sistemos turi būti aprūpintos tokiomis papildomomis instaliacijomis, kaip (MAN Diesel & Turbo, 2012):

- Ventiliacijos sistema kuro padavimo įrangai ir vamzdynams.
- Sandarinimo sistema, kuri skirta atskirti pagrindinį kuro padavimą nuo pagalbinio.
- Programuojamo loginio valdiklio (PLV) valdymo blokas sudarytas iš grupės sensorių ir analizatorių. Jo pagrindinė paskirtis įjungti arba išjungti dujų tiekimą. Atsitikus avarijai arba gedimui, PLV valdymo blokas automatiškai pakeičia dujinį kurą į įprastai naudojamą kurą (MDO,HFO).
- Inertinių dujų sistema, kurios paskirtis išlaikyti dujų tiekimo sistemą tuščia nuo LNG dujų, gedimo atveju arba kai dujinis kuras yra nenaudojamas.



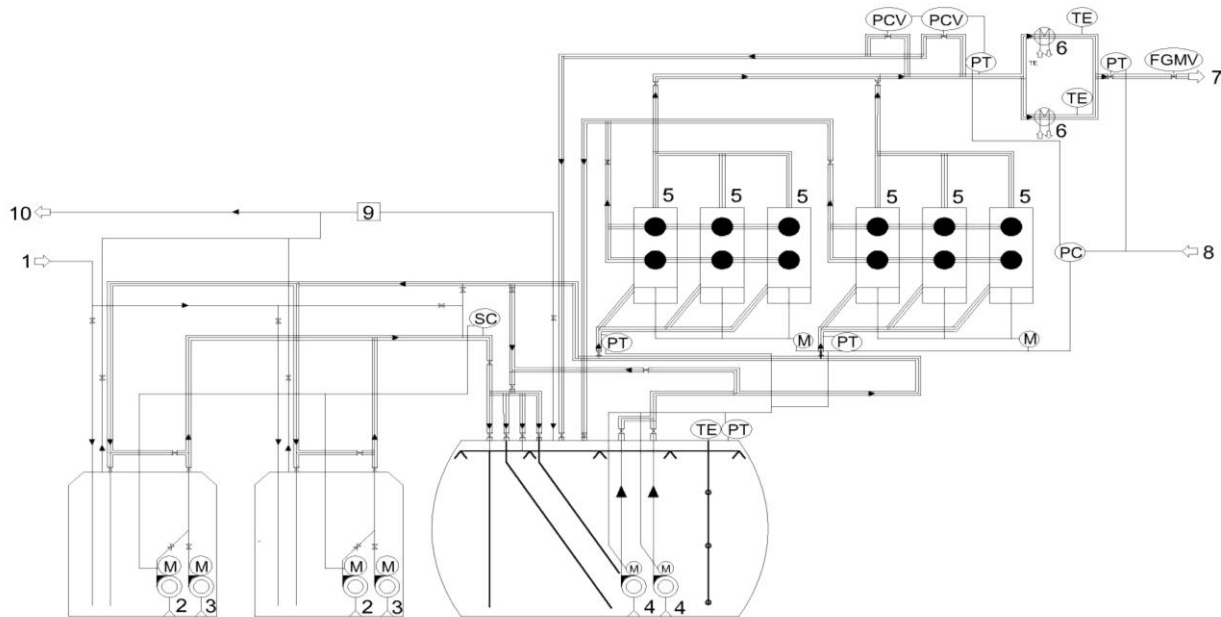
7 pav. ME-GI įpurškimo sistema (MAN Diesel & Turbo, 2014:12)
Fig 7. ME-GI injection system (MAN Diesel & Turbo, 2014:12)

ME-GI varikliai gali dirbti trimis pagrindiniais režimais (Wankhede, 2019):

- Dujų režimu, kai nuolat tiekiamos dujos su tam tikru kiekiu papildomo kuro, priklausomai nuo variklio apkrovos.
 - Dujinio ir skysto kuro režimu, kai laivas pakeliui į uostą ir laivo varikliui yra pakankamai LNG dujų, kad palaikytų 100 % apkrovą.
 - Kuro režimu, kai vyksta manevravimas arba laivo eigai palaikyti nebeužtenka dujų atsargų.
- ME-Gi įpurškimo sistema, kuri pateikta 7 pav., sudaryta iš (MAN Diesel & Turbo, 2014:12):
- dviejų kuro vožtuvų,
 - dviejų dujinio kuro vožtuvų,
 - elektroninio dujų įpurškimo vožtuvo (ELGI), kuris skirtas dujų tiekimo vožtuvams atidaryti ir uždaryti,
 - kuro įpurškimo vožtuvo pavaros (FIVA), kuri skirta įpurškiamo kuro tiekimui kontroliuoti,
 - elektroninio lango vožtuvo (ELWI), skirto pagrindiniam dujų tiekimo vožtuvui kontroliuoti, kaip papildoma apsaugos priemonė, kuri apsaugo nuo nutekėjimų.

Norint pasiekti variklio terminį naudingumo koeficientą 50 %, reikia įsitikinti, kad į variklį tiekiamų dujų slėgis yra 15–30 MPa. Esant nominaliai (100 %) variklio apkrovai dujų slėgis siekia 30 MPa, o mažiau (30 %) apkrauto variklio dujų tiekimo slėgis sumažėja iki 15 MPa. Norint palaikyti tokį kuro slėgį, laive įrengiami specialūs aukšto slėgio siurbliai. Variklio naudojama aukšto slėgio dujų tiekimo sistema pateikta 8 pav.





8 pav. Dvitakčio variklio dujų tiekimo sistema (Giernalczyk, 2019: 50): 1 – suskystinimo įrenginys; 2 – tiekimo siurblys; 3 – purškiamasis siurblys; 4 – stiprinamasis siurblys; 5 – aukšto slėgio siurblys; 6 – šilumokaitis; 7 – ME-GI pagrindinis variklis; 8 – pagrindinio variklio valdymo blokas; 9 – išgaravusių LNG dujų kolektorius; 10 – į suskystinimo įrenginį; SC – kintamo dažnio pavara; PIC – slėgio indikatoriaus valdiklis; PT – slėgio daviklis; PCV – slėgio reguliavimo vožtuvas; TE – temperatūros daviklis; FGMV – pagrindinis dujų padavimo vožtuvas

Fig 8. Two-stroke engine gas supply system (Giernalczyk, 2019: 50): 1 - liquefaction unit; 2 - supply pump; 3 - spray pump; 4 - booster pump; 5 - high pressure pump; 6 - heat exchanger; 7 - ME-GI main engine; 8 - main engine control unit; 9 - evaporated LNG gas collector; 10 - to the liquefaction plant; SC - variable frequency drive; PIC - pressure indicator controller; PT - pressure sensor; PCV - pressure control valve; TE - temperature sensor; FGMV - main gas supply valve

Norint tiekti į pagrindinį variklį LNG kurą, būtina atlikti keletą modifikacijų laive. Dujų saugojimo tankuose reikia įrengti papildomus tiekimo siurblius 2, jie prijungiami prie esamo vamzdyno, per kurį pumpuojamos dujos, skirtos rezervuarams ataušinti. Tiekimo siurbliai 2, esantys saugojimo tanke, taip pat kaip ir purškiamieji siurbliai 3, skirti perpumpuoti suskystintas dujas į buferinį tanką. Buferiniame tanke esantys stiprinamieji siurbliai įrengti norint tiekti dujas į aukšto slėgio siurblius 5, su kuriais galima reguliuoti tiekiamų dujų slėgį. Tada iki reikiamo slėgio suspaustos dujos tiekiamos į šilumokaitį, kad būtų galima pašildyti dujas iki 45 °C. Po šilumokaičio dujos keliauja tiesiai į pagrindinį dvitaktį variklį, kuriame jos yra sudeginamos.

Saugojimo tankuose esančioms skystoms dujoms pradėjus garuoti, dujos nukreipiamos į suskystinimo įrenginį 10, kuriame jos sukondensuojamos ir grąžinamos per išėjimą 1 atgal į saugojimo tankus.

LNG kuro tiekimo sistemos aukšti standartai įpareigoja naudoti dviejų sienelių vamzdynus tam, kad aptikus ten esančias dujas būtų nedelsiant nutraukiamas kuro tiekimas uždarant pagrindinius dujų tiekimo vožtuvus. Automatinė sistema leidžia sklandžiai pereiti iš dujinio kuro į skystąjį, nestabdant variklio.

Išvados

1. Tarptautinė jūrų organizacija, siekdama sumažinti pasaulinės laivybos sukeltą taršos emisiją, nustatė griežtesnius reikalavimus teršalų kiekiams. LNG yra laikomos ekologiškesne



- kuro alternatyva dabartiniams ir būsimeis laivų varikliams, kuri sumažina aplinkai pavojingų medžiagų emisiją.
2. Projektuojant laivą, naudojantį LNG kaip kurą, taikomi kitokie saugos reikalavimai nei tradiciniam kurui. Diegiant tokią sistemą, laive turi būti atsižvelgta į daugybę parametru, tokių kaip laivo dydis, konstrukcija, variklio tipas, taip pat numatomi plaukimo diapazonai naudojant dujas. Reikia atkreipti didelį dėmesį pasirenkant tinkamą kuro laikymo rezervuarą ir dujų suskystinimo įrenginį, nuo kurių priklauso, kurioje laivo dalyje bus saugomas kuras.
 3. Dvitakčiai mažų apsakų varikliai pasižymi savo galingumu ir ekonomiškumu, palyginti su kitais vidaus degimo varikliais, todėl įrengti jiems dujų sistemą yra palankiausia. Pastaraisiais metais vis didesnis dėmesys skiriamas dviejų rūšių kuro dvitakčiams varikliams, nors tokios sistemos įrengimo išlaidos yra daug didesnės nei įprasto dyzelinio variklio. Deginant LNG dujas tokio tipo variklyje užtikrinama, kad bus laikomasi TJO nustatytų teršalų emisijos reikalavimų, kartu prisidedant prie aplinkos saugojimo, nereikalaujant brangių išmetamųjų dujų valymo sistemų (skruberių), kurios paprastai yra didelių matmenų ir užima nemažą laivo plotą..

Literatūra

1. Belchior, C.R.P., Marques, C.H. (2015). Literature review of a LNG carrier machinery system. *Towards Green Marine Technology and Transport*, p. 585-592.
2. Campara, L., Vujicic, S., Hasanspahic, N. (2018). Overview of MARPOL ANNEX VI regulations for prevention of air pollution from marine diesel engines. *SHS Web of Conferences, Global Maritime Conference* Vol. 58, Issue. 01004.
3. Cargo Containment Systems - Chapter 33: Types of Gas Carriers. *Interantional Safety Guide for Inland Navigation Tank-barges and Terminals*, 2010. p. 505-517.
4. Cargo Containment Systems: Gas Tanker – Types, Tanks, Reliquefaction & Cargo handling opertions. *Cult of Sea – Maritime Knowledge base*. Prieiga internete: <https://cultofsea.com/tanker/gas-tanker-types-tanks-cargo/>
5. Cargo Containment Systems in Liquefied Gas Carriers. Liquefied Gas Carrier. Prieiga internete: <http://www.liquefiedgascarrier.com/cargo-containment-systems.html>
6. Cerf, C. (2016). Hazards within LNG Floating Facilities Topside Design. *The Institution of Chemical Engineers*. Paris: Conseilprev.
7. Chakraborty, S. (2019). Understanding The Design of Liquefied Gas Carriers. *Marine Insight*. Prieiga internetu: <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/understanding-design-liquefied-gas-carriers/>
8. Chorowski, M., Duda, P., Polinski, J., Skrzypacz, J. (2015). LNG systems for natural gas propelled ships. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* Vol. 101, p. 012089.
9. Critical Temperatures and Pressures for some Common Substances. The Engineering ToolBox: Tools and Basic Information for Design, Engineering and Construction of Technical Applications. Prieiga internete: https://www.engineeringtoolbox.com/gas-critical-temperature-pressure-d_161.html
10. Daejun, C. (2017). Note on Critical issues with Boil-Off Gas Generating from Marine Fuel LNG. *Ocean & fish Open Access Journal* Vol. 1, Issue. 4.
11. DieselNet: Engine & Emission Technology Online. IMO Marine Engine Regulations. Prieiga internete: <https://dieselnet.com/standards/inter/imo.php#ghg>
12. Fernandez, A, I., Gomez, R, M., Gomez, R, J. (2017). Review of propulsion systems on LNG carriers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Vol. 67, Issue. 1364-0321. p. 1395-1411.
13. Fuel Supply to Consumers - Natural Gas Fueled Vessels for Coastal and Inland Waters. Indian Regsity of Shipping: Classification Notes, 2017. p. 26-27.
14. Gaztransport & Technigaz (GTT). (2018). Membrane tanks on inland gas tankers. Inland Transport Committe. Prieiga internete: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2018/dgwp15ac2/WP15-AC2-33-inf25e.pdf>
15. Giernalczyk, M. (2019). Analysis of the Possibility of Using Low Speed Two-stroke Dual-fuel Engines for Propulsion of Sea-Going Vessels. *Journal of KONES Powertrain and Transport* Vol. 26, Issue. 2. p. 45-52.
16. Independent tank type A. MarineProHelp. Prieiga internete: <https://marineprohelp.com/terms/19687/independent-tank-type-a>
17. International Maritime Organization. Prevention of Air Pollution from Ships. Prieiga internete: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Air-Pollution.aspx>



18. Isla Bella Liquefied Natural Gas-Powered Containership. *Ship Technology: Shipping News & Views Updated Daily*, 2015. Prieiga internete: <https://www.ship-technology.com/projects/isla-bella-liquefied-natural-gas-powered-containership/>
19. Kolwzan, K., Narewski, M. (2012). Alternative Fuels for Marine Applications. *Latvian Journal of Chemistry* Vol. 4, p. 398-406.
20. MAN Diesel & Turbo. (2012). ME-GI Dual Fuel MAN B&W Engines. p. 8. Denmark
21. MAN Diesel & Turbo. (2014). ME-GI Dual Fuel MAN B&W Engines. p. 11-12. Denmark
22. Mersin, K., Bayirhan, I., Gazioglu, C. (2019). Review of CO₂ Emission and Reducing Methods in Maritime Transportation. *Thermal Science* Vol. 23, Issue. 6, p. 2073-2079.
23. Miller, T. (2019). A guide to good LNG bunkering practice. *Risk Focus: Safe LNG Bunkering Operations*. Prieiga internete: <https://www.ukpandi.com/knowledge-publications/article/risk-focus-safe-lng-bunkering-operations-150328/>
24. Morsy El-Gohary, M. (2012). The future of natural gas as a fuel in marine gas turbine for LNG carriers. *Journal of Engineering for the Maritime Environment*, Vol. 226, Issue. 4, p. 371-377.
25. Nature and Biodiversity Conservation Union. *LNG as Marine Fuel*. Prieiga internete: <https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/verkehr/161125-nabu-info-ign-en.pdf>
26. Ohashi, I. (2015). Dual-Fuel Marine Engine (Highly Reliable Environmentally Friendly Engine). *YANMNAR Technical review*. Prieiga internete: <https://www.yanmar.com/eu/Technology/YANMAR-Technical-Review/Dual-Fuel-Marine-Engine/>
27. Olmer, N., Comer, B., Roy, B., Mao, X., Rutherford, D. (2017). Greenhouse Gas Emissions From Global Shipping, 2013-2015. *The International Council on Clean Transportation*. Prieiga internete: <https://www.theicct.org/publications/GHG-emissions-global-shipping-2013-2015>
28. Rainer, K. (2015). Cruise ship concepts applying LNG fuel. *Aalto University – School of Engineering: Department of Applied Mechanics*. p. 35-36
29. Smith, T. W. P., Jalkanen, J. P., Anderson, B. A., Corbett, J. J., Faber, J., Hanayama, S. (2014). Third IMO Greenhouse Gas Study. *International Maritime Organization (IMO)*, p. 34-38.
30. Specific Requirements for Ships Using Natural Gas as Fuel. *Draft International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels*, 2015. p. 18-21.
31. Tamura, H., Otsuka, H., Ishida, T., Miyazaki, S. (2013). New LPG Carrier Adopting Highly Reliable Cargo Tank – IMO Tank Type B -. *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review* Vol. 50, Issue. 2. p. 12-17.
32. Chakraborty, S. (2019). Understanding The Design of Liquefied Gas Carriers. *Marine Insight*. Prieiga internetu: <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/understanding-design-liquefied-gas-carriers/>
33. Vesovic, V. Methane. *Therpopedia: A-to-Z Guide to Thermodynamics, Heat & Mass Transfer, and Fluids Engineering*. Prieiga internete: <http://www.thermopedia.com/content/951/>
34. Wankhede, A. (2019). MAN B&W's Dual Fuel Marine Engine : A General Overview. *Marine Insight: Main Engine*. Prieiga internetu: <https://www.marineinsight.com/main-engine/man-bws-dual-fuel-marine-engine-a-general-overview/>
35. William, J., Cotta, P.E., William Alex Haugh, Lee Franklin, P.E. (2018). Liquefied Natural Gas as Fuel Design Considerations. *The Society of Naval Architects and Marine Engineers*.

Reduction of Greenhouse Gas Emissions from Ships Using Alternative Marine Fuel

(Received in July, 2020; Accepted in August, 2020; Available Online from 11th of May, 2021)

Summary

In order to reduce emissions from shipping, which have a significant impact on the environment and climate change, it is essential to address new possible alternative marine fuels as soon as possible. The article analyzes the impact of maritime transport on ecological environmental imbalances. The construction of liquefied natural gas (LNG) system and its use are considered. LNGs are comparable to heavy marine fuels (HFOs). Possibilities for the application of this fuel in shipping in the future are presented as a serious perspective, reducing the negative impact of ships on the environment. The findings show that working with a high-pressure dual-fuel internal combustion engine (VDV) system reduces greenhouse gas emissions (GHG) by up to 21 percent compared to VDV's operating on HFO alone. This engine technology is best suited for large low-speed two-stroke engines used for long-distance sea navigation. In terms of air pollution, gas-powered engines are a very effective means of reducing emissions such as carbon dioxide CO₂, nitrogen



oxides (NO_x) and sulfur oxides (SO_x). In order to meet the International Maritime Organisation's (IMO) Tier 3 requirements for oxides of nitrogen, it is necessary to apply exhaust gas cleaning using selective catalysts (SCR) or exhaust gas recirculation (EGR) itself.

Article Issue is a growing shipping industry which effects include pollution with greenhouse gases, nitrogen oxides (NO_x) and sulfur oxides (SO_x).

The aim of the article is to define how modern ships can be modernized by adapting them to the liquefied natural gas fuel system, with the aim of reducing environmentally hazardous emissions.

The subject of the article is LNG tanks and two-fuel high-pressure low-speed two-stroke engines and their fuel supply system used in gas carriers.

Article Objectives are to discuss, from a theoretical point of view, the environmental damage caused by shipping emissions, to analyze LNG fuel storage tanks, comparing to single out the most suitable tank, and to analyze a two-fuel high-pressure low-speed two-stroke engine and its fuel supply system designed to use LNG gas.

Research methods are analysis of scientific literature and international conventions of the law of the sea, and the analysis of examples of good practice, reviews of technical publications issued by manufacturers.

