



Klaipėdos Universitetas

Amoniaکو panaudojimo perspektyvos laivų dyzeliniuose varikliuose tyrimai

Transporto inžinerijos VGTU-VDU-KU-KTU I metų doktorantas: Martynas Drazdauskas

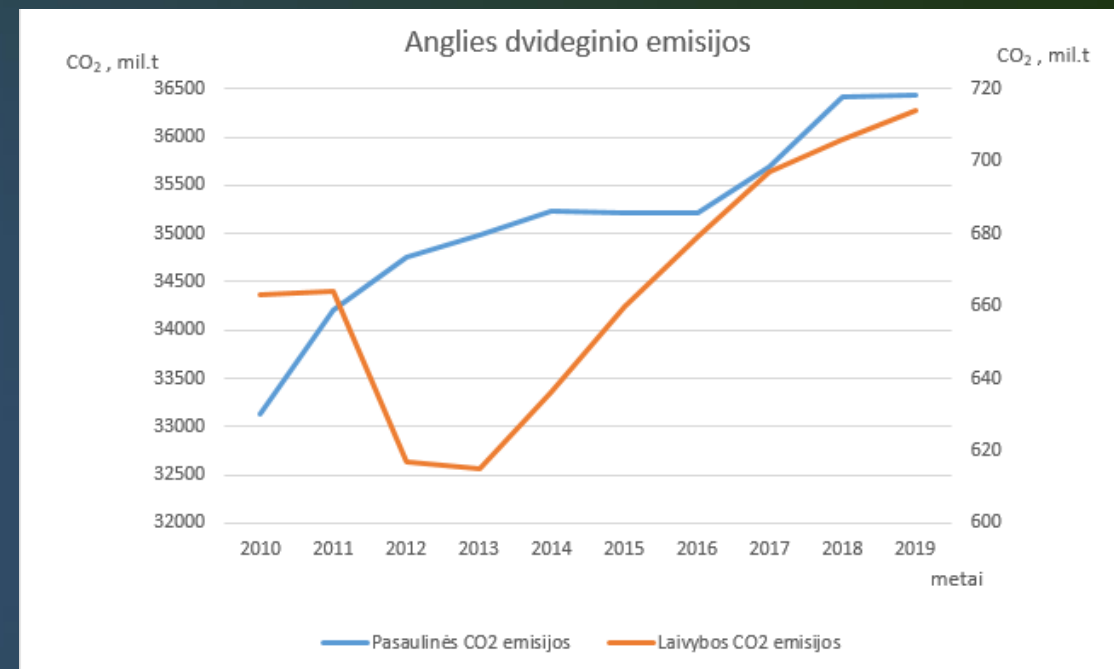
Mokslo vadovas: Prof. habil. dr. Sergejus Lebedevas

Kontaktai:
Martynas Drazdauskas
+37062062123
medienabaldams@gmail.com

Aktualumas



- ▶ Klimato kaitos problema
- ▶ Didėja šiltnamio dujų emisijos
- ▶ Pasaulinis komercinis laivynas išskiria apie 2,6% viso pasaulio anglies dvideginio CO₂
- ▶ Griežtėjantys reikalavimai laivybai:
MARPOL Annex VI
MEPC 203(62)
MEPC 72/17/Add 1 Annex 11

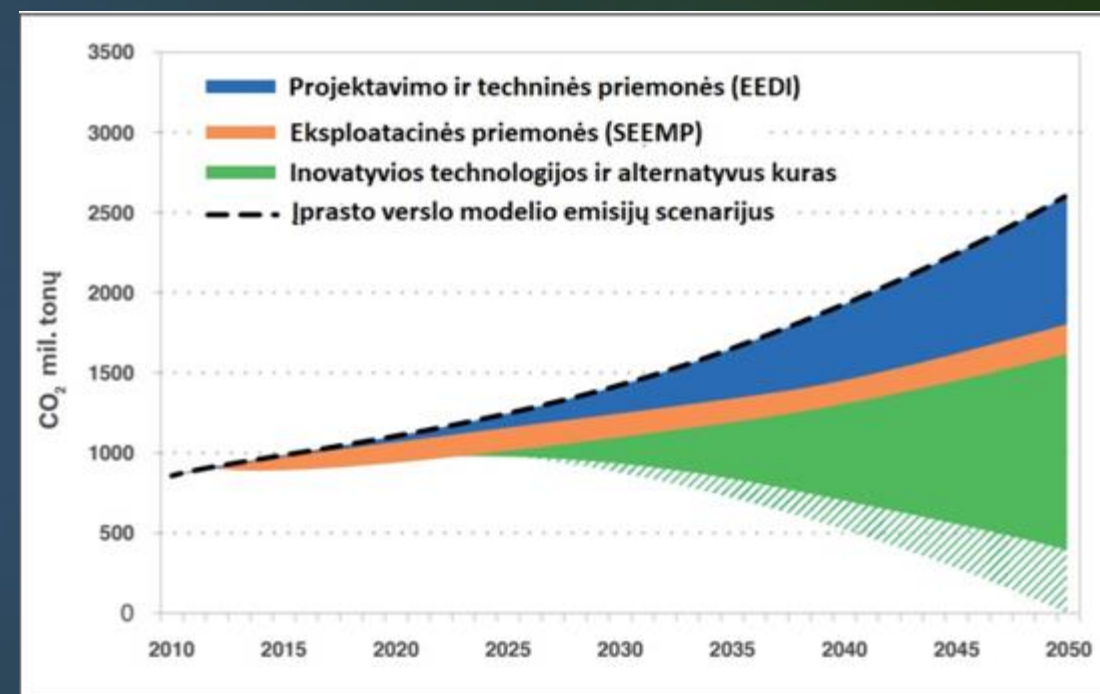


1 pav. CO₂ emisijos pasauliniu mastu.

Tarptautinės jūrų organizacijos (TJO) strategija

Jūrų aplinkos apsaugos komiteto nutarimas MEPC 72/17/Add 1 Annex 11:

- ▶ Sumažinti komercinio laivyno CO₂ emisijas iki 40% iki 2030 m. lyginant su 2008 m. rodikliais.
- ▶ Sumažinti komercinio laivyno CO₂ emisijas iki 70% iki 2050 m. lyginant su 2008 m. rodikliais.
- ▶ Sumažinti komercinio laivyno šiltnamio dujų emisijas bent iki 50% iki 2050 m. lyginant su 2008 m. rodikliais.



2 pav. TJO CO₂ mažinimo strategija.



Tikslas

- ▶ Īvertinti amoniako panaudojimo perspektyvas laivų dyzeliniuose varikliuose ir kylančias problemas, siekiant sudaryti būsimų tyrimų kryptį disertacijos tema.

Uždaviniai

- ▶ Išanalizuoti amoniako motorines savybes ir nustatyti kylančias problemas.
- ▶ Įvertinti amoniako gamybos technologijas bei infrastruktūrą siekiant pritaikymo jūrų transportui.
- ▶ Įvertinti amoniako tinkamumą jūrų transportui saugumo atžvilgiu.



Kuro rūšių palyginimas

1 lent. Skirtingų kuro rūšių fizikiniu, cheminiu parametru palyginimas.

- ▶ Cheminė formulė NH_3
- ▶ $2\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \rightarrow \text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ (1)
- ▶ Atitinka MARPOL 73/78 VI priedo SO_x , CO_2 reglamentuojamas normas
- ▶ Užsiliepsnojimo temperatūra – 651°C
- ▶ Žemutinis kuro šilumingumas – 18,8 MJ/kg
- ▶ Skystas būvis prie 10 bar ir 25°C arba 1 bar ir -33°C
- ▶ Tankis suskystinus 682 kg/m^3

Kuro rūšis	Amoniakas	Vandenilis	Metanolis	Dimetilo eteris	Gamtinės dujos	Dyzelinas
Formulė	NH_3	H_2	CH_3OH	CH_3OCH_3	CH_4	$\text{C}_{12}\text{H}_{23}$
Tankis suskystinus, kg/m^3	682	70,8	786,3	668	187,2	832
Žemutinis kuro šilumingumas, MJ/kg	18,8	120	19,7	28,4	38,1	42,7
Oktaninis skaičius	110	130	113	60	107	30
Cetaninis skaičius	-	-	-	55-60	-	40-55
Užsiliepsnojimo temperatūra, $^\circ\text{C}$	651	585	385	350	540	254-285

Panaudojimas dyzeliniuose varikliuose



- ▶ Pirmą kartą amoniako pritaikymas pademonstruotas 1942 m. Belgijos autobusuose.
- ▶ Amoniako panaudojimas galimas skystame arba dujiniame pavidale.
- ▶ Dyzelinio variklio veikimas amoniaku galimas prie suspaudimo laipsnio 35:1 ir daugiau.
- ▶ Dvejopo kuro variklio veikimas amoniaku galimas prie suspaudimo laipsnio 15:1 (įprastas laivo paskities dyzeliniam varikliui), panaudojant pilotinį kurą – dyzeliną, metilo esterį.
- ▶ Sumažėja variklio naudingas darbas lyginant su eksploatacija dyzelinu.

Panaudojimas dyzeliniuose varikliuose



7

NO_x , NH_3 emisijos

- Didinant amoniako proporciją, iki 5 kartų didėja NO_x emisijos lyginant su dyzelinu, pagrinde dėl amoniako cheminėje sudėtyje esančio azoto N atomų.
- Atsiranda nesudegusio amoniako NH_3 emisijos siekiančios 1000 ppm.

CO, HC emisijos

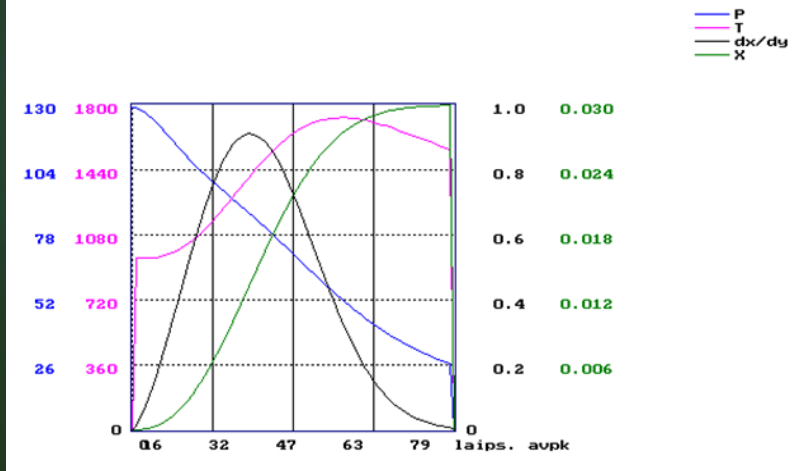
- Didinant amoniako NH_3 proporciją, nežymiai padidėja anglies monoksido CO ir nepilno degimo HC emisijos, dėl žemesnės cilindro temperatūros, prastesnio kuro susimaišymo nei lyginant su dyzelino eksploatacija.

CO_2 emisijos, dūmingumas

- Didinant amoniako NH_3 proporciją, mažėja anglies dvideginio CO_2 emisijos, pagrinde dėl anglies C atomų koncentracijos sumažėjimo kure.

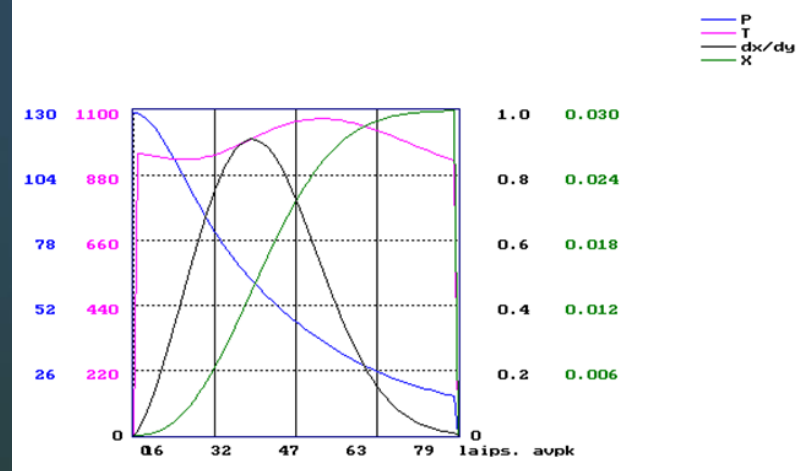
Kompiuterinio modeliavimo tyrimai

$P_z = 129.04 \text{ kg/cm}^2$ FI $P_z = -0$ laips. avpk
 $T_z = 1729.2 \text{ K}$ FI $T_z = 52$ laips. avpk
 Vidutinis indikatorinis slėgis $P_i = 20.37 \text{ kg/cm}^2$
 Indikatorinis NVK = 0.4149
 Specifinis indikatorinis kuro sunaudojimas $G_i = 207.264 \text{ g/(kw}\cdot\text{h)}$
 Oro dujų konstanta $A_5(1,1) = 29.275$
 Pilno degimo produktu dujų konstanta $A_5(1,2) = 29.177$
 Kuro stechiometrine konstanta $A_5(1,5) = 14.325$
 Žemutinis kuro kaloringumas $A_5(1,8) = 10138.000 \text{ kkal/kg} = 42241 \text{ kJ/kg}$



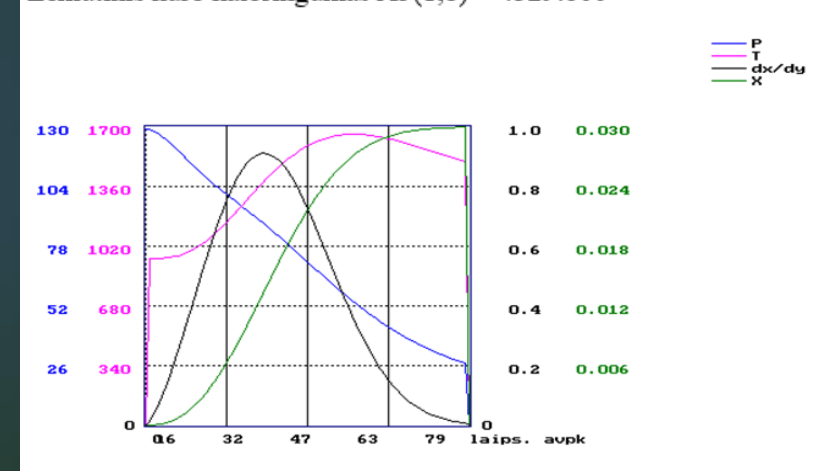
3 pav. Variklio darbas dyzelinu.

$P_z = 129.02 \text{ kg/cm}^2$ FI $P_z = -0$ laips. avpk
 $T_z = 1071.4 \text{ K}$ FI $T_z = 46$ laips. avpk
 Vidutinis indikatorinis slėgis $P_i = 8.83 \text{ kg/cm}^2$
 Indikatorinis NVK = 0.4039
 Specifinis indikatorinis kuro sunaudojimas $G_i = 478.176 \text{ g/(kw}\cdot\text{h)}$
 Oro dujų konstanta $A_5(1,1) = 29.275$
 Pilno degimo produktu dujų konstanta $A_5(1,2) = 33.913$
 Kuro stechiometrine konstanta $A_5(1,5) = 6.069$
 Žemutinis kuro kaloringumas $A_5(1,8) = 4329.600 \text{ kkal/kg} = 18040 \text{ kJ/kg}$



4 pav. Variklio darbas amoniaku prie vienodų sąlygų.

$P_z = 129.02 \text{ kg/cm}^2$ FI $P_z = -0$ laips. avpk
 $T_z = 1658.6 \text{ K}$ FI $T_z = 51$ laips. avpk
 Vidutinis indikatorinis slėgis $P_i = 20.94 \text{ kg/cm}^2$
 Indikatorinis NVK = 0.3727
 Specifinis indikatorinis kuro sunaudojimas $G_i = 518.432 \text{ g/(kw}\cdot\text{h)}$
 Oro dujų konstanta $A_5(1,1) = 29.275$
 Pilno degimo produktu dujų konstanta $A_5(1,2) = 33.913$
 Kuro stechiometrine konstanta $A_5(1,5) = 6.069$
 Žemutinis kuro kaloringumas $A_5(1,8) = 4329.600$



5 pav. Variklio darbas amoniaku įvedant vienodą šilumos kiekį į cilindrą.



Kompiuterinio modeliavimo tyrimai

2 lent. Kompiuterinio modeliavimo tyrimų rezultatų fragmentai.


Parametrai	Variklio darbas dyzelinu	Variklio darbas amoniaku	Variklio darbas amoniaku (ivedant šilumos kiekį lygų dyzelinui)
Vidutinis indikatorinis slėgis, P_i [kg/cm ²]	20,37	8,83	20,94
Naudingo veikimo koeficientas	0,4149	0,4039	0,3727
Ciklinė kuro porcija, Q_c [g/h]	0,248	0,248	0,638
Specifinis indikatorinis kuro suvartojimas, G_i [g/kWh]	207	478	518
Suspaudimo laipsnis	16,5	16,5	16,5

Planuojamų kompiuterinio modeliavimo tyrimų kryptys siekiant darbo proceso optimizavimo:

- ▶ Įvertinti degimo kampo įtaką variklio darbo parametrams.
- ▶ Įvertinti skirtingų procesų organizavimo (M ir φ) įtaką variklio darbo parametrams.
- ▶ Įvertinti suspaudimo laipsnio įtaką variklio darbo parametrams.
- ▶ Įvertinti cilindro aprūpinimo oru parametru (P_k, T_k, λ) įtaką variklio darbo parametrams.

Saugojimas laive ir saugumas

- ▶ Saugojimas laive suskystinus prie $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$ arba 10 bar slėgio ir $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, pasiekiamas 682 kg/m^3 tankis.
- ▶ Amoniakas sukaupia 50% daugiau energijos pagal tūrį negu vandenilis, tačiau beveik 3 kartus mažiau nei dyzelinas.
- ▶ Priešgaisrinės saugos atžvilgiu amoniako degumo pavojus yra nežymus, reitinguojamas vienetui pagal NFPA 704 standartą.
- ▶ Užsiliepsnojimas galimas prie 16-28% amoniako koncentracijos ore pagal tūrį, kai vandenilio 4-75%, dyzelino 0,6-7,5%.
- ▶ Laikomas toksišku, pavojingu žmogaus sveikatai, mirtinu.



Sveikata	3
Degumas	1
Fiziniai pavojai	0

6 pav. Amoniakos NFPA reitingas.

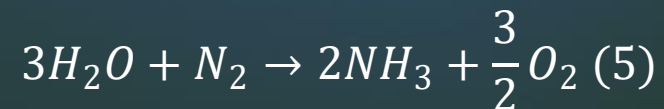
Gamybos technologijos ir infrastruktūra



- ▶ Esama amoniako infrastruktūra galima pritaikyti jūrų transportui – reikalingos mažesnės pradinės investicijos negu lyginant su vandeniliu.
- ▶ Esamą propano infrastruktūrą galima konvertuoti darbui su amoniaku.
- ▶ Pasaulinės gamybos apimtys siekia 180 mil. t. per metus.
- ▶ Populiariausias gamybos metodas yra garo metano reformingas iš iškastinio kuro, tačiau išskiriamas šalutinis produktas CO₂. Pagaminant 1 t. amoniako išskiriama 2,86 t. CO₂:



- ▶ Alternatyva – elektrolizės metodas iš vandens panaudojant atsinaujinančią elektros energiją, CO₂ balansas nulinis:





Išvados

- ▶ Amoniakas vertinamas teigiamai siekiant dekarbonizuoti jūrų transporto sektorių pagal MARPOL 73/78 konvenciją, nes neišskiria CO₂ emisijų.
- ▶ Esama amoniako ir propano infrastruktūra palankiai vertinama siekiant pritaikyti jūrų transportui.
- ▶ Amoniako saugojimas laive pranašesnis už vandenilio dėl paprastesnės kuro tankų konstrukcijos bei 9 kartus didesnio tankio.
- ▶ Amoniako pavojus priešgaisrinės saugos atžvilgiu yra nežymus, užsiliepsnojimo galimybė prie 16-28% NH₃ koncentracijos ore pagal tūrį.
- ▶ Nustatytas variklio energetinio efektyvumo sumažėjimas bei NO_x, NH₃ emisijų padidėjimas.

Tolimesni tyrimai

- ▶ Numatomi tolimesni tyrimai kompiuterinio modeliavimo programoje optimizuoti variklio darbo procesą veikiant amoniaku, siekiant sumažinti NO_x, NH₃ emisijas bei padidinti energetinį efektyvumą.