

PROPOSAL OF TURBINE PROPULSION FOR A NEW GENERATION LIQUEFIED NATURAL GAS CARRIER WITH A CAPACITY OF 250 000 - 300 000 CBM

Zygmunt Górski, Romuald Cwilewicz

Gdynia Maritime University, Department of Marine Power Plants

Morska 83, 81-225 Gdynia, Poland

tel.: (+48) 58 6109322

e-mail: wmkso@am.gdynia.pl

Abstract

Liquefied natural gas carriers (LNG carriers) are built nowadays with the capacity of 135,000 ÷ 165,000 cbm. LNG carriers with capacity of about 200,000 cbm are also in project works and under construction. Projects of new generation LNG carriers with the capacity ranging from 250,000 to 300,000 cbm will be executed soon. Estimated main propulsion power of such LNG carriers will be 40 to 50 MW. The gas turbine propulsion with carried natural gas used as a fuel is proposed for these ships. To improve efficiency of propulsion a COGES (Combined Gas Turbine and Steam Turbine Integrated Electric Drive System) propulsion system is suggested.

With the relatively simple configuration, the COGES system makes possible to achieve acceptable propulsion efficiency. COGES drive system also simplifies operation of propulsion plant, decreases engine room space and considerably contributes to environment protection as natural gas is considered to be an "ecological fuel". In particular the schema of the COGES propulsion system, comparison of machinery space of LNG carrier propelled by the low speed diesel engine and the COGES system are presented in paper.

Keywords: *transport, LNG tanker propulsion, Liquefied Gas Tankers*

PROPOZYCJA NAPĘDU TURBINOWEGO ZBIORNIKOWCA NOWEJ GENERACJI DO PRZEWOZU SKROPLONEGO GAZU NATURALNEGO O ŁADOWNOŚCI 250 000 DO 300000 m³

Streszczenie

Obecnie eksploatowane i budowane zbiornikowce do przewozu skroplonego gazu naturalnego LNG posiadają ładowność rzędu 135.000 do 165.000 m³. Projektowane są też i budowane zbiornikowce LNG o ładowności rzędu 200000 m³. W niedługim czasie będą realizowane projekty zbiornikowców LNG nowej generacji o ładowności 250.000 do 300.000 m³. Ocenia się, że zapotrzebowanie mocy napędu głównego dla nowej generacji zbiornikowców LNG będzie rzędu 40 do 50 MW. Proponuje się zastosowanie do napędu takich statków turbin gazowych zasilanych przewożonym gazem naturalnym.

Celem podniesienia sprawności siłowni proponuje się zastosowanie siłowni kombinowanej typu COGES (Combined Gas Turbine and Steam Turbine Integrated Electric Drive System), która przy stosunkowo prostej konfiguracji umożliwi uzyskanie akceptowalnej sprawności napędu. Siłownia typu COGES pozwoli też na uproszczenie procesu eksploatacji napędu, zmniejszenie objętości siłowni na rzecz przestrzeni ładunkowej, a spalanie gazu naturalnego powszechnie uważanego za „paliwo ekologiczne” będzie ważnym przyczynkiem do ochrony środowiska naturalnego. W szczególności schemat układu napędowego typu COGES, porównanie wielkości siłowni zbiornikowca LNG z napędem tłokowym silnikiem spalinowym wolnoobrotowym i napędem typu COGES są prezentowane w artykule.

Słowa kluczowe : *transport, LNG tanker propulsion, Liquefied Gas Tankers*

1. Wstęp

Rosnące zapotrzebowanie gospodarki światowej na gaz naturalny powoduje wzrost zapotrzebowania na jego transport drogą morską. W światowej flocie handlowej szybko rośnie ilość i wielkość zbiornikowców typu LNG (Liquefied Natural Gas) do przewozu skroplonego gazu

naturalnego (gazowców). Podczas transportu morskiego gaz naturalny utrzymywany jest w postaci płynnej pod ciśnieniem atmosferycznym w temperaturze -163°C . Podczas przewozu gazu skroplonego jednym z podstawowych problemów jest penetracja ciepła do zbiorników ładunkowych i parowanie ładunku. Odparowany gaz może być skroplony w odpowiedniej instalacji i skierowany na powrót do zbiorników ładunkowych lub wykorzystany do napędu statku. Jako napęd główny stosuje się dwupaliwowe wysokoprężne silniki spalinowe lub turbiny parowe, dla których parę produkuje się w dwupaliwowych kotłach głównych. W obu przypadkach główne układy napędowe zbiornikowców mogą być zasilane alternatywnie paliwem ciężkim (HFO) lub gazem naturalnym (LNG) z przewożonego ładunku. Zasilanie gazem ma miejsce podczas podróży statku załadowanego, a zasilanie paliwem ciężkim podczas podróży pod balastem do miejsca załadunku nowej partii gazu skroplonego.

Obecnie eksploatowane i budowane zbiornikowce LNG posiadają ładowność rzędu 135.000 do 165.000 m³ skroplonego gazu. Projektowane są też i budowane zbiornikowce LNG o ładowności rzędu 200.000 m³. Łatwo można przewidzieć, że w niedługim czasie będą realizowane projekty zbiornikowców LNG nowej generacji o ładowności 250.000 do 300.000 m³. Wraz ze wzrostem wielkości zbiornikowców LNG problem typu i konfiguracji napędu głównego oraz jego eksploatacji jest ważnym elementem w procesie doboru urządzeń napędowych tych statków. Zdaniem autorów niniejszej publikacji problem doboru układu napędowego dla tak dużych statków pozostaje otwarty. Zalety turbiny parowej i łatwość eksploatacyjna powodują, że napęd turboparowy z kotłami dwupaliwowymi może być atrakcyjną alternatywą dla dwupaliwowych wysokoprężnych silników spalinowych. Jednakże większe zużycie paliwa a tym samym niższa sprawność napędu turboparowego dla względnie małych mocy przemawia na korzyść silników spalinowych. Silniki spalinowe dużych mocy są natomiast bardziej kłopotliwe w eksploatacji w miarę jak rosną ich gabaryty. Jednak dla dużych mocy, według własnych szacunków powyżej 30 MW, siłownia parowa staje się konkurencyjna dla siłowni z silnikami tłokowymi.

Podobnie, niezwykle ciekawe z punktu widzenia zalet oraz sumarycznych kosztów eksploatacji przedstawia się zastosowanie turbin gazowych do napędu głównego zbiornikowców do przewozu skroplonego gazu naturalnego (LNG).

Ocenia się, że zapotrzebowanie mocy napędu głównego nowej generacji zbiornikowców LNG będzie rzędu 40 do 50 MW. Proponuje się zastosowanie do napędu takich statków turbin gazowych zasilanych przewożonym gazem naturalnym. Na podróż powrotną należy pozostawić na zbiornikowcu odpowiednią ilość gazu. Celem podniesienia sprawności siłowni proponuje się zastosowanie siłowni kombinowanej typu COGES (Combined Gas Turbine and Steam Turbine Integrated Electric Drive System), która przy stosunkowo prostej konfiguracji umożliwi uzyskanie akceptowalnej sprawności napędu. Siłownia typu COGES pozwoli też na uproszczenie procesu eksploatacji napędu, zmniejszenie objętości siłowni na rzecz przestrzeni ładunkowej, a spalanie gazu naturalnego powszechnie uważanego za „paliwo ekologiczne” będzie ważnym przyczynkiem do ochrony środowiska naturalnego.

2. Propozycja napędu typu COGES dla zbiornikowca LNG o ładowności 300.000 m³

Prognozę parametrów eksploatacyjnych głównego układu napędowego i elektrowni okrętowej oparto na badaniach statystycznych populacji zbiornikowców LNG (Liquefied Natural Gas) i LPG (Liquefied Petroleum Gas) będących aktualnie w eksploatacji lub w budowie. Metodę badań statystycznych opracowano w Katedrze Siłowni Okrętowych Akademii Morskiej w Gdyni.

2.1. Wyznaczenie mocy efektywnej napędu głównego zbiornikowca LNG 300.000 m³ [3, 4, 5]

$$N_e = (1,14224 + 0,0000364788 * D) * v^3 \text{ [kW]}, \quad (1)$$

gdzie:

D [ton] - nośność statku DWT,
v [węzły] - prędkość statku,

Przyjęto: D = 141.000 ton dla ładowności 300.000 m³ na podstawie badań statystycznych,
v = 19 węzłów.

$$\underline{N_e = 43114 \text{ kW} .}$$

2.2. Wyznaczenie zapotrzebowania mocy elektrycznej zbiornikowca LNG 300.000 m³ [3,4,5]

Przyjęto, że sumaryczna moc elektrowni okrętowej jest funkcją mocy napędu głównego:

$$\begin{aligned} \Sigma N_{el} &= 743 + 0,2542 * N_e \text{ [kW]}, \\ N_e &= 43114 \text{ kW} - \text{z zależności (1)}, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\underline{\Sigma N_{el} = 11703 \text{ kW} .}$$

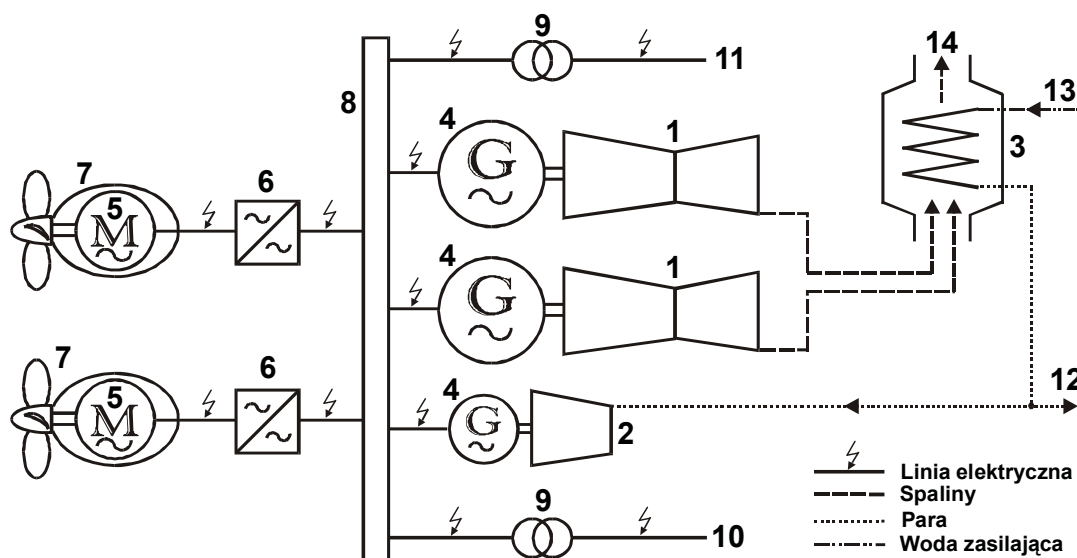
Zwykle, sumaryczna moc elektrowni podzielona jest na trzy zespoły prądotwórcze. Podczas ruchu statku w morzu pracuje jeden zespół prądotwórczy przy wskaźniku obciążenia rzędu 0,7. Stąd moc elektryczna zapotrzebowana przez statek podczas ruchu w morzu wynosi:

$$N_{el} = 0,7 * \Sigma N_{el} / 3 \text{ [kW]}, \quad (3)$$

$$\Sigma N_{el} = 11703 \text{ kW},$$

$$\underline{N_{el} = 2730 \text{ kW} .}$$

2.3. Propozycja napędu typu COGES dla zbiornikowca LNG o ładowności 300 000 m³



Rys. 1. Schemat układu napędowego typu COGES: 1 – turbina gazowa; 2 – turbina parowa; 3 – kocioł parowy; 4 – prądnica; 5 – silnik elektryczny; 6 – przetwornik częstotliwości; 7 – pędnik gondolowy; 8 – główna tablica rozdzielcza; 9 – transformator; 10 – odbiorniki elektryczne wysokiego napięcia; 11 – odbiorniki elektryczne niskiego napięcia; 12 – odbiorniki pary grzewczej; 13 – dół wody zasilającej kocioł; 14 – odlot spalin

Fig. 1. Diagram of COGES propulsion system: 1 – gas turbine; 2 – steam turbine; 3 – steam boiler; 4 – generator; 5 – electric motor; 6 – frequency converter; 7 – azimuth propulsor; 8 – main switchboard; 9 – transformer; 10 – high voltage receivers; 11 – low voltage receivers; 12 – steam receivers; 13 – boiler feed water inlet; 14 – exhaust gases outlet

Konfigurację układu napędowego pokazano na rysunku 1. Statek napędzany jest dwoma pędnikami gondolowymi 7 z silnikami elektrycznymi 5. Praca silników elektrycznych kontrolowana jest przez przetworniki częstotliwości 6. Energię elektryczną dostarczają trzy

prądnice 4, z których dwie napędzane są turbinami gazowymi 1 a jedna turbiną parową 2. Turbiny gazowe opalane są gazem naturalnym (LNG). Gazy wylotowe z turbin gazowych ogrzewają kocioł parowy 3, który produkuje parę do napędu turbiny parowej i parę grzewczą na potrzeby statku. Sumaryczna moc zespołów prądotwórczych pokrywa zapotrzebowanie napędu głównego, napędu mechanizmów i urządzeń okrętowych oraz sieci okrętowej.

2.4. Wyznaczenie sumarycznej mocy turbin zespołów prądotwórczych systemu COGES

$$\Sigma N_{\text{COGES}} = \frac{N_e}{\eta_{em} \cdot \eta_{fc} \cdot \eta_G} + \frac{N_{el}}{\eta_G} \quad [\text{kW}], \quad (4)$$

gdzie:

$N_e = 43114 \text{ kW}$ - z zależności (1),

$N_{el} = 2730 \text{ kW}$ - z zależności (3),

przyjęto: $\eta_{em} = 0,97$ - sprawność silników elektrycznych,

$\eta_{fc} = 0,99$ - sprawność przetworników częstotliwości,

$\eta_G = 0,97$ - sprawność prądnic,

$$\underline{\underline{\Sigma N_{\text{COGES}} = 49099 \text{ kW} \cong 49100 \text{ kW} .}}$$

2.5. Dyskusja wpływu rozkładu mocy pomiędzy turbinami gazowymi i turbiną parową na zużycie paliwa i sprawność układu napędowego systemu COGES napędzanego gazem naturalnym

Do obliczeń przyjęto:

- dolną wartość opałową paliwa typu Marine Diesel Oil (MDO) – $W_{\text{MDO}} = 42000 \text{ kJ/kg}$,
- dolną wartość opałową gazu naturalnego (LNG) – $W_{\text{LNG}} = 52000 \text{ kJ/kg}$,
- jednostkowe zużycie paliwa typu MDO przez turbiny gazowe – $g_{\text{MDO}} = 0,229 \text{ kg/kWh}$,
- jednostkowe zużycie paliwa typu LNG przez turbiny gazowe:

$$g_{\text{LNG}} = \frac{W_{\text{MDO}}}{W_{\text{LNG}}} \cdot g_{\text{MDO}} \quad [\text{kg/kWh}], \quad (5)$$

- jednostkowe zużycie paliwa typu LNG przez układ COGES:

$$g_{\text{COGES}} = \frac{N_{\text{TG}} \cdot g_{\text{LNG}}}{N_{\text{COGES}}} \quad [\text{kg/kWh}], \quad (6)$$

- sprawność efektywną układu COGES:

$$\eta_{\text{COGES}} = \frac{3600}{g_{\text{COGES}} \cdot W_{\text{LNG}}} \cdot 100 \quad [\%]. \quad (7)$$

Wyniki podano w tablicy nr 1.

Rozkład mocy układów napędowych typu COGES zastosowanych na statkach morskich w latach 2000 – 2003 wynosi 85/15%. Ocenia się, że obecnie możliwe jest rozwiązanie układu napędowego o rozkładzie mocy 75/25% [8], a w przyszłości i więcej. We współczesnych elektrowniach lądowych stosowany rozkład mocy wynosi 65/35% [2].

Tab. 1. Wpływ rozkładu mocy pomiędzy turbinami gazowymi i turbiną parową na zużycie paliwa i sprawność układu napędowego systemu COGES napędzanego gazem naturalnym

Tab. 1. Influence of power distribution between gas turbines and steam turbine on fuel consumption and efficiency of COGES propulsion system fuelled by natural gas

Rozkład mocy pomiędzy turbinami gazowymi a turbiną parową N_{TG}/N_{TP} [%]	85/15	80/20	75/25	70/30	65/35
Moc turbin gazowych [kW]	2 x 20868	2 x 19640	2 x 18413	2 x 17185	2 x 15958
Moc turbiny parowej [kW]	7365	9820	12275	14730	17185
Jednostkowe zużycie paliwa gazowego przez układ COGES [kg/kWh]	0,157	0,148	0,139	0,130	0,120
Sprawność efektywna układu typu COGES [%]	44,0	46,8	49,9	53,5	57,6

Do dalszej dyskusji przyjęto rozkład mocy:

- turbiny gazowe 75%,
- turbina parowa 25%.

Przyjęto następującą moc turbin systemu COGES:

- **turbiny gazowe 2 x 18413 kW**,
- **turbina parowa 1 x 12275 kW**.

3. Analiza kosztów eksploatacji proponowanego układu napędowego typu COGES na zbiornikowcu LNG 300.000 m³

3.1. Dobowy koszt paliwa w ruchu morskim zbiornikowca LNG z napędem COGES

Dobowe zużycie paliwa gazowego w ruchu morskim zbiornikowca LNG z napędem COGES:

$$G_{dCOGES} = 24 * N_{COGES} * g_{COGES} \text{ [kg/dobę]}, \quad (8)$$

gdzie:

$$N_{COGES} = 49100 \text{ kW} \quad - \text{ z zależności (4),}$$

$$g_{COGES} = 0,139 \text{ kg/kWh} \quad - \text{ z tabelicy 1,}$$

$$\underline{\underline{G_{dCOGES} = 163798 \text{ kg/dobę} \cong 163,8 \text{ ton/dobę} .}}$$

Dobowy koszt paliwa w ruchu morskim zbiornikowca LNG z napędem COGES:

$$K_{dCOGES} = C_{LNG} * G_{dCOGES} \text{ [$/d]}, \quad (9)$$

gdzie:

$$C_{LNG} \text{ [$/t]} \quad - \text{ cena LNG w terminalu załadowania,}$$

$$G_{dCOGES} = 163,8 \text{ ton/dobę} \quad - \text{ z zależności (8).}$$

Cena LNG zależy od kontraktu między dostawcą a odbiorcą i waha się w granicach od 350 do 600 \$ za tonę. Wyniki podano w tabelicy nr 2. W tabelicy podano również stosunek kosztów napędu COGES gazem naturalnego (LNG) i napędu silnikami spalinowymi zasilanymi paliwem ciężkim (HFO) wg obliczenia w punkcie 3.2.

Tab. 2. Dobowy koszt paliwa w ruchu morskim zbiornikowca LNG 300.000 m³ z napędem COGES
 Tab. 2. Daily cost of fuel during sea passage of 300,000 cbm LNG carrier powered by COGES system

Cena LNG	[\$/tonę]	350	400	450	500	550	600
Dobowy koszt paliwa LNG	[\$/d]	57330	65520	73710	81900	90090	98280
Dobowy koszt paliwa HFO	[\$/d]	67000	67000	67000	67000	67000	67000
Stosunek kosztów paliwa LNG do HFO		0,856	0,978	1,100	1,222	1,345	1,467

3.2. Dobowy koszt paliwa w ruchu morskim statku z napędem silnikami spalinowymi

Moc silników głównych (SG) – $N_{eSG} = 43114$ kW z zależności (1),
 sprawność silników głównych – $\eta_{eSG} = 0,50$,
 godzinowe zużycie paliwa SG:

$$G_{hSG} = g_{eSG} \cdot N_e, \quad (10)$$

gdzie:

$$g_{eSG} = \frac{3600}{\eta_{eSG} \cdot W_{HFO}} = \frac{3600}{0,5 \cdot 41000} = 0,176 \text{ kg/kWh},$$

$W_{HFO} = 41000$ kJ/kg – dolna wartość opałowa paliwa ciężkiego HFO,

godzinowe zużycie paliwa SG: $G_{hSG} = 0,176 \cdot 43114 = 7588$ kg/h.

Moc elektryczna zespołu prądotwórczego – $N_{el} = 2730$ kW z zależności (3),
 sprawność silnika pomocniczego – $\eta_{eSP} = 0,40$,
 sprawność prądnicy – $\eta_G = 0,80$,
 godzinowe zużycie paliwa SP:

$$G_{hSP} = g_{eSP} \cdot N_{el} / \eta_G, \quad (11)$$

gdzie:

$$g_{eSP} = \frac{3600}{\eta_{eSP} \cdot W_{HFO}} = \frac{3600}{0,4 \cdot 41000} = 0,220 \text{ kg/kWh},$$

godzinowe zużycie paliwa SP:

$$G_{hSP} = 0,220 \cdot 2730 / 0,80 = 751 \text{ kg/h}.$$

Dobowe zużycie paliwa ciężkiego w ruchu morskim zbiornikowca LNG napędzanego silnikami spalinowymi:

$$G_d = 24 \cdot (G_{hSG} + G_{hSP}) \text{ [kg/dobę]}, \quad (12)$$

gdzie:

$$G_{hSG} = 7588 \text{ kg/h},$$

$$G_{hSP} = 751 \text{ kg/h},$$

$$\mathbf{G_d = 200136 \text{ kg/dobę} \cong \mathbf{200 \text{ ton/dobę} .}$$

Dobowy koszt paliwa w ruchu morskim statku z napędem silnikami spalinowymi:

$$K_d = C_{HFO} \cdot G_d \text{ [\$]}, \quad (13)$$

gdzie:

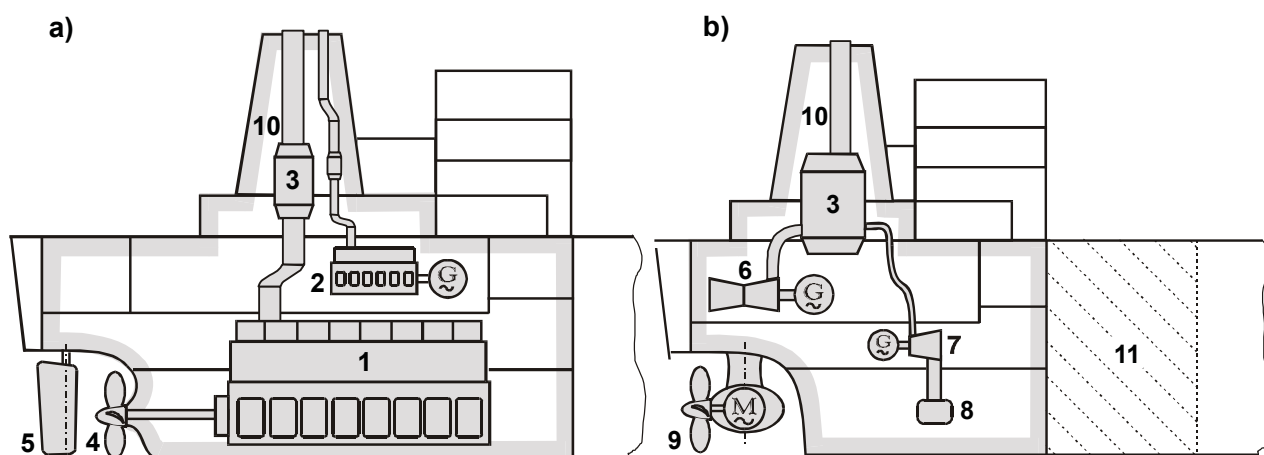
$$C_{HFO} = 335 \text{ \$/tonę} - \text{koszt paliwa ciężkiego typu IFO 380, [6]}$$

$$G_d = 200 \text{ ton/dobę} \text{ - dobowe zużycie paliwa z zależności (12).}$$

$$\mathbf{K_d = 67000 \$.}$$

4. Ocena korzyści zastosowania układu napędowego typu COGES opalanego gazem naturalnym na zbiornikowcu LNG 300.000 m³

- wysoka sprawność napędu COGES konkurencyjna w stosunku do napędu tłokowymi silnikami spalinowymi,
- niskie koszty oleju, przeglądów, napraw i amortyzacji w stosunku do napędu tłokowymi silnikami spalinowymi,
- modułowa konstrukcja, łatwość automatyzacji i elastyczność eksploatacyjna,
- wysoka manewrowość statku dzięki napędowi gondolowemu,
- wysoka niezawodność, długie okresy czasowe między przeglądami, niższe koszty napraw, przeglądów i części zamiennych w stosunku do napędu tłokowymi silnikami spalinowymi,
- zastosowanie paliwa ekologicznego o niskiej emisji szkodliwych dla środowiska substancji w spalinach wylotowych,
- uproszczenie instalacji obsługujących napęd statku, szczególnie instalacji przygotowania i oczyszczania paliwa,
- rezygnacja z zastosowania oddzielnych zespołów prądotwórczych,
- znacznie mniejsza, do 30% objętość i ciężar siłowni statku w stosunku do innych rodzajów napędu, możliwość instalacji turbogazowych zespołów prądotwórczych na wyższych kondygnacjach statku, zysk dodatkowej przestrzeni ładunkowej (rys. 2),
- znacznie mniejszy koszt instalacji układu napędowego, do 40% w stosunku do innych rodzajów napędu,
- dodatkową nie uwzględnioną w artykule korzyścią jest możliwość spalania odparowującego z przyczyn naturalnych ładunku, który byłby skraplany i wprowadzany z powrotem do zbiorników ładunkowych kosztem wydatkowania dodatkowej energii.



Rys. 2. Porównanie wielkości siłowni zbiornikowca LNG z napędem tłokowym silnikiem spalinowym wolnoobrotowym (a) i napędem typu COGES (b)

1 – tłokowy silnik spalinowy wolnoobrotowy; 2 – spalinowy zespół prądotwórczy; 3 – kocioł parowy; 4 – śruba napędowa; 5 – ster; 6 – turbogazowy zespół prądotwórczy; 7 – turboparowy zespół prądotwórczy; 8 – skraplacz 9 – pędnik gondolowy; 10 – wylot spalin; 11 – dodatkowa przestrzeń ładunkowa

Fig. 2. Comparison of machinery space of LNG carrier propelled by low speed diesel engine (a) and COGES system (b)
1 – low speed diesel engine; 2 – diesel generator unit; 3 – steam boiler; 4 – propeller; 5 – rudder; 6 – gas turbine generator unit; 7 – steam turbine generator unit; 8 – condenser; 9 – nacelle propulsor; 10 – exhaust gases outlet
11 – additional cargo space

Wnioskiem z powyższych analiz może być stwierdzenie, że napęd typu COGES z wykorzystaniem przewożonego ładunku jako paliwa może być w przyszłości szczególnie atrakcyjnym rozwiązaniem dla zbiornikowców LNG do przewozu skroplonego gazu naturalnego.

Ocenę korzyści zastosowania układu napędowego typu COGES oparto na analizach własnych, oraz dostępnych czasopismach i publikacjach, między innymi [1], [6], [7], [8], [9], [10], [11].

Literatura

- [1] Cwilewicz, R., *Okrętowe turbiny gazowe*, Fundacja Rozwoju Akademii Morskiej w Gdyni, Gdynia 2004.
- [2] *Performance Specifications*, Gas Turbine World 2005.
- [3] Giernalczyk, M., Górski, Z., *Method for determination of energy demand for main propulsion, electric power and heating purposes for modern container vessels by means of statistic*, Marine Technology Transactions, Vol. 15. Polish Academy of Sciences – Branch in Gdańsk, Marine Technology Committee, Gdańsk 2004.
- [4] Giernalczyk, M., Górski, Z., *Metoda określania zapotrzebowania energii do napędu statku, energii elektrycznej i wydajności kotłów dla nowoczesnych zbiornikowców do przewozu ropy naftowej i jej produktów przy wykorzystaniu metod statystycznych*, IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna EXPLO-SHIP 2006. Zeszyty Naukowe Nr 10(82) Akademii Morskiej w Szczecinie, Szczecin 2006.
- [5] Górski, Z., Giernalczyk, M., *Improvement in preliminary determination of energy demands for main propulsion, electric power and auxiliary boiler capacity by means of statistics: an example based on modern bulk carriers*, 9th Baltic Region Seminar on Engineering Education, Seminar Proceedings, Gdynia 2005.
- [6] Strona internetowa – *Bunker World, Lloyd's List Bunker*.
- [7] Strona internetowa – *Natural Gas Weekly Update*.
- [8] Strona internetowa – *SISHIP^{CIS} COGES. SIEMENS Industrial Solutions and Services*.
- [9] Watson, B., *LNG Shipping Operations*, 27th September 2006 Rolls-Royce plc, 2006.
- [10] Włodarski, J. K., *Okrętowe Silniki Spalinowe. Podstawy teoretyczne*, Wyższa Szkoła Morska w Gdyni, Gdynia 1999.
- [11] Wojnowski, W., *Okrętowe Siłownie Spalinowe*, Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1991.