

## PROPOSAL OF PROPULSION FOR LIQUEFIED NATURAL GAS TANKER (LNG CARRIER) SUPPLYING LNG TERMINAL IN POLAND

Zygmunt Górski, Romuald Cwilewicz, Łukasz Konopacki, Krzysztof Kruk

Gdynia Maritime University, Department of Marine Power Plants  
Morska Street 83, 81-225 Gdynia, Poland  
tel.: +48 58 6109322,  
e-mail: wmkso@am.gdynia.pl

### Abstract

The diversification of natural gas supply to Poland and plans to build liquefied natural gas (LNG) terminal in Poland are obvious. Regarding independence of supply from Russian sources through inland pipelines the sea transport of natural gas is necessary. Provisional analysis shows the possibility of supply from Gulf via Suez Channel or from Black Sea area. Due to economical reasons the transport should be performed by the biggest ships, which can pass Suez Channel and Danish Straits under full load. Referring to analysis presented in paper „Proposal of turbine propulsion for new generation liquefied natural gas carrier with a capacity of 250000-300000 cbm” (European CONES 2007) the COGES (Combined Gas Turbine and Steam Turbine Integrated Electric Drive System) propulsion fed with natural gas from carried cargo is proposed. Basic advantages of such propulsion are: „ecological fuel” application, high efficiency and maintenance friendly propulsion plant. The indubitable qualities of a COGES type ship's powerplant, fueled with natural gas induce interest for this kind of powerplant with cheaper capital expenditure and low exploitation costs, but at the same time showing simplicity in service and „ecological fuel” application. In conclusion a discussion about construction of LNG carries for Polish gas terminal supply as well as kind of propulsion plant for these ships is called.

**Keywords:** LNG tanker propulsion, Liquefied gas tankers for Poland

## PROPOZYCJA NAPĘDU ZBIORNIKOWCA LNG DO ZAOPATRZENIA TERMINALU GAZOWEGO W POLSCE

### Streszczenie

Potrzeba dywersyfikacji zaopatrzenia Polski w gaz naturalny i plany budowy terminalu gazowego w Polsce są oczywiste. Ze względu na konieczność uniezależnienia od dostaw gazu systemem rurociągów ze źródeł rosyjskich konieczny jest transport morski surowca zbiornikowcami do przewozu gazu naturalnego (LNG). Wstępna analiza wskazuje na możliwość dostaw z obszaru Zatoki Perskiej poprzez Kanał Sueski lub z obszaru Morza Czarnego. Ze względów ekonomicznych zakłada się, że gaz powinien być przewożony możliwie największymi statkami zdolnymi przepłynąć pod pełnym załadunkiem przez Kanał Sueski i Cieśniny Duńskie. Nawiązując do analiz zaprezentowanych w referacie „Propozycja napędu turbinowego zbiornikowca nowej generacji do przewozu skroplonego gazu naturalnego o ładowności 250000-300000 m<sup>3</sup>” (European KONES 2007) zakłada się zastosowanie dla takich statków kombinowanego napędu turbinowego COGES (Combined Gas Turbine and Steam Turbine Integrated Electric Drive System) zasilanego gazem naturalnym z przewożonego ładunku. Podstawowe zalety tego rodzaju napędu to: zastosowanie „paliwa ekologicznego”, wysoka sprawność i łatwość eksploatacji napędu głównego. Niewątpliwe zalety napędu okrętowego typu COGES napędzanego gazem ziemnym skłaniają do zainteresowania tym rodzajem napędu tańszego inwestycyjnie oraz eksploatacyjnie a jednocześnie prostego w obsłudze i stosującego „ekologiczne paliwo”. W konkluzji proponuje się podjęcie szerokiej dyskusji na temat budowy zbiornikowców LNG do zaopatrzenia terminalu gazowego w Polsce oraz rodzaju zastosowanego na nich napędu.

**Słowa kluczowe:** Napęd tankowca LNG, tankowce skroplonego gazu dla Polski

### 1. Wstęp

Problem zaopatrzenia Polski w gaz naturalny sprowadza się do zagadnienia dywersyfikacji dostaw i sposobu dostawy gazu. Niniejszy referat jest wkładem Katedry Siłowni Okrętowych

Akademii Morskiej w Gdyni do dyskusji na powyższy temat. Ponieważ została podjęta decyzja budowy terminalu gazowego w Świnoujściu oczywiste jest przyjęcie transportu morskiego surowca zbiornikowcami do przewozu gazu naturalnego LNG (*Liquefied Gas Tankers*). Wstępna analiza wskazuje na możliwość dostaw drogą morską z obszaru Zatoki Perskiej poprzez Kanał Sueski, z obszaru Morza Czarnego lub z północnej Afryki, co uniezależniłoby Polskę od dostaw gazu systemem rurociągów lądowych ze źródeł rosyjskich.

Ze względów ekonomicznych zakłada się, że gaz powinien być przewożony możliwie największymi statkami zdolnymi przepłynąć pod pełnym załadunkiem przez Kanał Sueski i Cieśniny Duńskie oraz zdolnymi do operacji manewrowych w terminalu gazowym Świnoujście. Wstępne analizy [6] wskazują, że obecnie warunki takie spełniłby statek o długości do 300 m, szerokości do 50 m i zanurzeniu do 13,5 m. Jednak pewne korekty wymiarowe przyszłego terminalu gazowego ze względu na możliwość obrotu statku w basenie portowym umożliwiłyby zawijanie do niego zbiornikowców o długości do 345 m i szerokości do 55 m przy zachowaniu zanurzenia do 13,5 m. Statek taki mógłby też przepływać przez Kanał Sueski i Cieśniny Duńskie transportując 250000 m<sup>3</sup> gazu naturalnego. Na Rys. 1 pokazano fotografię zbiornikowca LNG podczas w ruchu na pełnym morzu.



Rys. 1. Zbiornikowiec LNG w ruchu morskim  
Fig. 1. LNG carrier steaming at sea

## 2. Propozycja układu napędowego zbiornikowca LNG o ładowności 250000 m<sup>3</sup>

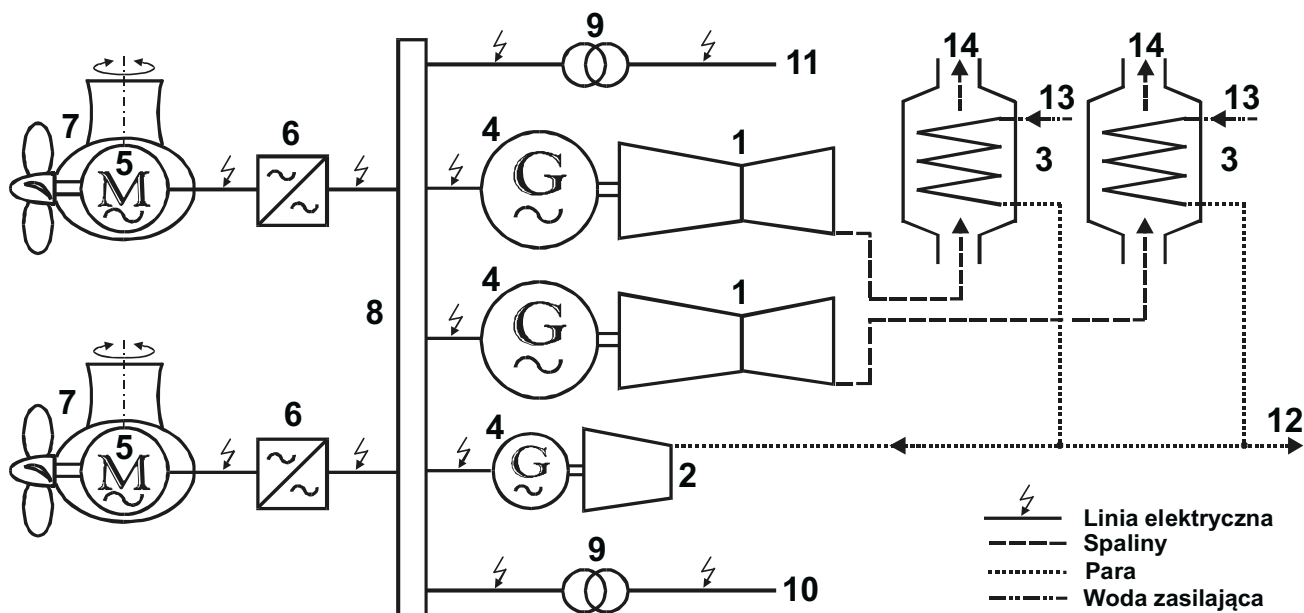
Podczas transportu morskiego gaz naturalny utrzymywany jest w postaci płynnej pod ciśnieniem atmosferycznym w temperaturze - 163°C. Podczas przewozu gazu skroplonego jednym z podstawowych problemów jest penetracja ciepła do zbiorników ładunkowych i parowanie ładunku. Odparowany gaz może być skroplony w odpowiedniej instalacji i skierowany na powrót do zbiorników ładunkowych lub wykorzystany do napędu statku. Nawiązując do analiz zaprezentowanych w referacie „Propozycja napędu turbinowego zbiornikowca nowej generacji do przewozu skroplonego gazu naturalnego o ładowności 250000-300000 m<sup>3</sup>” (KONES 2007) [5] zakłada się zastosowanie dla takich statków kombinowanego napędu turbinowego COGES (Combined Gas Turbine and Steam Turbine Integrated Electric Drive System) zasilanego gazem naturalnym z przewożonego ładunku.

Podstawowe zalety tego rodzaju napędu to [5]:

- zastosowanie gazu naturalnego jako „paliwa ekologicznego” o niskiej emisji szkodliwych dla środowiska substancji w spalinach wylotowych,
- zagospodarowanie odparowanego ładunku, co obniża koszty jego skraplania celem wprowadzenia z powrotem do zbiorników ładunkowych,
- 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 niezawodność, długie okresy czasowe między przeglądami,
- uproszczenie instalacji obsługujących napęd statku,
- rezygnacja ze zbiorników paliwowych na potrzeby napędu statku,
- znacznie mniejsza, do 30% objętość i ciężar siłowni statku w stosunku do innych rodzajów napędu (Rys. 4),
- znacznie mniejszy koszt układu napędowego, do 40% w stosunku do innych rodzajów napędu w tym rezygnacja z zastosowania oddzielnych zespołów prądotwórczych.

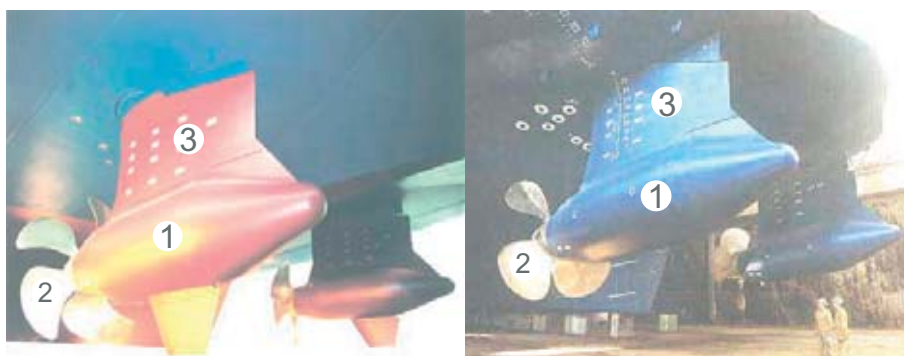
Konfigurację układu napędowego typu COGES dla omawianego statku przedstawiono na Rys. 2. Źródłem energii do napędu głównego i zasilania sieci okrętowej jest centralna elektrownia składająca się z trzech prądnic prądu przemiennego 4 napędzanych dwiema turbinami gazowymi 1 i jedną turbiną parową 2. Energia elektryczna poprzez główną tablicę rozdzielczą 8 zasila dwa pędniki gondolowe 7 napędzające statek oraz poprzez transformatory 9 odbiorniki wysokiego napięcia 10 i odbiorniki niskiego napięcia 11. Regulacja prędkości obrotowej silników elektrycznych pędników gondolowych odbywa się przy pomocy przetworników częstotliwości 6. Pędniki gondolowe mają możliwość obrotu wokół osi pionowej, dzięki czemu są jednocześnie bardzo efektywnym aktywnym urządzeniem sterowym (Rys. 3).



Rys. 2 Schemat układu napędowego typu COGES: 1-turbina gazowa, 2-turbina parowa, 3-kocioł parowy, 4-prądnic, 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-dolot wody zasilającej kocioł, 14-odlot spalin

Fig. 2. Diagram of COGES propulsion system: 1-gas turbine, 2-steam turbine, 3-steam boiler, 4-generator, 5- electric motor, 6-frequency converter, 7-azipod 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

Turbiny gazowe zasilane są gazem naturalnym LNG. Spaliny wylotowe z turbin gazowych ogrzewają kotły parowe 3, które produkują parę do napędu turbiny parowej 2 i parę grzewczą na potrzeby statku 12. Ogrzewanie kotłów parowych spalinami odlotowymi z turbin gazowych i wykorzystanie turboparowego zespołu prądotwórczego znacząco podnosi sprawność energetyczną siłowni statku. Nie przewiduje się zastosowania oddzielnych zespołów prądotwórczych do zasilania sieci okrętowej, co również podnosi sprawność energetyczną siłowni, ponieważ energia elektryczna produkowana przez główne zespoły prądotwórcze jest tańsza. Maleją też nakłady inwestycyjne i zmniejsza się objętość siłowni statku.



Rys. 3. Pędniki gondolowe okrętowego napędu głównego firmy ABB: 1-gondola silnika elektrycznego, 2-śruba napędowa, 3-blok obrotowy

Fig. 3. ABB main ship propulsion azimuth thrusters: 1-electric motor pod, 2-propeller, 3-rotatable block

### 3. Obliczenie mocy, sprawności efektywnej i zużycia paliwa przez układ napędowy

Moc efektywna dwóch silników elektrycznych napędu głównego [5]:

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

gdzie:

$D$  [ton] - nośność statku DWT,

$v$  [węzły] - prędkość eksploatacyjna statku

przyjęto:  $D = 125000$  ton dla gęstości skroplonego gazu naturalnego  $0,47-0,49$  tony/ $m^3$  i ładowności  $250000 m^3$  na podstawie badań statystycznych populacji zbiornikowców LNG wg metody opracowanej w Katedrze Siłowni Okrętowych Akademii Morskiej w Gdyni,

$v = 19,5$  węzła

$$N_e = 42280 \text{ kW} = 2 \times 21140 \text{ kW}.$$

Zapotrzebowanie mocy elektrycznej przez odbiorniki wysokiego i niskiego napięcia podczas ruchu statku w morzu [6]:

$$N_{el} = 1920 \text{ kW}.$$

Sumaryczna moc turbin zespołów prądotwórczych systemu COGES:

$$\Sigma N_{\text{COGES}} \frac{N_e}{\eta_{em} \cdot \eta_{fc} \cdot \eta_G} + \frac{N_{el}}{\eta_G} \text{ [kW]}, \quad (2)$$

gdzie:

$N_e = 42280 \text{ kW}$ ,

$N_{el} = 1920 \text{ kW}$ ,

przyjęto:

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

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

$\eta_G = 0,97$  - sprawność prądnic

$$\Sigma N_{\text{COGES}} = 47250 \text{ kW}$$

Moc turbin systemu COGES:

Przyjmuje się rozkład mocy wg [5]: turbiny gazowe 75%, turbina parowa 25%, co odpowiada następującej konfiguracji:

- turbiny gazowe 2 x 17719 kW,
- turbina parowa 1 x 11812 kW.

Moc zespołów prądotwórczych systemu COGES pokrywa zapotrzebowanie energii również w pozostałych stanach eksploatacyjnych statku takich jak ruch manewrowy, postój na redzie, rozładunek i praca instalacji do skraplania par ładunku [6]. Przykładowo praca wszystkich 15 pomp ładunkowych potrzebuje 9750 kW, instalacja skraplania par ładunku przy pracy z pełną mocą 6270 kW, a w przypadku użycia par ładunku do napędu statku 315-1600 kW.

Sprawność efektywna układu napędowego typu COGES:

Według analiz przeprowadzonych w [5] przy przyjętym rozkładzie mocy turbin i dolnej wartości opałowej gazu naturalnego 52000 kJ/kg prognozuje się osiągnięcie jednostkowego zużycia paliwa gazowego 0,139 kg/kWh co odpowiada sprawności efektywnej 49,9%.

Zużycie paliwa przez układ napędowy:

Dobowe zużycie paliwa gazowego przez układ napędowy:

$$G_{dCOGES} = 24 * N_{COGES} * g_{COGES} \text{ [kg/dobę]}, \quad (3)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} N_{COGES} &= 47250 \text{ kW} - \text{z zależności}, \\ g_{COGES} &= 0,139 \text{ kg/kWh}, \end{aligned} \quad (2)$$

$$G_{dCOGES} = 157626 \text{ kg/dobę} \cong 157,6 \text{ ton/dobę},$$

Ilość ładunku LNG odparowanego na dobę wynosi około 0,15% czyli:

$$G_{odpLNG} = 0,0015 * D_{LNG} \text{ [ton/dobę]}, \quad (4)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} D_{LNG} &= 250000 \text{ m}^3 * 0,49 \text{ ton/m}^3 = 122500 \text{ ton} - \text{masa ładunku LNG}, \\ \rho_{LNG} &= 0,49 \text{ ton/m}^3 - \text{gęstość ładunku}, \end{aligned}$$

$$G_{odpLNG} = 183,8 \text{ ton/dobę}.$$

Ilość ładunku odparowanego pokrywa zapotrzebowanie układu napędowego COGES na paliwo w ruchu morskim. Reszta odparowanego ładunku musi być skroplona w odpowiedniej instalacji.

Zapotrzebowanie paliwa na rejs okrężny (port załadunku-terminal Świnoujście-port załadunku):

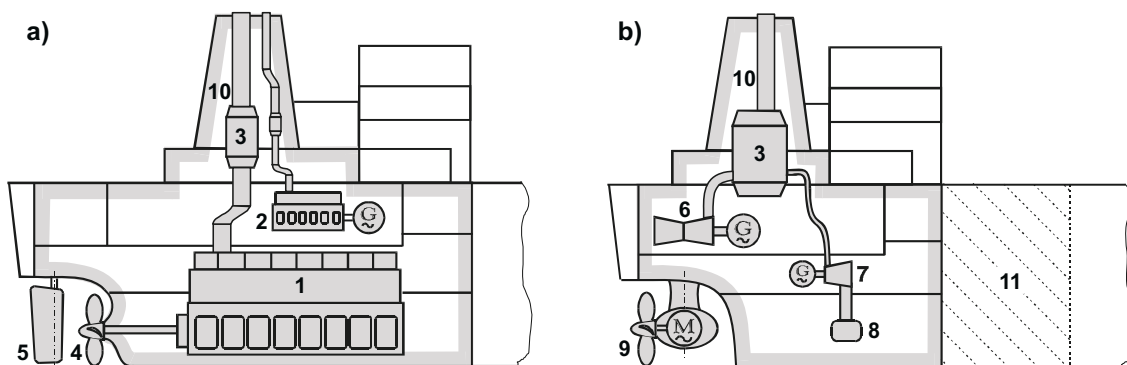
Zakładając najdłuższy rejs okrężny na 38 dni, w tym 16 dni ruchu w morzu pod pełnym załadunkiem, 16 dni ruchu w morzu pod balastem i 6 dni operacji ładunkowych wstępnie ocenia się zapotrzebowanie paliwa LNG na około 5200 ton, co stanowi około 4,2% przewożonego ładunku. Nie przewiduje się specjalnych zbiorników paliwa LNG do napędu statku. Układ napędowy korzystać będzie ze zbiorników ładunkowych.

Należy przewidzieć instalację regazyfikacji ładunku stanowiącego paliwo podczas operacji ładunkowych i podróży powrotnej pod balastem. Instalacja będzie musiała regazyfikować około 2400 ton LNG przez 16 dni ruchu w morzu i 6 dni ruchu portowego maksimum około 130 ton na dobę.

#### 4. Wnioski

Niniejszy referat ma na celu podjęcie szerokiej dyskusji na temat budowy zbiornikowców LNG do zaopatrzenia terminalu gazowego w Polsce oraz rodzaju zastosowanego na nich napędu.

Niewątpliwe zalety napędu okrętowego typu COGES napędzanego gazem ziemnym wymienione w punkcie 2 skłaniają do zainteresowania tym rodzajem napędu tańszego inwestycyjnie oraz eksploatacyjnie a jednocześnie prostego w obsłudze i stosującego „ekologiczne paliwo”. Dodatkowo rosnące ceny okrętowego paliwa płynnego, które według prognoz [2, 7] w najbliższym czasie przekroczą ceny gazu naturalnego LNG wręcz zmuszają do analiz nad rodzajem napędu zbiornikowców LNG. Autorzy niniejszego referatu uważają za oczywistą konieczność budowy przez Polskę własnej floty zaopatrującej terminal gazowy w Świnoujściu.



Rys. 4. Porównanie wielkości siłowni zbiornikowca LNG z napędem tłokowym silnikiem spalinowym wolnoobrotowym (a) i napędem typu COGES (b) [5], 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.4. Comparison of machinery space of LNG carrier propelled by low speed diesel engine (a) and COGES system (b) [5] 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-azipodpropulsor; 10-exhaust gases outlet, 11-additional cargo space

## Literatura

- [1] Cwilewicz, R., *Okrętowe turbiny gazowe*, Fundacja Rozwoju Akademii Morskiej w Gdyni, Gdynia 2004.
- [2] Federal Energy Regulatory Commission Raport, Natural Gas Markets, National Overview 2007.
- [3] Gas Turbine World 2005 Performance Specifications.
- [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., Cwilewicz, R., *Proposal of turbine propulsion for a new generation liquefied natural gas carrier with a capacity of 250.000-300.000 cbm*, 33<sup>rd</sup> International Scientific
- [6] Congress on Powertrain and Transport Means, European KONES 2007, Warsaw Poland 9-12 September 2007.
- [7] Konopacki, Ł., Kruk K., *Analiza możliwości zastosowania zintegrowanego napędu turbinowego typu COGES do napędu gazowca LNG o ładowności 250000 m<sup>3</sup>*, Praca dyplomowa magisterska pod kierunkiem Zygmunta Górskiego, Katedra Siłowni Okrętowych Akademii Morskiej w Gdyni, Gdynia 2008.
- [8] Poten & Partners, Materiały konferencji Flatter Flat Rates, 21.12.2007.
- [9] Strona internetowa - *Bunker World, Lloyd's List Bunker*.
- [10] Strona internetowa - *Natural Gas Weekly Update*.
- [11] Czasopisma: *Gas Turbine World, Lloyd's Ship Manager, Motor Ship, Shipping World & Shipbuilder*.