

Urszula Motowidlak¹

TRANSPORT LNG DROGĄ MORSKĄ JAKO JEDEN Z ELEMENTÓW ŁAŃCUCHA DOSTAW GAZU

Wstęp

Ograniczone możliwości zastosowania rurociągów do przesyłu gazu ziemnego wymuszają rozwój technologii masowego transportu w postaci ciekłej lub sprężonej. Zmiana stanu skupienia pozwala na efektywne przechowywanie i transport gazu ziemnego. Analizy przeprowadzone przez Institute of Gas Technology wskazują, że transport morski skroplonego gazu ziemnego – LNG (ang. *Liquefied Natural Gas*) cechuje się większą opłacalnością w porównaniu z rurociągiem podwodnym przy odległości powyżej 700 mil morskich oraz w porównaniu z rurociągiem lądowym przy odległości powyżej 2200 mil morskich.

Gaz ziemny jest nośnikiem energii najbardziej pożądanym obecnie na świecie. Rozwój technologii LNG i rynków LNG powoduje, że regionalny handel gazem zaczyna mieć charakter globalny. LNG jako paliwo przyszłości wymaga więc rozwoju odpowiedniej infrastruktury. Sprawność funkcjonowania łańcucha dostaw LNG warunkowana jest nie tylko przez obecność terminali gazowych. Istotnym ogniwem jest również odpowiednia flota statków do przewozu LNG, której rozwój w aspekcie zwiększenia efektywności i bezpieczeństwa dostaw stanowił zasadniczy cel artykułu.

Czynniki warunkujące rozwój transportu LNG drogą morską

W związku z przyspieszonym rozwojem gospodarki światowej szybko wzrasta zapotrzebowanie na energię, ale jednocześnie trwa walka ze wzrostem emisji gazów cieplarnianych. To sprzyja wzrostowi zapotrzebowania na gaz ziemny. Ze względu na przyjazność dla środowiska naturalnego, gaz ziemny uznawany jest za paliwo ekologiczne². Podczas spalania gaz ten emituje

do atmosfery znacznie mniej zanieczyszczeń niż węgiel, ropa lub inne paliwa kopalne³. Ponadto stanowi on doskonały surowiec do produkcji energii elektrycznej. Dla większości państw członkowskich Unii Europejskiej, zgodnie z zobowiązaniami podjętymi podczas szczytu klimatycznego w Kopenhadze w 2009 roku, wykorzystanie gazu jest skutecznym sposobem w dążeniu do ograniczenia emisji o 20% do roku 2020. Problemem pozostaje wyzwanie jakim jest ekonomicznie uzasadnione dostarczanie gazu ziemnego przy wydłużających się gazociągach. Wpływa to na zmiany charakteru dostaw ze wzrastającą rolą skroplonego gazu LNG.

Obrót skroplonym gazem ziemnym wymaga znacznych inwestycji. Wielkość kosztów w całym łańcuchu logistycznym LNG zależy od wielu czynników m.in. od: wielkości, złożoności i lokalizacji złóż, wydajności systemu oczyszczania i skraplania, odległości między terminalami, wybranej strategii realizacji projektu itp.⁴ Zgodnie z badaniami amerykańskich naukowców w strukturze kosztów LNG dla końcowego odbiorcy największą część stanowią koszty skroplenia i transportu gazu drogą morską. Koszty gazu transportowanego rurociągami są aktualnie niższe od morskich przewozów LNG. Z prognoz przyszłych dostaw wynika jednak, że będą one rosły ze względu na wyczerpywanie się blisko położonych złóż gazu. Tym samym punkt graniczny konkurencyjności gazociągu do transportu morskiego LNG - wraz z odległością - przesuwa się na korzyść LNG⁵.

Skraplanie gazów energetycznych w celu ich transportu stosuje się od wielu lat ze względu na przyjazność dla środowiska, możliwość pokrycia szczytowych zapotrzebowań na gaz, stabilność i bezpieczeństwo dostaw. Ważne znaczenie w tych procesach od-

¹ Dr, Urszula Motowidlak, Uniwersytet Łódzki, Wydział Ekonomiczno-Socjologiczny, Zakład Logistyki

² U. Motowidlak, *LNG jako alternatywne paliwo dla transportu*, Handel Wewnętrzny, listopad-grudzień 2013, tom I, Trendy, wyzwania i dylematy zrównoważonego rozwoju, s. 346-347.

³ S. Rychlicki, J. Siemek, *Kierunki dostaw gazu do Europy – stan aktualny i tendencje przyszłościowe*, „Polityka Energetyczna” 2007, Tom 10, Zeszyt specjalny 2, s. 114.

⁴ S. Trzop, *Hossa na nowe technologie w transporcie i magazynowaniu gazu ziemnego*, „Nowoczesne gazownictwo”, 2005 nr 3, s. 42-43.

⁵ Ibidem, s. 43-44.

grywa także wydajność LNG. Skraplanie jest procesem, w którym w wyniku odbierania ciepła para lub mieszanina różnych par przechodzi ze stanu gazowego w stan ciekły. Powoduje to zmniejszenie zajmowanej objętości o 230 do nawet 585 razy, przy tym samym ciśnieniu. Podczas skraplania gazu ziemnego jego objętość zmniejsza się 550 razy, a więc po regazyfikacji ze 100 m³ LNG uzyskuje się 55 tys. m³ gazu ziemnego. Ponadto gaz w terminalach eksportowych jest oczyszczany z domieszek CS₂, CO₂, H₂S, NO, NO₂, wody, rtęci itp. Przy schładzaniu z gazu wydzielana jest i odprowadzana większa część ciężkich węglowodorów⁶. LNG więc paliwem czystym, bez właściwości toksycznych i korozyjnych.

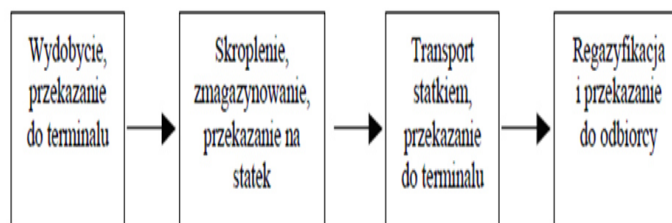
Ze względu na szeroko rozumiane bezpieczeństwo dostawy LNG gazowcami są bezpieczniejsze od dostaw rurociągami. Trasa magistralnych rurociągów zazwyczaj przebiega lub może przebiegać przez terytorium kilku państw, co powoduje obecność pomiędzy dostawcą a odbiorcą trzeciej strony - państwa tranzytowego. W dostawach LNG biorą udział tylko dwie strony, tj. dostawca i odbiorca, co wyklucza negocjacje w sprawie tranzytu i opłaty dodatkowych wysokich kosztów tranzytu. System rurociągowy, którego trasa przebiega przez terytorium kilku państw, jest bardziej narażony na niebezpieczeństwo, ponieważ nie zawsze te państwa są politycznie lub ekonomicznie stabilne.

Transport LNG drogą morską sprzyja nie tylko wzmocnieniu bezpieczeństwa energetycznego i dostaw gazu, ale również jest on bezpieczny dla środowiska. LNG jako ciecz nie jest ani substancją wybuchową, ani toksyczną, czy żrącą. Przy ewentualnej awarii gazowca na morzu otwartym, możliwość skażenia środowiska (wód morskich, gleby) jest bardzo niska, ponieważ podczas kontaktu z powietrzem, LNG odparowuje i rozrzedza się w nim, dlatego gaz w formie skroplonej jest znacznie mniej szkodliwym i niebezpiecznym paliwem niż np. ropa naftowa czy LPG. Nowoczesne technologie konstrukcji zbiorników LNG (typu "full-containment", "zbiornik w zbiorniku"), specjalne procedury oraz systemy zabezpieczeń, zapewniają wyjątkowo wysoki poziom bezpieczeństwa terminali regazyfikacyjnych⁷.

Należy jednak pamiętać o pewnych zagrożeniach związanych z transportem LNG. Jednym z tego rodzaju zagrożeń jest zjawisko zwane RPT (Rapid Phase Transition), czyli gwałtowna zmiana stanu skupienia możliwa do wystąpienia w przypadku obfitego, nagłego wycieku LNG do wody. Efekt RPT przyrównać można do eksplozji, choć jest on tylko gwałtownym wrzeniem. Powstają przy tym fale uderzeniowe w powietrzu i w wodzie, które spowodować mogą zniszczenia w bezpośrednim sąsiedztwie wydarzenia. Do tej pory nie zanotowano tego typu katastrof, a samo zjawisko zaobserwowano w trakcie prób laboratoryjnych, przy spełnieniu pewnych niezbędnych warunków⁸.

Wybrane cechy gazowców LNG

Transport LNG ma duże odległości najczęściej odbywa się drogą morską w specjalnie skonstruowanych do tego celu statkach zwanych gazowcami (metanowcami) LNG. Statki te stanowią istotne ogniwo łańcucha dostaw gazu i w dużym stopniu decydują o efektywności działań logistycznych. Łańcuch dostaw skroplonego gazu ziemnego LNG można opisać, jako sieć powiązanych ze sobą elementów infrastruktury technicznej i operacji technologicznych⁹. Schematyczny model łańcucha LNG przedstawiono na Rys. 1.



Rys. 1. Schemat ideowy transportowego „łańcucha LNG”

Źródło: Swędrak S., *Planowane terminale gazu LNG w portach polskich – rola transportowego dozoru technicznego eksploatacji morskich terminali gazowych*, Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej Gdynia 2006.

W skład infrastruktury łańcucha LNG, od miejsca pozyskania gazu do momentu dostarczenia go odbiorcy, wchodzi następujące ogniwa:

- podsystem wydobycia gazu,

⁶ S. Filin, B. Zakrzewski, *Światowy handel skroplonym gazem ziemnym (LNG) – stan obecny i kierunki rozwoju*, „Energetyka” 2006 nr 11 (629) 2006, s. 82.

⁷ O. Voytyuk, *Rozwój rynku LNG w Unii Europejskiej*, [w:] *Bezpieczeństwo energetyczne - rynki surowców i energii* pod red. P. Kwiatkiewicz, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Bezpieczeństwa w Poznaniu, Poznań 2012, s. 161.

⁸ M. Bagniewski, *LNG – własności i zastosowanie*, cz. 1, „The Maritime Worker” Nr 5 (30) wrzesień - październik 2011, s. 7.

⁹ D. Pielka, *Model łańcucha logistycznego dystrybucji LNG*, LogiTrans - VII Konferencja Naukowo-Techniczna Logistyka, Systemy transportowe, Bezpieczeństwo w transporcie, s. 303.

- podsystem obróbki gazu surowego przydatnego do produkcji LNG, magazynowania LNG wyprodukowanego w procesie skroplenia, transportu do terminalu wysyłkowego i załadunku na statek,
- podsystem transportu morskiego,
- podsystem regazyfikacji i włączania dostarczonego morzem gazu do krajowego systemu przesyłowego¹⁰.

W przygotowaniach LNG do międzynarodowych przewozów morskich stosowana jest z reguły specjalna technologia, zgodnie z którą gaz ziemny wydobyty ze złóż lądowych lub na szelfie dostarczany jest rurociągami do terminali rozmieszczonych na wybrzeżu. Gaz w tych terminalach jest oczyszczany i skraplany. LNG ze zbiorników jest pompowany na gazowce przez izolowany cieplnie rurociąg. Załadunek 150000 m³ gazu trwa od 10 do 12 godzin. LNG jest dowożony statkami do terminali odbiorczych, które oprócz urządzeń do rozładunku LNG są wyposażone w duże zbiorniki do przechowywania i regazyfikacji LNG z jednoczesnym podniesieniem ciśnienia gazu przed jego podaniem do rurociągów doprowadzających do odbiorców końcowych. Straty gazu (tzw. Boil Off Gas) podczas transportu i przeładunku wykorzystuje się do napędu statku. Możliwości produkcyjne odbiorczych terminali mieszczą się w granicach od 0,3 do 110 mln m³ gazu na dobę¹¹.

Metoda transportu skroplonego gazu ziemnego drogą morską rozwinęła się w świecie na początku lat 60. XX wieku. Pierwsze dostawy LNG do Europy miały miejsce w 1959 roku, kiedy to *Methane Pioneer* wypłynął z Lake Charles w Luizjanie (USA) w kierunku Wyspy Canvey (Wielka Brytania). Rejsy komercyjne zaczęły się w 1964 roku. Wielka Brytania jako pierwsze państwo w Europie rozpoczęła import skroplonego gazu. Transport morski LNG charakteryzuje się bardzo wysokim poziomem bezpieczeństwa. Wśród ponad 56 tys. zrealizowanych rejsów w sektorze tym nie odnotowano żadnego wypadku ani utraty ładunku¹².

Większość obecnie użytkowanych gazowców LNG została zaprojektowana do przewozu LNG w zbiornikach kulistych lub w zbiornikach membranowych. Statki posiadające zbiorniki kuliste wykonane są w technologii norweskiej firmy Kvaerner – Moss. Zbiorniki te nie są częścią konstrukcji kadłuba statku. Ustawiane są i mocowane do specjalnych elementów przytwierdzonych do kadłuba wewnętrznego. Statki posiadające zbiorniki membranowe wykonane są według francuskiej technologii nazwanej Gas Transport - Technigas. Wewnętrzna ściana zbiornika jest cienką membraną wykonaną z niskowęglowej stali nierdzew-

nej lub stopu (inwar) z wysoką zawartością niklu spoczywającą na mocnej izolacji, która oparta jest z kolei na konstrukcji statku¹³. Statki wykonane w tej technologii mogą być również wykorzystywane jako pływające jednostki do przechowywania i regazyfikacji w morskich terminalach odbiorczych. Obiekty pływające pozwalają więc na lokalizację terminali LNG na morzu. Statki LNG posiadające powyższe właściwości działają w Argentynie, Brazylii, Wielkiej Brytanii i USA.

Ze względów technicznych i ekonomicznych, typem zapewniającym najwyższą elastyczność operacyjną jest gazowiec membranowy. Ten typ statku przeważa w obecnej flocie gazowców LNG. Typowy nowoczesny statek LNG ma około 300 metrów długości i 43 m szerokości. Pojemność ładunkowa statków LNG może wahać się od 1000 m³ do 267000 m³, ale większość nowoczesnych statków (ok. 300 statków) charakteryzuje się ładownością w przedziale od 125000 m³ do 175000 m³. Z jednej strony daje się zauważyć wzrost pojemności ładunkowej zamawianych statków¹⁴ i wyrażane są opinie, że ekonomiczne uzasadniany statek powinien przewieźć od 175000 m³ do 250000 m³ skroplonego gazu¹⁵. Z drugiej strony rozwijane są znacznie mniejsze jednostki do obsługiwanego krótkich, przybrzeżnych tras transportu gazu. Statki mniejsze LNG o pojemności ładunkowej od 1000 do 25000 m³ pojemności działają w Norwegii i Japonii.

Stan współczesnej floty gazowców LNG

Współczesna flota tankowców LNG na koniec 2013 roku liczyła 393 statki, w tym 15 FSRUs/RV (pływające jednostki do składowania i regazyfikacji). W ogólnej liczbie gazowców LNG dominowały statki o pojemności od 130000 do 170000 m³ (301 jednostek). Natomiast statki o pojemności poniżej 50000 m³ stanowiły 24 jednostki. Podział statków ze względu na pojemność ładunkową przedstawiono na Rys. 2.

¹⁰ K. Kubiak, *Światowy rynek skroplonego gazu ziemnego*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach, 2010, Nr 87, Seria: Administracja i Zarządzanie, s. 100.

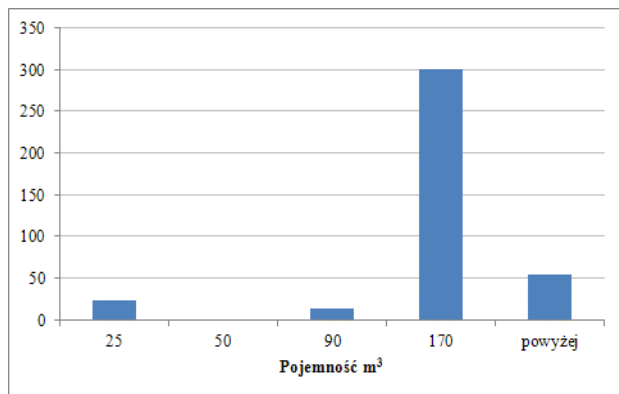
¹¹ S. Filin, B. Zakrzewski, *Światowy op. cit.*, s.

¹² *LNG Ships*, LNG Information Paper No. 3, The International Group of Liquefied Natural Gas Importers.

¹³ J. Sadowski, J. Pietkun, *Bezpieczeństwo transportu morskiego LNG*, LogiTrans - VII Konferencja Naukowo-Techniczna Logistyka, Systemy transportowe, Bezpieczeństwo w transporcie, Szczyrki 2010, s. 836-837.

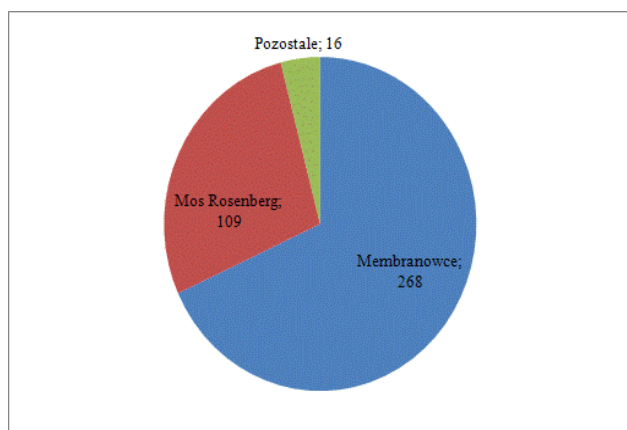
¹⁴ Pojemność ładunkowa nowo zamawianych jednostek wzrasta do 267000 m³ za: *LNG Information Paper No. 2*, The International Group of Liquefied Natural Gas Importers.

¹⁵ J. Sadowski, J. Pietkun, *Bezpieczeństwo op. cit.*, s. 837.



Rys. 2. Statki według pojemności ładunkowej (szt.)
Źródło: opracowano na podstawie *The LNG Industry in 2013*, International Group of Liquefied Natural Gas Importers.

Wśród eksploatowanej w 2013 roku floty LNG prawie 70% stanowiły membranowce (Rys. 3).



Rys. 3. Klasyfikacja tankowców LNG
Źródło: jak Rys. 2.

Całkowita zdolność przewozowa na koniec 2013 roku osiągnęła $56,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Operacyjna zdolność przewozowa wyniosła $55,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Średnia objętość dostawy wynosiła około 130000 m^3 .

W 2013 roku zrealizowano 3998 rejsów, tj. o 16 więcej niż 2012 roku (Tabela 1.).

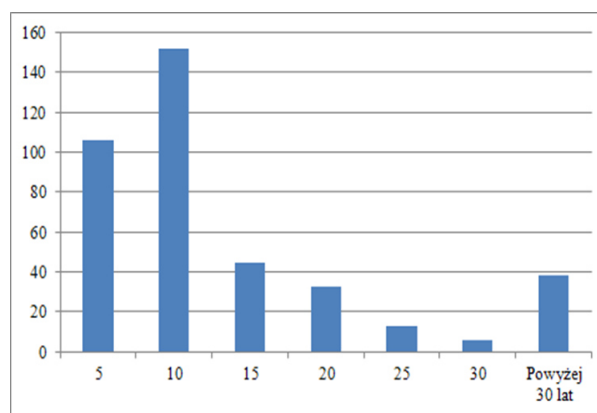
Tabela 1. Kierunki przewozu LNG drogą morską w latach 2012 i 2013

Wyszczególnienie	Liczba zrealizowanych rejsów	
	2012	2013
Japonia	1532	1533
Korea Południowa	616	568
Chiny	260	207
Chiny Taipei	204	206
Europa	661	846
Argentyna, Brazylia, Chile	224	180
Ameryka Północna	171	173
Indonezja, Malezja, Singapur i Tajlandia	bd.	82
Izrael, Kuwejcie i Dubaju	bd.	53

Źródło: jak Rys. 2.

W 2013 roku oddano do użytkowania 20 nowych tankowców LNG, w tym 17 statków stanowiły membranowce. Średnia pojemność ładunkowa nowo oddanych do użytkowania tankowców wynosiła 135000 m^3 . Jednocześnie w tym samym roku wycofano z eksploatacji i przekazano do złomowania 5 zbiornikowców LNG (Annabella, Galeomma, Marisa ex Isabella, LNG Delta, Norman Lady).

Biorąc pod uwagę strukturę wiekową (Rys. 3.), można stwierdzić, że ponad 65% ogółu użytkowanych statków LNG stanowią tankowce w kategorii wiekowej do 10 lat. Jednocześnie można zauważyć, że 10% tankowców LNG jest użytkowanych od ponad 30 lat. Wiąże się to z mniejszym korozyjnym oddziaływaniem skroplonego metanu na elementy konstrukcji statku. W porównaniu z ropą naftową czas eksploatacji gazowców LNG wynosi przeciętnie 40-50 lat i jest ponad dwukrotnie dłuższy niż tankowca.



Rys. 4. Grupy wiekowe tankowców LNG w 2013 r.
Źródło: jak Rys. 2.

Wzrost zainteresowania skroplonym paliwem gazowym skutkowało złożeniem w 2013 roku 113 nowych zamówień na gazowce. W światowej ofercie przyjętych do realizacji na kolejne lata zamówień znajduje się aż 98 jednostek, a których każda ma mieć pojemność powyżej 50000 m^3 . W 2014 roku zaplanowano zakończenie budowy 42 statków, w tym 6 jednostek FSRUs.

Podsumowanie

Rosnące zapotrzebowanie na gaz ziemny w skali światowej oraz fakt zbliżania się do osiągnięcia limitów przepustowości przez istniejące eksportowe gazociągi powoduje, że systematycznie rośnie podaż i popyt na skroplony gaz ziemny. Ze względu na różnorodne kryteria: własności chemiczne, ekonomiczne, środowiskowe i bezpieczeństwo LNG stanowi ważną alternatywę dla ropy naftowej, zarówno jako paliwo, jak i surowiec do produkcji energii. Określenie i wyodrębnienie procesów związanych z dystrybucją LNG pozwala na wskazanie roli transportu jako jednego z elementów łańcucha logistycznego. Od momentu pierw-

szych regularnych rejsów obserwujemy systematyczny rozwój floty transportującej skroplony gaz ziemny drogą morską, która charakteryzuje się bardzo wysokim poziomem bezpieczeństwa. Zwiększający się obrót skroplonym gazem ziemnym skutkuje nowymi zamówieniami na budowę kolejnych gazowców.

Streszczenie

Gaz ziemny cieszy się coraz większą popularnością. Ograniczone możliwości zastosowania rurociągów do przesyłu gazu ziemnego wymuszają rozwój technologii masowego transportu w postaci ciekłej lub sprężonej. Analizy przeprowadzone przez Gas Technology Institute wskazują, że transport morski LNG cechuje się większą opłacalnością w porównaniu z rurociągiem podwodnym przy odległości powyżej 700 mil morskich oraz w porównaniu z rurociągiem lądowym przy odległości powyżej 2200 mil morskich.

Sprawność funkcjonowania łańcucha dostaw LNG warunkowana jest nie tylko przez obecność terminali gazowych. Istotnym ogniwem jest również odpowiednia flota statków do przewozu LNG, której aktualny stan przedstawiono w artykule.

Abstract

Natural gas is becoming more and more popular. Limited applicability of pipelines for natural gas imply the development of technologies of mass transport in the liquid or compressed form. Analyses carried out by the Gas Technology Institute indicate that maritime transport of LNG is characterized by a higher profitability compared to the underwater pipeline at a distance of over 700 miles offshore and in comparison to onshore pipeline to a distance of over 2200 miles at sea.

The efficiency of the operation of the LNG supply chain is dependent not only on the presence of gas terminals. An important link is also a suitable fleet of vessels to transport LNG, whose current status is shown in the article.

Literatura

- Bagniewski M., LNG – własności i zastosowanie, cz. 1, The Maritime Worker Nr 5 (30) wrzesień - październik 2011.
- Filin S., Zakrzewski B., Światowy handel skroplonym gazem ziemnym (LNG) – stan obecny i kierunki rozwoju, Energetyka 2006 nr 11 (629) 2006.
- Kubiak K., Światowy rynek skroplonego gazu ziemnego, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach, 2010, Nr 87, Seria: Administracja i Zarządzanie.
- LNG Information Paper No. 2, The International Group of Liquefied Natural Gas Importers
- LNG Ships, LNG Information Paper No. 3, The International Group of Liquefied Natural Gas Importers.
- Motowidlak U., LNG jako alternatywne paliwo dla transportu, „Handel Wewnętrzny”, listopad-grudzień 2013, tom I, Trendy, wyzwania i dylematy zrównoważonego rozwoju.
- Pielka D., Model łańcucha logistycznego dystrybucji LNG, LogiTrans - VII Konferencja Naukowo-Techniczna Logistyka, Systemy transportowe, Bezpieczeństwo w transporcie, Szczyrk 2010.
- Rychlicki S., Siemek J., Kierunki dostaw gazu do Europy – stan aktualny i tendencje przyszłościowe, „Polityka Energetyczna” 2007, Tom 10, Zeszyt specjalny 2.
- Sadowski J., Pietkun J., Bezpieczeństwo transportu morskiego LNG, LogiTrans - VII Konferencja Naukowo-Techniczna Logistyka, Systemy transportowe, Bezpieczeństwo w transporcie.
- The LNG Industry in 2013, International Group of Liquefied Natural Gas Importers.
- Trzop S., Hossa na nowe technologie w transporcie i magazynowaniu gazu ziemnego, „Nowoczesne gazownictwo”, 2005 nr 3.
- Voytyuk O., Rozwój rynku LNG w Unii Europejskiej, [w:] Bezpieczeństwo energetyczne - rynki surowców i energii pod red. P. Kwiatkiewicz, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Bezpieczeństwa w Poznaniu, Poznań 2012.