

Joanna Zaleska-Bartosz, Piotr Klimek
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Łańcuch dostaw skroplonego gazu ziemnego – aspekty ekologiczne

Wprowadzenie

Skroplony gaz ziemny – LNG (*Liquefied Natural Gas*) to gaz, który w wyniku schłodzenia do temperatury -163°C przechodzi w stan ciekły. Jego objętość jest wówczas ponad 600 razy mniejsza niż w przypadku postaci lotnej. Skraplanie gazu ziemnego jest poprzedzone jego bardzo dokładnym oczyszczeniem z dwutlenku węgla, azotu, wody, rtęci, itp. Skroplony gaz ziemny, dzięki zmniejszonej objętości w wyniku skroplenia, można transportować na duże odległości w zbiornikach kriogenicznych – np. drogą morską (specjalnymi statkami – metanowcami) lub drogą lądową (cysternami samochodowymi) – bez konieczności budowy kosztownych gazociągów.

Początki światowego handlu LNG przypadają na lata pięćdziesiąte ubiegłego wieku. Pierwsza międzynarodowa

dostawa skroplonego gazu ziemnego została zrealizowana w 1959 r. – surowiec ten przetransportowano wówczas z USA do Wielkiej Brytanii. Kolejne dostawy, z Algierii do Wielkiej Brytanii i Francji, miały miejsce w latach 1964–1965. Znaczny wzrost handlu LNG przypada na rok 1969, kiedy to surowiec ten rozpoczęto dostarczać do Japonii z Alaski i Brunei, a później z Indonezji, Malezji i Australii. W związku z kryzysem naftowym w latach siedemdziesiątych XX wieku wzrosło zainteresowanie LNG [3]. Zużycie skroplonego gazu ziemnego rosło szybciej niż zużycie gazu ziemnego przesyłanego gazociągami. Na wzrost znaczenia LNG miała także wpływ lokalizacja złóż gazu w tych rejonach świata, które trudno było połączyć rurociągami z krajami będącymi odbiorcami tego paliwa.

Łańcuch dostaw LNG – aspekty ekologiczne

Wydobycie gazu ziemnego, produkcja LNG, transport, regazyfikacja oraz jego użytkowanie wiążą się z wykorzystaniem szeregu technologii, z których każda w pewnym stopniu oddziałuje na środowisko. Wszystkie te etapy składają się na tzw. „łańcuch dostaw LNG”.

Głównymi ogniwami łańcucha dostaw LNG są:

- prace poszukiwawczo-rozpoznawcze, wydobycie gazu ziemnego oraz jego transport do zakładu produkcji LNG (skraplania gazu ziemnego),
- skraplanie gazu ziemnego do LNG, magazynowanie i załadunek na środki transportu (statki/cysterny),
- transport morski i/lub lądowy do punktów odbioru (stacji regazyfikacji),
- regazyfikacja LNG oraz nadanie mu parametrów gazu systemowego,

- dostawa do odbiorców końcowych (użytkowników) gazowniczym systemem przesyłowym i dystrybucyjnym.
- Stopień oddziaływania na środowisko dwóch pierwszych ogniw, tj. prac poszukiwawczo-rozpoznawczych oraz eksploatacji złóż gazu ziemnego, uzależniony jest od skali przedsięwzięcia, a więc od: wielkości obszaru objętego poszukiwaniami, wrażliwości poszczególnych elementów środowiska na zmiany związane z prowadzeniem prac geologicznych (sejsmicznych oraz wiertniczych), wielkością wydobywania, rodzajem wydobywanego gazu, a także procesami technologicznymi koniecznymi do jego oczyszczenia oraz uzdatnienia przed transportem i dostarczeniem do odbiorcy. Wszystkie te przedsięwzięcia są przedmiotem ocen oddziaływania na środowisko, prowadzonych na etapie udzielania zezwoleń na wykony-



Rys. 1. Łańcuch dostaw LNG. Źródło: [2]

wanie tego rodzaju działalności (koncesji oraz pozwoleń na budowę).

Oddziaływanie na środowisko pozostałych ogniw łańcucha dostaw LNG uzależnione jest od wielkości instalacji oraz miejsca jej usytuowania.

Generalnie, instalacje skraplania gazu oraz jego regazyfikacji dzieli się umownie na instalacje:

- wielkotonażowe, dużej skali (powyżej 300 ton LNG/dobę), do realizacji dostaw międzynarodowych i międzykontynentalnych drogą morską (tzw. terminale LNG),
- średnie (do 300 ton LNG/dobę), o znaczeniu regionalnym, powiązane z siecią dystrybucji LNG transportem lądowym,
- małe (do 20 ton LNG/dobę), o znaczeniu lokalnym.

Wielkotonażowe instalacje do realizacji dostaw LNG (tj. terminale nadawcze wyposażone w instalacje do skraplania gazu ziemnego), a także terminale odbiorcze LNG z instalacjami do jego regazyfikacji, budowane są na wrażliwych pod względem przyrodniczym nabrzeżach morskich. Ze względu na ochronę tych terenów, miejsce lokalizacji inwestycji jest bardzo istotne. Zarówno etap budowy terminalu, jak również jego późniejsza

eksploatacja nie mogą narażać na zniszczenie cennych elementów przyrodniczych, istotnych z punktu widzenia wymagań ochrony środowiska. Porty gazowe muszą być usytuowane w takich miejscach, aby nie stanowiły zagrożenia dla okolicznych mieszkańców, a także same nie były narażone na działanie takich czynników jak silne wiatry, powodzie czy ruchy tektoniczne. Wielkość terenu zajmowanego przez gazoport zależy od jego pojemności magazynowej, złożoności infrastruktury oraz konieczności zachowania bezpiecznych odległości między poszczególnymi obiektami.

Budowa terminalu LNG wraz z gazoportem jest ogromnym przedsięwzięciem inwestycyjnym, charakteryzującym się znaczną ingerencją w środowisko morskie oraz lądowe. Konwencjonalny port rozładunkowy składa się z części morskiej, tj. przystani przeładunkowej gazu skroplonego, falochronów i obrotnicy statków, oraz tzw. „części lądowej”, której elementami są: instalacja odparowania LNG, stacja pomp do tłoczenia skroplonego gazu, system rurociągów przesyłowych wraz z przyłączem do systemu gazowniczego oraz naziemne lub podziemne zbiorniki kriogeniczne, służące do magazynowania gazu.

Emisje gazów cieplarnianych z łańcucha dostaw LNG

Ocena wpływu na środowisko naturalne całego cyklu dostaw LNG – tj. wszystkich etapów: od momentu wydobywania gazu ziemnego ze złóż, poprzez jego skroplenie, transport, regazyfikację, a następnie dystrybucję i użytkowanie – jest zadaniem bardzo trudnym. Brak jest miarodajnych danych obrazujących wpływ na środowisko poszczególnych ogniw w łańcuchu dostaw LNG; nie można także dokonać ich ujednoczenia, ze względu na różnice w środowiskach, w których realizowane są te same operacje, stanowiące kolejne etapy w tym łańcuchu. Ocenę środowiskową całego cyklu można przeprowadzić dopiero wówczas, gdy są znane konkretne lokalizacje poszczególnych etapów.

Nieco łatwiej przeanalizować zagadnienia ekologiczne związane z łańcuchem dostaw LNG wybierając jeden czynnik, pod kątem którego można ocenić wpływ całego łańcucha na globalny stan środowiska. Służyć temu może

środowiskowa ocena cyklu życia (LCA – *Life Cycle Assessment*), sporządzana pod kątem emisji gazów cieplarnianych (CO_2 i CH_4 w przeliczeniu na CO_2) występujących na wszystkich etapach łańcucha dostaw LNG [4].

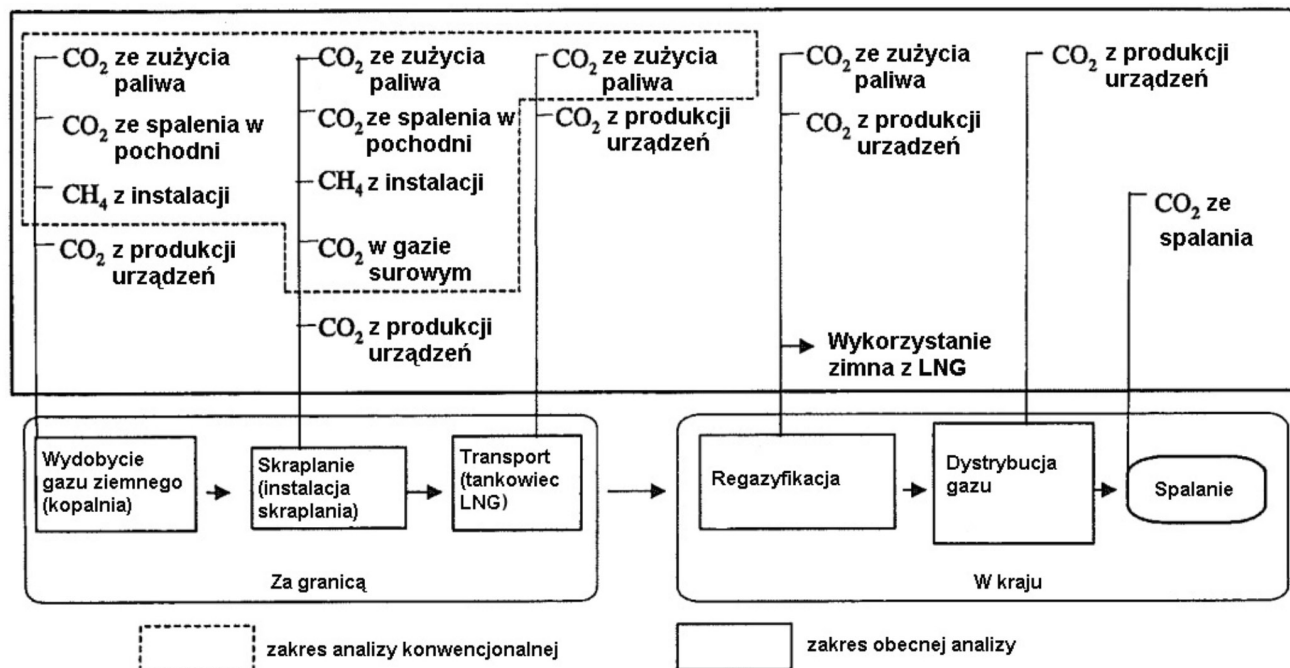
Źródła emisji CO_2 z poszczególnych ogniw łańcucha dostaw LNG przedstawia rysunek 2.

Tamura i inni [4] przeanalizowali emisję CO_2 z łańcucha dostaw LNG biorąc pod uwagę jego dostawy z pięciu krajów, eksportujących skroplony gaz ziemny do Japonii.

Analizę przeprowadzono dla trzech głównych segmentów składających się na łańcuch dostaw LNG:

- 1) wydobywanie gazu ziemnego i skraplanie go do LNG,
- 2) transport LNG,
- 3) regazyfikację LNG, korektę wartości opałowej, dystrybucję i spalanie gazu.

Przy szacowaniu emisji CO_2 oraz CH_4 na etapie wydobywania i skraplania gazu ziemnego posłużono się danymi



Rys. 2. Analiza cyklu życia CO₂ z łańcucha dostaw LNG. Źródło: [4]

źródłowymi opartymi na badaniach terenowych przeprowadzonych w roku 1998. Emisję wyrażono w gramach emitowanego pierwiastka węgla, przypadającego na jednostkę wartości opałowej paliwa [g(C)/MJ]. W obliczeniach uwzględniono potencjał tworzenia efektu cieplarnianego (GWP) dla CH₄, w odniesieniu do ekwiwalentu CO₂ (21-krotnie wyższego niż CO₂). Wykonane przez Tamurę i in. badania oraz obliczenia wskazują, że łączne emisje CH₄ z procesu produkcji i skraplania wynoszą 0,2 g(C)/MJ. Jest to niższy poziom w porównaniu do wartości 0,6÷3,5 g(C)/MJ, którą wskazują globalne dane statystyczne, publikowane m.in. przez Międzynarodowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC) [1].

Źródłem emisji CO₂ w trakcie transportu LNG jest spalanie paliwa stosowanego do napędu metanowców. W cytowanym opracowaniu Tamury i in. [4] wykorzystano dane o faktycznym zużyciu paliwa przez transportujące LNG statki, kursujące między Japonią a Bontang w Indonezji – największym eksporterem LNG do Japonii. Na podstawie danych dotyczących: średniego wolumenu ładunku LNG, wolumenu LNG odparowanego (BOG) oraz ilości oleju opałowego zużytego podczas transportu i obsługi ładunku, oszacowana intensywność emisji CO₂ w przeliczeniu na tonę LNG wyniosła 2,4 g(C)/t/km. Po konwersji tych danych przez średnią ważoną odległość dzielącą eksportera i importera LNG, obliczona emisja CO₂ towarzysząca transportowi morskemu wyniosła 0,4 g(C)/MJ, w przeliczeniu na gaz o wartości opałowej 46 MJ/Nm³ otrzymany z LNG.

Analiza przeprowadzona przez Tamurę i in. wykazała, że zużycie paliwa na potrzeby procesu regazyfikacji LNG jest źródłem emisji CO₂ rzędu 0,1 g(C)/MJ. Zakładając wykorzystanie energii kriogenicznej do procesu separacji powietrza można jednak uzyskać obniżenie zużycia energii potrzebnej do procesu regazyfikacji, a więc także redukcję emisji CO₂ – wyliczenia Tamury i in. pokazały, że redukcja ta może wynieść nawet 0,1 g(C)/MJ.

W analizie LCA uwzględniono także emisje CO₂ będące skutkiem wytwarzania instalacji i urządzeń wykorzystywanych na wszystkich etapach łańcucha dostaw LNG; tak w Japonii, jak i poza jej granicami. Wyliczona emisja CO₂ z produkcji instalacji wyniosła 0,12 g(C)/MJ.

Wyniki analizy emisji gazów cieplarnianych z całego cyklu życia LNG (łącznie z przygotowaniem gazu do dystrybucji i jego spalaniem u odbiorcy) zestawiono w tablicach 1 i 2.

Obliczono, że emisje gazów cieplarnianych z łańcucha LNG – łącznie z przygotowaniem gazu do dystrybucji i spalaniem go u odbiorcy końcowego – wynoszą 16,81 g(C)/MJ w ekwiwalencie CO₂.

Obliczone przez Tamurę i in. emisje gazów cieplarnianych w ramach całego cyklu życia LNG, przy uwzględnieniu emisji związanych z wytworzeniem materiałów do budowy instalacji i urządzeń, wynoszą 16,93 g(C)/MJ – wynik ten jest o około 10% niższy od przytaczanych w wielu innych publikacjach. Zdaniem autorów badań, przyczyny tego są następujące [4]:

- W rzeczywistości emisje CH₄ towarzyszące wydobywaniu

Tablica 1. Emisje gazów cieplarnianych z cyklu życia LNG

Etapy cyklu życia	Intensywność emisji [g(C)/MJ] ^a
1. Wydobycie gazu ziemnego ^b	0,25
2. Skraplanie ^b	1,63
3. CO ₂ z gazu surowego	0,46
4. Transport LNG	0,42
5. Regazyfikacja i procesy towarzyszące	
– zużycie paliwa	0,07
– wykorzystanie energii kriogenicznej LNG	–0,08
6. Korekta wartości opałowej ^c	0,11
Podsumowanie procesów produkcji, transportu i regazyfikacji LNG	2,86
Spalanie u odbiorcy końcowego	13,95
Razem	16,81

a – gaz do dystrybucji: ekwiwalent CO₂ przez wartość opałową gazu ziemnego w rurociągach sieci dystrybucyjnej. LNG: Ekwiwalent CO₂ przez wartość opałową LNG na etapie rozładunku.

b – łączne emisje CO₂ ze spalania paliwa, spalania w pochodni oraz emisje CH₄ z zaworów upustowych.

c – emisje gazów cieplarnianych z produkcji i transportu LPG, dodawanego w celu korekty wartości opałowej.

Źródło: na podstawie [4]

Tablica 2. Emisje gazów cieplarnianych z produkcji elementów instalacji łańcucha LNG

Instalacje związane z poszczególnymi etapami produkcji LNG	Intensywność emisji [g(C)/MJ]
Wydobycie gazu ziemnego	0,001
Skraplanie	0,004
Transport LNG	0,008
Regazyfikacja i procesy towarzyszące	0,005
Dystrybucja gazu	0,102
Razem	0,121

Źródło: na podstawie [4]

gazu są niewielkie. Potwierdziły to przeprowadzone po raz pierwszy w Japonii i na świecie badania terenowe na eksploatowanych złożach gazu ziemnego. Badania przeprowadzone w terminalach skraplania gazu ziemnego pokazały również, że w zakładach produkujących LNG emitowany do atmosfery CH₄ w większości przypadków jest ujmowany i wprowadzany z powrotem do linii paliwowej lub po skolektorowaniu spalany w pochodniach. W związku z tym emisje CH₄ – zarówno na etapie wydobycia gazu, jak i produkcji LNG – są niewielkie i wynoszą jedną szóstą szacowanej dotychczas wielkości, określanej na 1% wydobywanego gazu ziemnego.

- Zapotrzebowanie na energię niezbędną do procesu skraplania jest niższe niż przedstawiane w dotychczasowych analizach. Zużycie gazu potrzebnego do wytworzenia energii koniecznej do produkcji LNG wynosi około 8,8% całkowitej ilości gazu poddanego procesowi skraplania. Wynika to z działań podejmowanych w zakładach produkujących LNG w celu poprawy efektywności wykorzystania energii (np. zastosowania kogeneracji).
- Uwzględniany w analizach gaz ziemny zawierał stosunkowo nieduże ilości CO₂ – było to podyktowane własnościami gazu ziemnego wydobywanego ze złóż, z których produkowany jest LNG dostarczany do Japonii. W przypadku zmiany dostawców LNG i w konsekwencji zmiany składu importowanego surowca, uzyskane dane będą musiały zostać poddane ponownej ocenie.

Wnioski końcowe

Ocena cyklu życia LCA jest jedną z technik służących szacowaniu potencjalnego oddziaływania na środowisko, a jednym z jej głównych założeń jest dążenie do wskazania wszystkich czynników związanych z danym przedsięwzięciem lub produktem, mogących wpłynąć na degradację środowiska naturalnego.

Niewątpliwie analiza LCA stanowi cenne narzędzie i posiada szeroki zakres zastosowań, lecz – jak każda z metod – obarczona jest także pewnymi ograniczeniami; jednym z nich jest brak możliwości ujmowania efektów lokalnych towarzyszących realizacji danego przedsięwzięcia, natomiast pozwala ona na ocenę oddziaływania na

środowisko w skali globalnej. Badania LCA mogą zatem służyć porównywaniu pod względem skutków dla środowiska alternatywnych produktów i technologii, np. dostaw gazu ziemnego za pośrednictwem LNG i bezpośrednich dostaw gazu ziemnego systemem gazociągowym. Są one dobrym narzędziem wspomagania decyzji w przemyśle, ułatwiającym wskazanie produktu lub procesu, który w najmniejszym stopniu wpływa na środowisko. Nie zastąpią jednak ocen oddziaływania na środowisko sporządzanych dla konkretnych lokalizacji danych przedsięwzięć, bo tylko te mogą uwzględnić cechy charakteryzujące dane środowisko oraz jego wrażliwość na czynione w nim zmiany.

Badania LCA mogą natomiast stanowić dobre uzupełnienie takich ocen.

Dzięki analizie środowiskowej całego cyklu życia produktu – tj. począwszy od wydobycia surowców, ich transportu, poprzez procesy wytwórcze, aż po użytkowanie danego produktu – można wskazać miejsca generujące największe zagrożenie dla środowiska, co umożliwia zminimalizowanie tego negatywnego wpływu poprzez doskonalenie technologii w najbardziej uciążliwej dla środowiska fazie

życia produktu (procesu). Jak wykazała analiza LCA przeprowadzona przez Tamurę i in., najbardziej neuralgicznym ogniwem w łańcuchu dostaw LNG pod względem ilości emitowanych gazów cieplarnianych (przeliczonych na ekwiwalent CO₂) jest – w związku z dużym zużyciem gazu opałowego – etap skraplania. Odzysk ciepła, wprowadzenie w zakładach skraplania gazu systemów kogeneracji oraz wykorzystanie energii kriogenicznej LNG w terminalach odbiorczych, w skali globalnej emisję te rekompensuje.

Artykuł nadesłano do Redakcji 4.07.2011 r. Przyjęto do druku 4.08.2011 r.

Recenzent: dr inż. Andrzej Froński, prof. INiG

Literatura

- [1] *Green house gas inventory reference manual*. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, vol. 3, 1995.
- [2] *LNG safety and security*. University of Houston Law Center, 2003.
- [3] Olkusiński T.: *Światowy rynek LNG*. Polityka Energetyczna, Tom 8, Wyd. Instytutu GSMiE PAN, Kraków, s. 421–430, 2005.
- [4] Tamura I., Tanaka T., Kagajo T., Kuwabara S., Yoshioka T., Nagata T., Kurahashi K., Ishitani H.: *Life cycle CO₂ analysis of LNF and city gas*. Applied Energy, 68, 301–319, 2001.



Mgr inż. Joanna ZALESKA-BARTOSZ – chemik, absolwentka AGH. Starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Technologii Energii Odnawialnych Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie. Realizuje prace dotyczące ochrony środowiska w górnictwie nafty i gazu oraz gospodarce komunalnej (w tym raporty OOS,) a także związane z odgazowaniem składowisk odpadów komunalnych.



Mgr inż. Piotr KLIMEK – asystent w Zakładzie Technologii Energii Odnawialnych INiG. Absolwent Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej oraz Wydziału Zarządzania AGH w Krakowie. Zajmuje się problematyką energetycznego wykorzystania biogazu, w tym aspektami ekonomicznymi. Od 2004 roku bierze czynny udział w realizacji międzynarodowych projektów badawczych.

ZAKŁAD TECHNOLOGII ENERGII ODNAWIALNYCH

- prognozowanie produktywności gazowej składowisk odpadów komunalnych i ich weryfikacja poprzez testy aktywnego odgazowania;
- opracowanie koncepcji technologicznych instalacji do odgazowania składowisk i utylizacji biogazu, wraz z doradztwem technicznym oraz oceną ekonomiczną energetycznego wykorzystania gazu;
- projektowanie i wykonawstwo instalacji odgazowania składowisk odpadów komunalnych;
- prowadzenie monitoringu składowisk odpadów;
- ocena zagrożeń powodowanych ekshalacjami metanu (złoża węglowodorów, składowiska odpadów);
- projektowanie instalacji automatycznego monitoringu powietrza glebowego;
- opracowanie raportów o oddziaływaniu na środowisko przedsięwzięć branży górnictwa nafty i gazu, gazownictwa oraz gospodarki odpadami;
- przygotowywanie wniosków o pozwolenia zintegrowane dla składowisk odpadów oraz instalacji objętych obowiązkiem uzyskania tych pozwoleń.

Kierownik: mgr inż. Jerzy Dudek

Adres: ul. Bagrowa 1, 30-733 Kraków

Telefon: 12 660-36-07, 12 653-25-12 w. 127

Fax: 12 650-77-50, 12 653-16-65

E-mail: jerzy.dudek@inig.pl

