

Zbigniew A. Tałach
Marek Rudkowski
Stowarzyszenie Naukowo-Techniczne
Inżynierów i Techników
Przemysłu Naftowego i Gazowniczego

Skroplony gaz ziemny LNG perspektywą energetyczną dla Polski

1. Wstęp

Rozwój polskiego gazownictwa w pierwszym okresie oparty był na gazach sztucznych, głównie na gazie miejskim. Na przełomie ubiegłego wieku wprowadzono powszechnie gaz ziemny wysokometanowy rozprowadzany wspólną siecią. Od tego czasu datuje się w naszym kraju wzrost zużycia gazu ziemnego w przemyśle i gospodarstwie komunalnym, co spowodowało konieczność importu tego nośnika energii. Dlatego w związku ze stale rosnącym importem gazu ziemnego a także polityką niezależności energetycznej, bardzo ważnym problemem jest zagadnienie dywersyfikacji dostaw gazu dla potrzeb krajowych.

Jedną z alternatyw dywersyfikacji dostaw jest dostarczanie skroplonego gazu ziemnego LNG drogą morską z innych krajów, głównie z krajów Zatoki Perskiej, zwłaszcza że jedna czwarta gazu ziemnego, którym handluje się na skalę światową, jest transportowana właśnie w stanie ciekłym – LNG (Liquid Natural Gas).

Podjęta w Polsce decyzja o budowie w Świnoujściu gazoportu jest jedną z alternatyw związanych z dostawą gazu ziemnego dla krajowego systemu gazowniczego. Projekt budowy gazoportu w Świnoujściu został wsparty przez Unię Europejską jako polski projekt uniezależnienia energetycznego krajów członkowskich UE.

Powołana została firma Polskie LNG S.A., która nadzoruje budowę i w przyszłości będzie eksploatować terminal skroplonego gazu ziemnego. Nowy terminal gazoportu pozwoli na odbiór do 5 mld m³ gazu ziemnego rocznie, co zapewni 30 % zapotrzebowania na gaz ziemny wysokometanowy w Polsce.

W związku z podjęciem tak poważnej inwestycji budowy gazoportu i przewidywanych dużych dostaw LNG na rynek krajowy, podejmuje się szereg działań w zakresie praktycznego wykorzystania LNG, w formie budowy lokalnych stacji regazyfikacji

LNG, wykorzystania skroplonego gazu ziemnego w przemyśle, budowy infrastruktury stacji tankowania pojazdów samochodowych skroplonym gazem ziemnym, rozbudowę infrastruktury transportu kołowego, kolejowego LNG w takie obszary kraju, gdzie dotychczas nie wykorzystywano gazu ziemnego jako ekologicznego paliwa.

Innym niezwykle ważnym zagadnieniem jest opracowanie krajowych przepisów prawnych i wytycznych dotyczących bezpiecznej eksploatacji instalacji kriogenicznych skroplonego gazu ziemnego LNG.

Dokonano już pierwszej próby usystematyzowania pojęć i przepisów stosowanych w instalacjach skroplonego gazu ziemnego na podstawie doświadczeń i standardów takich krajów jak Stany Zjednoczone Ameryki Północnej – USA, Kanady, Australii, w których skroplony gaz ziemny LNG wykorzystywany jest od około 50 lat. Obecnie trwają dalsze prace studialne i analizy nad tym niezwykle ważnym zagadnieniem dla polskiej energetyki gazowej.

2. Właściwości skroplonego gazu ziemnego LNG

Skroplony gaz ziemny LNG z ang. Liquefied Natural Gas, występuje w temperaturze poniżej $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ (temperatura wrzenia przy ciśnieniu atmosferycznym) i składa się głównie z czystego metanu. Skroplony gaz ziemny LNG jest cieczą bezbarwną, bezwoną i nietoksyczną, przechowywaną i transportowaną pod ciśnieniem atmosferycznym (lub niewielkim nadciśnieniem 2-3 bar) w specjalnych zbiornikach kriogenicznych.

LNG to czysty gaz ziemny składający się głównie z metanu i małej ilości etanu i trochę cięższych węglowodorów. W skroplonym gazie ziemnym mogą być również rozpuszczone niewielkie ilości azotu, który często występuje w gazie ziemnym. Ze względu na to, że LNG występuje w niskiej temperaturze i pobiera ciepło z otoczenia, jest przechowywany w izolowanych zbiornikach kriogenicznych. Podczas skraplania gazu ziemnego objętość redukuje się 630 razy, dzięki czemu "gęstość energii" znacznie wzrasta, co jest zjawiskiem bardzo korzystnym przy dystrybucji i transporcie LNG; z 1 m^3 LNG można uzyskać ponad 600 m^3 gazu możliwego do przesyłu w sieci dystrybucyjnej.

W Tabeli 1 przedstawiono właściwości fizykochemiczne skroplonego gazu ziemnego LNG.

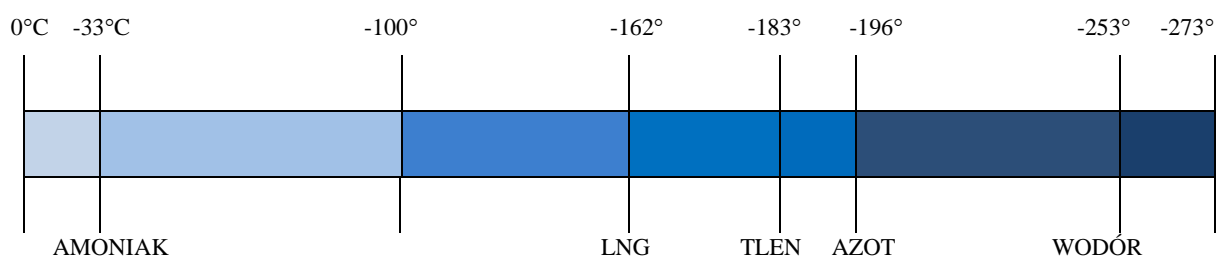
Tabela 1. Podstawowe właściwości fizykochemiczne skroplonego gazu ziemnego

Lp.	Właściwość	Wartość
1.	Masa cząsteczkowa	16,4 g
2.	Barwa, zapach	bezbarwny, bezwonny
3.	Temperatura wrzenia (1013 hPa)	- 169,5°C
4.	Gęstość cieczy (-169,5 °C)	450,36 kg/m ³
5.	Ciepło spalania	39,26 MJ/m ³
6.	Wartość opałowa	35,40 MJ/m ³
7.	Liczba oktanowa	130

LNG jest to bardzo dobry nośnik energii, który może być wykorzystane w wielu obszarach gospodarki, a ze względu na wysoką liczbę oktanową 130 oraz duży stopień czystości może być wykorzystywany jako paliwo silnikowe w transporcie samochodowym.

Zarówno zbiorniki jak i instalacje LNG muszą spełniać warunki urządzeń kriogenicznych w zakresie procesów, urządzeń, zbiorników i instalacji używanych do produkcji i przechowywania oraz dystrybucji LNG. Warto zwrócić uwagę, że w technice stosuje się też inne instalacje kriogeniczne takie jak instalacje ciekłego wodoru, tlenu i azotu.

Na Rys. 1 przedstawiono wykres temperatur z punktami wrzenia dla poszczególnych cieczy kriogenicznych powszechnie stosowanych w technice i technologiach niskotemperaturowych.



Rys. 1. Wykres temperatur z punktami wrzenia dla poszczególnych cieczy kriogenicznych

Duży stosunek objętości gazu do objętości cieczy (630:1) sprawia, że przechowywanie gazu w stanie ciekłym jest efektywne. Stan ciekły umożliwia alternatywne metody transportowania szczególnie tam, gdzie użycie konwencjonalnych gazociągów nie jest

możliwe. LNG ze względu na swoje właściwości klasyfikowany jest w normach i standardach jako płyn niebezpieczny i łatwopalny. Ze względu na swoje właściwości skroplony gaz ziemny znajduje szerokie zastosowanie w przemyśle, energetyce, gospodarce komunalnej i transporcie.

3. Techniczne problemy skraplania gazu ziemnego

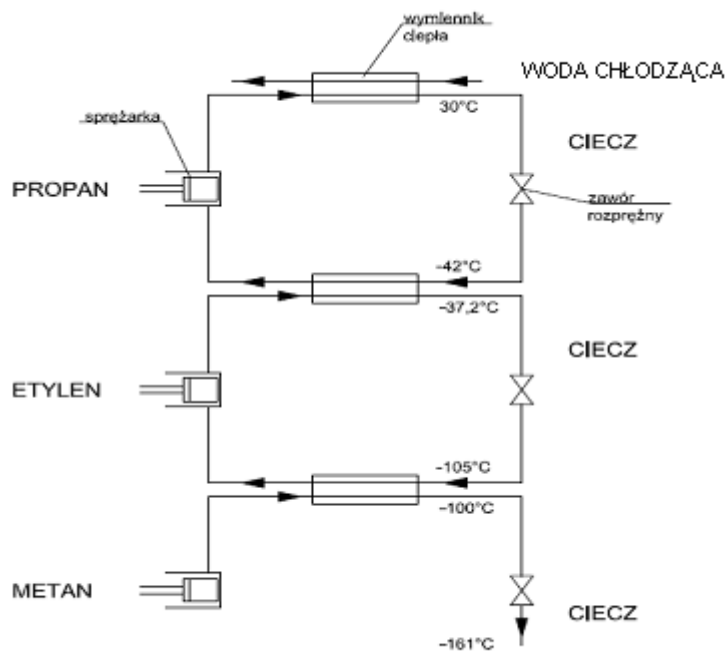
3.1 Instalacje skraplania gaz ziemnego

Przygotowanie gazu ziemnego do skraplania polega na usunięciu zanieczyszczeń, które mogą mieć wpływ na bezpieczeństwo instalacji LNG. Przy oczyszczaniu i przygotowaniu gazu należy usunąć przede wszystkim wodę, dwutlenek węgla, związki siarki i zawieszinę oleju, a także inne zanieczyszczenia znajdujące się w gazie. Zanieczyszczenia te usuwa się najczęściej metodą ekstrakcji w bardzo niskich temperaturach, przy pomocy sit molekularnych i innego materiału adsorbującego.

Adsorpcja odbywa się najczęściej na sitach molekularnych, aktywnym aluminium lub aktywnym węglu. Do płynnych absorbentów należy monoetanolamina, glikol trójetylenowy i mrożony metanol. Metody mrożenia obejmują również usuwanie ciał stałych po skropleniu metanu. W instalacjach oczyszczania i przygotowywania gazu znajdują się takie urządzenia jak filtry, separatory cieczy i gazu oraz eliminatory mgły, mechaniczne urządzenia, takie jak pompy i zawory oraz zbiorniki ciśnieniowe, takie jak wieże i urządzenia do wymiany ciepła oraz wymienniki ciepła.

Szczegółowe wymagania dotyczące przeglądów instalacji oczyszczania i przygotowywania gazu ziemnego zawarte są w normie AGA X01084 "Przewodnik konserwacji profilaktycznej LNG (skroplonego gazu ziemnego)", wydanie 1984, oraz innych dokumentach amerykańskich, takich jak normy NFPA.

Można stosować kilka metod skraplania gazu ziemnego przy czym należy zwrócić uwagę na metodę kaskadową lub metodę cyklu sprężania.



Rys 2. Schemat kaskadowego skraplania gazu ziemnego

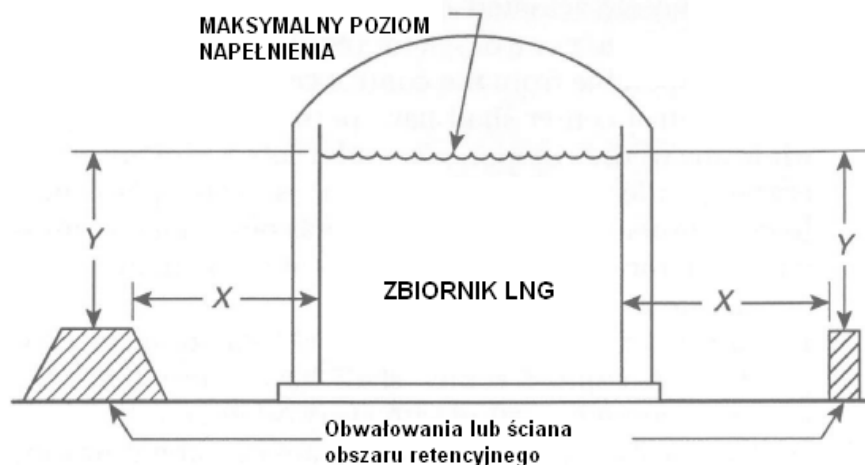
4. Magazynowanie i transport LNG

4.1 Magazynowanie LNG

Istotnym zagadnieniem w dystrybucji skroplonego gazu ziemnego jest problem magazynowania. LNG jest cieczą kriogeniczną i w związku z tym stawiane są wysokie wymagania dotyczące magazynowania skroplonego gazu ziemnego z uwagi na bardzo niskie temperatury ($-162\text{ }^{\circ}\text{C}$). Ze względu na konstrukcje zbiorniki przeznaczone do magazynowania LNG dzieli my na :

- zbiorniki metalowe z podwójnymi ścianami,
- zbiorniki betonowe z podwójnymi ścianami,
- zbiorniki z płaszczem próżniowym,
- zbiorniki z płaszczem z płukaniem gazem obojętnym.

Duże ilości skroplonego gazu ziemnego są magazynowane w zbiornikach betonowych z podwójnymi ścianami. Schemat zbiornika betonowego z podwójnymi ścianami wraz z obwałowaniem obszaru retencyjnego przedstawiono na Rysunku 3.



Rys 3. Zbiornik betonowy do magazynowania LNG wraz z obszarem retencyjnym

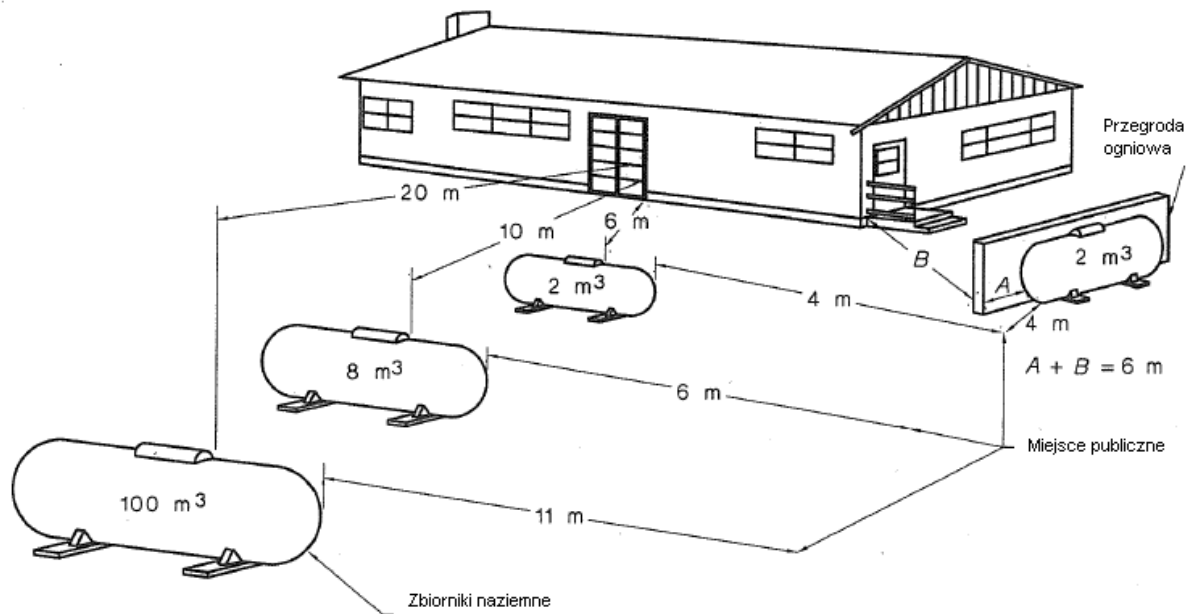
Każdy zbiornik betonowy powinien być zabezpieczony przez odpowiednio dobrany obszar retencyjny na wypadek awarii zbiornika. W budowanym Gazoporcie Świnoujście przewiduje się zastosowanie zbiorników betonowych o dużej pojemności, w których będzie magazynowany LNG dostarczany drogą morską statkami zwanymi metanowcami.



Rys 4. Zbiornik betonowy do magazynowania dużych ilości LNG

Dla potrzeb mniejszych instalacji magazynowania LNG stosuje się zbiorniki metalowe z podwójnymi ścianami, wypełnionymi najczęściej perlitem. Na Rysunku 4. przedstawiono schemat stacji magazynowania LNG w zbiornikach metalowych wraz z podanymi odległościami bezpieczeństwa dla zbiorników o różnej pojemności, zgodnie z wymaganiami

australijskiej normy Australian Standard™ AS 3961-2005 “The storage and handling of liquefied natural gas” 2005.



Rys 5. Schemat instalacji zbiornikowej magazynowania LNG

Dla zapewnienia bezpieczeństwa magazyny LNG powinny być poddawane okresowym kontrolom zgodnie z przyjętymi procedurami. W czasie kontroli i przeglądów należy sprawdzać osprzęt oraz dodatkowe wyposażenie zbiorników takie jak zawory, manometry, przyrządy kontrolne itp. Zalecane terminy i zakres przeglądów zbiorników LNG podane są w amerykańskiej normie AGA X01084 American Gas Association Operating Section Report “LNG Preventive Maintenance Guide”. Niemniej jednak, każdy operator lub użytkownik instalacji zbiornikowych LNG powinien, niezależnie od wytycznych zawartych w normach, opracować dodatkowe wymagania dla przeglądów z uwzględnieniem specyfiki danej instalacji oraz przepisów bezpieczeństwa i przepisów ochrony przeciwpożarowej.

4.2 Transport LNG

Do przewozu skroplonego gazu ziemnego wymagane są specjalne środki transportu. Do masowego transportu LNG używa się tankowców o specjalnej konstrukcji, zapewniających bezpieczny transport cieczy kriogenicznych. Wyróżnia się :

- transport morski,
- transport lądowy.

Na Rysunku 5. przedstawiono tankowiec do transportu LNG (metanowiec). Tego typu tankowce stosowane są od blisko 50 lat w obrocie LNG w Ameryce, Australii, Kanadzie, Francji, w krajach gdzie od wielu dziesiątków lat wykorzystywany jest skroplony gaz ziemny.



Rys 6. Transport morski LNG przy użyciu tankowców

Transport lądowy LNG odbywa się przy użyciu specjalnych cystern samochodowych lub kolejowych, przeznaczonych do transportu cieczy kriogenicznych, a także barek rzecznych do transportu śródlądowego.

Na Rysunku 6. przedstawiono typową cysternę do transportu LNG.



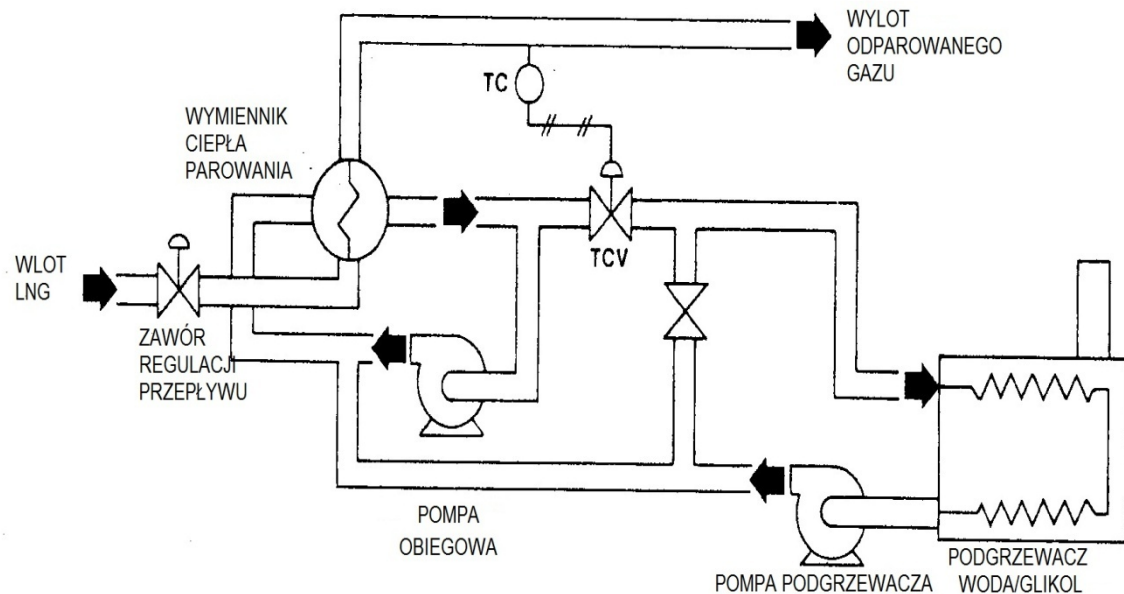
Rys 7. Samochód cysterna do transportu LNG

5. Regazyfikacja skroplonego gazu ziemnego LNG

Regazyfikacja skroplonego gazu ziemnego jest procesem przemysłowym, polegającym na zamianie skroplonego gazu ziemnego LNG z postaci ciekłej na postać gazową poprzez ogrzewanie skroplonej substancji, zmianę fazową z cieczy kriogenicznej (-162 °C) do temperatury otoczenia. Niezbędnym elementem układu technologicznego w magazynach LNG są parownice służące do zmiany stanu skupienia gazu z fazy ciekłej na gazową, stacja redukcyjna do redukcji ciśnienia gazu i instalacja grzewcza – najczęściej kotłownia, która zapewnia ogrzanie gazu.

W procesie odparowania można wyróżnić cztery główne typy odparowувaczy:

- odparowувacz całkowity - ogrzewany,
- odparowувacz zdalnie ogrzewany,
- odparowувacz ogrzewany przez otoczenie,
- odparowувacz ogrzewany ciepłem odprowadzanym z procesów technologicznych.



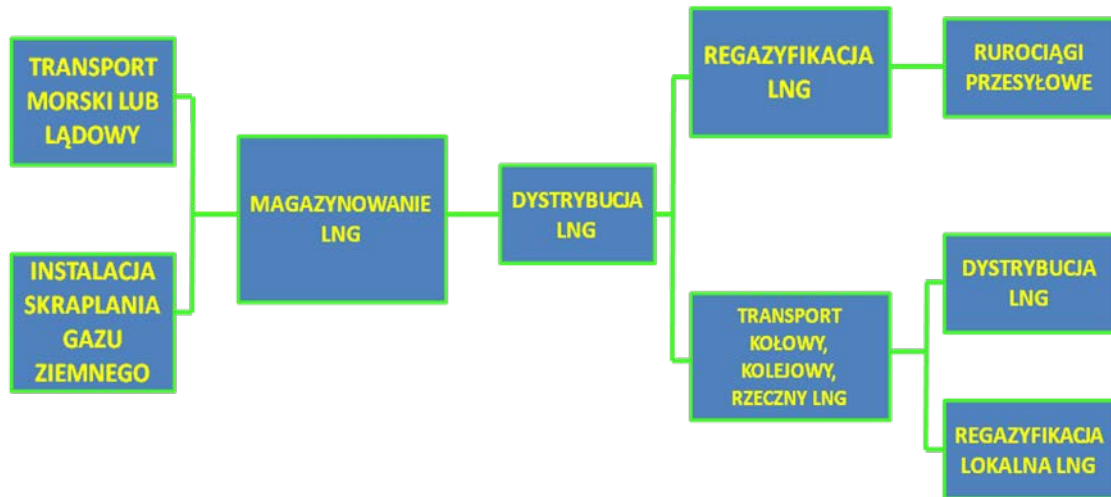
Rys 8. Zdalnie ogrzewany pośredni odparowywacz LNG

Odparowywacze można też sklasyfikować na inny sposób, np. w zależności od wydajności instalacji i konstrukcji. W literaturze fachowej stosuje się następującą klasyfikację odparowywaczy:

- odparowywacze z ogrzewaniem do temperatury równej temperaturze otoczenia
 - odparowywacze ogrzewane wodą morską lub rzeczną (ORV)
 - odparowywacze ogrzewane powietrzem (SPV)
- odparowywacze z ogrzewaniem do temperatury wyższej od temperatury otoczenia
 - odparowywacze z ogrzewaniem bezpośrednim:
 - ogrzewanie ogniowe – palnikami gazowymi
 - ogrzewanie elektryczne
 - odparowywacze z pośrednim ogrzewaniem za pomocą nośnika ciepła:
 - ogrzewanie parą wodną
 - ogrzewanie wodą, w której zanurzone są płonące palniki gazowe
 - ogrzewanie izopentanem lub innymi ciekłymi nośnikami ciepła.

6. Wykorzystanie skroplonego gazu ziemnego

Skroplony gaz ziemny LNG jest formą skondensowanej ekologicznej energii i dzięki swoim własnościom istnieje możliwość jego wykorzystania w gospodarce komunalnej, przemyśle i transporcie. Na Rysunku 9 przedstawiono ideowym schemacie dystrybucji LNG.



Rys 9. Schemat ideowy dystrybucji LNG

Skroplony gaz ziemny może mieć szerokie zastosowanie w takich obszarach jak:

- wyrównywanie sezonowego szczytowego pokrywania zapotrzebowania na gaz ziemny w sieciach dystrybucyjnych i lokalnych,
- tworzenie poza systemowych instalacji gazu ziemnego dla lokalnego wykorzystania, pozwala to na zwiększenie odbiorców gazu ziemnego,
- wykorzystanie LNG do produkcji energii elektrycznej w układach kogeneracji i trigeneracji oraz zasilania dużych jednostek energetycznych produkujących prąd,
- wykorzystanie jako paliwa silnikowego w transporcie samochodowym, szczególnie w dużych aglomeracjach miejskich w autobusach miejskich. Istnieje możliwość wykorzystania LNG jako paliwa wszędzie tam gdzie mamy przypadki dużego zużycia paliwa np. w transporcie kolejowym,
- zastosowanie w przemyśle spożywczym przy przechowywaniu mrożonej żywności, jako źródło chłodu ,
- w przemyśle petrochemicznym do frakcjonowania gazów węglowodorowych,
- w przemyśle maszynowym, szklarskim, wszędzie tam, gdzie potrzebne są duże ilości gazu do procesów technologicznych.

7. Spis literatury

1. Tałach Z., Rudkowski M., „Opinia w zakresie możliwości adaptacji międzynarodowych standardów i przepisów w zakresie budowy i użytkowania instalacji regazyfikacji LNG do polskich warunków”, Prace OSiR SITPNiG Kraków – seria sprawozdania, Kraków, listopad 2011.
2. Bielski J. „Rozwój globalnego handlu gazem LNG. Już nie tylko Azja.” Nafta & Gaz Biznes, Kraków kwiecień/maj 2005.
3. Rudkowski M, Tałach Z. „Sprężarki garażowe alternatywą dla rozwoju transportu samochodowego zasilanego CNG”, Wiadomości Naftowe i Gazownicze, NR 2(154) luty 2011 r.
4. Rudkowski M, Tałach Z. „Gaz ziemny w pojazdach mechanicznych”, Rynek Instalacyjny 9/2002.
5. NFPA National Fire Protection Association® 59A:2008 - "Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas (LNG)", 2009.
6. Australian Standard™ AS 3961-2005 “The storage and handling of liquefied natural gas” , 2005.
7. CSA Canadian Standards Association Z276:2007 - "Liquefied Natural Gas (LNG) - Production, storage, and handling”, 2007.
8. PN-EN 1160:2008 Instalacje i urządzenia do skroplonego gazu ziemnego - Ogólna charakterystyka skroplonego gazu ziemnego.

8. Spis rysunków

- Rys 1. Wykres temperatur z punktami wrzenia dla poszczególnych cieczy kriogenicznych
- Rys 2. Schemat kaskadowego skraplania gazu ziemnego
- Rys 3. Zbiornik betonowy do magazynowania LNG wraz z obszarem retencyjnym
- Rys 4. Zbiornik betonowy do magazynowania dużych ilości LNG
- Rys 5. Schemat instalacji zbiornikowej magazynowania LNG
- Rys 6. Transport morski LNG przy użyciu tankowców
- Rys 7. Samochód cysterna do transportu LNG
- Rys 8. Zdalnie ogrzewany pośredni odparowywacz LNG
- Rys 9. Schemat ideowy dystrybucji LNG