

Andrzej STAROSTA

Akademia Morska w Gdyni
Wydział Nawigacyjny, Katedra Eksploatacji Statku
81-345 Gdynia, Al. Jana Pawła II 3
e-mail: Andrzej.Starosta@wp.eu

STATKI DO PRZEWOZU CO₂ – POTRZEBA PRZYSZŁOŚCI?

Streszczenie:

Emisja dwutlenku węgla jest uważana za jeden z głównych powodów globalnego ocieplenia. Szczególnie Unia Europejska chce bardzo mocno ograniczyć jego emisję. Jednym z pomysłów na rozwiązanie tego problemu jest przechwytywanie CO₂ i przechowywanie go w strukturach geologicznych. Przygotowywane projekty zakładają wykorzystanie do tego celu wyeksploatowanych złóż ropy naftowej np. na Morzu Północnym. W tym celu potrzebne są jednostki, które przewożą CO₂ z lądu na morze. Artykuł prezentuje propozycję takich jednostek, jak i problemy, które muszą być uwzględnione podczas ich projektowania.

Słowa kluczowe: transport morski, CO₂

WPROWADZENIE

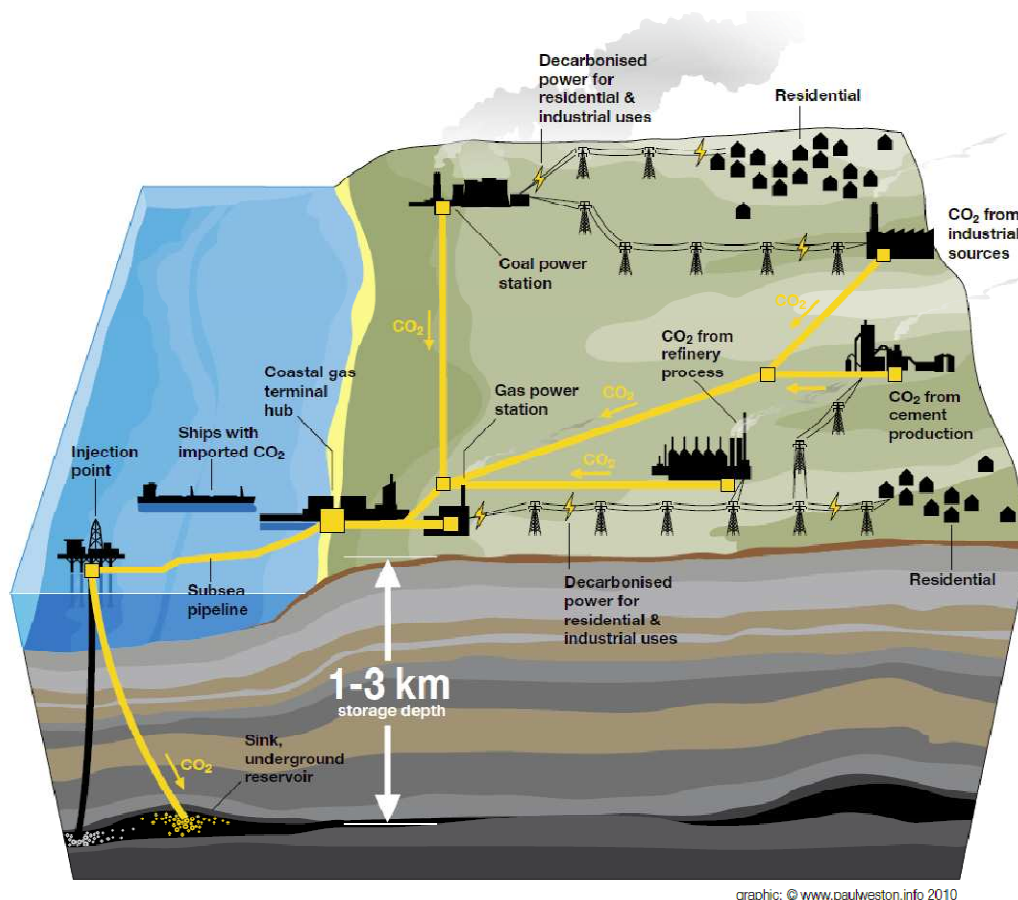
Dwutlenek węgla (CO₂) jest uznawany za jeden z głównych gazów cieplarnianych, który w znaczny sposób wpływa na globalne ocieplenie. Zgodnie z danymi zbieranymi przez NOAA w laboratorium na Hawajach stężenie CO₂ wzrosło od 314 ppm, w marcu 1958 roku do 390 ppm w lutym 2011 roku. W ostatnich latach obserwowany wzrost stężenia wynosi 2 ppm rocznie.[8] Przyjmuje się tezę, że: aby globalna temperatura nie podniosła się więcej niż o 2°C, stężenie CO₂ w powietrzu nie powinno przekroczyć 450 ppm.

Dla zatrzymania procesu globalnego ocieplenia wprowadzane są różnorodne programy ograniczania emisji gazów cieplarnianych. Jedną z rozwijanych technologii jest idea przechwytywania dwutlenku węgla i przechowywania go później w strukturach geologicznych. Mogą być to również wyeksploatowane złoża ropy naftowej pod dnem morskim. Do transportu przechwyconego dwutlenku węgla można zastosować podwodne rurociągi, bądź statki specjalnej konstrukcji, co jest tematem tego artykułu.

1. AKTUALNY STAN BADAŃ W ZAKRESIE PRZECHWYTYWANIA, TRANSPORTU I SKŁADOWANIA CO₂

Ograniczenie emisji dwutlenku węgla staje się więc priorytetem dla wielu krajów. Szczególnie Unia Europejska jest zdeterminowana w walce o ograniczenie emisji CO₂ i finansuje wiele projektów z tym związanych. Obecnie realizowanych jest kilkanaście projektów demonstracyjnych polegających na wychwytywaniu, transporcie i przechowywaniu dwutlenku węgla – Carbon Capture and Storage (CCS). Projekty zakładają przechwytywanie gazów w zakładach, które są głównie odpowiedzialne za jego emisję do atmosfery, takich jak: elektrownie (szczególnie węglowe), cementownie, rafinerie i inne duże zakłady. Następnie

ma być on transportowany rurociągami do specjalnie wyselekcjonowanych miejsc podziemnego składowania, które mogą znajdować się zarówno na lądzie, jak w obrębie dna morskiego. Ideę CCS prezentuje rysunek 1.



Rys.1 Idea CSS i umiejscowienie transportu morskiego w łańcuchu transportowym.

Źródło: [5]

W Polsce realizowanych jest również kilka projektów. W obrębie 6. Programu Ramowego UE realizowano projekt RECOPOOL. Zakładał on praktyczne przećwiczenie magazynowania gazu w wyeksploatowanych kopalniach węgla kamiennego. Jako doświadczalna, została wybrana lokalizacja we wsi Kaniów, położonej 40 km od Katowic. Zbudowano instalację i w 2004 roku rozpoczęto eksperymentalne wtłaczanie CO₂. Obecnie Polska Grupa Energetyczna jest partnerem projektu „CO₂Europipe”. Jako jego część realizowana jest inwestycja zainstalowania instalacji przechwytyjącej dwutlenek węgla na nowobudowanym bloku energetycznym o mocy 850MW. Instalacja ba być gotowa do roku 2015.

W przygotowywanych projektach ilość przechwytywanego CO₂ w kolejnych latach będzie systematycznie wzrastać, co ilustruje tabela 1. Tak duża ilość dwutlenku węgla powoduje, że znalezienie odpowiednich lokacji nadających się do składowania w obrębie lądu jest niewystarczająca. Pojawiła się więc idea wykorzystania wyeksploatowanych złóż ropy naftowej znajdujących się na Morzu Północnym.

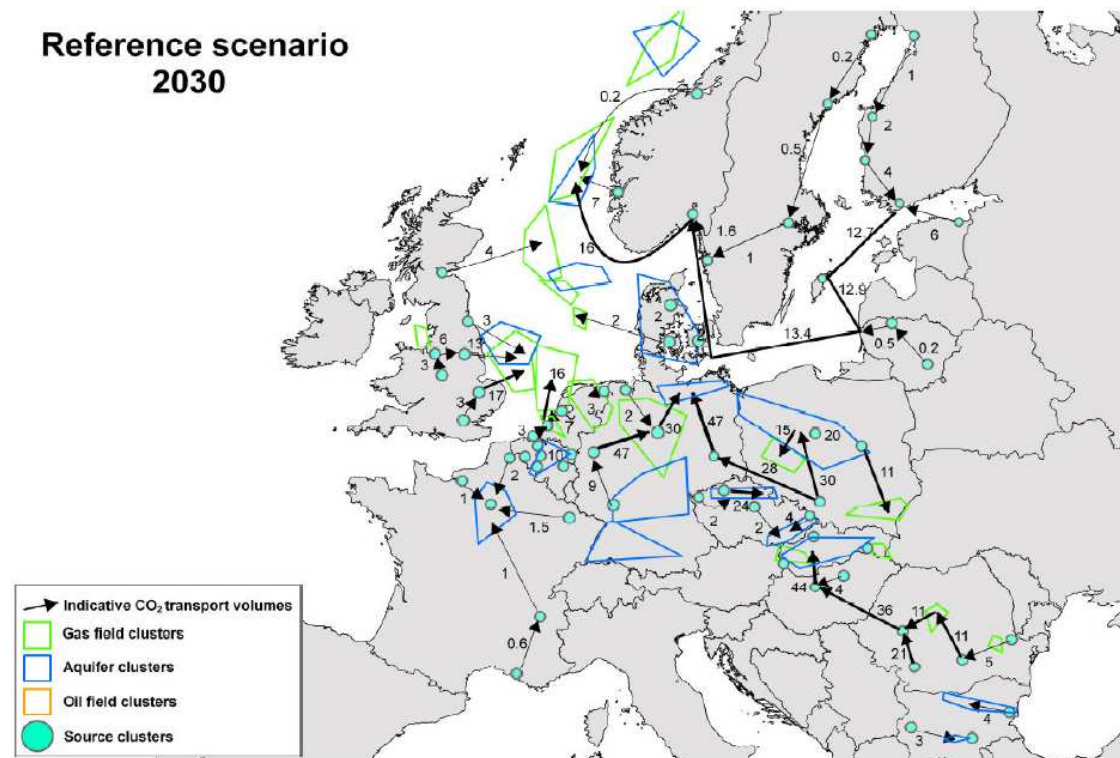
Obecne projekty koncentrują się głównie na transporcie gazu rurociągami. Jest to rozwiązanie najbardziej ekonomiczne na lądzie oraz w przypadku niezbyt dużych odległości od źródła do miejsca składowania. Sytuacja komplikuje się w przypadku wykorzystania składowisk znajdujących się pod dnem morskim. Budowa rurociągów jest w tedy dużo bardziej kosztowna. Rozwiązaniem problemu może być wykorzystanie statków morskich,

jako elementów łańcuch transportowego. Są one ekonomiczną alternatywą szczególnie dla dalszych lokalizacji miejsca składowania, ale mogą również zapewnić większą elastyczność systemu, stanowiąc dodatkowy łącznik szczególnie dla mniejszych źródeł emisji CO₂.

Tabela 1. Prognozowana ilość CO₂ przechwytywanego w poszczególnych krajach.

Kraj	Ilość przechwytywanego CO ₂ [Mt/rok]		
	2020	2030	2050
Belgia	0	10	66
Bułgaria	0	13	39
Dania	2	6	22
Estonia	0	6	10
Finlandia	0	7	70
Francja	2	6	94
Holandia	8	22	49
Litwa	0	1	3
Niemcy	5	73	379
Norwegia	6	8	9
Polska	2	89	133
Republika Czeska	0	32	80
Rumunia	0	36	72
Słowacja	0	5	17
Szwecja	0	2	41
Węgry	0	9	25
Wielka Brytania	21	36	112
Total	46	358	1222

Źródło: opracowanie na podstawie [2]



Rys.2 Korytarze transportowe i wielkość transportu CO₂ [Mt/rok]

Źródło: [3].

2. WŁAŚCIWOŚCI FIZYKO CHEMICZNE DWUTLENKU WĘGLA

Dwutlenek węgla jest produktem spalania i oddychania. Tworzy się również przy utlenianiu i fermentacji substancji organicznych. Jest nieodzownym elementem naszego, życia. Niezbędny roślinom w procesie fotosyntezy. Jest jednym z elementów składowych naszej atmosfery, ale jest również odpowiedzialny za efekt cieplarniany. W warunkach normalnych dwutlenek węgla jest bezbarwnym, bezwonnym i niepalnym gazem. Jest cięższy od powietrza (patrz tabela 2) i dobrze rozpuszcza się w wodzie.

Na statkach morskich gazy przewozi się w ciekłym stanie skupienia. Patrząc jedynie na temperaturę krytyczną, wynoszącą 31,1°C, nie powinno to stanowić problemu, ale ciśnienie, które należy osiągnąć jest bardzo wysokie. Niestety analiza diagramu fazowego pokazuje, że w ciśnieniu atmosferycznym dwutlenek węgla nie przyjmuje postaci cieczy i w temperaturze -78,5°C sublimuje bezpośrednio do stanu gazowego. W celu skroplenia należy podnieść ciśnienie do wartości 517 kPa i obniżyć temperaturę poniżej -56,6°C. W stanie skroplonym ciężar właściwy CO₂ wynosi 1,18, co jest wartością znaczną w porównaniu do głównych gazów skroplonych transportowanych na statkach.

Tabela 2. Zestawienie właściwości fizycznych dla wybranych gazów.

	Temp. wrzenia [°C]	Punkt potrójny		Punkt krytyczny		Właściwości gazu		Właściwości cieczy
		Temp. [°C]	Ciśnienie [kPa]	Temp. [°C]	Ciśnienie [kPa]	Ciężar właściwy -	Gęstość kg/m ³	Ciężar właściwy -
CO₂	-78,5	-56,6	517,3	31,1	7382	1,539	1,977	1,18
Propan (LPG)	-42,04	--	--	96,7	4249	1,573	2,020	0,58
Metan (LNG)	-161,49	-182,5	11,65	-82,1	4641	0,559	0,717	0,425

Źródło: opracowanie na podstawie [10]

Dwutlenek węgla jest gazem niepalnym, ale nie można tego rozumieć, że jest niegroźny. Głównym zagrożeniem dla zdrowia ludzkiego jest nie tylko wypierania tlenu z atmosfery w przypadku wycieku, ale również możliwość zatrucia. W niewielkich stężeniach CO₂ nie jest trujący, ale w większych stężeniach powoduje hiperkapnię, w wyniku tego kwasicę oddechową i obrzęk mózgu. Przy stężeniu poniżej 5% następuje uczucie duszności, niepokój, pobudzenie ośrodka oddechowego i zwiększenie częstości oddechów. W większych stężeniach dochodzi do bólów i zawrotów głowy, szumu w uszach, zaburzeń postrzegania, tachykardii, nadmiernej potliwości i przekrwienia spojówek. Powyżej 10% narasta duszność i osłabienie, pojawiają się omamy i zaburzenia świadomości do śpiączki włącznie oraz drgawki. Stężenia powyżej 20% powodują śmierć w ciągu kilkunastu minut, a powyżej 30% śmierć natychmiastową. Niedotlenienie i obrzęk mózgu mogą spowodować nieodwracalne zmiany w mózgu, mimo uratowania zatrutej osoby. W przypadku skroplonego gazu niebezpieczeństwem jest możliwość odmrożeń.

Osobnym zagrożeniem jest pochodzenie CO₂, który ma stanowić ładunek. Obecnie transportowany dwutlenek węgla jest bardzo czysty, ponieważ jego głównym przeznaczeniem jest przemysł spożywczy. Gaz pochodzący z przechwytywania w różnych zakładach przemysłowych może zawierać różnorodne dodatki, które mogą mieć znaczący wpływ na korozję zbiorników i instalacji ładunkowych.

3. STATKI DO TRANSPORTU SKROPLONEGO DWUTLENKU WĘGLA

Statki do przewozu gazów w stanie skroplonym wymagają zastosowania systemów ładunkowych, które pozwolą na utrzymanie wysokiego ciśnienia, niskiej temperatury lub obu tych czynników jednocześnie. Z tego powodu można podzielić gazowce na: [4]

- statki ze zbiornikami wysokociśnieniowymi,
- statki ze zbiornikami półciśnieniowymi, częściowo chłodzonymi,
- statki ze zbiornikami półciśnieniowymi, pełnochłodzonymi,
- statki ze zbiornikami pełnochłodzonymi przy ciśnieniu atmosferycznym,
- statki ze zbiornikami wysokociśnieniowymi pełnochłodzonymi.

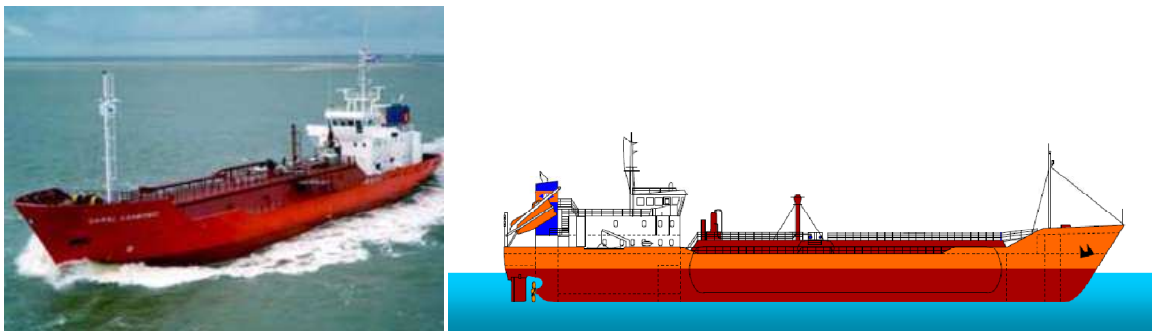
Jako wysokie ciśnienie uznaje się wartość około 1,7-1,8 MPa. Zbiorniki półciśnieniowe przewożą ładunki w ciśnieniu 0,5-0,8 MPa. Zbiorniki wysokociśnieniowe nie potrzebują izolacji, a ładunek przewożony jest w temperaturze otoczenia. Zbiorniki przewożące ładunki w ciśnieniu ok. 0,8 MPa wymagają utrzymania temperatury w granicach ok. -10°C . Natomiast jeżeli obniżamy ciśnienie wymagana temperatura spada do ok. -50°C . Najniższe temperatury muszą wytrzymać zbiorniki gazowców LNG, gdzie w ciśnieniu atmosferycznym przewozi się ładunek w temperaturze $-161,5^{\circ}\text{C}$.

Jak widać z powyższego zestawienia, technologicznie istnieją już jednostki, które mogą utrzymać CO_2 w stanie skroplonym. Jednak nie wszystkie rozwiązania są możliwe, a specyfika łańcucha transportowego CCS wymaga rozwiązań, które nie są obecnie stosowane na gazowcach.

3.1 Istniejące rozwiązania

W chwili obecnej transport CO_2 drogą morską nie jest realizowany w dużej skali. Istnieją 4 gazowce służące do przewożenia tego gazu głównie dla celów przemysłu spożywczego. Jednostki te operują na krótkich trasach w obrębie Europy. Są to statki małe, ze zbiornikami wysokociśnieniowymi zdolnymi utrzymać niską temperaturę ładunku, o objętości ok. 1000 m^3 . Nie posiadają instalacji skraplającej, jednak ze względu na krótki czas rejsów, zbiorniki są w stanie wytrzymać zwiększające się ciśnienie.

Jednym z armatorów posiadających taki statek jest Anthony Veder. [6] „Coral Carbonic” (rysunek 3) został wybudowany w 1999 roku. Jednostka o długości 74,40m i szerokości 13,75m przy pełnym załadunku płynnym CO_2 ma średnie zanurzenie 3,85m. Ładunek jest przewożony w zbiorniku wysokociśnieniowym 1,8 MPa w temperaturze -40°C . Na statku zainstalowany jest jeden zbiornik o objętości 1240 m^3 , w którym przewozi się 1380 t ładunku w temperaturze -40°C . Do wyładunku służy pompa głębinowa o wydajności $250\text{ m}^3/\text{godz}$. Statek rozwija prędkość 12,5 węzła.



Rys.3 Gazowiec CO_2 „Coral Carbonic”

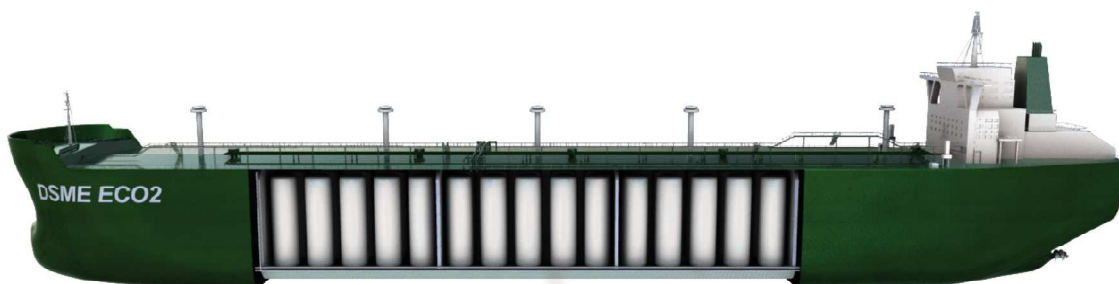
Źródło: [6]

3.2 Propozycje nowych jednostek i stawiane im wymagania

Istniejące jednostki są za małe, aby stanowiły alternatywę dla transportu rurociągami. Osoby odpowiedzialne za projekty CCS wyliczają, że jednostki powinny mieć pojemność zbiorników rzędu 20 000 – 30 000 m³. W chwili obecnej największe jednostki LPG przewożące gaz przy ciśnieniu 0,7 MPa mają zbiorniki o właśnie takiej objętości. Jednakże ciężar właściwy skroplonego CO₂ jest dwukrotnie większy niż LPG. Z tego powodu istniejące jednostki nie są odpowiednio przygotowane do przewozu CO₂ ze względu na wytrzymałość zbiorników i nośność projektowanych jednostek. Jednocześnie wtłaczanie skroplonego dwutlenku węgla w miejsca składowania pod dnem morskim będzie wymagało postępu gazowców przy platformach. W zależności od złoża prędkość wyładunku może się wahać od 65 t/godz do 2200 t/godz. Z tego powodu jednostki będą musiały być wyposażone w system dynamicznego pozycjonowania (DP), co w chwili obecnej nie jest stosowane. Z tego powodu dla celów projektów CCS będą potrzebne nowe projekty jednostek.

Armator Mearsk Tankers jest członkiem jednego z realizowanych projektów CSS. W chwili obecnej są już gotowe projekty takich jednostek. Deklarowany czas realizacji statków jest określany na 2 lata. Planowane jednostki mają mieć zbiorniki o pojemności ok. 20 000m³ i przewozić CO₂ w temperaturze -55°C i przy ciśnieniu ok. 0,65 MPa. Planowane statki mają obsługiwać pilotażowy projekt przechwytywania gazu w elektrowni Meri-Pori w Finlandii. Transportowany dwutlenek węgla ma być później wykorzystywany w technologii EOR (Enhanced Oil Recovery).

Również inni potentaci produkcji statków mają swoje projekty. Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering (DSME) przedstawiło koncepcję budowy gazowca CO₂ o pojemności 100 000m³. W założeniu ma on zastępować w łańcuchu logistycznym CCS transport rurociągami, w miejscach, gdzie ich budowa była by zbyt kosztowna lub technologicznie niemożliwa. Projekt zakłada rozmieszczenie w 5 ładowniach ok. 100 zbiorników połączonych ze sobą liniami ładunkowymi cieczy i par. Zbiorniki o wysokości 25m i średnicy 7 m utrzymać ładunek w temperaturze – 50°C w ciśnieniu 0,678 MPa. W projekcie nie przewiduje się instalowania na jednostce instalacji skraplającej. Zbiorniki mają wytrzymać wzrost ciśnienia podczas podróży. W przypadku długich tras zainstalowanie takiej instalacji będzie jednak niezbędne. Poglądową wizualizację projektu prezentuje rysunek 4.



Rys.4 Projekt gazowca CO₂ o objętości zbiorników 100 000m³ stoczni DSME

Źródło:[7]]

PODSUMOWANIE

Świat obawia się globalnego ocieplenia i polityka ograniczania emisji dwutlenku węgla do atmosfery jest coraz bardziej restrykcyjna. Szczególnie Unia Europejska promuje projekty polegające na wychwytywaniu CO₂ i magazynowaniu go w podziemnych składowiskach. Aktualne projekty pokazowe w swych założeniach promują głównie transport rurociągami. Pomysły wykorzystania jako miejsc składowania podmorskich wyeksploatowanych złóż ropy

naftowej powodują jednak, że również armatorzy pragną włączyć się w te projekty, aby zastąpić kosztowne podwodne rurociągi bardziej elastycznymi gazowcami.

Transport dwutlenku węgla w postaci cieczy nie jest na chwilę obecną wielkim wyzwaniem technologicznym. Wymagane rozwiązania są obecnie z powodzeniem wykorzystywane na jednostkach do przewozu LPG. Jednakże właściwości fizykochemiczne CO₂, szczególnie jego ciężar, nie pozwalają na wykorzystanie istniejących statków. Wskazuje się jednak, że nowe gazowce mają mieć również możliwość przewożenia innych spotykanych w transporcie skroplonych gazów, co zwiększy ich ekonomiczną opłacalność.

Zaletami wykorzystania gazowców w łańcuchach logistycznym CCS są:

- statki zapewniają większą elastyczność dostaw,
- statki można wykorzystać do pozyskiwania ładunku od małych nadawców i transportować je do większych miejsc magazynowania, skąd mogą ostatecznie trafiać do podziemnych składowisk,
- budowa statku jest szybsza niż zrealizowanie projektu rurociągu, szczególnie podwodnego,
- statki dają możliwość szybkiego zwiększenia zdolności przewozowej na danym etapie transportu, gdy rurociąg ma zakładaną wydajność już na etapie projektowania i nie ma możliwości późniejszego jej zwiększenia,
- statki mogą być wykorzystane dla transportu CO₂ z krajów, których gospodarka gwałtownie rośnie, takich jak Chiny czy Indie.

Technologia transportu skroplonego CO₂ na statkach jest ciągle rozwijana i wymaga kolejnych badań. Wspecjalizowane ośrodki prowadzą już prace nad poprawkami do przepisów międzynarodowych, takich jak kodeks IGC. Niezbędne jest również przygotowanie programów szkolenia załóg, aby ograniczyć niebezpieczeństwo zatrucia się CO₂ w przypadku wycieku lub nieprawidłowych operacji ładunkowych. Wszystkie te prace są niezbędne, ale w przypadku dalszego rozwoju handlu emisjami CO₂ transport tego gazu może być bardzo opłacalny, a na morzach świata pojawi się nowy typ ładunku przewożonego przez gazowce.

LITERATURA

- [1] Carbon capture – a promising new revenue stream for shipping, HANSA International Maritime Journal, Czerwiec 2010
- [2] CO2Europe Report CCS infrastructure, Wrzesień 2010
- [3] Filip Neele, et al., Large-scale CCS transport and storage networks in North-west and Central Europe, GHGT10 conference, Wrzesień 2010.
- [4] Kabaciński J., et al., Eksploatacji statków do przewozu gazów skroplonych, Wyższa Szkoła Morska w Szczecinie, Szczecin 1993
- [5] One North Sea: an independent report commissioned by the UK and Norway for the North Sea Basin Task Force, raport przygotowany przez The North Sea Basin Task Force, 18 Marzec 2010 (www.nsbtf.squarespace.com)
- [6] www.anthonyveder.com
- [7] www.dsme.co.kr/en/
- [8] www.esrl.noaa.gov
- [9] www.maersktankers.com
- [10] www.uigi.com

CO₂ CARRIERS – NEED FOR FUTURE?

Abstract:

Carbon dioxide (CO₂) is one of greenhouse gases which are mainly responsible for global warming. European Union promotes projects to reduce emission CO₂ to the atmosphere strongly. Carbon Capture and Storage (CCS) is the process where CO₂ emissions are captured from industrial and power generation processes. At the destination the CO₂ is injected into secure, long-term storage areas at the bottom of the sea for example in North Sea region. After the CO₂ is captured it needs to be liquefied prior being transported by special prepared ships. The papers presents actual projects of CO₂ carriers and their advantages in CCS transport schemes.

Key words: sea transport, CO₂.