

## Dimethyl ether. Properties, production technologies and the market

### Eter dimetylowy.

## Właściwości, technologie produkcji i rynek

DOI: dx.medra.org/10.12916/przemchem.2014.1621

**A review, with 26 refs., of properties, methods for prodn. and uses (esp. as fuel) of Me<sub>2</sub>O. Some economic information were also included.**

**W Unii Europejskiej pojawia się miejsce na ciekawę, a dla wielu nowe źródło energii, szczególnie warte rozważenia w okresie budowania nowego wspólnego rynku gazu ziemnego. Przedstawiono właściwości, sposoby otrzymywania i główne uwarunkowania zapotrzebowania na DME, który jest produkowany bądź z metanolu, bądź z gazu ziemnego. Produkcja DME może być szansą do wykorzystania przez krajowych producentów.**

Eter dimetylowy (DME) jest organicznym związkiem chemicznym, który w temperaturze pokojowej występuje w postaci bezbarwnego gazu. Obecnie na świecie stosowany jest głównie jako paliwo. Jego podstawowe właściwości zostały przedstawione w tabeli 1. DME jest gazem łatwym do skroplenia i transportu (temperatura skraplania, wynosząca -25°C, jest niższa niż w przypadku LPG, przy możliwości przewozu w warunkach analogicznych do LPG), ma liczbę cetanową podobną do liczby cetanowej oleju napędowego i wiele zalet umożliwiających zastosowanie go jako paliwa silnikowego. Może być używany w silnikach wysokoprężnych, np. w standardowych silnikach spalających olej napędowy, które wymagają jedynie niewielkich modyfikacji przy przejściu na spalanie DME. Może być też spalany w elektrowniach i zwykłych kuchenkach gazowych. Również surowce do produkcji DME mogą być bardzo różnorodne, począwszy od biomasy, poprzez gaz ziemny, aż do węgla, przy czym koszty produkcji, mimo stosunkowo nowej technologii i niewielkiej skali

produkcji istniejących wytwórni, są porównywalne (choć wciąż wyższe) z kosztami produkcji LPG<sup>1, 2</sup>. Z uwagi na czystość produktu końcowego (niezależnie od surowca i stosowanej technologii) spalanie DME generuje znikomą ilość zanieczyszczeń w porównaniu z paliwami konwencjonalnymi i jest (w porównaniu z innymi paliwami) w niewielkim stopniu szkodliwe dla środowiska, co czyni z DME idealne paliwo dla obszarów o koniecznej kontroli zanieczyszczeń (np. dla Bałtyku od 2015 r.).

Chociaż w Polsce nikt dotychczas nie podjął próby wprowadzenia DME, to jednak już od ubiegłego roku Grupa PERN poszukując nowych obszarów dla dalszego rozwoju, prowadzi studia analityczne, które mają określić zasadność oraz sposób ewentualnego udziału w tego typu projekcie. Nieprzypadkowo działania te zbiegają się z konstruowaniem nowej strategii Grupy PERN, która ma uwzględnić nie tylko szeroką perspektywę dynamicznych zmian zachodzących dziś na

Table 1. Basic properties of dimethylether

Tabela 1. Podstawowe właściwości DME

Parametr	DME	Metan (LNG)	Propan (LPG)	Metanol	Olej napędowy
Wzór chemiczny	CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	CH <sub>3</sub> OH	-
Gęstość, kg/m <sup>3</sup>	668	450	490	790	820–840
Ciepło spalania, MJ/kg	28,8	50,2	46,5	21,1	42–44
Temperatura wrzenia, °C	-25	-161	-42	65	180–370
Temperatura zapłonu, °C	235–350	630	500	470	250
Liczba cetanowa	55–60	0	5	5	50–80



Mgr Marcin KRUPA w roku 1995 ukończył studia na Wydziale Nauk Społecznych w Katolickim Uniwersytecie Lubelskim. Jest partnerem i doradcą w Instytucie Studiów Energetycznych Sp. z o.o. Uczestniczył w projektach dotyczących wydobywania i przerobu ropy naftowej i gazu ziemnego oraz szerzej sektora energetycznego dla polskich klientów.



Mgr inż. Marcin MOSKALEWICZ jest absolwentem studiów typu MBA w Institute of Business Studies Polsko-Amerykańskiej Szkoły Biznesu Politechniki Krakowskiej i Central Connecticut State University USA oraz studiów magisterskich w Akademii Rolniczej w Krakowie. Jest prezesem zarządu PERN „Przyjaźń” SA. Specjalność – światowa logistyka ropy naftowej i paliw płynnych, bezpieczeństwo energetyczne.

światowych rynkach ropy naftowej i produktów ropopochodnych oraz całego sektora energetycznego, ale także gwarancję bezpieczeństwa energetycznego Kraju (aż trzy spółki z Grupy znajdują się na liście przedsiębiorstw strategicznych dla bezpieczeństwa państwa). Ważne są więc nie tylko zmiany widoczne już dziś w szeroko rozumianym sektorze energetycznym, ale także światowe trendy i możliwe sekwencje wydarzeń, takich jak ewentualna zmiana kierunków dostaw surowca lub rozwój wydobycia gazu i ropy z łupków. Dzięki wzrostowi produkcji z niekonwencjonalnych złóż węglowodorów w 2014 r. USA stały się największym na świecie producentem ropy i gazu ziemnego. Szczególnie w tym ostatnim kontekście niezwykle istotny może okazać sposób zagospodarowania gazu z łupków, którego komercyjne wydobycie w Polsce powinno rozpocząć się jeszcze w tej dekadzie<sup>3)</sup>. Produkcja metanolu i DME może stać się wówczas zarówno atrakcyjnym biznesowo, jak też znacząco zwiększyć bezpieczeństwo energetyczne Kraju, poprzez zmniejszenie importu surowców energetycznych. Nie bez znaczenia jest w tym kontekście również liberalizacja rynków paliw i energii<sup>4, 5)</sup>, która powinna doprowadzić do zmniejszenia cen nośników energii pierwotnej<sup>6)</sup>. Zaangażowanie PERN w projekt DME jest tym bardziej istotne, że jest to organizacja, która nie tylko zarządza największą w tej części Europy infrastrukturą logistyczną w zakresie ropy naftowej i paliw płynnych, ale także posiada atrakcyjne tereny inwestycyjne z dostępem do nabrzeża portowego i, co więcej, buduje pierwszy w Polsce hub morski nad Bałtykiem, w którym jest przewidziany segment chemiczny. Ten znaczący potencjał logistyczny w naturalny sposób sytuuje Grupę PERN przy projekcie DME jako wiodącego partnera w zakresie logistyki dla firmy, najlepiej polskiej, która zdecydowałaby się uczestniczyć w tym nowatorskim przedsięwzięciu.

Historia zastosowania DME jako silnikowego paliwa samochodowego jest krótka w porównaniu z historią paliw konwencjonalnych i sprężonego gazu ziemnego. W 1992 r. H. Topsøe (Dania) stwierdził, że właściwość DME umożliwia wykorzystanie tego związku jako paliwa do silników diesla<sup>7)</sup>. DME można stosować w silnikach albo jako samodzielne paliwo, albo jako dodatek nie pociągający za sobą konieczności zmiany instalacji: w przypadku LPG wymaga to zachowania w mieszance LPG/DME proporcji 80:20, a w przypadku oleju napędowego proporcji ON/DME 70:30.

DME może znaleźć również zastosowanie w syntezie chemicznej, jednak prace w tym zakresie nie są prowadzone na skalę pozwalającą na uzyskanie znaczących wyników w najbliższych latach<sup>8, 9)</sup>. DME jest również wykorzystywany w aerozolach jako propelent (czynnik wyrzucający zawartość na zewnątrz), zamiast używanych wcześniej związków CFC, z uwagi na brak szkodliwego oddziaływania na warstwę ozonową. Na rys. 1 zilustrowano kierunki wykorzystania DME. Zgodnie z przyjętą normą<sup>10)</sup> DME służący jako paliwo musi spełniać podstawowe parametry wymienione w tabeli 2. DME jest gazem łatwo palnym. Jego temperatura samozapłonu wynosi 350°C, a granice wybuchowości przy zmieszaniu DME z powietrzem to 3,4–17% obj. Jest łatwo rozpuszczalny zarówno w wodzie (2,4 g/100 mL), jak i w alkoholach i innych rozpuszczalnikach organicznych.

Do najważniejszych zalet DME można zaliczyć: (i) możliwość produkcji z różnorodnych surowców, (ii) dopracowaną technologię

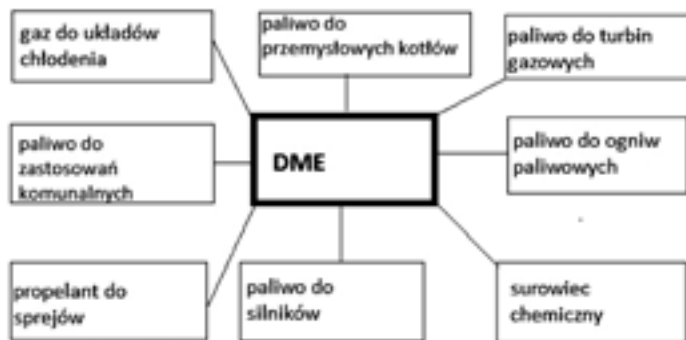


Fig. 1. Current and potential applications of dimethylether<sup>7)</sup>

Rys. 1. Obecne i potencjalne zastosowania DME<sup>7)</sup>

Table 2. Basic parameters of ISO standard for DME fuel

Tabela 2. Podstawowe parametry standardu ISO dla paliwa DME

Składnik	Jednostka	Specyfikacja
DME	% mas.	min. 98,5
Metanol	% mas.	maks. 0,050
Woda	% mas.	maks. 0,030
Węglowodory (C <sub>1</sub> –C <sub>4</sub> )	% mas.	maks. 1,00
CO <sub>2</sub>	% mas.	maks. 0,10
CO	% mas.	maks. 0,010
Mrówczan metylu	% mas.	maks. 0,050
Eter metylowo-etylowy	% mas.	maks. 0,20
Sucha pozostałość po odparowaniu	% mas.	maks. 0,0070
Siarka	mg/kg	maks. 3,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie<sup>11)</sup>

produkcji, (iii) łatwości skraplania, (iv) szerokie kierunki zastosowania (synteza chemiczna, paliwa, aerozole), (v) relatywnie niskie koszty logistyki (analogiczne do LPG) oraz – w przypadku paliw silnikowych – (vi) wysoką wydajność energetyczną, (vii) pomijalnie małą emisję pyłów i innych zanieczyszczeń, (viii) liczbę cetanową analogiczną do liczby cetanowej ON, oraz (ix) możliwości mieszania z LPG i ON bez konieczności modyfikacji silników.

## Produkcja DME

Wytwarzanie DME odbywa się w procesie dwustopniowym. W pierwszym etapie z surowca „wyjściowego”, jakim może być praktycznie dowolny produkt zawierający atomy węgla (biomasa, gaz ziemny, węgiel kamienny lub brunatny, odpady komunalne) wytwarzany jest gaz syntezowy, a następnie z gazu syntezowego powstaje DME w procesie syntezy bezpośredniej lub dwustopniowo, gdzie produktem przejściowym jest metanol (rys. 2). Gaz syntezowy jest mieszaniną tlenu węgla i wodoru (oraz pary wodnej). Wytwarza się go



Dr inż. Andrzej P. SIKORA w roku 1986 ukończył studia na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. W 2011 r. uzyskał stopień doktora na Wydziale Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH. Jest adiunktem na tym Wydziale. Specjalność – modelowanie rynków energetycznych, strategię energetyczne, zarządzanie projektami energetycznymi.



Dr inż. Adam SZURLEJ w roku 2002 ukończył studia na Wydziale Paliw i Energii Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Jest adiunktem w Katedrze Zrównoważonego Rozwoju Energetycznego Wydziału Energetyki i Paliw AGH. Zainteresowania – rynek gazu ziemnego.

\* Autor do korespondencji:

Wydział Energetyki i Paliw, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, tel.: (12) 617-34-29, fax. (12) 617-45-47, e-mail: szua@agh.edu.pl

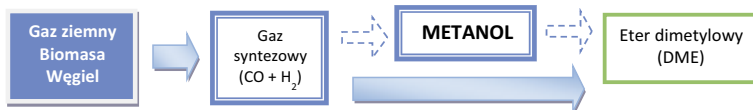
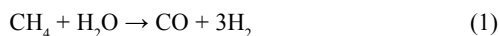


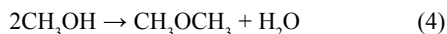
Fig. 2. Diagram of methanol/DME production

Rys. 2. Schemat produkcji metanolu/DME

w procesie reformingu parowego, w trakcie którego surowce wyjściowe zawierające węgiel są poddawane działaniu wysokiej temperatury w obecności przegrzanej pary wodnej (temp. ok. 900°C) i katalizatora. Przykładową reakcję wytwarzania gazu syntezowego z gazu ziemnego może stanowić równanie (1)<sup>12</sup>:



Wytwarzanie gazu syntezowego wymaga znacznych ilości energii, szczególnie gdy wyjściowym surowcem jest biomasa. W takim przypadku do zgazowania substancji stałej konieczne jest wytworzenie temp. rzędu 1000°C oraz ciśnienia 15–35 MPa (w zależności od materiału wyjściowego i wybranej technologii). Wytwarzanie DME z gazu syntezowego przebiega (w uproszczeniu) wg równań (2)–(4):



Bezpośrednie wytwarzanie DME z gazu syntezowego opisuje równanie reakcji (2) oraz ilustruje schemat zamieszczony na rys. 3. Wytwarzanie DME z wykorzystaniem reakcji odwodnienia (dehydratacji) metanolu opisują równania reakcji (3) i (4) oraz ilustruje rys. 4.

Schemat przykładowej instalacji do otrzymywania DME i metanolu z biogazu przedstawiono na rys. 5. W analogicznych układach biogaz może być zastąpiony przez jakikolwiek inny z wymienionych surowców (np. gaz ziemny, węgiel). Pełne nakłady inwestycyjne budowy zakładu produkcyjnego wytwarzającego DME na bazie biomasy szacowane są na 350–370 mln EUR, przy skali produkcji DME 100 tys. t/r<sup>14</sup>. Wielkość ta odnosi się do warunków skandynawskich, w których pozyskanie biomasy nie jest problemem, a wręcz przeciwnie, poszukiwane są coraz to nowe sposoby zagospodarowania odpadów pochodzących z produkcji drzewnej i papierniczej oraz z odpadów komunalnych. W innych rejonach świata koszty te mogą być wyższe, np. ze względu na konieczność rozwiązania problemów logistycznych związanych z pozyskaniem odpowiednich ilości biomasy.

W przypadku gdy surowcem wyjściowym do produkcji DME jest metanol, koszty te są znacznie niższe, gdyż konieczne jest jedynie przeprowadzenie procesu dehydratacji metanolu. W takiej sytuacji koszty inwestycyjne do osiągnięcia produkcji DME w wysokości 80 tys. t/r szacowane są na 15 mln EUR<sup>15</sup>. Wybrane zakłady produkujące DME na świecie zostały przedstawione w tabeli 3.

## Magazynowanie i transport DME

Właściwości chemiczne i fizyczne DME (stosunkowo wysoka temperatura skraplania i gęstość) upodabniają ten gaz do LPG. Dlatego też technologie transportu i magazynowania DME są analogiczne do rozwiązań stosowanych w przemyśle LPG. W analogiczny sposób regulowane są kwestie bezpieczeństwa. Pełen łańcuch (potencjalny) logistyki DME został przedstawiony na rys. 6.

Z uwagi na te analogie między fizycznymi i chemicznymi właściwościami DME i LPG można założyć, iż w przypadku znacznego wzrostu produkcji i obrotu DME na rynkach światowych transport DME w ilościach masowych i na duże odległości będzie odbywał się, tak jak w przypadku LPG, z wykorzystaniem floty gazowców. Obecnie LPG jest jednym z bardziej istotnych produktów masowych transportowanych morzem. W 2012 r. udział LPG w światowym morskim handlu gazem stanowił 16% (pozostałe 84% to LNG), osiągając 45 mln t/r<sup>17</sup>.

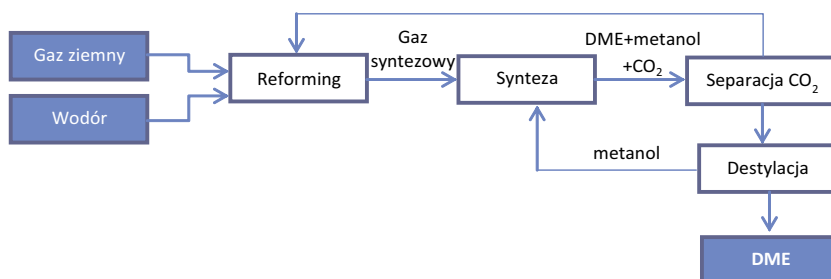


Fig. 3. Diagram of DME direct production from natural gas

Rys. 3. Schemat bezpośredniego wytwarzania DME (surowiec wyjściowy – gaz ziemny)

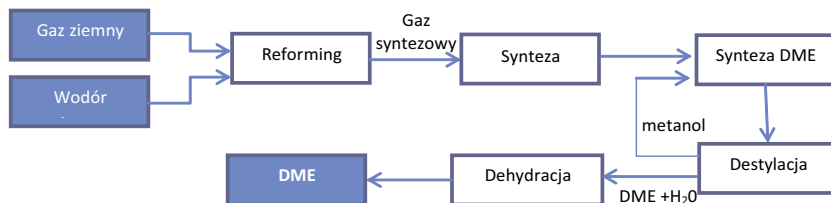


Fig. 4. Diagram of DME production by methanol dehydration

Rys. 4. Schemat wytwarzania DME z wykorzystaniem reakcji odwodnienia metanolu

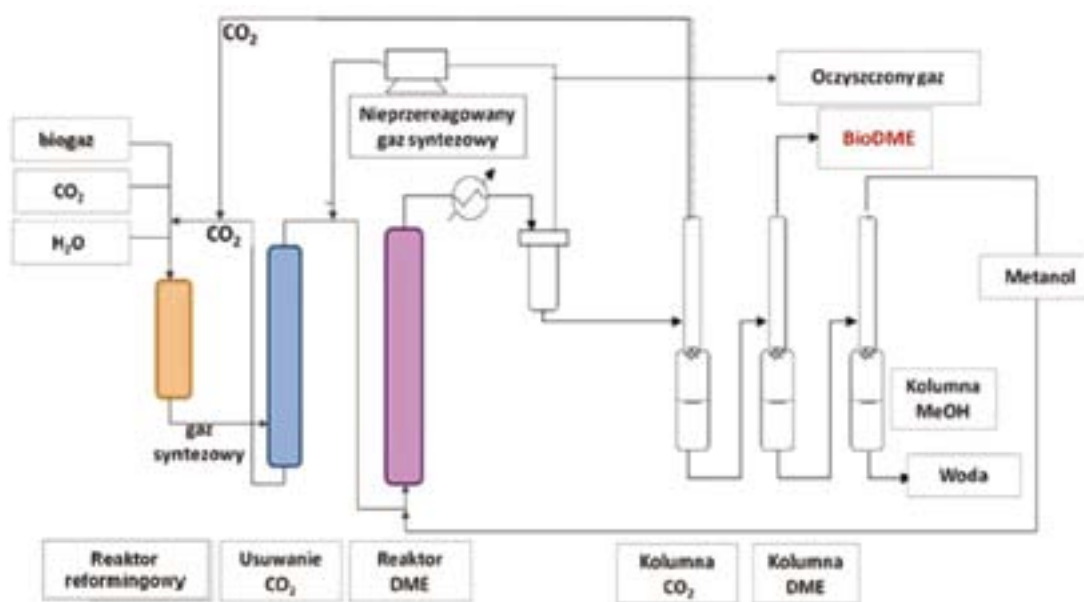


Fig. 5. Flowsheet of a DME plant from biogas<sup>13</sup>

Rys. 5. Schemat instalacji do produkcji DME z biogazu<sup>13</sup>

Table 3. Basic information about selected plant of DME production

Tabela 3. Podstawowe informacje dotyczące wybranych zakładów produkujących DME

Lokalizacja	Właściciel	Nakłady inwestycyjne	Wielkość produkcji DME (metanolu), tys. t/r	Termin oddania	Rodzaj surowca	Uwagi
Lingzhou (Chiny)	Ningxia Petrochemical	b.d.	140	2006	gaz ziemny	paliwo
Shenhua (Chiny)	Ningxia CoalGroup	b.d.	210	2006	węgiel kamienny	paliwo
Zhangjiagang (Chiny)	Xinao	b.d.	200	2007	metanol	paliwo (blendowane z LPG)
Assaluyeh (Iran)	Zagros Petrochemical	b.d.	800	2008	gaz ziemny	produkcja na rynek lokalny, DME jako zamiennik LPG
Niigata (Japonia)	Fuel DME Production Co	30 mln USD	80	2008	metanol	paliwo (blendowane z LPG)
Ornskoldvik (Szwecja)	Chemrec	350 mln EUR	100	2014	biomasa	paliwo samochodowe (samodzielne)
La Brea (Trynidad)	Mitsubishi	850 mln USD	1000 (1000)	2016	gaz ziemny	faza wstępna, decyzja inwestycyjna spodziewana w 2014 r.; produkcja na rynek regionalny jako zamiennik ON
Damietta (Egipt)	Methanex	b.d.	200	b.d.	metanol (produkcja uruchomiona w 2011 r.)	decyzja inwestycyjna podjęta w 2007 r., obecnie zakład w budowie; paliwo (blendowane z LPG)

Źródło: opracowanie własne na podstawie informacji z poszczególnych spółek; b.d. – brak danych

W „detalu” DME jest składowany i przewożony w zbiornikach identycznych do stosowanych przy przewozie i transporcie LPG. Dlatego też infrastruktura wykorzystywana obecnie w logistyce LPG może być też wykorzystywana w przypadku DME. W krajach o względnie rozwiniętej produkcji DME istnieją stacje paliwowe zaopatrujące flotę samochodową w paliwo na bazie DME („czysty” DME lub mieszaniny DME z olejem napędowym lub LPG); rys. 7.

## Rynek DME

Globalny popyt na DME wynosi obecnie ok. 4,6–4,7 mln t/r, z czego ponad 93% (2013 r.) przypada na rynek chiński<sup>19</sup>). Przewiduje się, że do 2015 r. zużycie DME na świecie wzrośnie do ponad 7 mln t/r, a w 2017 r. przekroczy 9 mln t/r<sup>20</sup>). Docelowa wielkość popytu (nie licząc substytucji olejów bunkrowych) jest przez ekspertów oceniana na 10–15 mln t/r<sup>21</sup>).

W strukturze konsumpcji ok. 90% DME jest wykorzystywane jako paliwo, głównie jako dodatek (do 20%) do LPG. Pozostałe 10% jest zagospodarowane jako propelent (gaz pędny) w aerozolach (głównie w produktach do pielęgnacji ciała i niektórych odświeżaczach powietrza) oraz jako czynnik chłodniczy. Parametry czystości DME do zastosowań czysto chemicznych (propelent, chłodziwo) są znacznie ostrzejsze niż w przypadku wykorzystania tego surowca jako paliwa. W efekcie zarówno reżim technologiczny, koszty produkcji, jak i cena DME do zastosowań chemicznych są znacznie wyższe niż w przypadku DME do celów paliwowych. Rynek DME w ostatnich 8 latach był jednym z najszybciej rosnących segmentów gałęzi metanolowej na świecie, uzyskując ponad



Fig. 6. Full chain of DME logistics<sup>16)</sup>

Rys. 6. Pełen łańcuch logistyki DME<sup>16)</sup>



Fig. 7. Gas stations with DME in South Korea (on the left) and in Sweden (on the right)<sup>18)</sup>

Rys. 7. Stacje paliwowe z DME w Korei Południowej (po lewej) oraz w Szwecji (po prawej)<sup>18)</sup>

50-proc. dynamikę średniorocznego wzrostu. W latach 2009–2013 tempo wzrostu tego rynku spadło jednak do 9–10% średniorocznie, co, jak na branżę chemiczną, jest i tak znakomitym wskaźnikiem (rys. 8).

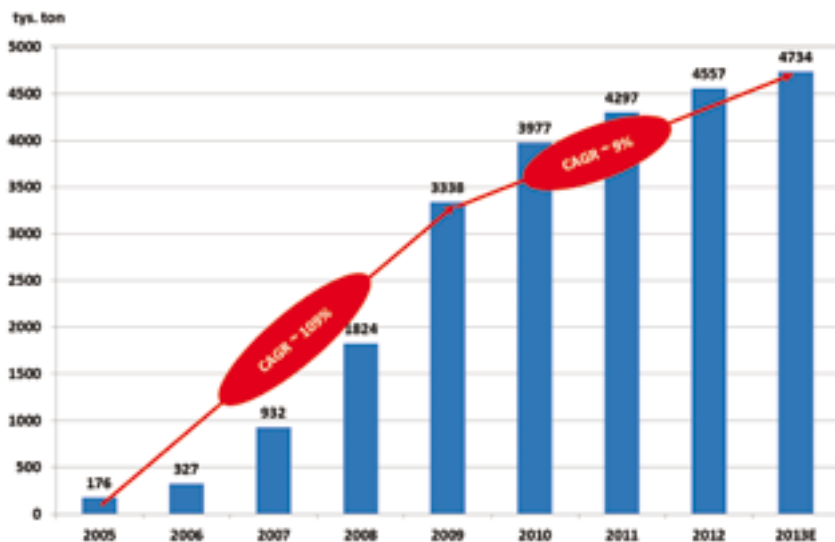


Fig. 8. Total consumption of DME in 2005–2013<sup>19)</sup>

Rys. 8. Globalne zużycie DME w latach 2005–2013<sup>19)</sup>

Głównym centrum produkcji DME na świecie pozostają Chiny<sup>22)</sup>, na których obszarze zlokalizowanych jest obecnie ponad 60 zakładów o łącznych mocach produkcyjnych sięgających na koniec 2012 r. ponad 12 mln t/r (ponad 90% światowych zdolności wytwórczych); rys. 9. Kilkanaście jednostek jest w budowie i po ich ukończeniu łączne moce w ChRL sięgną 19,6 mln t/r<sup>11)</sup>. To właśnie możliwości zastosowania DME jako dodatku do LPG spowodowały duży przyrost mocy wytwórczych w Chinach w latach 2008–2011. Nastąpiło ponad 4-krotne zwiększenie zdolności produkcyjnych, podczas gdy faktyczny popyt przyrósł jedynie nieco ponad 2-krotnie. W wyniku tego stopień wykorzystania wybudowanych instalacji spadł z 50–60% w latach 2005–2007 do zaledwie 25–35% w okre-

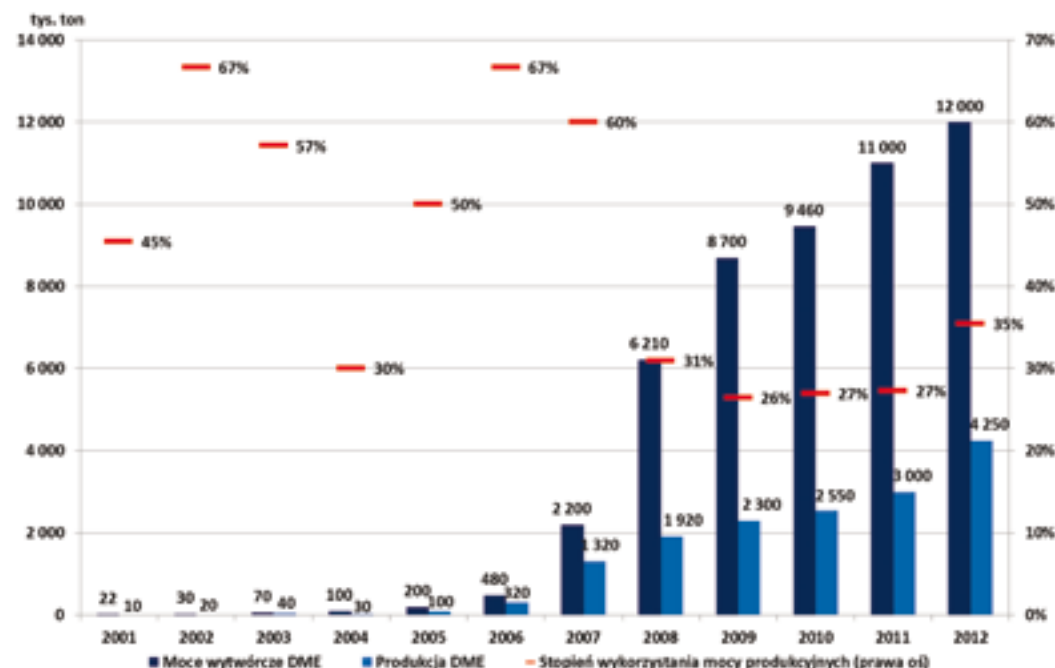


Fig. 9. Capacity and production of DME in People Republic of China<sup>23)</sup>

Rys. 9. Moce wytwórcze i produkcja DME w Chińskiej Republice Ludowej<sup>23)</sup>

sie 2008–2012. Wskaźnik ten jest wyższy na południu i wschodzie Chin (sięga 45%), podczas gdy w głębi kraju wynosi ok. 30%. Do największych producentów DME w Chinach należą koncerny China Energy (Jiutai Group), Hebei Kaiyue Group, Guanghui Energy,

Hubei Tianmao Group Co., Ltd. Shandong Yuhuang Chemical Co. oraz Xinneng Group (Zhangjiagang) Co. (ENN Energy Chemicals (aka XinAo)), które łącznie posiadają ponad 30% całości mocy chińskich instalacji.

Poza Chinami DME jest produkowany do celów paliwowych w Iranie (duża wytwórnia pracuje w Zargoz) oraz w Japonii (Niigata). Stosunkowo niewielkie zakłady produkcyjne w Europie (Rotterdam i Frankfurt) są zorientowane na produkcję DME do aerozoli. Koreańskie instalacje mają charakter demonstracyjny i są przeznaczone głównie do celów badawczych. Ciekawą koncepcję zaprezentowała w Stanach Zjednoczonych firma Oberon Fuels, która buduje tzw. modularne instalacje do produkcji DME oparte na biogazie lub gazie ziemnym z łupków. Pierwszy z takich modułów o mocy ok. 4 tys. t. (4,5 tys. galonów/dzień) rozpoczął produkcję DME w połowie 2013 r. Ponadto planuje się też budowę dużych zakładów produkcyjnych w Indiach (265 tys. t/r), Papui-Nowej Gwinei (200 tys. t/r) i w Uzbekistanie (100 tys. t/r)<sup>23)</sup>. Niektóre źródła wspominają też o planach instalacji w Arabii Saudyjskiej (300 tys. t), Wietnamie, Omanie, Mongolii i Australii.

Trwające od 2008 r. spowolnienie gospodarcze na świecie oraz duża nadwyżka mocy produkcyjnych w Chinach spowodowały istotne zmniejszenie zainteresowania budową nowych instalacji do wytwarzania DME. Tym niemniej rynek DME jest oceniany jako jeden z najbardziej perspektywicznych segmentów obszaru zagospodarowania metanolu i jego pochodnych. Obecnie DME jest już z powodzeniem wykorzystywany na skalę komercyjną jako substytut LPG, zarówno do celów grzewczych, jak i trakcyjnych. Użycie tego produktu jako substytutu średnich destylatów w silnikach diesla oraz olejów bunkrowych w turbinach statków, znajdujące się w tej chwili w fazie demonstracyjnej, oferuje ogromny potencjał wzrostu. Inną opcją pozostaje wykorzystanie DME jako paliwa do produkcji energii elektrycznej, również gotowe od strony technologicznej.

Dla ewentualnego zaopatrzenia w DME jako paliwo alternatywne dla olejów bunkrowych największe znaczenie będą miały zakłady produkcyjne w Szwecji, na Trynidadzie oraz w Egipcie, jeżeli Methanex zdecyduje się kontynuować projekt (główną przeszkodą była niestabilność polityczna Egiptu, a nie aspekty ekonomiczne). Łącznie oferują one potencjał ok. 400 tys. t/r. W skali potencjalnego popytu w UE to do rozważenia pozostaje import większych ilości DME z Chin. Wolne moce tamtejszych instalacji sięgają teoretycznie ponad 7,75 mln t/r, ale w kontekście eksportu drogą morską praktyczne znaczenie mają tylko zakłady umiejscowione w nadmorskich prowincjach (Gunagdong, Fujian, Zhejiang, Jiangsu, Szantung, Hebei), które oferują 2–2,2 mln t/r wolnych

mocy. Rozważyć można też budowę nowego zakładu produkującego DME z metanolu z istniejących lub planowanych zakładów zlokalizowanych w pobliżu Morza Bałtyckiego.

Na rys. 10 przedstawiono rozkład zdolności produkcyjnych metanolu w skali świata. O ile do 2002 r. praktycznie cała światowa produkcja metanolu oparta była na gazie syntezowym, otrzymywanym z gazu ziemnego, to obecnie w większości nowo uruchamianych instalacji wykorzystuje się węgiel. Jest to interesujące rozwiązanie w kontekście rosnącego zapotrzebowania na metanol, uniezależnienia polskiego przemysłu od importu tego produktu, a także możliwości zagospodarowania krajowego węgla<sup>25)</sup>. W bezpośrednim sąsiedztwie Polski znajdują się moce wytwórcze metanolu w wielkości ok. 5,5 mln t/r (tabela 4). Poza tym dostępne jest ok. 2,2 mln t/r w północnej Afryce, 10,7 mln t/r w Trynidadzie i Wenezueli oraz prawie 16 mln t/r w Środkowym Wschodzie.

Dotychczas zarówno moce wytwórcze, jak i zużycie DME rozwijały się właściwie tylko w Chinach, gdzie DME znalazł zastosowanie głównie jako dodatek do LPG. Poza ChRL zdolności produkcyjne nie przekraczają 1 mln t/r, a w Europie wynoszą zaledwie 65 tys. t/r produktu ukierunkowanego na dodatek do aerozoli. Realizowane projekty inwestycyjne m.in. w Szwecji, Egipcie i Trynidadzie zwiększą dostępność DME w sąsiedztwie rynku europejskiego o 400 tys. t/r, co w świetle ewentualnych potrzeb związanych z zastosowaniem tego gazu jako paliwa dla statków może być wciąż daleko niewystarczające. Na przestrzeni najbliższych lat jedyną realną opcją może być zatem import DME od posiadających nadmiarowe moce producentów z południa i wschodu Chin lub budowa własnych zakładów produkcyjnych w zależności od zasobów metanolu.

Zgodnie z załącznikiem VI Międzynarodowej Konwencji o Zapobieganiu Zanieczyszczeniu Morza przez Statki (MARPOL) wprowadzono nowe przepisy mające na celu zmniejszenie zanieczyszczeń powietrza przez statki (spalinami, oparami ładunku lub substancjami niszczącymi warstwę ozonową). Dla wyznaczonych Specjalnych Obszarów Kontroli Emisji Siarki SECA (*sulfur emission control areas*), które obejmują Morze Bałtyckie, Morze Północne i obszar morski rozciągający się na ok. 24 mil morskich od wybrzeża Kalifornii, ustalono bardzo rygorystyczne wartości dopuszczalnej zawartości siarki w paliwie bunkrowym, które od 2015 r. nie może przekraczać wartości granicznej 0,1%. Aby sprostać tym nowym wymogom, właściciele statków pływających po obszarach SECA mogą (i) dalej korzystać z ciężkiego oleju bunkrowego, po zainstalowaniu instalacji do odsiarczania spalin na układzie wydechowym statku wspomaganym układem selektywnej redukcji katalitycznej tlenków azotu SCR (*selective catalytic reduction*), (ii) wykorzystywać dużo droższe średnie destylaty (morski olej napędowy 0,1%), wspomagając się układem SCR w niskoemisyjnych silnikach diesla (poziom emisji NO<sub>x</sub> z tzw. tier III wg regulacji Międzynarodowej Organizacji Morskiej), (iii) wykorzystywać LNG jako paliwo, co wymaga całkowitej zmiany konstrukcji układu napędowego i zbiorników na paliwo, (iv) wykorzystywać DME jako paliwo w silnikach Diesla, które wymagają pewnych modyfikacji lub (v) wykorzystywać metanol w silnikach dwupaliwowych (olej napędowy jako paliwo startowe).

Całość konsumpcji ciężkich olejów opalowych w obszarze SECA wynosi obecnie (lata 2012–2013) 30–31 mln t/r, z czego 5,4–5,5 mln t/r

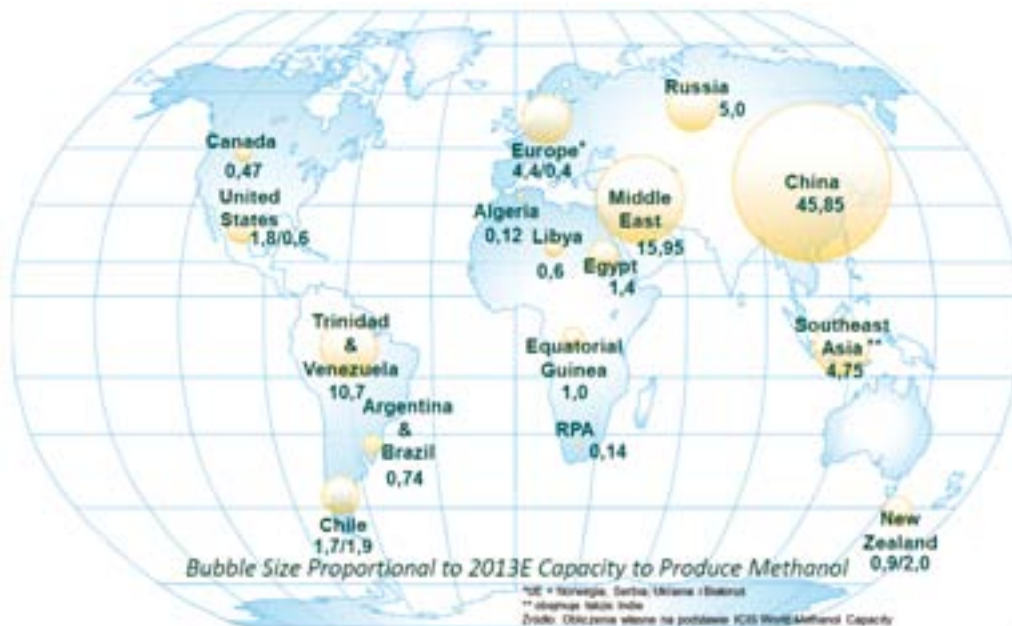


Fig. 10. Capacity to produce methanol in 2012, million tons annually<sup>24)</sup>

Rys. 10. Zdolności produkcyjne metanolu w 2012 r., mln t/r<sup>24)</sup>

Table 4. Capacity to produce methanol in the vicinity of Poland

Tabela 4. Moce wytwórcze metanolu w sąsiedztwie Polski

Kraj	Lokalizacje	Moce wytwórcze, tys. t/r	Planowane moce, tys. t/r
Niemcy	Ludwigshafen, Gelsenkirchen, Wesseling, Leuna	1 840	
Holandia	Delfzijl	1 000	
Rosja (część europejska)	Novomoskowsk (Tuła), Szczekino (Tuła), Nowoczerkask (Rostów), Nowogoród, Togilatti (Samara)	2 250	2 000
Litwa	Jonava	130	
Białoruś	Grodno	60	
Ukraina	Sewerodoneck	200	
Razem		5 480	2 000

Źródło: obliczenia własne na podstawie<sup>24)</sup>

przypadu na Morze Bałtyckie. Biorąc pod uwagę wartości opałowe odpowiada to równowartości DME 47–47,5 mln t/r lub metanolu 68,5–69 mln t/r dla całego rejonu SECA oraz ok. 8 mln t/r DME i 11 mln t/r metanolu w rejonie Bałtyku. Prognozy zakładają, że już w 2015 r. ekwiwalent ok. 8,7 mln t oleju opałowego ciężkiego HFO (*heavy fuel oil*) zostanie zastąpiony przez paliwa niskosiarkowe (olej napędowy 0,1% lub inne) na obszarze SECA (co odpowiada 13,2 mln t DME lub 18 mln t metanolu). Na Bałtyku wyniesie to 1,5 mln t (2,3 mln t DME i 3,1 mln t metanolu). Ponieważ przejście z olejów napędowych na DME nie wymaga znaczących przeróbek, to taki właśnie będzie wstępny potencjał rynkowy dla nowych paliw. Do tego można też doliczyć ok. 4 mln t obecnie zużywanego oleju napędowego jako paliwa bunkrowego na obszarze SECA (obliczone z wykorzystaniem tej samej metodologii i danych IHS CERA, Annual Long-Term Strategic Workbook, Refining and Product Markets, kwiecień 2013, przyjmując gęstość oleju napędowego 0,84 t/m<sup>3</sup> oraz wartość opałową 43,3 GJ/t). Daje to równowartość ok. 6,1 mln t DME lub 8,3 mln t metanolu. Na samym Bałtyku wielkość zużycia oleju napędowego to teraz ok. 1,2 mln t (1,8 mln t DME lub 2,5 mln t metanolu).

Przyjmując zatem, że DME lub metanol będą głównymi substytutami dla morskiego oleju napędowego, który ma zastąpić lub już zastępuje ciężki olej opałowy jako paliwo bunkrowe potencjał rynku SECA wynosi 19,3 mln t DME lub 26,3 mln t metanolu. Dla samego Bałtyku wielkości te to 4,1 mln t DME lub 5,6 mln t metanolu. Dla samej Polski wg tej metodologii to ponad 60 tys. t DME lub ok.

85 tys. t metanolu. Potencjał rynku może zostać zaspokojony tylko w sytuacji, gdy parametry ekonomiczne zastosowania DME lub metanolu jako paliwa bunkrowego będą lepsze niż średnich destylatów.

Przyjmując, że średnia cena oleju napędowego 0,1% dla rynku NWE wynosiła w 2013 r. 921 USD/t oraz zakładając średnie wartości opałowe wszystkich substancji zgodnie z wcześniej przedstawianymi wartościami, można wyliczyć koszty każdego paliwa w przeliczeniu na jednostkę energetyczną (GJ), co pozwoli oszacować ich konkurencyjność cenową (tabela 5). O ile dostawy DME i metanolu z południowo-wschodnich Chin mogą być nieopłacalne, o tyle uruchomienie potencjalnych zakładów produkcyjnych w Trynidadzie lub Egipcie (ewentualnie w Stanach Zjednoczonych) może stworzyć ciekawą ofertę także od strony cenowej. Zakładając, że koszt węgla o kaloryczności ok. 24 GJ/t będzie wynosił 100 USD/t, ceny tego paliwa na rynku chińskim mogą być znacznie niższe, ale niestety tylko w głębi kraju (prowincje Sinciang-Ujgur, Shanxi lub Mongolia Wewnętrzna), gdzie znajdują się największe pokłady węgla w Chinach. Na wybrzeżu, skąd zakłada się import DME, koszty paliwa węglowego będą zapewne oscylowały wokół tej wartości. Generalnie przy cenach morskiego oleju napędowego w przedziale 890–910 USD/t ceny DME (z marżą sprzedającego) nie mogą przekraczać 590–600 USD/t, zaś metanolu 430–440 USD/t, by paliwa te pozostały konkurencyjne cenowo.

## Podsumowanie i wnioski

Nowe regulacje co do emisji siarki tworzą potężny rynek dla nowych substytutów ciężkiego oleju opałowego. Jego wielkość szacuje się na ok. 19 mln t DME (26 mln t metanolu) dla obszaru SECA, w tym dla samego akwenu bałtyckiego 4 mln t DME (5,5 mln t metanolu). Dla Polski potencjał ten wynosi co najmniej 60 tys. t DME (85 tys. t metanolu), przy przyjęciu tych założeń. Maksymalny poziom (całkowita substytucja HFO i oleju napędowego 1,0%) sięga 120 tys. t DME (165 tys. t metanolu). Przy obecnych kosztach wytwarzania najbardziej obiecującym kierunkiem importu mogą być oparte na gazie ziemnym projektowane instalacje w Egipcie lub Trynidadzie. Dostawy z Chin ze względu na znaczne odległości i związane z tym wysokie koszty transportu mogą być nieopłacalne, choć z uwagi na nadpodaż mocy w tym rejonie warto także sprawdzić ofertę tamtejszych producentów.

DME jako paliwo bunkrowe (czy też generalnie jako paliwo do silników i turbin) ma wiele zalet, ale na rynkach światowych poza Chinami jego podaż jest, póki co, znikoma. Budujące się nowe instalacje w Trynidadzie lub też odblokowanie projektu Methaneksu w Egipcie zwiększyłyby radykalnie ilość dostępnego na rynku europejskim surowca, ale wielkości te są daleko niewystarczające w obliczu potencjalnego popytu ze strony armatorów flot pływających po Bałtyku i Morzu Północnym. Potencjalny import z południowo-wschodnich prowincji Chin (obecnie ponad 2 mln t/r, w przyszłości zapewne znacznie więcej) może być ze względów ekonomicznych nieopłacalny.

Table 5. Fuel costs calculating on energy unit, USD/GJ

Tabela 5. Koszty paliw w przeliczeniu na jednostki energetyczne, USD/GJ

Paliwo	Koszt w Polsce (dostawa z Chin, produkcja na bazie węgla kamiennego)	Koszt w Polsce (dostawa z Trynidadu, produkcja na bazie gazu ziemnego)	Koszt w Polsce (dostawa z Egiptu, produkcja na bazie gazu ziemnego)
Metanol	22,92	16,33	15,99
DME	24,76	17,71	17,33
Olej napędowy 0,1%	21,28	21,28	21,28
Różnica olej napędowy-metanol	-1,63	4,96	5,29
Różnica olej napędowy-DME	-3,47	3,58	3,95

Źródło: obliczenia własne

W świetle problemów na europejskim i polskim rynku rafineryjnym nie należy oczekiwać powrotu do czasów, gdy rafinerie europejskie zwiększały swoją produkcję. W obliczu kurczenia się produkcji europejskiej, a także z uwagi na zmniejszenie roli HFO jako paliwa bunkrowego, spowodowanej decyzjami środowiskowymi, zmianie powinna ulec rola tego paliwa (ale także metanolu) w polskim miksie energetycznym, a raczej na szerzej rozumianym rynku środkowoeuropejskim oraz w obszarze Morza Bałtyckiego.

Otrzymano: 12-07-2014

## LITERATURA

- M. Krupa, J. Majchrzak, A. Sikora, *Chem. Przem.* 2009, nr 5, 47.
- M. Krupa, J. Majchrzak, A. Sikora, *Chem. Przem.* 2009, nr 6, 38.
- A. Szurlej, P. Janusz, *Mineral Resour. Manage.* 2013, **29**, z. 4, 77.
- J. Kamiński, *Energy Policy* 2009, **37**, nr 3, 925.
- E. Gross-Golacka, W. Lubiewa-Wieleżyński, A.P. Sikora, A. Szurlej, R. Biały, *Przem. Chem.* 2013, **92**, nr 8, 1393.
- J. Kamiński, *Energy Policy* 2014, **66**, nr 3, 42.
- W. Górski, A. Kulczycki, *Przem. Chem.* 2009, **88**, nr 3, 222.
- M. Krupa, J. Majchrzak, A. Sikora, *Chem. Przem.* 2009, nr 4, 51.
- W. Lubiewa-Wieleżyński, A. Sikora, *Przem. Chem.* 2009, **88**, nr 6, 684.
- ISO 29945:2009 *Refrigerated non-petroleum-based liquefied gaseous fuels. Dimethylether (DME) – Method of manual sampling on shore terminals.*
- I. Hannula, E. Kurkela, VTT Technical Research Centre of Finland, 2013.
- E. Okada, Mat. 10th Biomass-Asia Workshop "Dimethyl Ether – Future Alternative Energy", 5–6 sierpnia 2013 r., 28.
- W. Górski, M. Jabłońska, *Nafta Gaz* 2012, nr 9, 631.
- <http://www.pipc.org.pl>, [www.ise.com.pl](http://www.ise.com.pl)
- F. Bollon, Singapore International Energy Week, 2013.
- A. Ishiwada, 7th Asian DME Conference, listopad 2011 r.
- UNCTAD, „Review of maritime transport 2013”, [www.unctad.org/en/publicationslibrary/rmt2013\\_en.pdf](http://www.unctad.org/en/publicationslibrary/rmt2013_en.pdf)
- P. Salomonsson, 7th Asian DME Conference "From Wood to Wheel", listopad 2011 r.
- Methanol Market Services Asia, „Methanol Supply and Demand 2008–2013”.
- M. Laughlin, "Methanol", czerwiec 2013 r.
- M. Berggren 16th IMPCA Asian Methanol Conference, październik 2013 r.
- R. Boudreaux, Oberon Fuels, 27 września 2013 r.
- J.A. Taupy, „Multi-Source. Multi-Purpose. Low Carbon: DME's Roles in the Energy Mix”, październik 2012 r.
- ICIS World Methanol Capacity.
- A. Tatarczuk, L. Zapart, K. Dreszer, M. Ściążko, *Przem. Chem.* 2009, **88**, nr 3, 222.