

Wiesław Górski, Magdalena Monika Jabłońska
Instytut Nafty i Gazu

Eter dimetylowy – uniwersalne, ekologiczne paliwo XXI wieku

Wprowadzenie

Wkrótce polski przemysł stanie przed zadaniem racjonalnego zagospodarowania gazu z formacji łupkowych wydobywanego ze złóż krajowych. Przed Polską otwierają się nowe perspektywy gospodarcze, które wymagają opracowania nowych planów i wypracowania technik użytkowania tego surowca. Podstawowym składnikiem gazu zakumulowanego w łupkach jest metan (gaz ziemny). Opracowano i wdrożono wiele technologii użytkowania i przetwarzania metanu. Jednym z kierunków zagospodarowania tego surowca jest wykorzystanie go w postaci sprężonej (CNG – *compressed natural gas*), jako paliwa silnikowego. Gaz ziemny, jako paliwo silnikowe, wykazuje jednak pewne wady, co jest powodem ograniczenia jego stosowania. Natomiast powszech-

ne zastosowanie znalazł tzw. autogaz – skroplony gaz naftowy (LPG – *liquefied petroleum gas*), zawierający głównie butany i propan, używany jako paliwo do specjalnie dostosowanych silników z zapłonem iskrowym. Paliwo to w porównaniu z benzyną silnikową wykazuje wiele zalet, m.in.: posiada relatywnie niższą cenę, korzystniejsze parametry oddziaływania na środowisko naturalne i łatwość dostosowania silników benzynowych do jego użytkowania. LPG nie może być stosowany jako samoistne paliwo do silników z zapłonem samoczynnym (Diesla) głównie ze względu na niekorzystne właściwości zapłonowe (niską liczbę cetanową). Natomiast paliwem gazowym, które bez ograniczenia może być wykorzystane w silnikach Diesla, jest eter dimetylowy (DME).

Eter dimetylowy – właściwości fizyczne i chemiczne

Eter dimetylowy ($\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$) w temperaturze pokojowej jest bezbarwnym gazem o charakterystycznym zapachu. Spala się on niebieskim płomieniem.

Podstawowe właściwości DME przedstawiono w tabelicy 1. W publikacjach na temat DME są podawane różne wartości odpowiadające jego poszczególnym właściwościom.

Ponieważ właściwości fizykochemiczne DME są zbliżone do właściwości LPG, związek ten może stanowić środek zastępczy dla tego paliwa, zwłaszcza w zastosowaniach energetycznych i komunalnych. Ze względu na wysoką liczbę cetanową i dobre właściwości ekologiczne jest on uznawany za „czyste” paliwo do silników z zapłonem samoczynnym (Diesla). Nie działa korozyjnie na



Rys. 1. Model cząsteczki DME

metale konstrukcyjne silnika oraz nie wpływa szkodliwie na stan zdrowia ludzi [10]. Wykorzystywany jako paliwo nie powoduje emisji tlenków siarki (SO_x) oraz cząstek stałych (PM). Spalany generuje jedynie niewielkie ilości tlenków azotu (NO_x), tlenku węgla (CO) oraz niedopa-

lonych resztek paliwa, niekiedy określanych jako THC (THC – *total hydrocarbons*).

Zgodnie z wynikami badań prowadzonych przez japoński instytut High Pressure Gas Safety of Japan [12], ze względu na chemiczną stabilność w czasie magazynowania, współczynnik dyfuzji oraz niebezpieczeństwo eksplozji zbiornika podczas ogrzewania DME stanowi zagrożenie takie jak LPG. DME może być magazynowany w postaci ciekłej, pod umiarkowanym ciśnieniem – powyżej 0,6 MPa.

Eter dimetylowy zasługuje na uwagę jeszcze z innych powodów, a mianowicie ma bardzo podobne zalety do tych, jakimi charakteryzuje się metanol, czyli: dobre właściwości niskotemperaturowe, łatwość transportowania oraz niski koszt

katalizatora Cu-Zn, najczęściej stosowanego w procesie reformingu parowego [12].

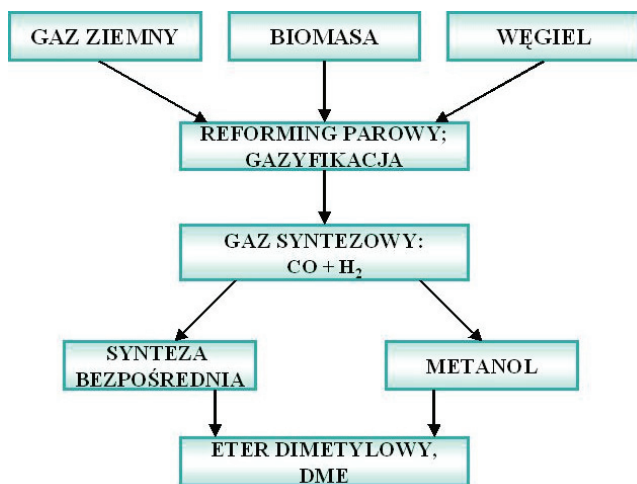
Tablica 1. Wybrane właściwości fizykochemiczne DME

Właściwości	Jednostki	Wartości
Względna masa cząsteczkowa		46,07
Zawartość węgla	% [m/m]	52,2
Zawartość wodoru	% [m/m]	13,0
Zawartość tlenu	% [m/m]	34,8
Stan skupienia		gaz
Barwa		bezbarwny
Rozpuszczalność w wodzie w 20°C	[kg/m ³]	3,28 · 10 ³
Rozpuszczalność w metanolu, etanolu		rozpuszczalny
CAS nr		115-10-6
UN nr		UN 1033

Metody otrzymywania

Eter dimetylowy jest wytwarzany z gazu syntezowego (CO + H₂) dwiema metodami: syntezą pośrednią (przez metanol) i syntezą bezpośrednią. Eter dimetylowy, poprzez gaz syntezowy, można produkować [12] z takich surowców jak:

- biogaz,
- biometanol,
- biomasa,
- gaz ziemny,
- węgiel kamienny,
- węgiel brunatny,
- łupki bitumiczne,
- odpady tworzyw sztucznych,
- odpady komunalne.

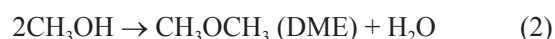


Rys. 2. Drogi otrzymywania DME

Schemat przemysłowych dróg otrzymywania DME przedstawiono na rysunku 2.

Gaz syntezowy, otrzymany w wyniku reformingu parowego z różnych surowców i biosurowców, można na dalszym etapie wykorzystać do bezpośredniej syntezy eteru dimetylowego.

Cały proces jest połączeniem trzech reakcji (1, 2, 3) prowadzonych w jednym reaktorze. Przebieg każdej z reakcji przedstawiono poniżej [11]:

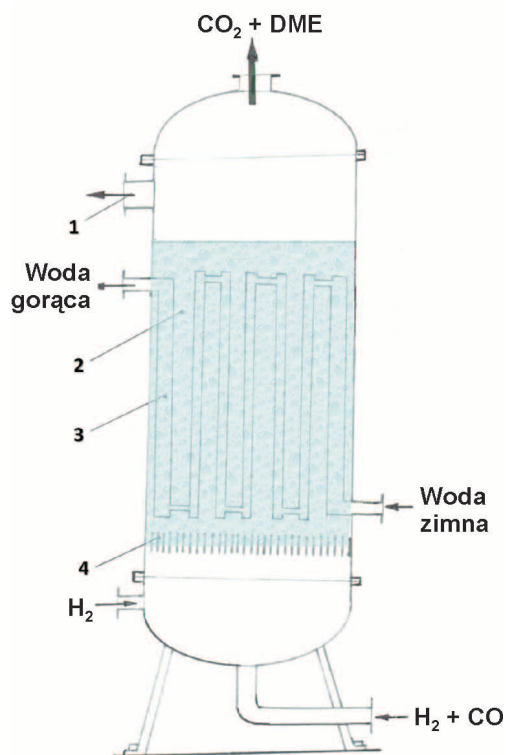


Sumaryczny przebieg procesu wygląda następująco (4):



Z tlenu węgla i wodoru powstaje metanol, zgodnie z reakcją 1. Dwie cząsteczki otrzymanego metanolu tworzą DME i wodę (reakcja 2). Z wody i tlenu węgla, zgodnie z reakcją 3, powstaje wodór i ditlenek węgla. Wodór, uzyskany w procesie 3, staje się jednym z substratów reakcji 1. Produktem ubocznym pełnej syntezy (reakcja 4) jest, tworzący się w reakcji 3, ditlenek węgla.

Proces otrzymania DME metodą bezpośrednią jest egzotermiczny ($\approx 246,2 \text{ kJ/mol DME}$) [11], dlatego przeprowadza się go w reaktorze z chłodnicą i fazą zawieszinową. Jego schemat przedstawiono na rysunku 3.

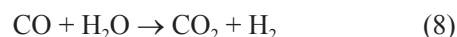
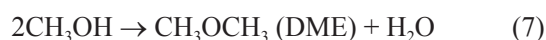


Rys. 3. Schemat reaktora z fazą zawiesinową do produkcji DME metodą bezpośrednią

- 1 – przelew, 2 – mieszanina reakcyjna z zawieszonym katalizatorem, 3 – wymiennik ciepła, 4 – dyspergator gazu reakcyjnego

Proces bezpośredniej syntezy DME wykazuje największy współczynnik konwersji gazu syntezowego wówczas, gdy stosunek H_2/CO w gazie wynosi około 1,0. Z tego powodu niezbędne jest wzbogacanie gazu syntezowego w wodór.

Synteza pośrednia jest procesem złożonym z dwóch odrębnych etapów: syntezy metanolu (5, 6) oraz jego odwodnienia do DME (7). Jednocześnie przebiega proces konwersji: woda-tlenek węgla (8). Reakcja syntezy pośredniej (poprzez metanol) przebiega w następujący sposób [11, 12]:

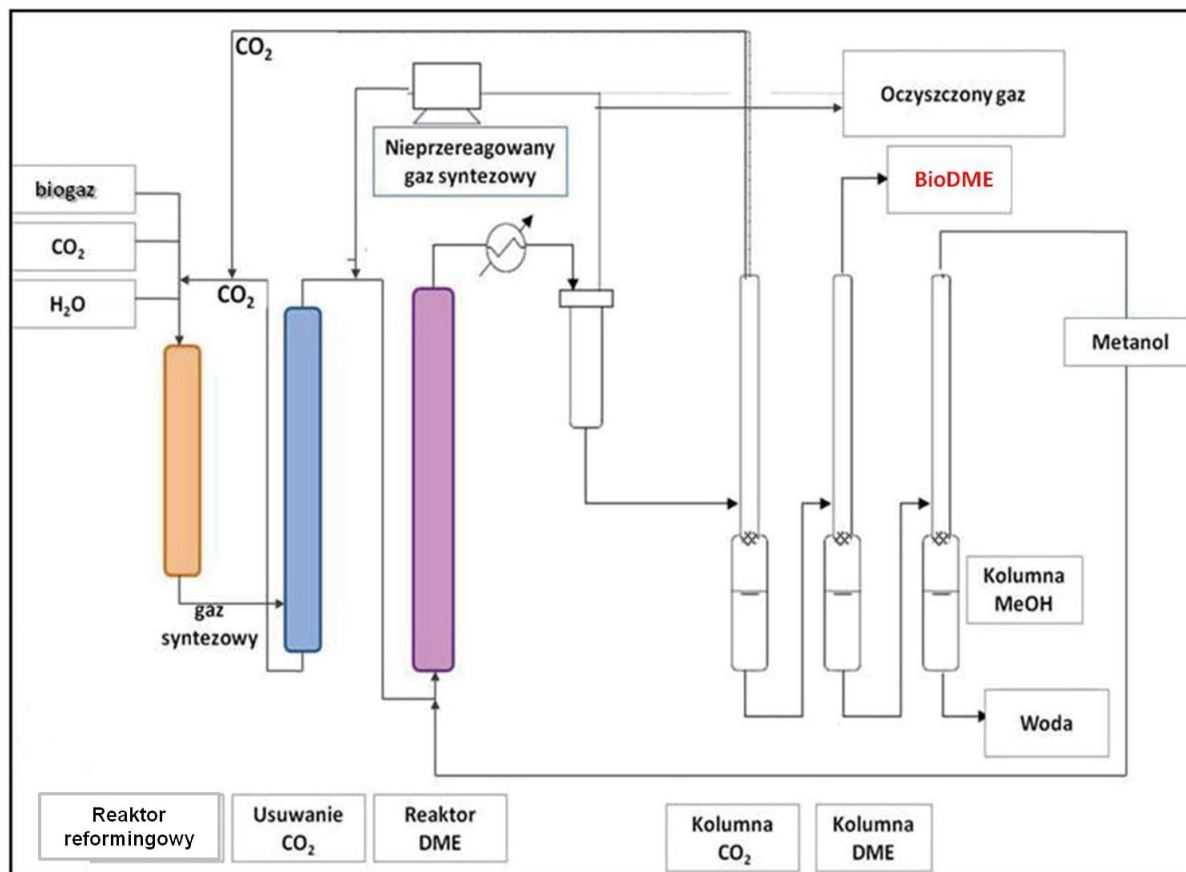


Ciśnienie przy syntezie metanolu powinno wynosić od 8 do 9 MPa, zaś proces dehydratacji należy prowadzić w temperaturze od 250 do 400°C i przy ciśnieniu od 1,0 do 2,5 MPa [12].

Zarówno w syntezie pośredniej, jak i bezpośredniej, procesy są egzotermiczne – na rysunku 4 przedstawiono ich poglądowy przebieg.

Proces		Synteza pośrednia	Synteza bezpośrednia
Kombinowany Reforming Metanu	Reforming autotermiczny	$2CH_4 + \underline{H_2O} + \underline{O_2} \rightarrow 2CO + 4H_2 + H_2O$ Teoretyczna wydajność: 95,3% Aktualna wydajność: 84,4% (-71,4 kJ/DME-mol)	—
	Reforming z ditlenkiem węgla	—	$2CH_4 + \underline{CO_2} + \underline{O_2} \rightarrow 3CO + 3H_2 + H_2O$ Teoretyczna wydajność: 98,3% Aktualna wydajność: 87,0% (-30,4 kJ/DME-mol)
Produkcja DME		Synteza metanolu: $2CO + 4H_2 \rightarrow 2CH_3OH$ Dehydratacja metanolu: $2CH_3OH \rightarrow CH_3OCH_3 \text{ (DME)} + H_2O$	Synteza DME: $3CO + 3H_2 \rightarrow CH_3OCH_3 \text{ (DME)} + CO_2$
Ogólny zapis reakcji		$2CH_4 + O_2 \rightarrow CH_3OCH_3 + H_2O$	$2CH_4 + O_2 \rightarrow CH_3OCH_3 + H_2O$

Rys. 4. Zestawienie procesów otrzymywania DME



Rys. 5. Schemat instalacji do procesu otrzymywania BioDME z biogazu

DME jako biopaliwo

Jeżeli do produkcji DME zostaną wykorzystane takie surowce jak: biometanol, biomasa bądź biogaz, wówczas jest on formalnie [15] uznawany za biopaliwo (BioDME). Proces produkcji BioDME nie różni się istotnie od procesów produkcji DME z innych surowców. Przykład schematu instalacji do produkcji BioDME z biogazu przedstawia rysunek 5. W przypadku, gdy jako surowiec zostanie użyty biogaz, dodatkowo wymaga on dokładnego oczyszczenia w celu przeciwdziałania zatruciu katalizatora.

Unia Europejska w znacznej części finansuje działania zmierzające do przemysłowej produkcji i zastosowań BioDME [8]. Komisja Europejska przewiduje rozwój produkcji tego biopaliwa i do 2030 roku BioDME powinien zastąpić

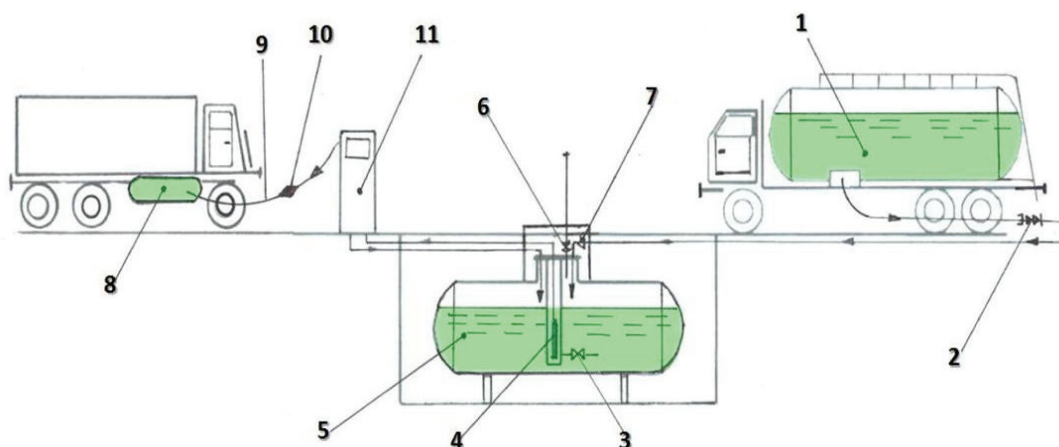
połowę węglowodorowego oleju napędowego stosowanego w transporcie samochodowym. Zastosowanie BioDME w transporcie samochodowym może zmniejszyć emisję gazów cieplarnianych (GHG) o 92÷95% [4], w zależności od zastosowanego surowca i przy zachowaniu parametrów pracy silnika jak w przypadku węglowodorowego oleju napędowego.

Volvo Trucks prowadzi testy zastosowania Bio-DME (EUCAR-CONCAWE-JRC 2007 [17]) z użyciem 14 pojazdów Volvo FH z 13 litrowym silnikiem CI, zasilanym BioDME. Badania eksploatacyjne będą prowadzone do końca 2012 r., po czym zostanie przeprowadzona wszechstronna analiza rezultatów.

Systemy dystrybucji

Stosowanie DME, jako paliwa do pojazdów samochodowych z silnikami z zapłonem samoczynnym (CI), wymaga zmodyfikowania układów zasilania pojazdów oraz stworzenia systemu dystrybucji, analogicznego do LPG.

System dystrybucji DME, zaczynający się od producenta, a kończący na stacji paliwowej (lub innym użytkowniku), jest analogiczny do systemu dystrybucji LPG. DME jest transportowany tankowcami, cysternami kolejowymi, cysternami samochodowymi lub



Rys. 6. System dystrybucji DME na stacji paliwowej

1 – cysterna samochodowa, 2 – podwójny, zrywalny zawór, 3 – wewnętrzny zawór nadmiarowy, 4 – pompa zanurzeniowa, 5 – podziemny zbiornik magazynowy, 6 – zawór bezpieczeństwa, 7 – jednokierunkowy zawór wlewowy, 8 – zbiornik paliwowy pojazdu, 9 – waga nalewczą, 10 – zrywalny łącznik, 11 – kolumna dozująca

rurociągami. Paliwo na stację paliwową dostarcza się cysterną samochodową – z niej jest ono przepompowywane do zbiornika podziemnego lub naziemnego, zainstalowanego na stacji paliwowej, co także nie różni się od systemu dystrybucji LPG. Zasadnicze elementy stacji paliwowej DME przedstawiono na rysunku 6. Zdjęcie komercyjnej stacji paliwowej DME w Szanghaju przedstawia rysunek 7. Stacje takie są coraz bardziej rozpowszechnione w uprzemysłowionych regionach Chin.



Rys. 7. Stacja paliwowa DME (Shanghai Diesel Engine Co., Chiny)

DME jako paliwo gazowe do silników CI

DME jest uniwersalnym paliwem gazowym, o wysokiej liczbie cetanowej i pozostałych właściwościach zbliżonych do innych paliw gazowych – tabela 2.

Niska temperatura samozapłonu, natychmiastowe odparowanie i niska emisja gazów cieplarnianych są powodem stosowania DME jako paliwa do silników z zapłonem samoczynnym. Podstawowe właściwości fizykochemiczne DME, istotne dla jego zastosowania jako paliwa silnikowego, podano w tabelicy 2. Budowa chemiczna i duża zawartość tlenu są powodem znacznego obniżenia emisji cząstek stałych, a zmniejszenie emisji NO_x jest możliwe przez ustawienie prędkości wtrysku paliwa i zastosowanie systemu *common rail* (CR). Dlatego, z punktu widzenia procesu spalania w silnikach CI, DME został uznany za najbardziej obiecujący substytut oleju napędowego.

Jak podają niektórzy autorzy [18], dostosowanie systemu wtrysku paliwa do pracy na DME okazało się nie tak proste, jak początkowo zakładano. Nieszczelności w układzie zasilania mogą prowadzić do spalania oleju w silniku, z niepożądanymi konsekwencjami emisji cząstek stałych. W szczególności – mała lepkość DME jest powodem powstania problemów w związku z luzem występującym w konwencjonalnych układach wtrysku paliwa. Prowadzi to do dużych przecieków. Z tego względu wymagana jest także modyfikacja uszczelnień w pompie przy poprawie układu wtrysku. Ponadto, DME musi być cały czas w stanie ciekłym, aby możliwe było dokładnego odmierzanie przed wtryskiem do cylindra.

Innym słabym punktem DME jest jego niedostateczna smarność, którą jednak można poprawić, wprowadzając

Tablica 2. Porównanie właściwości DME z innymi paliwami gazowymi

Właściwości	Jednostki	DME	Propan	Butan	LPG	LNG
Gęstość (ciecz)	[kg/m ³]	668	507,4	578,8	510÷580	716,8
Wartość opałowa dolna	[MJ/kg]	28,763	46,46	45,37	46,3	49,0
Wartość opałowa dolna	[MJ/l]	19,21	23,57	26,26	23,6÷26,8	35,12
Wartość opałowa dolna	[MJ/Nm ³]	59,3	91,25	118,46	91,0	35,9
Temperatura wrzenia	[°C]	-25,1	-42,06	-0,50	a	-161,58
Temperatura krzepnięcia	[°C]	-138,5	-189,9	-138,3	-160	-182,49
Przedział stężeń zapłonu	%[V/V]	3,4÷18,6	2,1÷9,4	1,9÷8,4	1,9÷9,8	5÷15
Temperatura samozapłonu	[°C]	235	470	430	470	650
Temperatura zapłonu	[°C]	-41	-100	-60	-95÷-60	-188
Liczba cetanowa	-	55÷60	5	10	7	0
Liczba oktanowa	-	n.o.	112	88,9	90÷110	110÷120
Liczba metanowa	-	0	35	10,5	~30	90
Prężność pary w temperaturze [°C]	[MPa]	0,61 (25)	0,93 (25)	0,24 (25)	1,65 (65)	-

n.o. – nieoznaczalna

a – zależna od proporcji składu: propan-butan-buten

500÷2000 ppm dodatku smarnościowego, np. FAME. Oczekuje się, że doświadczenie uzyskane ze stosowania metanolu w układach wtryskowych może okazać się pomocne w wykonaniu trwałego, szczelnego układu wtrysku DME, pracującego przy ciśnieniach wtrysku nieprzekraczających 30 MPa. Niewykluczone, że będzie to wymagało pewnych modyfikacji konwencjonalnego układu wtrysku, bazującego na pompie typu rotacyjnego oraz przekształceniu go na nowy układ, oparty na pompie o zmiennym skoku lub na systemie CR.

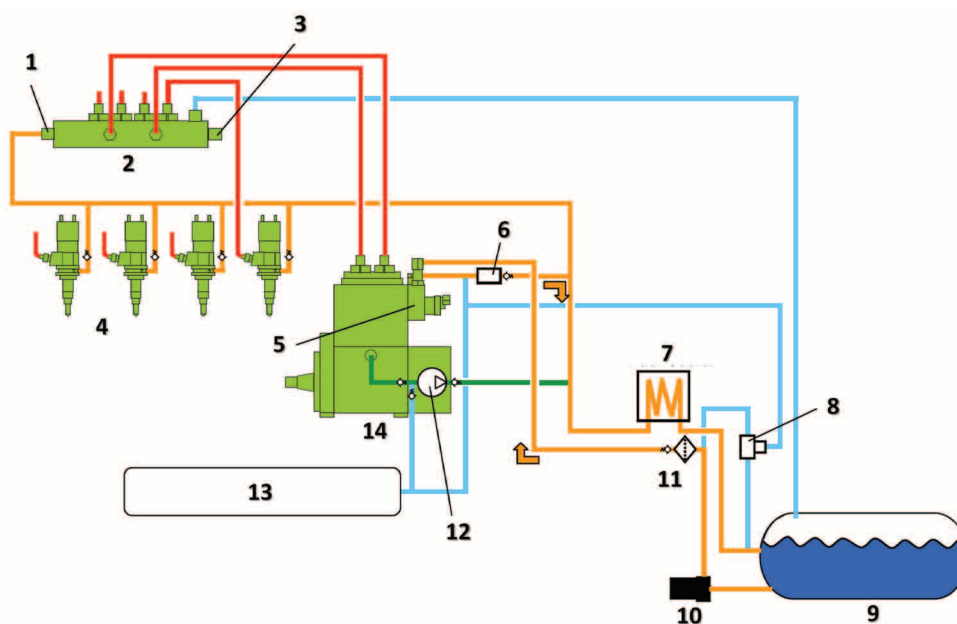
Przykład schematu układu zasilania CR silnika CI przedstawiono na rysunku 8 [5].

Przy projektowaniu zbiorników pojazdów należy brać pod uwagę fakt, że wartość opałowa DME jest mniejsza niż wartość opałowa oleju napędowego. Dla zrównoważenia zawartości energii, zbiorniki pokładowe na DME powinny być odpowiednio większe.

Pokładowe instalacje DME są podobne do instalacji LPG. Eksperymentalnie

są stosowane zbiorniki na ciśnienie 0,9 MPa, z zaworem bezpieczeństwa.

Aby uniknąć tworzenia się korków gazowych i kawitacji w przewodach paliwowych, pompa powinna podawać paliwo pod ciśnieniem od 1,2 do 3,0 MPa. DME nie jest aktywny korozyjnie, ale wymaga stosowania specjalnych materiałów na uszczelnienia.



Rys. 8. Schemat układu zasilania CR silnika ZS, wg Tadanori Yanai [18]

- 1 – zawór ograniczający ciśnienie paliwa, 2 – CR, 3 – czujnik CR, 4 – wtryskiwacze,
- 5 – regulator przepływu, 6 – zawór zwrotny, 7 – chłodnica paliwa, 8 – ssak, 9 – zbiornik pojazdu,
- 10 – pompa podająca, 11 – filtr paliwa, 12 – sprężarka powtórnie skraplająca,
- 13 – nadmiar DME, 14 – pompa wysokiego ciśnienia

Wymagania i metody badań DME

ISO (*International Standardisation Organisation*) prowadzi prace zmierzające do znormalizowania właściwości DME, jako paliwa do silników z zapłonem samoczynnym, oraz mieszaniny z LPG, jako paliwa komunalnego. Prace prowadzone przez Komitet Techniczny: ISO/TC28/WG13 wkrótce zostaną ukończone. Koncepcję wymagań jakościowych, dla których punktem wyjścia były wymagania normatywne na LPG (EN-589), przedstawił W. Górski i zespół [5].

Projekt wymagań jakościowych, na podstawie prac normalizacyjnych komitetu ISO TC 28/SC N 772 [14], przedstawiono w tablicy 3. Polska początkowo brała udział w pracach normalizacyjnych DME, jednak ze względów finansowych przedstawiciel PKN [5] został z nich formalnie wycofany.

Reprezentatywne próbki DME do badań powinny być pobierane zgodnie z postanowieniami ISO 29945 [7].

Tablica 3. Projekt wymagań jakościowych dotyczących DME [14]

Parametr	Jednostki	Wymagania	
		Na wyjściu z zakładu produkcyjnego	U końcowego użytkownika
Czystość, min.	% [m/m]	99,5	98,5
Zawartość wody, maks.	% [m/m]	0,050	0,050
Zawartość metanolu, maks.	% [m/m]	0,030	0,030
Zawartość węglowodorów (powyżej C ₄), maks.	% [m/m]	0,050	1,00
Zawartość CO ₂ , maks.	% [m/m]	0,10	0,10
Zawartość CO, maks.	% [m/m]	0,010	0,010
Zawartość mrówczanu metylu, maks.	% [m/m]	0,050	0,050
Zawartość eteru metyloetylowego, maks.	% [m/m]	0,20	0,20
Pozostałość po odparowaniu, maks.	% [m/m]	0,0070	0,0070
Zawartość siarki, maks.	[mg/kg]	3,0	3,0 ^{a/}

a/ zawartość siarki u końcowego użytkownika, bez dodatku zapachowego

Inne zastosowania DME

Eter dimetylowy, jako czyste paliwo, ma różne zastosowania, np. jako:

- paliwo do silników z zapłonem samoczynnym (Diesla),
- paliwo do zastosowań komunalnych (np. domowe kuchenki gazowe, paliwo turystyczne),
- paliwo do turbin gazowych,
- paliwo do ogniw paliwowych,
- paliwo do pieców przemysłowych, kotłów grzewczych,
- surowiec chemiczny,
- gaz do układów chłodzenia,

- propelant do aerozoli,
- substytut paliwa LPG.

We Francji są prowadzone prace zmierzające do stosowania jako paliwa komunalnego mieszanin DME z innymi paliwami gazowymi: LPG, propanem czy butanem. Pozytywne rezultaty [1] uzyskano, stosując mieszanki 30% DME z propanem – paliwo P70 oraz z butanem – paliwo B70. W Chinach mieszanina DME i LPG (20:80) jest w wielu miastach z powodzeniem stosowana jako paliwo do zastosowań komunalnych.

DME a środowisko naturalne

DME jako paliwo w trakcie spalania w silnikach z zapłonem samoczynnym praktycznie nie powoduje emisji związków innych niż ditlenek węgla. Jest to możliwe, ponieważ związek ten nie zawiera wiązań węgiel-węgiel oraz siarki. Taki skład eliminuje obecność cząstek stałych

(PM) oraz tlenków siarki (SO_x), które stanowią główną przyczynę zjawiska powstawania kwaśnych deszczy. Poza tym, współczynnik emisji CO₂ ze spalania DME jest o około 10% mniejszy od emisji tego gazu przez silniki pracujące na oleju napędowym [19].

Tablica 4. Porównanie emisji silnika Cummins zasilanego DME i węglowodorowym olejem napędowym [6]

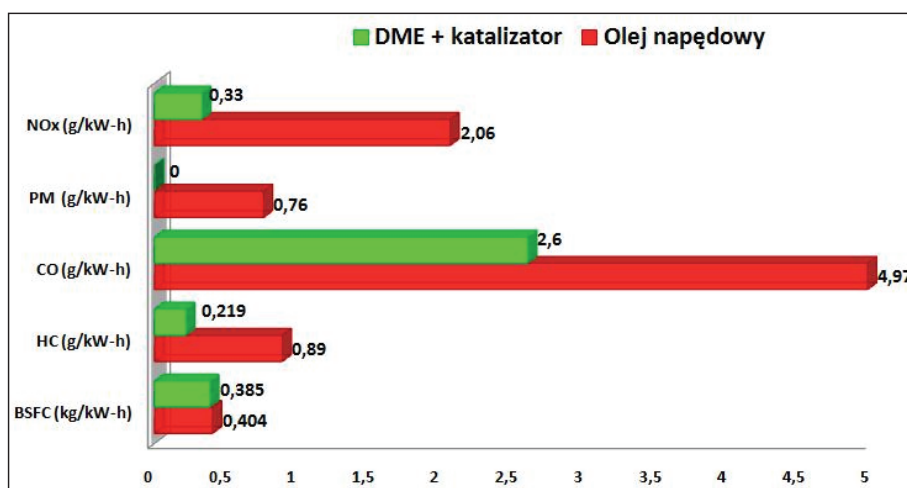
Paliwo	CO (g/bhp-hr)	CO ₂ (g/bhp-hr)	NO _x (g/bhp-hr)	THC (g/bhp-hr)	PM (g/bhp-hr)
DME	0,253	544,7	3,33	0,427	0,02
Olej napędowy	0,445	588,5	3,54	0,180	0,08

Stosując DME jako paliwo silnikowe należy mieć na względzie, że przy obniżeniu emisji wspomnianych gazów cieplarnianych ilość emitowanych niespalonych substancji, określanych jako THC, jest większa niż w przypadku naftowego oleju napędowego. Ponadto, przy spalaniu DME obserwuje się względnie niską emisję tlenków azotu (NO_x) [12]. Ilustrują to wyniki badań [6] emisji 5,9 litrowego silnika Cummins, przedstawione w tablicy 4. Według specjalistów Cummins Co., problemy związane z emisją NO_x i THC mogą być rozwiązane poprzez wprowadzenie odpowiednich zmian konstrukcyjnych układu wylotowego silnika.

Ocenia się [6, 9], że stosowanie DME jako paliwa silnikowego może mieć korzystny wpływ na zmiany klimatu. Jest to związane z krótkim czasem wtrysku paliwa, wynikającym z właściwości DME.

Porównując emisję zanieczyszczeń podczas spalania w silniku paliwa DME z olejem napędowym, zauważono, że istotniejsze oddziaływanie na środowisko, związane głównie z emisją gazów cieplarnianych, wykazuje olej napędowy [16].

Silniki napędzane DME charakteryzują się małą emisją hałasu. DME jest mniej korozyjny w stosunku do materiałów konstrukcyjnych silnika, natomiast oddziałuje na lakiery i niektóre materiały uszczelnień. Nie wykazuje właściwości kancerogennych i mutagennych. Nie wpływa także na powiększanie tzw. „dziury ozonowej”, ponieważ jego czas przebywania w atmosferze jest krótki [12]. Eter dimetylowy nie wpływa negatywnie na system wodny i na glebę. Jest to związane z małą rozpuszczalnością DME w wodzie i jego łatwym przejściem do atmosfery.



Rys. 9. Porównanie emisji silników CI z zastosowaniem jako paliwa DME i oleju napędowego bez katalizatora [9]

Dotychczasowe doświadczenia innych krajów

W wielu krajach DME jest produkowany na skalę masową. Surowcem najczęściej stosowanym do produkcji DME jest węgiel kamienny. Zakłady produkcyjne zlokalizowane są przeważnie w pobliżu kopalń węgla.

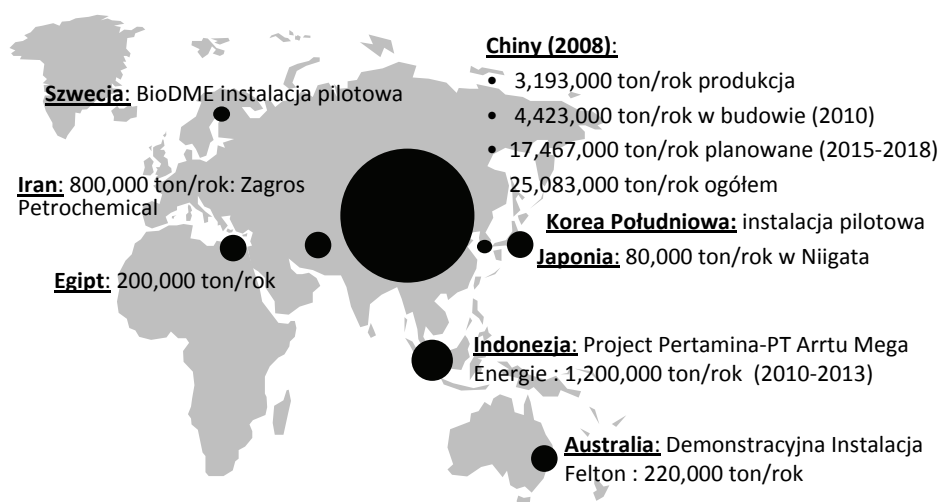
W Chinach produkcja DME technologią „poprzez metanol” oparta jest głównie na węglu kamiennym (~ 80%), a tylko częściowo na gazie ziemnym (~ 20%). Powodem tego jest ograniczony dostęp do ropy naftowej oraz relatywnie niższe ceny węgla. Według Chen Wei Guo [2], w 2007 r. istniało 15 zakładów produkujących DME z węgla kamiennego, o wydatku od 0,1 do 1,2 mln ton/rok (łącznie 3,2 mln ton/rok). W budowie jest kolejnych 13

zakładów o planowanej produkcji 5÷8 mln ton/rok. Dalsze plany (do roku 2020) przewidują budowę 12 zakładów o wydatku 0,5÷3 mln ton/rok – łącznie 40 mln ton/rok.

DME jest stosowany jako paliwo komunalne oraz surowiec do produkcji poliolefin. Prowadzone są intensywne prace zmierzające do powszechnego stosowania go jako paliwa silnikowego. Analogiczne dane (rysunek 10) przedstawił Jean-Alain Taupy [13].

Nowe zakłady produkcji DME są budowane także w wielu innych krajach – tablica 5 [13].

W Szwecji uruchomiono w Piteå (Chemrec/Topsøe) [8] doświadczalną, pilotową produkcję BioDME z biomasy.



Rys. 10. Produkcja DME na świecie (2010), według Jean-Alain Taupy [13]

Tablica 5. Zakłady produkcji DME w budowie [13]

Koncern	Lokalizacja	Planowana produkcja, ton/rok
Mitsubishi Gas Chemical	Zachodnia Australia	1 500 000
India DME Consortium	Środkowy Wschód	1 800 000
DME International Corp.	Zachodnia Australia	800 000÷1 500 000
NKK Corporation – instalacja pilotowa	Japonia (Kushiro)	1800
NKK Corporation	Japonia (Kawasaki)	1820

Surowcem jest odpadowa lignoceluloza (*black liquor*). O dużym znaczeniu tego zamierzenia dla Szwecji świadczy fakt, że „kamień węgielny” pod pierwszy na świecie zakład produkcyjny BioDME położył Król Szwecji – Karol Gustaw XVI (18 września 2009 r.). Udziałowcami w tym zamierzeniu są rządy: Finlandii (50%), Szwecji (30%), Portugalii (8%) i UE (1,5%). Pozostałe koszty pokrywają uczestnicy konsorcjum, w skład którego wchodzi firmy: CHEMREC, DELPHI, ETC, HALDOR TOPSØE, PREEM, TOTAL i VOLVO.



Rys. 11. Demonstracyjna instalacja NKK Corporation do produkcji DME, o wydatku 100 t/dobę (Kushiro, Japonia), według de Mestier du Burg H. [3]

Możliwości wytwarzania i stosowania DME w warunkach polskich

Mimo że Polska posiada warunki do wytwarzania DME, prace zmierzające do podjęcia produkcji tego paliwa nie są prowadzone. W warunkach polskich DME może być wytwarzany z węgla kamiennego oraz węgla brunatnego,

w ramach programu „Czysty Węgiel”, a w perspektywie – z gazu z formacji łupkowych oraz w niewielkich ilościach z biogazu (BioDME).

Na podstawie analizy dostępnych informacji doty-

czących procesów produkcji DME w krajach wiodących w omawianym zakresie, autorzy sugerują, aby w Polsce proces ten oprzeć na:

- otrzymywaniu gazu syntezowego z węgla kamiennego („Czysty Węgiel”) lub/i metanu,
- syntezie metanolu (do różnych zastosowań),
- syntezie DME z metanolu.

Zakłady produkcji DME powinny być zlokalizowane w pobliżu źródeł surowców.

Ocenia się, że w Polsce istnieje także możliwość pro-

dukcji BioDME. W takim przypadku gaz syntezowy może być otrzymywany w procesie zgazowania odpadów komunalnych.

W gospodarce polskiej DME może znaleźć zastosowanie jako uniwersalne „czyste” paliwo komunalne, paliwo turystyczne, wyciąg do sprayów, a w przyszłości – jako paliwo do silników CI, paliwo do ogniw paliwowych, a także w wielu innych dziedzinach. Chcąc, aby polska gospodarka rozwijała się w tym kierunku, już dziś należy rozpocząć odpowiednie prace rozpoznawcze i badawcze.

Podsumowanie

Ze względu na minimalny wpływ na środowisko oraz małe emisje, przy jednocześnie stosunkowo niskiej prognozowanej cenie, należy przewidywać, że eter dimetylowy (DME) w najbliższych latach stanie się ważnym paliwem do silników z zapłonem samoczynnym. DME może być stosowany jako gazowe paliwo do silników CI, analogicznie jak LPG do silników z zapłonem iskrowym.

Ze względu na ograniczone zasoby ropy naftowej, produkcja ciekłych paliw silnikowych z ropy będzie również ograniczana. Do czasu opanowania przez ludzkość możliwości pozyskiwania taniej energii ze źródeł odnawialnych DME może stanowić paliwo przejściowe.

Biorąc pod uwagę możliwość produkcji DME z wielu łatwo dostępnych surowców, w tym z węgla, gazu ziemnego, gazu ze złóż hydratów metanu, biomasy (BioDME), a w przyszłości z gazu z formacji łupkowych, DME należy traktować jako paliwo perspektywiczne na najbliższe dziesięciolecie.

DME może znaleźć inne zastosowania, m.in. jako: paliwo do turbin gazowych w elektrowniach, paliwo komunalne, paliwo do ogniw paliwowych oraz jako surowiec dla przemysłu chemicznego, ciecz chłodząca, nośnik do sprayów (dezodoranty, leki, kosmetyki, lakiery, środki owadobójcze, środki ochrony roślin itp.).

W wielu krajach (Japonia, Korea, Chiny, Francja, Szwecja, Australia, Indonezja, Indie) prowadzone są prace badawcze i technologiczne zmierzające do uruchomienia produkcji DME w skali wielkotonażowej. Polska powinna włączyć się do tych prac ze względu na dostępność surowców (węgiel, gaz z formacji łupkowych, biomasa) oraz przewidywany deficyt energii elektrycznej.

Postuluje się, aby w Polsce podjąć szeroko zakrojone prace badawcze, technologiczne oraz organizacyjne zmierzające do uruchomienia produkcji i stosowania DME jako paliwa silnikowego oraz komunalnego, a także do wprowadzenia innych jego zastosowań.

Literatura

- [1] Bollon F.: *DME standardization; DME/LPG blends. POLBIOF'2007*. Kraków 2007.
- [2] Chen Wei Guo: *Application And Development of DME In China*. 3rd International DME Conference & 5th Asian DME Conference. Shanghai, China. 21-24 September 2008.
- [3] de Mestier du Bourg H.: *Future prospective of DME*. 23rd World Gas Conference. Amsterdam 2006.
- [4] *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/30/WE z dnia 23.04.2009*. Załącznik IV.
- [5] Górski W., Kęsik A., Skolniak M.: *Koncepcja wymagań jakościowych do eteru dimetylowego (DME), stosowanego jako paliwo silnikowe*. „Przemysł Chemiczny” 2009, nr 88(3), s. 228–233.
- [6] Gray C., Webster G.: *A Study of Dimethyl Ether (DME) as an Alternative Fuel Engine Application*. Advantec Engine Technology Ltd, TP 13788E. Canada. May 2001.
- [7] ISO 29945: 2009 *Refrigerated non-petroleum-based liquefied gaseous fuels – Dimethylether (DME) – Method of manual sampling onshore terminals*.
- [8] Landålf H.: *Production of DME from Biomass and utilisation as fuel for transport and for industrial use; European Project DME*. 3rd International DME Conference & 5th Asian DME Conference. Shanghai, China. 21-24 September 2008.
- [9] McCandless J.: *AVS Powertrain Technologies Inc.: Dimethylether: A Fuel for 21st Century*. 6th IDA Meeting. Phoenix, Arizona, 2001.
- [10] Ogawa T., Inoue N., Shikada T., Ohno Y.: *Direct Dimethyl Ether Synthesis*.
- [11] Olah G. A., Goepfert A., Prakash G. K.: *Beyond Oil and gas: The methanol Economy*. Wiley-VCH. Weinheim 2009.
- [12] *DME Handbook*, pod red. Kaoru Fujimoto, edycja angielska, Japan DME Forum, 2006.
- [13] Taupy J-A.: *Emergence of DME*. 2nd Conference on Gaseous Fuel. Goa, India. February 2009.
- [14] TC1 N 772 ISO/TC 28/SC 4 N772 *Petroleum products – Fuels (class F) – Specifications of Dimethylether (DME) Draft*.

- [15] *Ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 r. o biokomponentach i biopaliwach ciekłych* (Dz.U. z 2006 roku nr 169, poz. 1199).
- [16] Wasilewski M.: *Wprowadzenie do zagadnienia: Czym jest carbon footprint?* [w:] *Metodyka wyliczania carbon footprint*. Podsumowanie seminarium Ministerstwa Gospodarki oraz CSRinfo, 2009.
- [17] *Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context WELL-to-WHEELS Report 010307*. Version 2c. March 2007.
- [18] Yianai T.: *Development and Engine Bench Testing a Common Rail Type DME Injection System*. 3rd International DME Conference & 5th Asian DME Conference. Shanghai, China. 21-24 September 2008.
- [19] Zhang L., Huang Z.: *Life cycle study of coal-based dimethyl ether as vehicle fuel for urban bus in China*. „Energy” 2007, nr 32, s. 1896–1904.



Dr inż. Wiesław GÓRSKI – pracownik Pionu Technologii Nafty Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie. Przewodniczący Komitetu Technicznego 222 ds. Przetworów Naftowych i Cieczy Eksploatacyjnych PKN. Autor lub współautor ok. 50 prac naukowych i technicznych, 35 patentów i wzorów użytkowych oraz ok. 150 publikacji i 3 książek, z dziedziny materiałów pędnych i smarów.



Mgr Magdalena Monika JABŁOŃSKA – ukończyła studia na Uniwersytecie Kardynała Stefana Wyszyńskiego, kierunku ochrona środowiska. W latach 2007–2010 pracowała w Instytucie Paliw i Energii Odnawialnej na stanowisku referenta ds. normalizacji. Od 2010 roku pracuje w Instytucie Nafty i Gazu, Oddział Warszawa. Współautorka prac badawczych, z dziedziny ochrony środowiska.

BIURO DO SPRAW BIOPALIW

Zakres działania:

- badanie i działania wspierające rozwój biokomponentów, biopaliw wyższych generacji;
- rozwój technologii konwersji biomasy stałej, w tym zaliczanej do agro oraz odpadowej, do produkcji biopłynów przeznaczonej na cele energetyczne;
- ocena zgodności produktów biodegradowalnych (biomasy, biopaliw i biopłynów oraz środków specjalnych) z kryteriami zrównoważonego rozwoju;
- wspieranie przemysłu we wdrażaniu nowych rozwiązań systemowych i politechnologii w skali rozproszonej;
- przygotowywanie ekspertyz i analiz technicznych w przedmiotowym zakresie.

Kierownik: dr inż. Arkadiusz Majoch

Adres: ul. Kasprzaka 25, 01-224 Warszawa

Telefon: 22 631-08-42

Faks: 22 632-63-13

E-mail: majoch@inig.pl