



Szymon DOBRAS\*, Lucyna WIĘCŁAW-SOLNY\*\*, Tadeusz CHWOŁA\*,  
Aleksander KRÓTKI\*, Andrzej WILK\*, Adam TATARCZUK\*

## Odnawialny metanol jako paliwo oraz substrat w przemyśle chemicznym

Streszczenie: W artykule przeanalizowano udział odnawialnych źródeł energii w światowej produkcji energii elektrycznej. Zwrócono uwagę na skalę rozwoju i wzrost znaczenia OZE w światowej gospodarce, jak również na problemy i wyzwania wiążące się ze zmienną wydajnością dobową jak i godzinową tych źródeł. Zaprezentowano sposób chemicznej konwersji nadwyżek energii do odnawialnego paliwa w postaci metanolu. Odniesiono się do wymogów Unii Europejskiej na rok 2020 oraz 2030 w sprawie ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, co wiąże się z dalszą koniecznością rozwoju odnawialnych źródeł energii, w szczególności z poprawą ich wydajności. Opisano magazynowanie energii jako jeden ze sposobów, który może doprowadzić do poprawienia konkurencyjności energii uzyskiwanej z odnawialnych źródeł do tej uzyskiwanej w sposób konwencjonalny. Przedstawiono sposób, pozwalający na konwersję ditlenku węgla z wodorem otrzymany z wykorzystaniem nadprodukcji energii odnawialnej. Dokonano przeglądu zastosowania metanolu w przemyśle chemicznym oraz przedstawiono udziały w różnych gałęziach światowego rynku, jak również zwrócono uwagę na dynamiczny wzrost jego zużycia. W artykule opisano wykorzystanie odnawialnego metanolu jako surowca do produkcji paliw w postaci czystej oraz po konwersji do eteru dimetylowego (DME), jak również estrów metylowych kwasów tłuszczowych (FAMEs). Zwrócono uwagę na wyzwania i konieczność modyfikacji silników spalinowych związanych ze stosowaniem czystego metanolu jak i jego mieszanin z benzyną.

Słowa kluczowe: OZE, metanol, PtL, magazynowanie energii, CO<sub>2</sub>

### *Renewable methanol as a fuel and feedstock in the chemical industry*

Abstract: In this article, the contribution of renewable energy sources (RES) to the worldwide electricity production was analyzed. The scale of development and the importance of RES in the global economy as well as the issues and challenges related to variability of these sources were studied. In addition, the chemical conversion of excess energy to renewable methanol has been presented.

\* Mgr inż., \*\* Dr inż., Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze; e-mail: sdobras@ichpw.pl

The European Union regulations and targets for the years 2020 and 2030 concerning greenhouse gases reduction were taken into consideration. These EU restrictions exact the further development of renewable energy sources, in particular, the improvement of their efficiency which is closely related to economics. Moreover, as a part of this work, energy storage were described as one of the ways to increase the competitiveness of renewable energy sources with respect to conventional energy. A method for the conversion of carbon dioxide separated from high-carbon industries with hydrogen obtained by the over-production of green energy were described. The use of methanol in the chemical industry and global market have been reviewed and thus an increasing demand was observed. Additionally, the application of renewable methanol as fuels, in pure form and after a conversion of methanol to dimethyl ether and fatty acid methyl esters has been discussed. Hence, the necessity of modifying car engines in order to use pure methanol and its combination with petrol also was analyzed.

Keywords: RES, methanol, PtL, energy storage, CO<sub>2</sub>

## Wprowadzenie

Poprzez rosnące obawy dotyczące bezpieczeństwa energetycznego, jakości powietrza i zmian klimatu, pojawiają się w sektorze transportu możliwości wykorzystania alternatywnych paliw zastępujących paliwa ropopochodne. Jednym z takich alternatywnych paliw jest odnawialny metanol (wyprodukowany przy użyciu odnawialnych źródeł energii), który z powodzeniem wykorzystywany jest jako zamiennik lub dodatek do benzyny i oleju napędowego.

Z przyjętej Dyrektywy 2009/28/WE wynika, że kraje członkowskie Unii Europejskiej powinny do roku 2020 zwiększyć do 20% udział produkcji energii ze źródeł odnawialnych (OZE). Dyrektywa przedstawia cele obligatoryjne dla każdego kraju członkowskiego do roku 2020. Dla Polski 15% w całym sektorze OZE oraz 10% w sektorze paliw transportowych (Dyrektywa... 2009).

Odnawialny metanol może być produkowany z czterech podstawowych źródeł, a mianowicie: z odpadów komunalnych, odpadów przemysłowych, biomasy i ditlenku węgla. Pierwsze trzy warianty opierają się na technologii zgazowania i katalitycznej konwersji. Główni producenci na świecie wykorzystujący obecnie te technologie to: BioMCN (Holandia), Blue Fuel Energy (Kanada), Carbon Recycling International (Islandia), Chemrec (Szwecja), Enerkem (Kanada) i Värmlands Metanol (Szwecja) (Law i in. 2013). Czwarty wariant produkcji metanolu wykorzystuje ditlenek węgla, wodę i energię elektryczną z OZE.

Technologią o największej perspektywie rozwoju i stosunkowo dużym prawdopodobieństwie wprowadzenia w najbliższym czasie jako technologii komercyjnej w dużej skali jest katalityczne uwodornienie CO<sub>2</sub> (Ampelli i in. 2015). Wodór uzyskiwany poprzez elektrolizę, w której wykorzystuje się nadwyżki energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, jest następnie wykorzystywany w reakcjach katalitycznych. W tym rozwiązaniu metanol stanowi swoisty magazyn energii, którego wydajność wtórnego wykorzystania energii wynosi maksymalnie 44,7% (Wilk i in. 2016). Porównywalnie dla otrzymywania metanu wtórne wykorzystanie energii jest mniejsze i wynosi jedynie 37,3%. (Wilk i in. 2017).

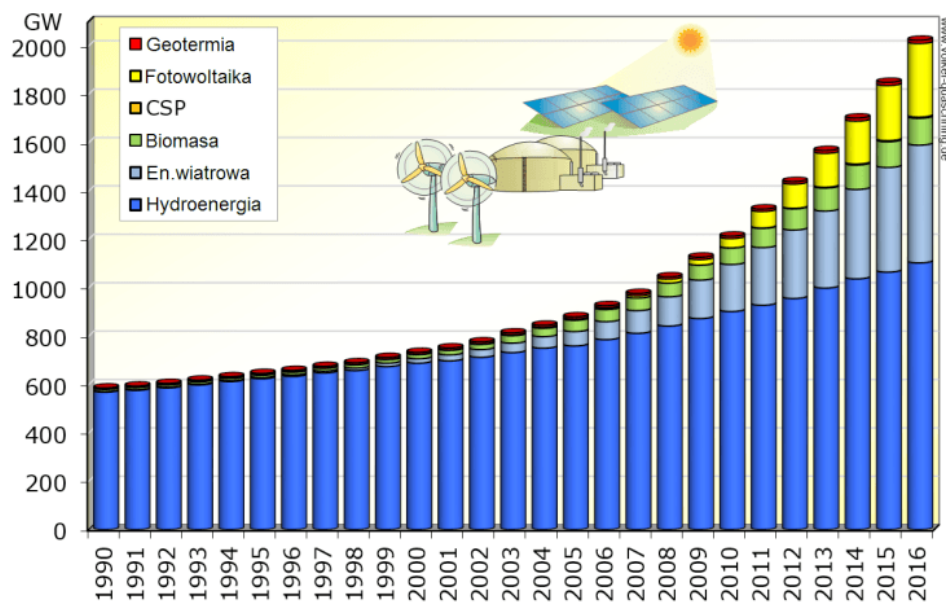
Sam metanol, jak również kilka dalszych produktów jego syntezy, takich jak MTBE (Eter tert-butyloowo-metylowy), DME (eter dimetylowy) lub MTG (Methanol-to-gasoline) mogą być wykorzystywane do zastosowań energetycznych i paliwowych. Niektórzy autorzy

propagują to podejście i wprowadzają „gospodarkę metanolem” opartą na metanolu z węgla, z biogazu, z CO<sub>2</sub> lub innych źródeł i obejmują całą gamę produktów potrzebnych do przyszłego transportu i zastosowań energetycznych (Ullmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry 2017). Alternatywą dla spalania metanolu w celu uzyskania energii może być również wykorzystanie tego alkoholu w ogniwach paliwowych DMFC (*Direct Methanol Fuel Cell*).

Główną zaletą odnawialnego metanolu jest możliwość zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych w sektorze transportowym. Stosowanie odnawialnego metanolu i wynikające z tego korzyści mogą umożliwić sektorowi transportowemu osiągnięcie założonych celów w zakresie redukcji emisji.

### 1. Potrzeba magazynowania energii

Obecnie obserwuje się intensywny rozwój odnawialnych źródeł energii (rys. 1). Od początku XXI wieku energetyka wiatrowa rozwija się w tempie 20–30% rocznie, natomiast energetyka słoneczna nawet do 40%. Pomimo rozwoju technologii – co przekłada się na wzrost sprawności oraz spadek cen za wytworzoną MWh energii elektrycznej – energie odnawialne wykazują wciąż brak konkurencyjności dla konwencjonalnych rozwiązań. Średnia cena sprzedaży energii elektrycznej w Polsce w pierwszym kwartale 2017 roku wynosiła 160,6 zł/ MWh (Informacja... 2017), a maksymalne ceny energii elektrycznej pochodzącej z lądowych elektrowni wiatrowych wynoszą 350 zł/MWh, z fotowoltaiki 425 zł/MWh



Rys. 1. Moc zielonej energii na świecie (Zielona... 2017)

Fig. 1. The power of green energy in the world

(Rozporządzenie... 2017). Na wzrost udziału OZE na rynku energetycznym, szczególnie w Europie, ma wpływ polityka klimatyczna UE, która zakłada, że do 2030 roku udział energii odnawialnej w całkowitym zużyciu energii elektrycznej w Unii wyniesie co najmniej 27% (Gańko 2015).

Biorąc pod uwagę wszystkie OZE, energetyka wiatrowa odnotowała najwyższy przyrost mocy na przestrzeni 10 lat, rozwijając zainstalowaną moc z poziomu 74 GW w 2006 r do 487 GW w roku 2016. Obecnie największy rozwój na świecie wśród technologii odnawialnych wykazuje fotowoltaika, która zwiększyła swój udział w światowej produkcji energii z 228 GW w roku 2015 na 303 GW w roku 2016 (Renewables... 2017).

Ze względu na fakt, że zasoby paliw na świecie są ograniczone, stopniowy wzrost udziału OZE w produkcji energii jest jak najbardziej konieczny. Eksperci szacują, że światowe złoża ropy naftowej wyczerpią się za około 40 lat, gazu ziemnego za około 60, a zasoby węgla kamiennego w Polsce wystarczą na okres maksymalnie 100 lat (Gańko 2015).

Przeszkodą stojącą na drodze do pełnego rozwoju odnawialnych źródeł energii i zastąpieniu przez nie konwencjonalnych źródeł, jest brak ich przewidywalności produkcji energii elektrycznej. Nadzieją na rozwiązanie tych problemów jest rozwój oraz szersze wykorzystanie technologii magazynowania energii elektrycznej. Dzięki takiemu rozwiązaniu energia produkowana przez niestabilne źródła może być pozyskiwana w sposób ciągły. Magazynowanie energii może następować przy dużej produkcji, przy małej – energia ma być oddawana do sieci. Tym sposobem uzyskuje się pewniejsze źródło energii w mniejszym stopniu zależne od nagłych zmian warunków atmosferycznych oraz o zagwarantowanych, stabilniejszych parametrach.

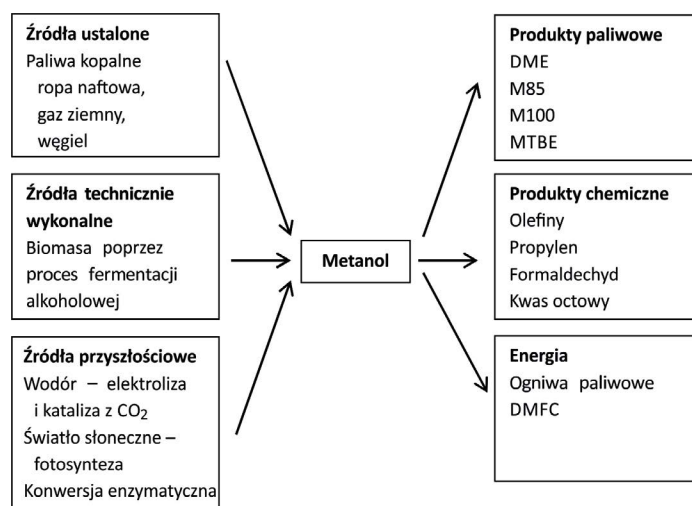
Obecny rozmiar rynku magazynowania energii w centralno-wschodniej Europie szacowany na rok 2020 wynosi 57 GW<sub>el</sub>, na podstawie przewidywanej przez Navigant Research zdolności przechowywania energii (Savenije i Howland 2014) i aktualnej pojemności magazynowej elektrowni szczytowo-pompowych (Hydro... 2011). Według prognozy firmy Navigant Research, w ciągu najbliższych kilku lat całkowita pojemność magazynowania energii powinna zanotować wzrost do około 84 GW<sub>el</sub>.

W Polsce rynek magazynowania energii znajduje się w początkowej fazie rozwoju, skupiając się głównie na elektrowniach szczytowo-pompowych o mocy rzędu 1,9 GW, które mimo iż posiadają możliwości magazynowania dużej ilości energii są bardzo kosztowne w budowie oraz wymagają specyficznych warunków terenowych.

Efektywne magazyny energii elektrycznej w postaci wyprodukowanego i składowanego metanolu – oprócz dużego znaczenia dla szerszego zastosowania odnawialnych źródeł energii – mogłyby rozwiązać problem przymusu produkcji energii, dostosowanego do obecnego, zmiennego zapotrzebowania. Elektrownie konwencjonalne mogłyby ustalić swoją produkcję na stałym poziomie, co mogłoby obniżyć cenę energii elektrycznej. Z tego też powodu konwersja ditlenku węgla do paliw ciekłych wydaje się być dobrym sposobem, zarówno do utylizacji ditlenku węgla jak i do magazynowania odnawialnej oraz nadmiarowej energii elektrycznej. Technologia konkurencyjną jest proces PtG, wykorzystujący te same surowce do wytwarzania paliwa w postaci gazowej (metanu) (Więclaw-Solny in. 2016). Dane literaturowe wskazują, iż wielkoskalowe chemiczne magazynowanie energii stanie się niezbędne, gdy udział energii odnawialnej przekroczy poziom 50% (Wilk i in. 2016).

## 2. Zapotrzebowanie rynkowe

Metanol jako produkt handlowy może być surowcem przede wszystkim do syntez związków chemicznych i paliw, ale również do nowego, odnawialnego źródła energii, jakim jest ogniwo paliwowe zasilane bezpośrednio metanolem (DMFC). Rysunek 2 przedstawia możliwe produkty syntezy metanolu.

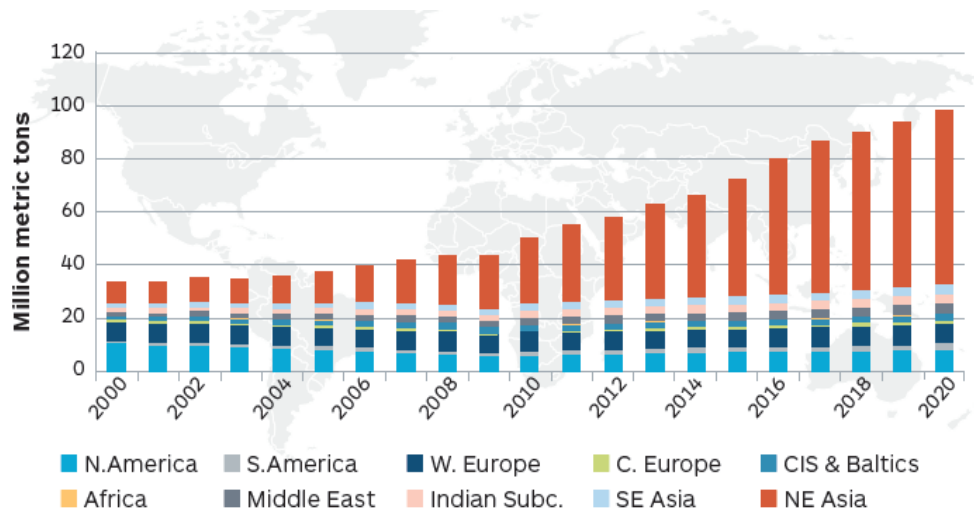


Rys. 2. Możliwe produkty syntezy metanolu

Fig. 2. Methanol end-use products

Metanol zaraz po amoniaku jest drugim produktem wytwarzanym w największych ilościach z gazu syntezowego. Produkcja metanolu z OZE i wychwyconego ditlenku węgla może wpływać na zredukowanie zużycia paliw alternatywnych do jego produkcji.

W 1988 r. światowa produkcja wyniosła 19 mln t, natomiast w 2010 r. wyprodukowano 46 mln t metanolu. Średni roczny wzrost produkcji wynosi około 9% (rys 3). Metanol jest jednym z najważniejszych surowców chemicznych. Służy do produkcji formaldehydu (30% światowego zużycia metanolu), kwasu octowego (10%), chlorometanu (3–4%), metakrylanu metylu (MMA) (2,5%) i metyloamin (2%). Popyt na formaldehyd napędzany jest głównie przez przemysł budowlany, gdzie związek ten wykorzystuje się do produkcji kleju stosowanego do wyrobu płyt budowlanych, takich jak płyta OSB. Oprócz zastosowań czysto chemicznych, coraz ważniejsza jest rola metanolu jako dodatku lub surowca do wytwarzania komponentów paliw (Krupa i in. 2015). Metanol jako dodatek do benzyn może być stosowany w postaci czystej (12% jego światowej produkcji) lub w postaci eteru metylo-tert-butyloвого (MTBE; 12% produkcji metanolu), obecnie zastępowanego przez eter etylo-tert-butyloвого (ETBE). Również wykorzystanie metanolu jako paliwa okrętowego jest uwzględniane w literaturze (Krupa i in. 2015). Oczekuje się, że zapotrzebowanie na metanol przerabiany na produkty paliwowe znacznie wzrośnie w przeciągu najbliższych lat

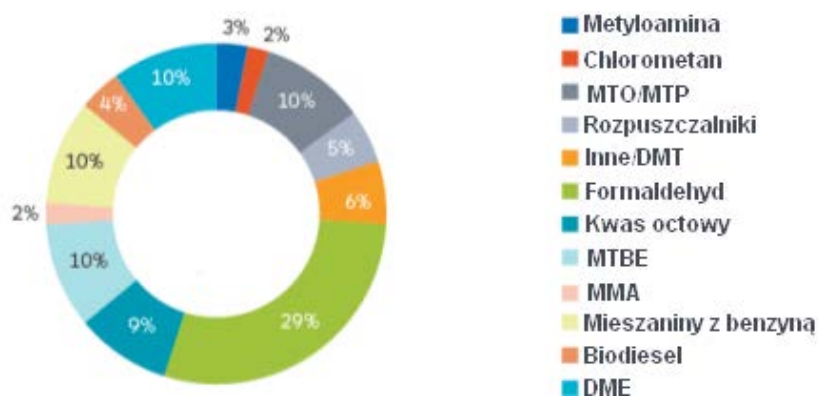


Rys. 3. Światowy popyt na metanol według Methanol Institute

Fig. 3. The global demand for methanol according to the Methanol Institute

(Wiley: Beyond... 2017). Światowe zapotrzebowanie na produkty wytwarzane z metanolu przedstawiono na rysunku 4.

Najwięksi producenci metanolu na świecie to Methanex (4 mln t/r), QAFAC (Qatar Fuel Additives Company, około 1 mln t/r), Metafrax oraz AMPCO (Atlantic Methanol Production Company, około 1 mln t/r). Obecna cena metanolu (czerwiec – sierpień 2017 r.) na rynek europejski – według Methanex – wynosi 320 €/t, natomiast na rynku chińskim obecna cena (czerwiec 2017 r.) to około 300 €/t. Metanol pomimo swoich cenowych właściwości jako surowiec do syntez chemicznych oraz jako dodatek do paliw nie jest produkowany w Polsce.



Rys. 4. Światowe zapotrzebowanie na produkty wytwarzane z metanolu w 2015 r. (Alvarado 2016)

Fig. 4. World demand for products produced from methanol in 2015

### 3. Odnawialny metanol na świecie

Poza granicami kraju realizowano już wiele projektów obejmujących swoją tematyką produkcję wodoru, metanu lub metanolu z użyciem odnawialnych źródeł energii. Największą komercyjną instalacją produkującą metanol z CO<sub>2</sub> jest George Olah należąca do CRI. Instalacja została zlokalizowana w pobliżu 76,5 MW elektrowni geotermalnej Svartsengi na Islandii i produkuje 5 milionów litrów metanolu rocznie, przetwarzając w tym celu 5,5 tys. ton ditlenku węgla. Metanol, pod nazwą handlową Vulcanol™ jest używany jako paliwo lub jako dodatek do benzyny (Projects 2016).

Przekształcaniem ditlenku węgla pochodzącego z elektrowni węglowej Lünen (Niemcy) do metanolu, zajmuje się konsorcjum z udziałem Mitsubishi Hitachi Power Systems Europe, w roli integratora. Instalacja w elektrowni Lünen umożliwi docelowo produkcję 1 tony metanolu dziennie, zużywając do tego 1,4 tony CO<sub>2</sub> oraz 1 MW energii elektrycznej. Będzie to pierwsza próba połączenia pracy komercyjnej elektrowni o zmiennych warunkach obciążenia z produkcją metanolu (About MefCO<sub>2</sub> – MefCO<sub>2</sub> 2017). Odpowiednim źródłem CO<sub>2</sub> mogą być wszystkie zakłady przemysłowe prowadzące procesy związane z dużą emisją, takie jak: huty żelaza, zakłady chemiczne, rafinerie czy cementownie.

Carbon Recycling International (CRI), wchodząca w skład konsorcjum europejskich przedsiębiorstw przemysłowych i instytucji badawczych prowadzi projekt, którego celem jest wdrożenie technologii konwersji CO<sub>2</sub> (pochodzącego z hut stali) do metanolu, który ma zostać użyty jako paliwo dla statków. Projekt FreSMe zostanie wdrożony w obiekcie Swerea MEFOS w Luleå w Szwecji. Wyprodukowany metanol przez zbudowaną na potrzeby projektu instalację demonstracyjną, zostanie wykorzystany przez jednego z partnerów konsorcjum, szwedzkiego operatora promowego Stena, który obsługiwać będzie prom pasażerski napędzany metanolem, Stena Germanica.

W Polsce nie ma obecnie instalacji, nawet w skali pilotowej, która prowadziłaby podobny proces, tzn. taki, w którym wykorzystuje się energię odnawialną do syntezy metanolu.

### 4. Wykorzystanie metanolu jako paliwa

W Stanach Zjednoczonych zastosowanie metanolu jest realizowane w ramach projektów pilotażowych i polega na rozruchu szczytowo obciążonych turbin gazowych w elektrowniach. Korzyści obejmują proste magazynowanie i przyjazne dla środowiska spalanie w turbinie gazowej. Metanol jak i DME okazały się potencjalnym przyszłym paliwem dla stacjonarnych silników turbinowych (Basu 2001). Wykorzystanie metanolu jako paliwa w konwencjonalnych kotłowniach eliminuje potrzebę kosztownego oczyszczania gazów odlotowych, ale nie jest jeszcze opłacalne ekonomicznie.

Metanol pod wieloma względami okazał się być idealnym paliwem silnikowym. Ze względu na wysokie ciepło parowania i stosunkowo niską wartość opałową uzyskuje się znacznie niższą temperaturę komory spalania niż w przypadku konwencjonalnych paliw silnikowych. Emisje tlenków azotu, węglodorów i tlenku węgla również są niższe. Ważne właściwości metanolu do zastosowania tego alkoholu jako paliwa porównano z benzyną w tabeli 1.

TABELA 1. Porównanie właściwości metanolu i benzyny

TABLE 1. Comparison of methanol to gasoline

Właściwość	Benzyna	Metanol
Gęstość [kg/dm <sup>3</sup> ]	0,739	0,787
Wartość opałowa [kJ/kg]	44 300	22 693
Zużycie powietrza [kg/kg]	14,55	6,5
Liczba oktanowa badawcza	97,7	108,7
Liczba oktanowa motorowa	89	88,6
Zakres temperatury wrzenia [°C]	30–190	65
Ciepło parowania [kJ/kg]	335	1 174
Ochłodzenie w trakcie parowania ze stechiometryczną ilością powietrza [°C]	20	122

Źródło: Ullmann's... 2017.

Metanol może być stosowany w różnych proporcjach, wraz z konwencjonalnymi produktami naftowymi. Zwiększenie udziału procentowego metanolu w benzynie powoduje jednak konieczność modyfikacji pojazdów silnikowych jak i dystrybucji paliwa:

- M3, mieszanina 3% metanolu z 2–3% solubilizatorami (na przykład alkohol izopropylowy) w dostępnym w handlu paliwie silnikowym. Ten system jest już powszechnie używany.
- M15, mieszanina 15% metanolu i solubilizatora z paliwem silnikowym; w tym przypadku konieczne są zmiany w pojazdach silnikowych.
- M85, metanol zawierający 15% węglowodorów C4-C5 w celu poprawy uruchamiania zimnego silnika. Konieczne jest zmodyfikowanie silnika i systemu dystrybucji paliwa.
- M100, czysty metanol. Pojazdy muszą posiadać istotne modyfikacje i być w pełni dostosowane do pracy z użyciem metanolu. Niezbędne modyfikacje eksploatacyjne silników obejmują wymianę tworzyw sztucznych stosowanych w układzie paliwowym. Muszą posiadać również odpowiednio dostosowany system zapłonu i jednostkę wtrysku paliwa. Mieszanki paliwowe M85 i M100 muszą być wstępnie podgrzane przed spalaniem, ponieważ odparowanie stechiometrycznej ilości metanolu w układzie wtryskowym powoduje ochłodzenie o 120°C.

W silnikach diesla nie jest możliwe bezpośrednie stosowanie metanolu, ponieważ liczba cetanowa metanolu jest zbyt niska i metanol nie ulega zapłonowi. Dlatego też metanol należy przekształcić do eteru dimetylowego (DME), który jest uważany za doskonałą alternatywę dla oleju napędowego. Metanol po konwersji z odpowiednimi tłuszczami i olejami pozwala na otrzymanie estrów metylowych kwasów tłuszczowych (FAMES), zwanych biodieslem. W 2011 roku 6% światowej produkcji metanolu było wykorzystywane do produkcji



biodiesla. Oczekuje się dalszego wzrostu produkcji biodiesla, zwłaszcza w krajach Ameryki Południowej (Thoennes 2011).

Nawet niewielki udział procentowy w paliwach – czy to w silnikach benzynowych czy zasilanych olejem napędowym – daje bardzo duże możliwości zagospodarowania produktu, jakim jest odnawialny metanol. Krajowa konsumpcja benzyny wzrosła z 4841 tys. m<sup>3</sup> w 2014 r do 5447 tys. m<sup>3</sup> w 2016 oraz oleju napędowego z 13 651 tys. m<sup>3</sup> w 2014 r. do 17 182 tys. m<sup>3</sup> w 2016 (Raport... 2017; Przemysł... 2016).

Dyrektywa Unii Europejskiej nakłada na Polskę wymóg dziesięcioprocentowego udziału energii odnawialnej w transporcie do roku 2020, co stanowi szansę rozwoju alternatywnego paliwa jakim jest metanol (Dyrektywa... 2009).

Alternatywnym zastosowaniem metanolu jest przekształcenie go w prąd elektryczny za pomocą ogniwa DMFC (*Direct Methanol Fuel Cell*), w którym metanol jest dostarczany bezpośrednio do ogniwa. Typowymi warunkami pracy są temperatury 50–120°C, pod ciśnieniem atmosferycznym. Teoretyczna wydajność ogniwa pozwala uzyskać 5 kWh z 1 dm<sup>3</sup> metanolu. Ponieważ obecnie sprawności ogniw mieszczą się w granicach 20–34% uzyskuje się około 1,7 kWh z 1 dm<sup>3</sup> metanolu.

## 5. Perspektywy rozwoju

Cena odnawialnego metanolu na rynku będzie zależeć głównie od kosztu pozyskania surowców, jakimi są: wodór pochodzący z procesu elektrolizy oraz ditlenek węgla pochodzący z separacji ze spalin. Technologia separacji ditlenku węgla jest dojrzała do zastosowań w energetyce przemysłowej. Koncepcje instalacji demonstracyjnej do bloku węglowego o mocy 250 MW<sub>e</sub> zaprezentowano w opracowaniu stworzonym przez IChPW (Tatarczuk i in. 2016). Przewiduje się, że instalacja będzie pozwalała na odzysk 1,5 mln ton ditlenku węgla rocznie.

Najprostszym sposobem przemysłowego otrzymywania wodoru i tlenu o bardzo wysokiej czystości (przekraczającej 99,9%) jest elektroliza wody. Jest to proces nieskomplikowany i może zachodzić zarówno w środowisku kwaśnym jak i zasadowym. W procesie elektrolizy otrzymuje się dwa razy więcej wodoru niż tlenu. Zużycie energii elektrycznej wynosi około 5,2 kWh na Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub> (HySTAT™30|Hydrogenics 2017), co pozwala na uzyskanie około 192 Nm<sup>3</sup> z jednego MW energii elektrycznej. Cena MWh pochodzącego z OZE jest bardzo zmienna w czasie (8 maja 2016 w Niemczech uzyskano duże nadwyżki z odnawialnych źródeł energii, co spowodowało ujemne ceny energii). Samo użycie nadwyżek energii odnawialnej znacząco obniża koszty produkcji metanolu, ponadto wykorzystanie ditlenku węgla do syntezy obniża jego emisję z lokalnego źródła (przemysł cementowy, elektrownia, przemysł hutniczy). Tym samym bez konkretnego przypadku nie jest możliwe dokładne oszacowanie ceny wyprodukowanego metanolu.

## Podsumowanie

Porównując z innymi paliwami, produkcja metanolu ze źródeł odnawialnych jest obecnie niska. Jednakże przedsiębiorstwa zajmujące się produkcją metanolu jako paliwa wykazują, że odnawialny metanol jest opłacalną alternatywą dla paliw konwencjonalnych, zasługującą na dalszy rozwój w dzisiejszych warunkach regulacyjnych, dążących do ograniczenia udziału paliw kopalnych w bilansie energetycznym. Przyjęcie odnawialnego metanolu przez rynek podyktowane będzie głównie wielkością produkcji, jego ekonomią w porównaniu do innych paliw odnawialnych, jak również polityką wspierającą bądź utrudniającą wykorzystywanie metanolu jako odnawialnego paliwa. Niemniej istotny będzie popyt na metanol w innych gałęziach przemysłu chemicznego.

Otrzymywanie metanolu z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii jest ciągle w fazie badań. Technologia ta rozwija się w sposób intensywny i pojawiają się już pierwsze komercyjne instalacje, które wykorzystują konwersję CO<sub>2</sub> do metanolu, czego przykładem jest instalacja należąca do CRI na Islandii.

Zaprezentowane w niniejszej publikacji wyniki badań zostały uzyskane podczas realizacji projektu badawczego nr 11.17.010 pt.: „Rozwój technologii rozdzielania i oczyszczania gazów procesowych w aspekcie ich dalszego zagospodarowania”, finansowanego ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach dotacji na utrzymanie potencjału badawczego.

## Literatura

- About MefCO<sub>2</sub> – MefCO<sub>2</sub>. 2017. [Online] Dostępne w: <http://www.mefco2.eu/mefco2.php> [Dostęp: 21.06.2017].
- Alvarado, Marc. 2016. The Changing Face of the Global Methanol Industry. *IHS Chemical Bulletin* no. 3.
- Ampelli i in. 2015 – Ampelli, C., Perathoner, S. i Centi, G. 2015. CO<sub>2</sub> Utilization: An Enabling Element to Move to a Resource- and Energy-Efficient Chemical and Fuel Production. *Phil. Trans. R. Soc. A* 373 (2037): 20140177. doi: 10.1098/rsta.2014.0177.
- Basu, Arun. 2001. “DME as a Power Generation Fuel: Performance in Gas Turbines” presented at the PETROTECH-2001 Conference, New Delhi.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE W sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych. 2009. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej.
- Gańko, M. 2015. *Technologie Magazynowania Energii Elektrycznej* [In:] Hydro in Europe: Powering Renewables. 2011.
- HySTAT<sup>TM</sup>30 | Hydrogenics. 2017. [Online] Dostępne w: <http://www.hydrogenics.com/hydrogen-products-solutions/industrial-hydrogen-generators-by-electrolysis/outdoor-installation/hystat-trade-30/> [Dostęp: 5.06.2017].
- Informacja Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki Nr 39/2017 w sprawie średniej ceny sprzedaży energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym w I kwartale 2017 roku. 2017. Urząd Regulacji Energetyki.
- Krupa i in. 2015 – Krupa, M.M. Moskalewicz, A.P., Sikora, i Szurlej, A. 2015. Perspektywiczne zapotrzebowanie na metanol jako paliwo okrętowe. *Przemysł Chemiczny* t. 94, nr 12, s. 2059–66.
- Law i in. 2013 – Law, K., Rosenfeld, J. i Jackson, M. 2013. *Methanol as a Renewable Energy Resource*.
- Projects 2016. *CRI – Carbon Recycling International*. [Online] Dostępne w: <http://carbonrecycling.is/projects-1/> [Dostęp: 22.06.2017].
- Przemysł i Handel Naftowy 2015 – Raport roczny. 2016. Polska Organizacja Przemysłu i Handlu Naftowego.
- Raport roczny 2016 – Przemysł i Handel Naftowy. 2017. Polska Organizacja Przemysłu i Handlu Naftowego.
- Renewables 2017 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat). 2017.

- Rozporządzenie Ministra Energii 2017. Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej.
- Savenije, D. i Howland, E. 2014. 10 Predictions for the Electric Sector in 2014. *Utility Dive*. [Online] Dostępne w: <http://www.utilitydive.com/news/10-predictions-for-the-electric-sector-in-2014/210239/> [Dostęp: 1.06.2017].
- Tatarczuk i in. 2016 – Tatarczuk, A., Stec M., Ściążko M., Więclaw-Solny, L. i Krótki, A. 2016. Concept of a demo carbon-capture plant for coal-fired power unit. *Przemysł Chemiczny* 95(11), s. 2322–25. doi: 10.15199/62.2016.11.36.
- Thoennes, P. 2011. Recent Trends and Medium-Term Prospects in the Global Vegetable Oil Market. presented at the 10th International Conference “Fat-and-Oil Industry”, Kiev.
- Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. 2017. [Online] Dostępne w: <http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/14356007> [Dostęp: 27.04.2017].
- Więclaw-Solny i in. 2016 – Więclaw-Solny, L., Wilk A., Chwoła, T., Krótki, A., Tatarczuk, A. i Zdeb, J. 2016. Catalytic Carbon Dioxide Hydrogenation as a Prospective Method for Energy Storage and Utilization of Captured CO<sub>2</sub>. *Journal of Power Technologies* 96(4), s. 213–218.
- Wiley: Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy, 2nd, Updated and Enlarged Edition – George A. Olah, Alain Goepfert, G. K. Surya Prakash. 2017. [Online] Dostępne w: <http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-3527644636.html> [Dostęp: 6.06.2017].
- Wilk i in. 2016 – Wilk, A., Więclaw-Solny, L., Spietz, T. i Tatarczuk, A. 2016. CO<sub>2</sub>-to-Methanol Conversion – an Alternative Energy Storage Solution.” *Chemik* 70(10), s. 626–33.
- Wilk i in. 2017 – Wilk, A., Więclaw-Solny, L., Tatarczuk, A., Spietz, T., Chwoła T., Krótki, A. i Stec, M. 2017. Energy storage in methane as a form of CO<sub>2</sub> utilization in the energy sector. *Przemysł Chemiczny* 96(5), s. 1146–51, doi: 10.15199/62.2017.5.34.
- Zielona Energia Ma Coraz Lepsze Statystyki. 2017. *Green Projects*. [Online] Dostępne w: <http://www.green-projects.pl/2017/03/zielona-energia-statystyki/> [Dostęp: 9.03.2017].

