

**Zeszyty Naukowe**Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią  
Polskiej Akademii Nauk

rok 2018, nr 104, s. 97–106

DOI: 10.24425/124359

Szymon DOBRAS<sup>1</sup>, Lucyna WIĘCŁAW-SOLNY<sup>1</sup>, Andrzej WILK<sup>1</sup>, Adam TATARCZUK<sup>1</sup>

## **Metan z procesów Power to Gas – ekologiczne paliwo do zasilania silników spalinowych**

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono stan rynku sprężonego gazu ziemnego jako alternatywnego paliwa do zasilania silników w transporcie, zwrócono uwagę na wymagania dyrektyw Unii Europejskiej oraz obecny stan spełnienia złożonych deklaracji. Zwrócono uwagę na aspekt ekonomiczny i przedstawiono orientacyjne koszty przejechania 10 tys. km na różnych paliwach. Omówiono proces PtG (*Power to Gas*) wykorzystujący energię elektryczną (produkcja wodoru) oraz ditlenek węgla wychwycony ze spalin bloku węglowego do produkcji syntetycznego metanu. Zaprezentowano schemat instalacji ze wskazaniem jego najistotniejszych składowych, oraz zwrócono uwagę na wzajemne uzupełnianie się technologii PtG z technologią wychwytu ditlenku węgla. Przedstawiono korzyści płynące z produkcji syntetycznego metanu. Opisane zostało zastosowanie sprężonego gazu ziemnego do zasilania silników w pojazdach. Skupiono się na drodze jednopaliwowego zasilania CNG (*Compressed Natural Gas*) w silnikach autobusów i samochodów ciężarowych, zwracając szczególną uwagę na aspekt ekologiczny zastosowanych rozwiązań. Pokazano, iż stosowanie sprężonego gazu ziemnego pozwoli ograniczyć niemalże o 100% emisję cząstek stałych z procesu spalania. Podano wady i zalety zasilania alternatywnym paliwem. Następnie przeanalizowano aspekt dwupaliwowego zasilania silników wysokoprężnych na przykładzie mniejszego silnika. Pokazano stopień ograniczenia emisji szkodliwych związków z procesu spalania. Na koniec zwrócono uwagę na możliwy efekt skali, powołując się na ilość pojazdów silnikowych w Polsce.

**Słowa kluczowe:** CNG, carbon capture, PtG, zasilanie dwupaliwowe, magazynowanie energii

## **Methane from Power to Gas processes – ecological fuel for powering combustion engines**

**Abstract:** The article presents the current state of the CNG market used as an alternative fuel for car engines. Attention was paid to European Union directives requirements and the current state of the directives' fulfillment. The economic aspect of CNG usage was analyzed and the approximate costs of driving 10,000 km on different fuels in the last four years were presented. The PtG process which uses electric energy (hydrogen production) and carbon dioxide captured from the flue gas for the production of synthetic methane were discussed. The scheme of

<sup>1</sup> Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze; e-mail: sdobras@ichpw.pl

the SNG plant with the indication of its most important components was presented, and attention was paid to the mutual complementation of PtG technologies with carbon dioxide capture technology. The benefits of synthetic methane production are presented and the use of compressed natural gas to power engines in vehicles has been described. First, the focus was on the single-fuel use of CNG in bus and truck engines, paying particular attention to the ecological aspect of the implemented solutions. It has been shown that the use of compressed natural gas will reduce almost 100% of the particulates emission from the combustion process. The advantages and disadvantages of the alternative fuel supply are given. Next, the aspect of dual-fuel use in diesel engines was analyzed on the example of a smaller engine. The degree of reduction of harmful compounds emission from the combustion process is shown. Finally, attention was paid to the possible scale effect, referring to the number of motor vehicles in Poland.

Keywords: CNG, carbon capture, PtG, dual-fuel, energy storage

## Wprowadzenie

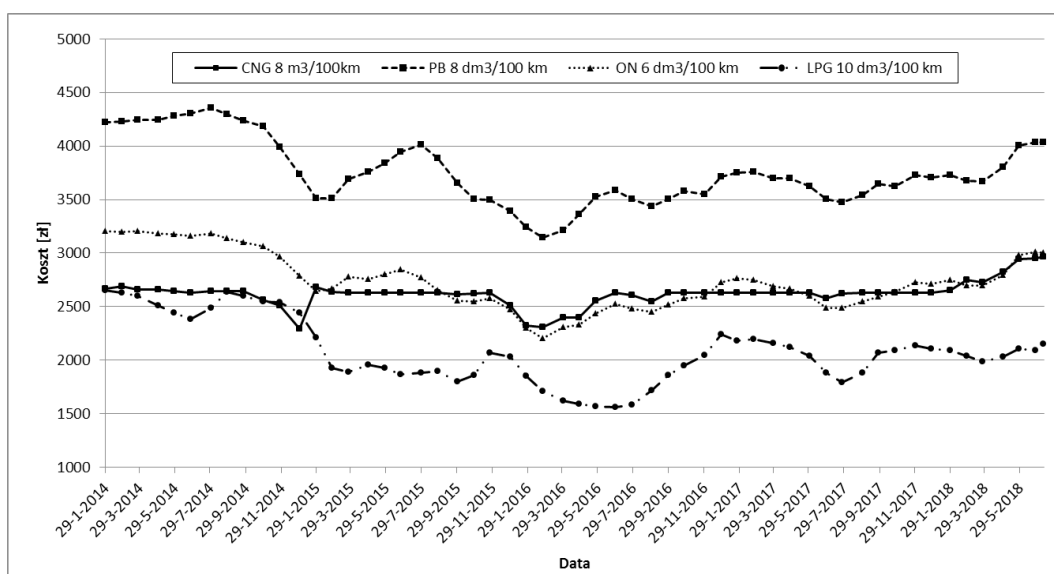
Ilość zainstalowanej mocy ze źródeł odnawialnych w UE znacznie wzrosła w ostatnich latach i oczekuje się jej dalszego wzrostu w przyszłości. Część odnawialnych źródeł energii charakteryzuje się zmienną wydajnością i ma ograniczoną przewidywalność produkcji. Zwiększony udział energii odnawialnej prowadzi do zwiększonej potrzeby elastyczności systemu, która może zostać zapewniona między innymi poprzez konwersję odnawialnej energii elektrycznej do paliwa, którego użytkowanie, magazynowanie oraz przetwarzanie jest powszechne i dojrzałe technicznie. Adekwatnym procesem jest proces PtG przekształcający energię elektryczną z OZE (odnawialnych źródła energii) oraz CO<sub>2</sub> z procesu CC (*Carbon Capture*) do syntetycznego metanu. Metan cechuje się nieograniczoną użytecznością w istniejącej infrastrukturze gazowej i może być bez przeszkód wykorzystywany analogicznie do gazu ziemnego. Przedmiotem niniejszego artykułu jest wykorzystanie wytworzonego w procesie PtG syntetycznego metanu SNG (*Synthetic Natural Gas*) jako paliwa do zasilania silników spalinowych w formie sprężonej CNG (*Compressed Natural Gas*) pod ciśnieniem 20–25 MPa.

## 1. CNG w Polsce

Rozwój paliw alternatywnych jest szeroko propagowany przez Unię Europejską. 22 października 2014 roku przyjęto dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych. Wśród analizowanych paliw znajduje się sprężony gaz ziemny – CNG. Państwa członkowskie powinny zapewnić odpowiednią ilość publicznie dostępnych stacji tankowania, aby umożliwić poruszanie się pojazdom zasilanym CNG w aglomeracjach miejskich i obszarach gęsto zaludnionych. Równie ważny jest rozwój sieci wokół korytarzy TEN-T (układ transeuropejskiej sieci transportowej), aby zagwarantować możliwość poruszania się pojazdom zasilanym CNG po terenie całej Unii (*Dyrektywa... 2014*). Aby wypełnić postanowienia dyrektywy, Polska przyjęła Krajowe ramy polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych, w których zakłada otwarcie 70 stacji tankowania w 32 aglomeracjach, oraz że do 2020 roku po polskich drogach ma jeździć 3000 pojazdów zasilanych CNG (*Zakrzewska 2018*). Próg 3000 pojazdów został

już przekroczony – obecnie 3600 pojazdów, w tym 400 autobusów, zasilanych jest sprężonym gazem ziemnym. Wyzwaniem będzie wywiązanie się z budowy 70 stacji tankowania. Aktualnie istnieje 27 stacji CNG znajdujących się w większych miastach. Zasilanie stacji oddalonych od gazociągów może być realizowane poprzez dostawy gazu w formie skroplonej (LNG), jedna dostawa to 22 700 m<sup>3</sup><sub>n</sub> po regazyfikacji (Górny i in. 2016). Zgodnie z przyjętym dokumentem, do 2025 roku wzdłuż korytarzy TEN-T powstaną publiczne stacje tankowania CNG w ilości 32 sztuk oraz 14 sztuk LNG (*Liquefied Natural Gas*). Prognozuje się pojawienie 54 tys. pojazdów zasilanych CNG i 2700 LNG (Krajowe... 2017).

Rozwój polskiego rynku paliw metanowych jest hamowany przez szereg barier, z których duże znaczenie ma niewielki stan rozwoju infrastruktury tankowania paliw CNG i LNG, bez którego rynek tego paliwa nie będzie się rozwijał. Na drodze do popularyzacji stoi również aspekt ekonomiczny – pojazdy wyposażone w instalacje CNG są droższe od pojazdów zasilanych paliwami ropopochodnymi, a wymagania dotyczące obowiązkowych przeglądów zbiorników i instalacji co 36 miesięcy generują zwiększone koszty i są w Polsce częstsze niż wymaga tego regulamin EKG ONZ nr 11 (Akty... 2011). W Polsce gaz ziemny jest obłożony stawką akcyzy 10,5 zł/GJ CNG i 670 zł/1000kg LNG (Zakrzewska 2018). Analizę kosztów przejechania 10 000 km na przestrzeni ostatnich czterech lat, przedstawiono na rysunku 1 (Ceny Paliw...; Cennik CNG...) Wprowadzenie zerowej stawki podatku powinno doprowadzić do obniżenia ceny CNG i zwiększenia atrakcyjności paliwa. Wśród przeszkód popularyzacji CNG jako paliwa należy zaliczyć również dużą popularność paliwa LPG, które przewyższa paliwa metanowe w aspekcie dostępności, ceny instalacji, jak również kosztów użytkowania.



Rys. 1. Porównanie kosztów przejazdu 10 tys. km rocznie w wybranych latach [zł]

Fig. 1. Comparison of costs of driving 10,000 km per year in selected years in PLN

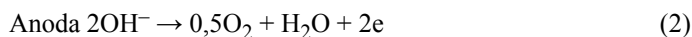
Koszty przejazdu pojazdem zasilanym CNG wykazywały najniższe wahania w przeciągu ostatnich czterech lat i są porównywalne do kosztów przejazdu pojazdem zasilanym olejem napędowym. Średni koszt przejechania 10 tys. km dla ON wynosił 2736 zł, a dla CNG – 2623 zł.

## 2. Proces PtG

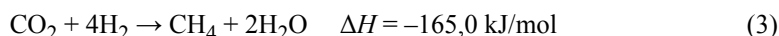
Syntetyczny metan jest uważany za ekologiczny tylko wtedy, gdy spełnione są dwa warunki. Po pierwsze energia elektryczna wykorzystywana w procesie produkcji powinna być neutralna pod względem emisji dwutlenku węgla, to znaczy pochodzić z odnawialnych źródeł energii. Po drugie CO<sub>2</sub> wykorzystany do produkcji syntetycznego metanu powinien pochodzić z recyklingu. Proces CC polegający na separacji CO<sub>2</sub> z spalin spełnia te wymagania.

Proces usuwania CO<sub>2</sub> zachodzi w absorberze, gdzie wstępnie odpylone oraz odsiarczone spaliny kontaktują się przeciwprądowo z aminowym roztworem absorpcyjnym. Następnie roztwór bogaty w ditlenek węgla kierowany jest do sekcji desorpcji poprzez krzyżowy wymiennik ciepła, w którym jest wstępnie podgrzewany. Roztwór podawany jest na szczyt kolumny, gdzie kontaktuje się z gorącymi parami i ulega desorpcji. Roztwór absorpcyjny jest następnie chłodzony w wymienniku krzyżowym podgrzewającym wstępnie roztwór nasycony CO<sub>2</sub> i po chłodnicy końcowej zwracany do absorbera, gdzie proces się powtarza. Uzyskany ditlenek węgla po wykropleniu pary wodnej kierowany jest do dalszych procesów (Spietz i in. 2014).

Źródłem wodoru w reakcji metalizacji jest proces elektrolizy wody, który jest najprostszym sposobem uzyskania wodoru wysokiej czystości, przekraczającej 99,9%. Elektroliza może zachodzić w elektrolizerach alkalicznych, polimerowych oraz w procesie wysokotemperaturowej elektrolizy pary wodnej. Wadą elektrolizy jest wysokie zapotrzebowanie na energię (Tomczyk 2009). Elektroliza wody stanowi około 4% światowej produkcji wodoru. Elektrolizer składa się z czterech zasadniczych elementów: anody, katody, źródła zasilania prądu stałego oraz elektrolitu. Podczas procesu elektrolizy wody jony wodoru przesuwają się w kierunku katody, a jony wodorotlenkowe w kierunku anody, dzięki zastosowaniu specjalistycznej membrany można oddzielnie gromadzić wodór i tlen. Reakcje połowiczne występujące odpowiednio na katodzie (1) i anodzie (2) można opisać następująco (Zeng i Zhang 2010):

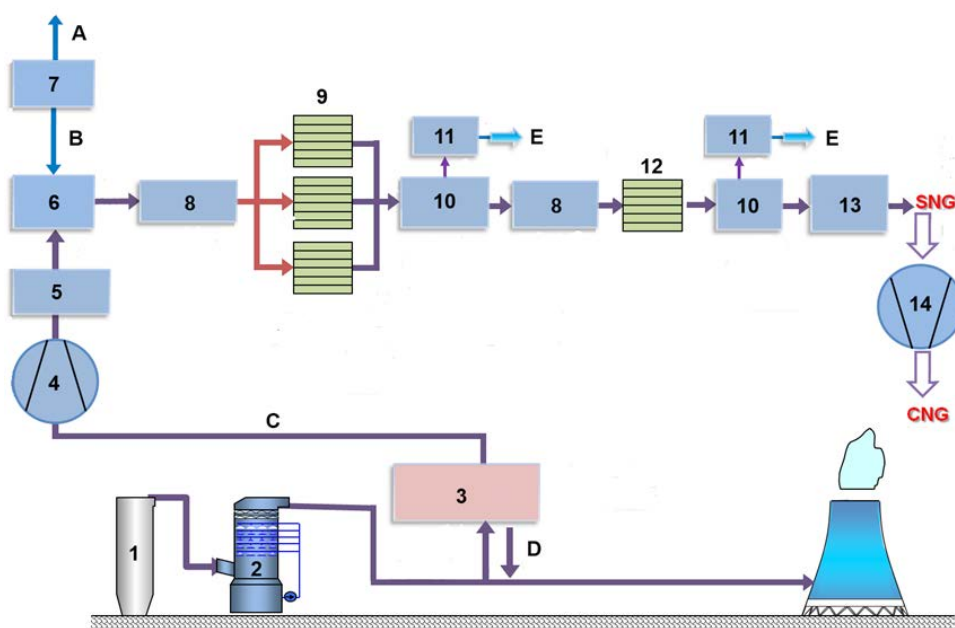


Metan produkowany jest w reakcji Sabatiera, która jest prostą reakcją zachodzącą w umiarkowanym zakresie ciśnień i temperatur w obecności katalizatora. Reakcję można opisać równaniem (3) (Müller i in. 2013):



Reakcja metanizacji zachodząca na katalizatorze niklowym cechuje się niemal 100% selektywnością oraz pozwala uzyskać 98% stopień konwersji, w temperaturze 325°C i ciśnieniu 20 bar (Więclaw-Solny i in. 2016). Reakcja uwodornienia CO<sub>2</sub> jest wysoce egzotermiczna. Entalpia reakcji wynosi -165 kJ/mol. Zakładając 100% konwersję na każde 0,5 m<sup>3</sup> katalizatora, z procesu musi zostać odprowadzony 1 MW energii cieplnej, co rodzi szereg wyzwań w procesie projektowania reaktorów, jednakże stanowi naturalne uzupełnienie procesu wychwytu ditlenku węgla, w którym to regeneracja roztworu aminowego stanowi najbardziej energochłonną część procesu i szacowana jest na około 3,9 MJ/kg CO<sub>2</sub> przy 90% skuteczności odzysku CO<sub>2</sub> (w zależności od warunków prowadzenia procesu) (Stec i in. 2016; Więclaw-Solny 2017).

Proces PtG pozwala zutilizować wychwycony ditlenek węgla i przekształcić do użytecznego paliwa jakim jest SNG, o szerokich możliwościach wykorzystania, jednak rozwój tej technologii był spowolniony ze względu na łatwo dostępne i tani gaz ziemny. Sytuacja uległa zmianie wraz z intensywnym rozwojem energetyki odnawialnej, świadomości ekologicznej oraz poszukiwaniem sposobu na zagospodarowanie ditlenku węgla. Proces PtG pozwala na zagospodarowanie nadmiarowej energii elektrycznej pochodzącej z energetyki odnawialnej



Rys. 2. Schemat blokowy instalacji CO<sub>2</sub>-SNG

A – tlen, B – wodór, C – ditlenek węgla, D – oczyszczone spaliny, E – kondensat;  
 1 – kocioł, 2 – odsiarczanie spalin, 3 – instalacja usuwania CO<sub>2</sub>, 4 – sprężarka, 5 – układ głębokiego oczyszczania CO<sub>2</sub>, 6 – mieszalnik gazów, 7 – elektrolizer, 8 – podgrzewacz gazu,  
 9 – reaktor metanizacji (pierwszy stopień), 10 – kondensator, 11 – separator kondensatu,  
 12 – reaktor metanizacji (drugi stopień), 13 – suszenie gazu, 14 – sprężarka SNG

Fig. 2. Block diagram of the CO<sub>2</sub>-SNG system

w czasie jej nadprodukcji, dlatego pełni również funkcję regulacji systemu energetycznego, zapobiegając przeciążeniom oraz pozwala energetyce konwencjonalnej na łatwiejszą i bardziej ekonomiczną pracę. Pozwoli to ograniczyć ilość kosztownych odstawień i rozruchów bloków węglowych. Wyprodukowany w ten sposób metan jest jednak znacznie droższy od dostępnego na rynku, a także musi spełniać szereg wymagań, aby mógł być bez przeszkód stosowany jako zamiennik gazu ziemnego. Wymagania jakościowe są ściśle określone w rozporządzeniu Ministra Energii z dnia 30 czerwca 2016 r. Ustawa określa maksymalne zawartości związków siarki całkowitej ( $40 \text{ mg/m}^3$ ), siarkowodoru ( $7 \text{ mg/m}^3$ ), par rtęci ( $30 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ ), wody ( $30 \text{ mg/m}^3$ ), pyłu ( $1 \text{ g/m}^3$ ) i innych. Ustala również ciepło spalania gazu oraz intensywność zapachu ([Rozporządzenie... 2016](#)).

Projekt CO<sub>2</sub>-SNG – *CO<sub>2</sub> methanation system for electricity storage through SNG production* realizowany od 2014 r., mający na celu rozwój technologii PtG, pozwoli zbadać proces metalizacji CO<sub>2</sub> pochodzącego z instalacji wychwytu z spalin bloku węglowego oraz wodoru z procesu elektrolizy. Ogólny schemat procesu przedstawiono na rysunku 2.

Ditlenek węgla pochodzący z pilotowej instalacji wychwytu będzie sprężony i oczyszczony ze związków będących truciznami katalizatorów takich jak SO<sub>x</sub>. Następnie po podgrzaniu do temperatury pracy mieszanina CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub> skierowana zostanie do dwóch sekcji reaktorów z międzystopniowym wykropleniem kondensatu. Wytworzony produkt zawierający znaczne ilości wilgoci, ponownie zostanie skierowany na separator i dodatkowy osuszacz. Tak przygotowany metan będzie sprężany za pomocą sprężarki i magazynowany do wykorzystania w stacji tankowania pojazdów zasilanych CNG.

### 3. Metan jako paliwo do silników diesla

Spełnienie coraz bardziej rygorystycznych wymagań emisji szkodliwych związków w spalinach jest coraz trudniejsze. Samochody zasilane paliwami ciekłymi posiadają zaawansowane technologicznie systemy oczyszczania spalin, co pociąga za sobą wysokie koszty produkcji oraz serwisu pojazdu. Rozwiązaniem może być zastosowanie alternatywnego paliwa gazowego. CNG posiada szereg cech pozwalających na zastosowanie w spalinowych jednostkach napędowych ([Stelmasiak 2006](#); [Merkisz i in. 2012](#)); są to:

- duża wartość opałowa mieszaniny stechiometrycznej,
- wysoka odporność na spalanie stukowe,
- mniejsza emisja szkodliwych związków podczas pracy,
- ograniczenie hałaśliwości,
- wysoka temperatura samozapłonu,
- prosta do uzyskania mieszanina jednorodna z powietrzem.

Właściwości CNG pozwalają na zastosowanie go do zasilania silników samoczynnych w dwóch wariantach ([Stelmasiak 2006](#)): zasilanie silnika samym gazem i zapłon iskrowy oraz zasilanie dwupaliwowe, w którym gaz stanowi dodatek do oleju napędowego. W dużych silnikach (autobusów, samochodów ciężarowych) najczęściej występuje zasilanie samym CNG. Uzyskuje się to między innymi poprzez modyfikację konstrukcyjną silnika – zastosowanie świecy zapłonowej w miejscu wtryskiwacza, zmniejszenie stopnia

sprężania, zastosowanie specjalnych sterowników i innych (Gis i in. 2011). Zastąpienie oleju napędowego w komunikacji miejskiej sprężonym gazem ziemnym przynosi szereg korzyści środowiskowych, takich jak ograniczenie emisji szkodliwych związków do atmosfery: CO o 70–90%, węglowodorów od 50 do 90%, tlenków azotu od 50 do 85%, cząstek stałych od 80 do 100% oraz ditlenku węgla od 20 do 25%. Zastosowanie syntetycznego metanu pochodzącego z instalacji PtG pozwoli na dalsze ograniczenie emisji pierwotnego CO<sub>2</sub>. W samym tylko Krakowie jeździ 580 autobusów, co daje pojęcie o skali emisji szkodliwych związków (<http://www.mpk.krakow.pl/pl/tabor/autobusy/>). Zastosowanie CNG obniża również poziom hałasu autobusu o około 2–4 dB (Gis i in. 2011; Semenov i Ignalewski 2013).

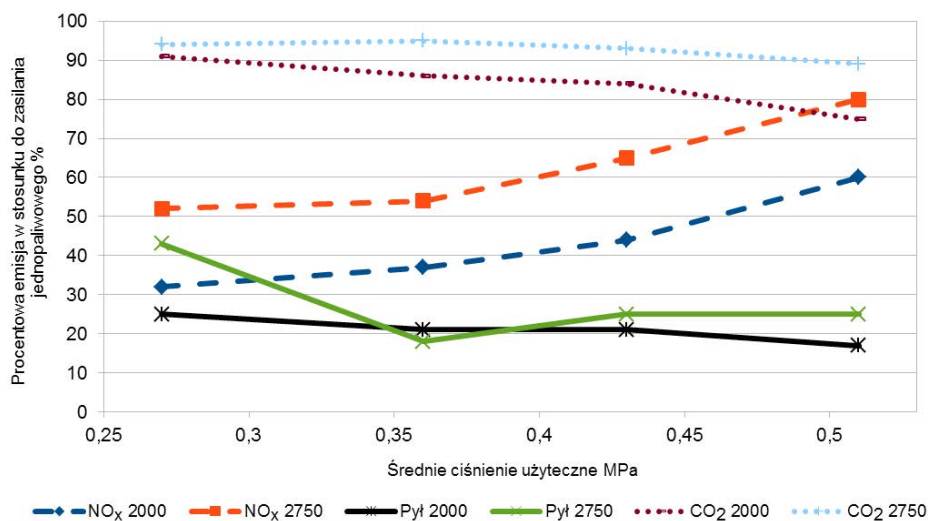
Wadą gazu ziemnego jest jego mała gęstość energetyczna. Zapewnienie przebiegu 300 km dla autobusu wymaga użycia 8–10 butli przy ciśnieniu 20 MPa, co przy zastosowaniu stalowych butli zwiększa masę pojazdu o około 500 kg, a butli kompozytowych o około 125 kg. Umieszczenie zbiornika gazu na dachu autobusu powoduje również podniesienie środka ciężkości (Stelmasiak 2006).

Drugim wariantem jest dwupaliwowe zasilanie silników wysokoprężnych olejem napędowym oraz CNG, co ma duże znaczenie w związku z niewielką ilością stacji tankowania gazu w Polsce. Systemy zasilania dwupaliwowego mogą opierać się na dwóch drogach: maksymalnego zastąpienia paliwa ciekłego gazem lub dodatkiem gazu w średnich i wysokich obciążeniach silnika. Przy niewielkich, inicjujących dawkach paliwa, silnik dwupaliwowy wykazuje mniejszą moc niż przy zasilaniu tradycyjnym, jednak wraz ze wzrostem dawki moc silnika rośnie w porównaniu do zasilania go samym olejem napędowym. Adaptacja nowoczesnego silnika do zasilania dwupaliwowego jest dużo trudniejsza niż zmiana na zasilanie samym CNG i wymaga przeprowadzenia przez wykwalifikowaną obsługę w zakresie sterowania silnika. Dostępne badania ukazują, że zasilanie dwupaliwowe pozwala zachować wszystkie parametry użytkowe silnika, jednocześnie istotnie zmniejszając jego drgania (Stelmasiak i in. 2015).

Bardzo ważnym aspektem przy zasilaniu dwupaliwowym jest wpływ dodatku gazu na zmniejszenie zawartości sadzy (cząstek stałych) w spalinach, co prowadzi do wydłużenia żywotności filtra cząstek stałych BPF oraz jego rzadszego czyszczenia i regeneracji (wypalania). Zmniejszenie zadymienia spalin w szczególności przyniesie korzyści w walce ze smogiem w dużych miastach. Sumaryczna ilość samochodów osobowych w Polsce jest szacowana według różnych źródeł na 21,65 mln (Tabele – Park Pojazdów Zarejestrowanych w Polsce 1990–2016) (dane na 2016 r.), z czego około 40% stanowią pojazdy z silnikiem diesla. (Polacy... 2018). W krajowych ramach polityki i rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych przytoczono dane określające ilość samochodów na 1000 mieszkańców w poszczególnych miastach i obszarach gęsto zaludnionych. Najwyższy wskaźnik cechuje Warszawę oraz Katowice, gdzie przekracza 720 samochodów/1000 mieszkańców. Zmniejszenie emisyjności silników diesla przyczyni się do ograniczenia występowania smogu. Procentowa emisja z silnika zasilanego dwupaliwowo w stosunku do zasilania tradycyjnego, w zależności od obciążenia (2000 i 2750 obr), została przedstawiona na rysunku 3.

Stopnie ograniczenia emisji szkodliwych substancji będą zmienne dla różnych silników. W przytoczonym przypadku otrzymano ograniczenie emisji NO<sub>x</sub> o 35–45%, pyłów o 57–83% i ditlenku węgla o 3–25%, zależnie od obrotów i obciążenia silnika (Stelmasiak 2006).





Rys. 3. Procentowe zmniejszenie emisji przy zasilaniu dwu paliwowym silnika 1CA90 (Stelmasiak 2006)

Fig. 3. Emissions reduction during dual-fuel run on 1CA90 engine

## Wnioski

Produkcja syntetycznego metanu w procesie PtG pozwoli zagospodarować odpadowy CO<sub>2</sub> wychwycony z spalin bloków węglowych oraz przetworzyć nadwyżki energii elektrycznej z nieprzewidywalnych/niestabilnych produkcyjnie odnawialnych źródeł energii. Obecnie w Polsce nie ma komercyjnej instalacji wychwytu ditlenku węgla ze spalin a wielkoskalowe zastosowanie technologii PtG wymaga powstania takiej instalacji.

CNG jest paliwem łatwym w transporcie i użytkowaniu, a jego dystrybucja nie wymaga kosztownej rozbudowy sieci, a w przypadku braku sieci istnieje możliwość dostaw w formie skroplonej.

Zasilanie silników wysokoprężnych sprężonym gazem ziemnym to w pełni dojrzała technologia i przynosząca szereg korzyści ekonomicznych i ekologicznych. Zastosowanie sprężonego gazu ziemnego jako paliwa czy to w formie czystej, czy mieszanin z olejem napędowym pozwoli znacząco ograniczyć emisje szkodliwych związków do atmosfery, a zwłaszcza pyłów, co wydłuży czas życia filtrów DPF. Biorąc pod uwagę ilość pojazdów w Polsce, zmniejszenie emisji pyłów z transportu pozwoli ograniczyć zjawisko występowania smogu w miastach.

Technologia PtG jest obecnie w fazie intensywnych badań, musi minąć sporo czasu, nim uzyskane zostaną wydajności SNG pozwalające na osiągnięcie realnego udziału w rynku. Jest to szansa na rozwój i popularyzację sprężonego gazu ziemnego jako paliwa do silników.



## Literatura

- Akty przyjęte przez organy utworzone na mocy umów międzynarodowych. 2011. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej. Cennik CNG – Portal Korporacyjny. n.d. [Online] <http://pgnig.pl/cng/cennik-cng> [Dostęp: 12.07.2018].
- Ceny paliw w całej Polsce – benzyna, olej napędowy. AutoCentrum.pl.” n.d. [Online] <https://www.autocentrum.pl/paliwa/ceny-paliw/> [Dostęp: 12.07.2018].
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych Tekst mający znaczenie dla EOG. 2014. 307. Vol. OJ L. [Online] <http://data.europa.eu/eli/dir/2014/94/oj/pol> [Dostęp: 12.07.2018].
- Gis in. 2011 – Gis, W., Menes, E. i Waśkiewicz, J. 2011. Paliwa gazowe w miejskiej komunikacji autobusowej w Polsce. *Transport Samochodowy* z. 2. [Online] <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-9ffc004e-94d5-4e24-9a3e-28c978f5b41e> [Dostęp: 12.07.2018].
- Górny i in. 2016 – Górny, K., Szoltysek, R. i Przywara, M. 2016. Układy tymczasowego zasilania skroplonym gazem ziemnym LNG oraz sprężonym gazem ziemnym CNG. *Instal* nr 10. [Online] <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-2d646fef-5dc2-4be6-ac16-ab69a03f8c9c> [Dostęp: 12.07.2018].
- Krajowe Ramy Polityki Rozwoju Infrastruktury Paliw Alternatywnych. 2017. Ministerstwo energii.
- Merkisz i in. 2012 – Merkisz, J., Nowak, M., Rymaniak, L. i Ziółkowski, A. 2012. Perspektywy rozwoju rynku paliwa CNG w Polsce. *Logistyka* nr 3. [Online] <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-8010408b-6e05-4a5d-96dc-2714824c9732> [Dostęp: 12.07.2018].
- Polacy rezygnują z diesli. Mamy na to liczby! n.d. Moto.pl. [Online] <http://moto.pl/MotoPL/7,88389,22233160,polacy-rezygnuja-z-diesli-mamy-na-to-liczby.html> [Dostęp: 16.07.2018].
- Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 30 czerwca 2016 r. w sprawie wymagań jakościowych dla sprężonego gazu ziemnego (CNG).” n.d. [Online] <http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20160001094> [Dostęp: 13.08.2018].
- Semenov, I.N. i Ignalewski, W. 2013. Analiza efektywności inwestycji w tabor autobusów komunikacji zbiorowej zasilany CNG. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport* z. 97. [Online] <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-1f1f6ea6-643c-408c-8bb0-c44384301847> [Dostęp: 2.06.2018].
- Spietz i in. 2014 – Spietz, T., Więclaw-Solny, L., Tatarczuk, A., Krótki, A. i Stec, M. 2014. Technological Modifications in Pilot Research on CO2 Capture Process. *Chemik* 68(10), s. 884–892.
- Stec i in. 2016 – Stec, M., Adam Tatarczuk A., Więclaw-Solny, L., Krótki, A., Spietz, T., Wilk, A. i Śpiewak, D. 2016. Demonstration of a Post-Combustion Carbon Capture Pilot Plant Using Amine-Based Solvents at the Łaziska Power Plant in Poland. *Clean Technologies and Environmental Policy* 18(1), s. 151–60. [Online] <https://doi.org/10.1007/s10098-015-1001-2> [Dostęp: 2.06.2018].
- Stelmasiak, Z. 2006. Wybrane problemy stosowania gazu ziemnego do zasilania silników o zapłonie samoczynnym. *Archiwum Motoryzacji* nr 1, s. 12–30.
- Stelmasiak i in. 2015 – Stelmasiak, Z., Larisch, J., i Pietras, D. 2015. Wybrane problemy adaptacji samochodowego silnika o zapłonie samoczynnym do zasilania dwupaliwowego. *Combustion Engines* R. 54, nr 3. [Online] <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-ed42f276-423d-4a3e-9492-54005de18646> [Dostęp: 2.06.2018].
- Tabele – Park Pojazdów Zarejestrowanych w Polsce 1990–2016. Park Pojazdów Zarejestrowanych/Rynek Motoryzacyjny/Home – Polski Związek Przemysłu Motoryzacyjnego.” n.d. [Online] <http://www.pzpm.org.pl/Rynek-motoryzacyjny/Park-pojazdow-zarejestrowanych/Tabele-Park-pojazdow-zarejestrowanych-w-Polsce-1990-2016> [Dostęp: 16.06.2018].
- Tabor/Autobusy. n.d. [Online] <http://www.mpk.krakow.pl/pl/tabor/autobusy/> [Dostęp: 16.07.2018].
- Tomczyk, P. 2009. Szanse i bariery rozwoju energetyki wodorowej. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 12, z. 2/2, s. 593–607.
- 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 CO2. *Journal of Power Technologies* 96(4), s. 213–218.
- Więclaw-Solny, L. 2017. The Development of Flue Gases CO2 Capture Process Rozwój Technologii Usuwania CO2 Ze Spalin Bloków Węglowych. *Przemysł chemiczny* 1(1), s. 228–33. [Online] <https://doi.org/10.15199/62.2017.1.27> [Dostęp: 2.06.2018].
- Zakrzewska, D. 2018. Uwarunkowania Prawne Rozwoju Rynku CNG I LNG. *Paliwa Płynne* January, s. 36–39.
- Zeng, Kai i Dongke, Zhang. 2010. Recent Progress in Alkaline Water Electrolysis for Hydrogen Production and Applications. *Progress in Energy and Combustion Science* 36(3), s. 307–26. [Online] <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2009.11.002> [Dostęp: 2.06.2018].

