



Szymon KUCZYŃSKI\*, Krystian LISZKA\*\*, Mariusz ŁACIAK\*\*\*, Katarzyna KYĆ\*\*\*\*,  
Andrij OLIINYK\*, Adam SZURLEJ\*\*\*\*\*

## Wpływ zastosowania paliw alternatywnych w transporcie, ze szczególnym uwzględnieniem CNG, na ograniczenie emisji zanieczyszczeń powietrza

**STRESZCZENIE:** Wykorzystanie w transporcie gazu ziemnego jako alternatywnego paliwa ma długą historię, sięga bowiem lat sześćdziesiątych XIX wieku. W okresach kryzysów związanych z niedoborem paliw konwencjonalnych rosło wykorzystanie paliw gazowych w transporcie. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych nakłada na państwa członkowskie obowiązek rozmieszczenia infrastruktury dla ładowania energii elektrycznej oraz stacji tankowania gazu ziemnego w postaci CNG (*Compressed Natural Gas* – sprężony gaz ziemny) i LNG (*Liquefied Natural Gas* – skroplony gaz ziemny). W artykule przeanalizowano jak kształtowała się emisja głównych zanieczyszczeń pochodzących z transportu drogowego w Polsce w latach 2003–2014. Przeanalizowano zmiany emisji CO<sub>2</sub> w wybranych miastach Polski, ze szczególnym uwzględnieniem emisji z sektora transportowego. Przybliżono efekty ekologiczne i ekonomiczne związane z eksploatacją autobusów CNG w krakowskim MPK. Podjęto próbę identyfikacji głównych barier rozwoju krajowego rynku CNG oraz przywołano wybrane pozytywne czynniki z krajów UE wspierające rozwój rynku CNG.

**SŁOWA KLUCZOWE:** sprężony gaz ziemny, pojazdy napędzane gazem ziemnym, paliwa alternatywne, emisje, ceny paliw, gazy cieplarniane

---

\* Mgr inż., \*\* Dr inż., \*\*\* Dr hab. inż., prof. AGH, \*\*\*\* Dr hab. inż. – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie; e-mail: szua@agh.edu.pl

\*\*\*\* Mgr inż. – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Zarząd Infrastruktury Komunalnej i Transportu w Krakowie.

## Wprowadzenie

Gaz ziemny znajduje szerokie zastosowanie zarówno w wielu gałęziach przemysłu, energetyce, a także w gospodarstwach domowych. W ostatnich latach gaz ziemny, ze względu m.in. na zalety ekologiczne i ekonomiczne, jest także coraz częściej wykorzystywany jako paliwo alternatywne w transporcie w postaci sprężonej CNG (*Compressed Natural Gas* – sprężony gaz ziemny) oraz skroplonej LNG (*Liquefied Natural Gas* – skroplony gaz ziemny). Należy podkreślić, że chociaż w ciągu ostatnich lat obserwuje się dynamiczny wzrost liczby pojazdów zasilanych gazem ziemnym (określa się je terminem NGV – *Natural Gas Vehicles*) (mln sztuk): 2004 r. – 3; 2007 r. – 7,55; 2011 r. – 14,55; 2015 r. – przeszło 23, to historia stosowania paliw gazowych w napędzie silników spalinowych jest starsza od benzyny i sięga lat sześćdziesiątych XIX wieku (pierwszy silnik dwusuwowy zasilany mieszanką gazu ziemnego i powietrza skonstruowany został w 1860 r. przez francuskiego wynalazcę Etienne’a Lenoira). Od tego czasu paliwa gazowe były wykorzystywane do napędu pojazdów, a największą popularnością cieszyły się w okresach kryzysów związanych z niedoborem paliw konwencjonalnych (Janas i Szurlej 2008; Orzechowska i in. 2014).

Światowymi liderami w zakresie wykorzystania CNG w transporcie są Iran i Chiny – po 4 mln pojazdów NGV, Pakistan – 3,7 mln NGV, a w UE: Włochy – 885 tys. NGV, Niemcy – 98,2 tys. NGV i Bułgaria – 61,3 tys. NGV (GVR 2016).

W ciągu ostatnich lat obserwowane są zmiany na globalnym rynku gazu ziemnego, m.in. znaczący wzrost wydobycia gazu ze złóż niekonwencjonalnych, który przełożył się na spadek cen gazu ziemnego, a także rozwój znaczenia technologii LNG w międzynarodowym obrocie gazem ziemnym, a także sfinalizowano realizację istotnych projektów, mających na celu dywersyfikację dostaw gazu ziemnego do Polski w ciągu ostatnich lat, w tym terminalu LNG w Świnoujściu (Olkuski 2006, 2008; Siemek i in. 2011a; Siemek i in. 2011b; Nagy i Siemek 2011). Tak więc można założyć, że wykorzystanie gazu ziemnego jako paliwa alternatywnego w transporcie będzie jednym z perspektywicznych segmentów krajowego rynku gazu ziemnego.

## 1. Wybrane aspekty prawne

Założenia pakietu klimatyczno-energetycznego Unii Europejskiej oraz Protokół z Kioto zobowiązują Polskę do realizacji celów ilościowych dotyczących przeciwdziałania zmianom klimatycznym. W zakresie gospodarki niskoemisyjnej unijna strategia wyznacza cele szczegółowe na poziomie krajowym do 2020 r.: zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o 20% w porównaniu z poziomami z 1990 roku, zwiększenie do 20% udziału energii odnawialnej w ogólnym zużyciu energii (w tym 10% udziału biopaliw w zużyciu paliw pędnych) oraz dążenie do

zwiększenia efektywności energetycznej o 20%. Cele te zostały określone przez przywódców krajów UE w 2007 r., a w 2009 r. przyjęto odpowiednie przepisy w tym zakresie. Wypełnienie tych celów zostało podjęte przez wszystkie kraje członkowskie, a poszczególnym państwom zostały przypisane indywidualne zobowiązania szczegółowe – dla Polski ten cel to 15%. Drugi etap funkcjonowania pakietu klimatycznego został ustalony w 2014 r. i będzie obejmować lata 2021–2030; zakłada się redukcję emisji gazów cieplarnianych o 40% (w stosunku do poziomu emisji z 1990 r.) oraz zwiększenie udziału źródeł odnawialnych do 27% (Wojtkowska-Łodej 2014; Malec i in. 2016).

W Polsce podstawą prawną w działaniach na rzecz ograniczenia niskiej emisji jest ustawa z 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz. U. z 2008 r. nr 25, poz. 150 ze zm.) oraz Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy (CAFE – *The Clean Air for Europe*).

Zgodnie z art. 91 ustawy Prawo ochrony środowiska, opracowanie programu ochrony powietrza wymagane jest dla stref, w których stwierdzono przekroczenia poziomów dopuszczalnych lub docelowych choćby jednej substancji, spośród określonych w rozporządzeniu Ministra Środowiska z 3 marca 2008 roku w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. Nr 47, poz. 281).

Z kolei unijna dyrektywa CAFE stanowi, że plany ochrony powietrza (w ustawie Prawo ochrony środowiska zwane są programami), w przypadku przekroczenia wartości dopuszczalnych, których termin osiągnięcia minął, mają określać odpowiednie działania tak, aby okres, w którym nie są one dotrzymane, był jak najkrótszy.

W walce z niską emisją Polska zobligowana jest także do realizacji zobowiązań również wynikających z Dyrektywy 2002/91/EC z 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków oraz Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 004/107/WE z 15 grudnia 2004 r. w sprawie arsenu, kadmu, rtęci, niklu i wielopierścieniowych węglowodanów aromatycznych w otaczającym powietrzu.

Ponadto istotne w walce z niską emisją są dwa teksty, mające znaczenie dla Europejskiego Obszaru Gospodarczego:

- ◆ Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 443/2009 z dnia 23 kwietnia 2009 r. określające normy emisji dla nowych samochodów osobowych w ramach zintegrowanego podejścia Wspólnoty na rzecz zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub> z lekkich pojazdów dostawczych.
- ◆ Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/30/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. zmieniająca dyrektywę 98/70/WE odnoszącą się do specyfikacji benzyny i olejów napędowych oraz wprowadzającą mechanizm monitorowania i ograniczania emisji gazów cieplarnianych oraz zmieniającą dyrektywę Rady 1999/32/WE odnoszącą się do specyfikacji paliw wykorzystywanych przez statki żeglugi śródlądowej oraz uchylająca dyrektywę 93/12/EWG.

Zbudowanie odpowiedniej infrastruktury jest niezbędne do popularyzacji pojazdów korzystających z energii elektrycznej oraz innych paliw alternatywnych. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych nakłada na państwa członkowskie obowiązek rozmieszczenia infrastruktury dla ładowania energii elektrycznej oraz stacji tankowania gazu ziemnego w postaci CNG i LNG. W zakresie innych

paliw alternatywnych (wodór, biopaliwa, paliwa syntetyczne) pozostawia to do decyzji państw członkowskich. Infrastruktura gazu ziemnego powinna zostać rozmieszczona wzdłuż bazowej sieci dróg TEN-T (*Trans-European Transport Networks*) (do 2025 roku) oraz w przypadku CNG również w wybranych aglomeracjach miejskich (do 2020 roku).

## 2. Zmiany w zakresie emisji zanieczyszczeń z transportu drogowego

Do źródeł zanieczyszczeń powietrza zalicza się źródła naturalne (np. pożary lasów, czy wybuchy wulkanów) oraz źródła antropogeniczne, a więc w szczególności spalanie paliw kopalnych, czy też transport samochodowy. Szacuje się, że udział przypadający na samochody w zanieczyszczeniu atmosfery stanowi ogółem 30%, a w dużych miastach nawet 70–90% (Jastrzębska 2009). W tabeli 1 przedstawiono jak kształtowały się emisje wybranych zanieczyszczeń z transportu drogowego w Polsce w latach 2003–2014. Warto podkreślić, że udział tych poszczególnych zanieczyszczeń przypadający na transport drogowy jest zróżnicowany i tak najwyższy jest w przypadku  $\text{NO}_x$  – 30% (2014 r.). Analizując całkowitą emisję pyłów to na transport przypada 19,5% udziału, a w przypadku emisji  $\text{SO}_2$  udział transportu jest znikomy, bowiem wynosi zaledwie 0,2%. Analizując inne, nie ujęte w tabeli 1 zanieczyszczenia pod kątem udziału przypadające na transport należy dodać, że w przypadku tlenku węgla (CO) ten udział sięga 20,8%, zbliżony udział kształtuje się w przypadku niemetanowych lotnych związków organicznych (NLZO) – 19,3% (KOBIZE 2016).

TABELA 1. Emisja zanieczyszczeń pochodzących z transportu drogowego w Polsce w latach 2003–2014 [tys. Mg]

TABLE 1. The emission of contaminants generated by road transport in Poland from 2003–2014 [thousands Mg]

Rodzaj zanieczyszczenia	2003	2005	2010	2012	2013	2014
$\text{SO}_2$	2,52	1,09	1,31	1,28	1,20	1,21
$\text{NO}_x$	234,5	224,1	272,7	271,7	255,1	220,6
Pyły	65	72	80,2	78,5	76,0	74,7
$\text{CO}_2$	28 989	33 457,9	46 465,7	46 148,2	43 351,8	–

Źródło: Opracowanie własne na podstawie KOBIZE 2016 i GUS 2015

Jak można zauważyć z tabeli 1, znaczącą redukcję zanieczyszczeń obserwuje się w przypadku  $\text{SO}_2$ . To ograniczenie emisji należy wiązać z wprowadzeniem bardziej restrykcyjnych norm dotyczących zawartości związków siarki w paliwach.

Analiza struktury gazów cieplarnianych emitowanych w Polsce wskazuje na dominującą rolę emisji związanych ze spalaniem paliw – 298,2 mln Mg, w tym w transporcie – 43,35 mln Mg (dane za 2013 r.) (GUS 2015). Wysoka emisyjność polskiej floty samochodowej związana jest głównie z wysoką dynamiką przyrostu liczby pojazdów samochodowych (2000 r. – 9,99 mln samochodów osobowych; 2010 r. – 17,24; 2014 r. – 20,00) oraz importem używanych samochodów z krajów Europy Zachodniej. Co prawda postęp technologiczny w zakresie minimalizacji oddziaływania pojazdów samochodowych na środowisko jest zauważalny, jednak cena stanowi wciąż jedną z głównych barier wyboru nowszych pojazdów, bardziej ekologicznych. Dlatego też modernizacja krajowego transportu drogowego przebiega powoli, z ponad dziesięcioletnim opóźnieniem względem Europy Zachodniej. Potwierdzają to dane CEPiK (Centralna Ewidencja Pojazdów i Kierowców) dotyczące wieku pojazdów w Polsce. Jedynie co dziesiąty zarejestrowany samochód osobowy ma mniej niż 6 lat, a wiek 75% z nich przekracza dekadę, w tym 12% pojazdów ma więcej niż 31 lat (GUS 2015). Zużycie paliw w transporcie drogowym w Polsce i wybranych krajach Europy dodatkowo zwiększają zmiany w strukturze modalnej transportu, a w szczególności zmniejszenie znaczenia przewozów kolejowych, na co w ciągu ostatnich lat miały wpływ prowadzone prace remontowe linii kolejowych. Jednocześnie, w przeliczeniu na mieszkańca, zużycie paliw w transporcie drogowym w Polsce jest nadal około 1/3 niższe niż średnia unijna (w 2004 r. było ono niższe o 60%). Pomimo znacznego wzrostu mobilności społeczeństwa w ostatnich dwóch dekadach i niemal dwukrotnego wzrostu zużycia paliw na osobę, wskaźnik ten nadal pozostaje o blisko 40% niższy niż w państwach Europy Zachodniej (Narodowy Program... 2015).

W tabeli 2 zestawiono analizę emisji CO<sub>2</sub> z poszczególnych sektorów gospodarki – w tym z sektora transportu – na przykładzie wybranych polskich miast, a na rysunku 1 zilustrowano zmiany emisji CO<sub>2</sub> w tych sektorach.

Z przedstawionej analizy wynika, że największy przyrost w emisji CO<sub>2</sub> (40%) na obszarze czterech analizowanych miast miał transport. Podstawowymi czynnikami zwiększenia udziału emisji gazów cieplarnianych w tym sektorze w przypadku miasta Kraków był niekorzystny podział zadań przewozowych oraz zbyt duża liczba pojazdów w centrum miasta. Od 1995 roku do chwili obecnej na terenie miasta postępuje gwałtowny rozwój indywidualnej komunikacji samochodowej. Rozwój ten spowodował dynamiczną zmianę w proporcjach pracy przewozowej. Porównując transport w latach 1995 i 2013 zauważa się, że nastąpiło zmniejszenie przewozów w transporcie zbiorowym z 48 do 36% i wzrost przewozów w transporcie indywidualnym z 21 do 34%. Udział ruchu rowerowego znikomy (1%). Zatłoczenie centrum pojazdami wynika nie tylko z centrycznej struktury miasta, lecz również z prowadzenia ruchu tranzytowego (zewnętrznego i międzydzielnicowego) przez centrum oraz napływu pojazdów z gmin sąsiednich i z regionu (Plan Gospodarki Niskoemisyjnej... 2015).

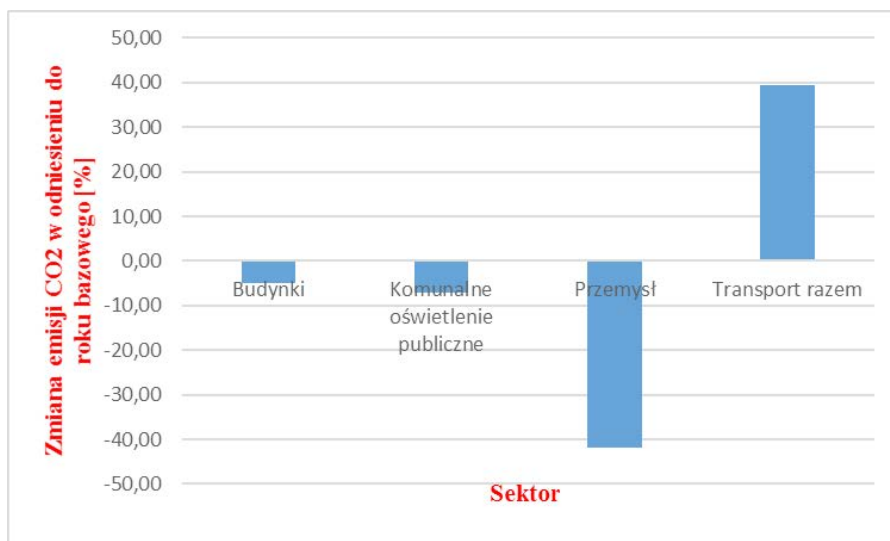
TABELA 2. Porównanie emisji CO<sub>2</sub> dla wybranych miast w latach 1995 i 2013 [Mg CO<sub>2</sub>/rok]TABLE 2. The comparison of CO<sub>2</sub> emission for selected cities in 1995 and 2013 [Mg CO<sub>2</sub>/year]

Miasto	Sektor	Emisja CO <sub>2</sub> [MgCO <sub>2</sub> /rok]		Zmiana emisji CO <sub>2</sub> [%]
		1995	2013	
Kraków				
	Budynki	4 200 440,00	3 499 671,00	-16,68
	Komunalne oświetlenie publiczne	33 858,00	42 614,00	25,86
	Przemysł	1 010 255,00	627 643,00	-37,87
	Tabor gminny	b.d.	5 272,00	
	Transport publiczny	132 145,00	100 470,00	-23,97
	Transport prywatny i komercyjny	653 890,00	1 161 187,00	77,58
Wrocław				
	Budynki	2 207 536,00	2 600 825,00	17,82
	Komunalne oświetlenie publiczne	46 564,00	33 436,00	-28,19
	Przemysł	1 442 951,00	501 092,00	-65,27
	Transport drogowy	455 404,00	912 433,00	100,36
	Transport szynowy	118 842	66 096	-44,38
Bydgoszcz				
	Budynki	1 185 041,00	1 501 527,00	26,71
	Komunalne oświetlenie publiczne	21 237,00	20 263,00	-4,59
	Przemysł	824 960,00	358 139,00	-56,59
	Tabor gminny	2773	2 529,00	-8,80
	Transport publiczny	35 170,00	35 398,00	0,65
	Transport prywatny i komercyjny	569 962	868 857	52,44
Poznań				
	Budynki	2 051 581,00	1 566 861,00	-23,63
	Komunalne oświetlenie publiczne	23 704,00	20 310,00	-14,32
	Przemysł	1 296 113,00	1 175 539,00	-9,30
	Transport drogowy	1 285 339,00	1 410 031,00	9,70
	Transport szynowy	53 907	53 907	0,00
Razem				
		<b>rok bazowy</b>	<b>2013</b>	
	Budynki	9 644 598,00	9 168 884,00	-4,93
	Komunalne oświetlenie publiczne	125 363,00	116 623,00	-6,97
	Przemysł	4 574 279,00	2 662 413,00	-41,80
Transport razem	3 307 432,00	4 610 908,00	39,41	

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z Planów Gospodarki Niskoemisyjnej poszczególnych miast

### 3. Przykłady zastosowania paliw alternatywnych w transporcie publicznym

Ruch drogowy ma szkodliwe oddziaływanie na jakość powietrza w miastach Europy. Wpływa to na jakość życia, a także na zdrowie mieszkańców. Zmniejszenie zanieczyszczeń spowodowanych przez emisje pojazdów uczestniczących w ruchu drogowym powinno być więc celem każdego miasta, a szczególnie miast o wysokim stopniu zanieczyszczenia. Zgodnie z wynikami badań Europejskiej Agencji Środowiska (*European Environment Agency*) wśród



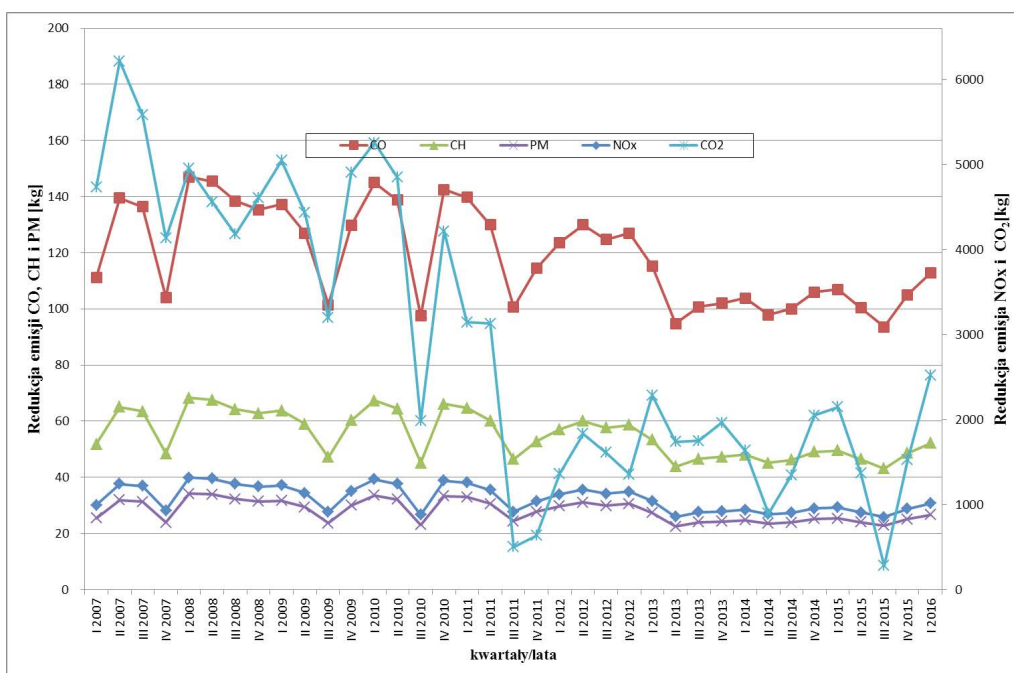
Rys. 1. Zmiana emisji CO<sub>2</sub> w latach 2010–2013 w podziale na sektory

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z Planów Gospodarki Niskoemisyjnej poszczególnych miast

Fig. 1. The change in CO<sub>2</sub> emission from 2010–2013 by sectors

10 najbardziej zanieczyszczonych miast UE jest 6 polskich miast. Wyniki badań RESPIRE z 2014 r., w których przeanalizowano trzy niebezpieczne składniki smogu: pył PM10, ozon i dwutlenek azotu i na tej podstawie sporządzono listę miast, ze wskazaniem liczby dni w roku w których przekroczone zostały normy zanieczyszczeń, także potwierdzają wysoki poziom zanieczyszczeń w polskich miastach – wśród 10 najbardziej zanieczyszczonych europejskich miast są aż trzy z Polski. Także raport Najwyższej Izby Kontroli z 2014 r. informuje, że Polska ma najbardziej zanieczyszczone powietrze wśród krajów UE (NIK 2014; Orzechowska i in. 2014). Mając na uwadze te niepokojące wyniki oraz znając negatywny wpływ sektora transportu na stan atmosfery w aglomeracjach miejskich, można poprzez podjęcie wzmoczonych działań ograniczyć negatywny wpływ emisji zanieczyszczeń, których źródłem jest transport m.in. poprzez zwiększenie wykorzystania gazu ziemnego jako alternatywnego paliwa w transporcie (CNG lub LNG). Do miast, gdzie wykorzystuje się CNG w komunikacji zbiorowej należy zaliczyć m.in. Rzeszów, Tychy, Radom, Tarnów, Gdynię i Kraków (Śliwka i in. 2014). Warto także wspomnieć o autobusach hybrydowych gazowo-elektrycznych zasilanych CNG, jakie są eksploatowane w Częstochowie. Przez wiele lat w Krakowie przymierzano się do zakupu autobusów napędzanych gazem ziemnym. Już w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku przeprowadzono stosowne próby z tego typu paliwem, przebudowując kilka Ikarusów 280 na zasilanie gazem. Pięcioletnia eksploatacja tamtych autobusów nie przyniosła spodziewanych korzyści finansowych. Jednak po niemal 10 latach zdecydowano się na zakup pięciu autobusów napędzanych CNG. Decyzja ta wiązała się z ryzykiem, gdyż pomimo tego, że koszt kilometra przejechanego na gazie jest tańszy od tradycyjnego paliwa dla autobusów – oleju napędowego, jednak do tego należy dodać jeszcze nakłady związane z budową niezbędnej infrastruktury,

szkolenia pracowników, czy dodatkowych przeglądów. Autobusy marki Jelcz M121M/4 CNG zakupiono na przełomie lat 2006 i 2007 w ramach programu badawczego CIVITAS. Autobusy te wyposażone są w silnik o zapłonie iskrowym firmy MAN o mocy 245 KM i automatyczną skrzynię biegów VOITH – czterobiegową. Autobusy są ciągle w eksploatacji. Na rysunku 2 przedstawiono efekty ekologiczne eksploatacji autobusów CNG w postaci ograniczenia emisji pyłów, NO<sub>x</sub>, węglowodorów oraz tlenków węgla. Autobusy zużywają rocznie około 250 tys. m<sup>3</sup> gazu. Doświadczenia z wykorzystania CNG w komunikacji miejskiej Krakowa, oprócz niezaprzeczalnych efektów ekologicznych, wskazują także na efektywność ekonomiczną tego przedsięwzięcia (do 2014 r.) (rys. 3) (MPK Kraków 2016).



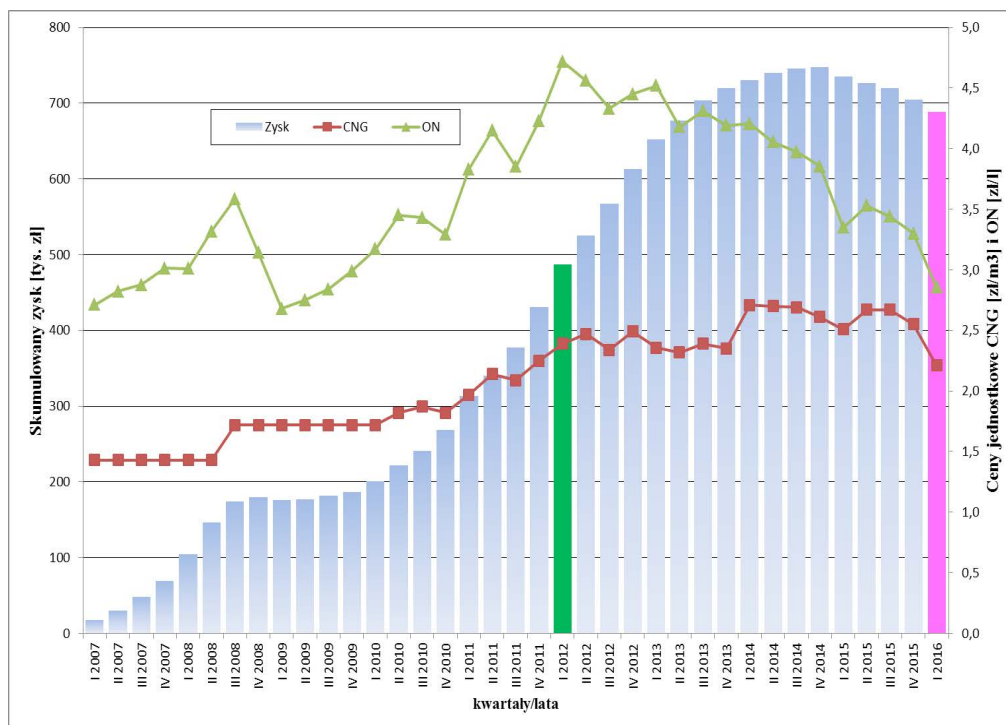
Rys. 2. Zmniejszenie emisji wybranych zanieczyszczeń związane z eksploatacją autobusów CNG w okresie 2007–IV 2016 [kg]

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z MPK Kraków

Fig. 2. Reducing emissions of some pollutants associated with the operation of CNG buses from 2007–April 2016

Także doświadczenia zagraniczne w ramach programu CIVITAS potwierdzają ekologiczne walory CNG jako alternatywnego paliwa w transporcie. Przykładowo, w Lublanie (Słowenia) wprowadzenie autobusów hybrydowych, zasilanych CNG, o 32,63% obniżyło zużycie paliwa w ciągu 20 miesięcy. Na tym samym poziomie odnotowano także spadek kosztów paliwa, przy zapewnieniu adekwatnej liczby przewożonych osób. Nowe autobusy, na sprężony gaz ziemny CNG, znacznie poprawiły jakość życia miejskiego w mieście Lublana, poprzez poprawę jakości środowiska, powietrza i zmniejszenia poziomu hałasu. Dwadzieścia autobusów CNG zastąpiło





Rys. 3. Skumulowane miesięczne oszczędności na paliwie wynikające ze stosowania CNG w okresie 2007–IV 2016 [tys. zł]

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z MPK w Krakowie

Fig. 3. The cumulative monthly savings in fuel resulting from the use of CNG from 2007–April 2016 [thousands PLN]

najstarsze autobusy napędzane ON miejskiej floty, a tym samym obniżono emisję zanieczyszczeń do powietrza o 80%. Warto podkreślić, że nowe pojazdy CNG spełniają najbardziej restrykcyjne normy emisji spalin w zakresie EEV (*Enhanced Environmentally Friendly Vehicle*) (Kyc 2007 oraz Civitas Initiative – EU).

Z badań wynika, że w porównaniu z silnikiem diesla (Euro 4) autobusy CNG emitują 80–90% mniej tlenków azotu ( $\text{NO}_x$ ); przy okazji warto dodać, że największy udział w emisji  $\text{NO}_x$  na terenie miasta Kraków mają właśnie źródła liniowe (komunikacyjne). Co jest także istotne, pojazdy CNG emitują znikomą ilość np. pyłów  $\text{PM}_{10}$ , które są poważnym problemem dla zapewnienia odpowiedniej jakości powietrza w aglomeracji miejskiej. Ponadto autobusy CNG cechują się niższym hałasem w porównaniu do autobusów zasilanych ON (Dobrzyński 2015).

Jednak w ciągu ostatnich lat, a szczególnie po wprowadzeniu akcyzy na gaz ziemny wykorzystywany w celach transportowych w listopadzie 2013 r., trudno jest mówić o oszczędnościach wynikających ze stosowania CNG w komunikacji miejskiej; potwierdzają to także doświadczenia z rzeszowskiego MPK, który eksploatuje 70 autobusów zasilanych CNG (Orzechowska i in. 2014). Jak widać z rysunku 3 największe zyski ze stosowania CNG były generowane w 2012 r., kiedy obserwowane były największe różnice pomiędzy ceną ON a CNG.

Analiza krajowego rynku CNG w ciągu ostatnich lat wskazuje na stagnację. Wydaje się, że do podstawowych impulsów rozwoju tego rynku należałoby zaliczyć zmianę relacji cen CNG do cen paliw tradycyjnych (na korzyść CNG), a także rozwój infrastruktury – obecnie istnieje jedynie 26 stacji CNG, w 2007 r. było ich 28 (Szurlej 2007). Tak mała liczba stacji CNG jest dalece niewystarczająca dla swobodnego poruszania się pojazdami NGV, zwłaszcza w północnej części kraju (Śliwka i in. 2015). Dla porównania – w Austrii liczba dostępnych stacji CNG to 180, w dynamicznie rozwijających się rynku CNG w Czechach – 110, a we Włoszech – europejskim liderze rynku CNG – przeszło 1000. Jak wskazują doświadczenia państw, gdzie rynek CNG się rozwija, oprócz konkurencyjnej ceny CNG, ważne dla rozwoju tego rynku są także preferencje w podatku drogowym dla pojazdów NGV (Włochy), podatku ekologicznym od nowych samochodów (Austria), czy też 40% redukcja podatku dochodowego dla osób – użytkowników NGV i bezpłatne parkingi dla tych pojazdów (Szwecja) (Łyko i in. 2014). W świetle problemów z rozwojem infrastruktury dla CNG w Polsce interesującym rozwiązaniem w kontekście zwiększenia dynamiki wykorzystania gazu w transporcie byłoby szersze wykorzystanie przydomowych sprężarek gazu ziemnego. W ramach realizowanego obecnie na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH w Krakowie projektu prowadzone są prace nad przydomową instalacją do tankowania pojazdów CNG. Tego typu instalacje pobierają gaz ziemny z sieci niskiego ciśnienia i następnie za pomocą sprężarek zasilanych prądem elektrycznym sprężają do ciśnienia około 200 bar. Takie rozwiązania nie są nowością i mają one dużo wad, spośród których można wskazać: niską żywotność sprężarki, wysokie nakłady inwestycyjne związane z instalacją, hałas oraz fakt, że pojazd musi być podpięty do instalacji w czasie sprężania. Obecnie na WWiG AGH w Krakowie przeprowadzane są testy innowacyjnej instalacji, która nie posiada w swojej konstrukcji najbardziej newralgicznego komponentu – mechanicznej sprężarki. Przełomowym rozwiązaniem jest stosowanie jedno-stopniowej sprężarki hydraulicznej, która wielokrotnie obniża nakłady inwestycyjne związane z tą instalacją, jednocześnie wydłużając żywotność do około 20 000 godzin pracy (Kuczyński i in. 2016).

## Podsumowanie

Według zasady zrównoważonego rozwoju, rozwiązania zmniejszające emisję powinny zapewnić korzyści ekonomiczne, społeczne i środowiskowe wynikające z poprawy efektywności energetycznej, wzrostu innowacyjności i wdrożenia nowych technologii oraz poprawy jakości środowiska. Jak wynika z przeprowadzonej w artykule analizy, wykorzystanie CNG w transporcie ma wpływ na ograniczenie emisji zanieczyszczeń powietrza, co jest niezwykle istotne w przypadku wielu krajowych aglomeracji, borykających się z problemem wysokiego zanieczyszczenia powietrza. Niestety, w ciągu ostatnich lat, jak wskazują doświadczenia przedsiębiorstw komunikacji miejskiej, gdzie wykorzystuje się CNG, nie można liczyć na pozytywne

efekty ekonomiczne zastosowania CNG w transporcie. Były one obserwowane w pierwszych latach użytkowania autobusów CNG (Filip 2011). Dlatego też – bazując na doświadczeniach z wybranych rynków paliw w krajach UE – warto podkreślić, że rozwój rynku CNG jest uzależniony między innymi od odpowiedniej polityki fiskalnej państwa, długoterminowej stabilności przepisów podatkowych oraz rozwiniętej infrastruktury – odpowiedniej liczby stacji CNG (Orzechowska i Kryzia 2014).

Praca finansowana z EIT KIC Inno-Energy 7.7.190.70130 oraz badań statutowych AGH 11.11.190.555

## Literatura

- DOBRYŃSKI, M. 2015. *Wpływ zastosowania gazu ziemnego na parametry ekologiczne wybranych środków transportu* – rozprawa doktorska. Politechnika Poznańska.
- FILIP, M. 2011. Doświadczenia MPK Rzeszów w eksploatacji autobusów CNG. *Konferencja CNG na AGH – Gaz ziemny paliwem przyszłości w pojazdach*, Kraków 22–23 września 2011r.
- The GVR 2016 – The Gas Vehicles Report 2016, vol. 15/ 169, February.
- JANAS, A. i SZURLEJ, A. 2008. Krajowy rynek CNG na tle wybranych rynków europejskich. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* t. 82, nr 3, s. 6–10.
- JASTRZEBSKA, G 2009. *Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne*. WNT, Warszawa.
- GUS 2015 – Główny Urząd Statystyczny 2015. *Ochrona Środowiska 2015*. Warszawa.
- KOBIZE 2016 – Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami. 2016. Krajowy bilans emisji SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO ZA LATA 2013 – 2014 w układzie klasyfikacji SNAP I NFR. Raport podstawowy. Warszawa.
- KUCZYŃSKI i in. 2016 – KUCZYŃSKI, Sz., LISZKA, K., ŁACIAK, M., OLINIYK, A., STRODS R. i SZURLEJ A. 2016. Technological and safety aspects of CNG home fast refueling units. *AGH Drilling, Oil, Gas* vol. 33, no. 2, s. 425–432.
- KYĆ, K. 2007. Czysty transport miejski – wdrożenie i testowanie zintegrowanych pakietów technologicznych i strategii z zakresu energii i transportu na przykładzie projektu Caravel/Civitas II. *Materiały Krakowskiej Konferencji Młodych Uczonych 2007*, s. 125–134
- ŁYKO i in. 2014 – ŁYKO, P., ŚLIWKA, M. i POMYKAŁA, R. 2014. Zastosowanie CNG i biometanu w transporcie – dobre praktyki z wybranych krajów Unii Europejskiej. *Logistyka* nr 4 dod.: CD nr 6, s. 4628–4632.
- MALEC i in. 2016 – MALEC, M., KAMIŃSKI, J. i KASZYŃSKI P., 2016. Regulacje środowiskowe w energetyce a zapotrzebowanie na węgiel kamienny. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 19, z. 1, s. 21–34.
- NAGY, S. i SIEMEK, J. 2011. Shale Gas in Europe: the State of the Technology – challenges and opportunities. *Archives of Mining Sciences* 56, 4, s. 727–760.
- NIK 2014 – Informacja o wynikach kontroli: ochrona powietrza przed zanieczyszczeniami. Warszawa, 1 grudnia 2014; [Online] Dostępne w: [www.nik.gov.pl](http://www.nik.gov.pl) [Dostęp: 1.08.2016].
- OLKUSKI, T. 2006. Polski terminal LNG – budować czy nie? *Przegląd Gazowniczy* nr 1, s. 12–14.
- OLKUSKI, T. 2008. Co dalej z terminalem LNG w Polsce? [W:] *Profesjonalne gazownictwo 2008*. Kraków: AKNET-PRess, s. 86–87.
- ORZECZOWSKA, M. i KRYZIA, D. 2014. Analiza SWOT wykorzystania gazu ziemnego w transporcie drogowym w Polsce. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 17, z. 3, s. 321–332.

- ORZECZOWSKA i in. 2014 – ORZECZOWSKA, M., FILIP, M. i SZURLEJ, A. 2014. Economic and environmental aspects of using CNG in urban public transport – based on the experience of MPK Rzeszów. *Logistyka* nr 4 dod.: CD nr 6, s. 4756–4763.
- SIEMEK i in. 2011a – SIEMEK, J., KALISKI, M., RYCHLICKI, S., SIKORA, S., JANUSZ, P. i SZURLEJ, A., 2011. Importance of LNG technology in the development of world's natural gas deposits. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* Vol. 27, Is. 4, s. 109–130.
- SIEMEK i in. 2011b – SIEMEK, J., KALISKI, M., RYCHLICKI, S., JANUSZ, P., SIKORA, S. i SZURLEJ, A. 2011. Wpływ shale gas na rynek gazu ziemnego w Polsce. *Rynek Energii* nr 5, s. 118–124.
- SZURLEJ, A. 2007. Rozwój rynku CNG w Polsce na tle państw UE. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 10 z. spec. 2, s. 569–578.
- ŚLIWKA i in. 2014 – ŚLIWKA, M., ŁYKO, P. i POMYKAŁA, R., 2014. Ocena rynku CNG przez użytkowników pojazdów NGV jako potencjalnych odbiorców biometanu. *Logistyka* nr 4 dod.: CD nr 6, s. 4974–4980.
- ŚLIWKA i in. 2015 – ŚLIWKA, M., ŁYKO, P. i POMYKAŁA, R. 2015. Aspekty ekonomiczne i ekologiczne wybranych alternatywnych źródeł zasilania samochodów osobowych. *Logistyka* nr 4 dod.: CD nr 3, s. 9865–9870.
- WOJTKOWSKA-ŁODEJ, G. 2014. Wyzwania klimatyczne i energetyczne a polityka Unii Europejskiej. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 17, z. 2, s. 39–52.
- Materiały źródłowe projektu Civitas Initiative: [www.civitas.eu](http://www.civitas.eu)
- Materiały źródłowe Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacji w Krakowie, 2016.
- Plan Gospodarki Niskoemisyjnej dla Gminy Miejskiej: Kraków, Wrocław, Poznań i Bydgoszczy 2015.
- Narodowy Program Rozwoju Gospodarki Niskoemisyjnej Warszawa 2015.
- Ustawa z 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz. U. z 2008 r. nr 25, poz. 150 ze zm.).
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 443/2009 z dnia 23 kwietnia 2009 r. określające normy emisji dla nowych samochodów osobowych w ramach zintegrowanego podejścia Wspólnoty na rzecz zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub> z lekkich pojazdów dostawczych.

Szymon KUCZYŃSKI, Krystian LISZKA, Mariusz ŁACIAK, Katarzyna KYĆ, Andrij OLINYK,  
Adam SZURLEJ

## The impact of the use of alternative fuels in transport, with a particular emphasis on CNG, to reduce the emissions of air pollutants

### Abstract

The use of natural gas as alternative fuel in the transport sector has a long history and dates back to the 1860s. In the conventional fuel shortage crisis times, fuel gas was frequently used in transport. Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council on the deployment of alternative fuels infrastructure obliges EU member states to develop power access hotspots as well as CNG and LNG distribution infrastructure. The emission of major contaminants generated by road transport in Poland from 2003–2014 were analyzed in this paper. The CO<sub>2</sub> emissions in major Polish cities were approximated, with a special emphasis on transport as their source. The ecological and economic aspects of CNG buses in Krakow municipal transport were analyzed. Attempts were made to identify major obstacles hindering the development of the CNG market in Poland against the background of positive examples of actions undertaken by some EU countries on behalf of the CNG market.

KEYWORDS: Compressed Natural Gas (CNG), Natural Gas Vehicles, alternative fuels, emissions, fuel prices, greenhouse gases

