

Kazimierz Lejda, Marek Urbanik

Czynniki determinujące koszty eksploatacji autobusów zasilanych gazem ziemnym

Wprowadzenie

Przy ciągle rosnącym znaczeniu polityki ochrony środowiska nie należy zapominać o aspektach ekonomicznych, zwłaszcza obecnie przy coraz silniejszej konkurencji. Przedsiębiorstwa transportowe, podnosząc swoją konkurencyjność często obniżają ceny swoich usług. Jednak działanie takie jest bardzo ograniczone ze względu na coraz wyższą cenę paliwa, która stanowi główny koszt funkcjonowania tego typu przedsiębiorstwa. W celu obniżenia kosztów przeznaczonych na paliwo niektóre przedsiębiorstwa transportowe zaczynają zasilać swoje pojazdy gazem ziemnym. Za jego stosowaniem, oprócz niższej ceny w porównaniu z paliwami tradycyjnymi, przemawia również aspekt ekologiczny. Paliwo to jest jednym z najczystszych paliw stosowanych do tej pory na szerszą skalę. W tabeli 1 porównano emisję spalin autobusu zasilanego gazem ziemnym (CNG) typu Volvo GH10C oraz autobusu z silnikiem Diesla Volvo DH 12 (Tab. 1.)

Każde przedsiębiorstwo transportowe zanim zacznie stosować gaz ziemny jako paliwo do zasilania pojazdów samochodowych, musi przeprowadzić bardzo dokładną analizę ekonomiczną oraz przygotować odpowiednią infrastrukturę związaną z obsługą i naprawą pojazdów zasilanych tego typu paliwem. Analiza ekonomiczna powinna obejmować koszty budowy stacji tankowania pojazdów gazem ziemnym, modernizacji lub zakupu nowych pojazdów na gaz ziemny oraz eksploatacji pojazdów zasilanych tym paliwem. Nie przeprowadzenie takiej analizy może spowodować, że cała inwestycja związana z wprowadzeniem tego paliwa, zamiast przynosić zyski, może przyczynić się do ponoszenia strat.

Tab. 1. Porównanie emisji szkodliwych składników spalin [g/kWh] dla autobusu zasilanego gazem ziemnym i olejem napędowym [4]

Model autobusu	VOLVO GH10C (CNG)	VOLVO DH12 (DIESEL)
Szkodliwe skład. spalin		
NO _x	2,80	4,70
PM	<0,01	0,06
CO	0,02	0,60
NMHC	0,00	0,20
CH ₄	0,40	nie dotyczy

Tab. 2. Koszt modernizacji jednego autobusu do zasilania gazem ziemnym [2]

Marka autobusu	Koszt przebudowy elementów konstrukcyjnych kratownicy [tys. zł]	Koszt silnika wraz z osprzętem [tys. zł]	Całkowity koszt [tys. zł]
Jelcz 120M /1/CNG/	110	80	190

Poniższa analiza została przeprowadzona na podstawie doświadczeń jakie zdobyło Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Rzeszowie w związku z wprowadzeniem gazu ziemnego do zasilania autobusów.

1. Ekonomiczne aspekty wprowadzenia gazu ziemnego jako paliwa do zasilania pojazdów samochodowych

Autobusy zasilane gazem ziemnym są droższe od autobusów zasilanych olejem napędowym o ok. 15-25%; można przyjąć, że średnio cena autobusu na gaz ziemny wynosi ok. 770 tys. zł. Ostateczna cena autobusu jest ustalana w wyniku przetargu. Natomiast modernizacja autobusów do zasilania sprężonym gazem ziemnym wymaga zmiany w konstrukcji kratownicy autobusu w celu zamontowania butli oraz montażu instalacji gazowej i silnika przystosowanego do zasilania gazowego. Oczywiście, można uniknąć montażu nowego silnika poprzez dostosowanie silnika zasilanego olejem napędowym lub benzyną do zasilania gazem ziemnym, jednak w praktyce jest to mało opłacalne. Należy zatem przyjąć wersję, że na koszt przystosowania autobusu do zasilania gazem ziemnym składa się koszt

przeróbki kratownicy autobusu oraz silnika wraz z osprzętem. Koszt modernizacji jednego autobusu Jelcz 120M (rys. 1) przedstawiono w tabeli 2.

Drugim ważnym czynnikiem po kosztach zakupu (lub modernizacji) autobusów na CNG jest zużycie czynnika energetycznego, a co za tym idzie koszt paliwa. Należy pamiętać o tym, że pojazdy zasilane paliwem gazowym w stosunku do paliw tradycyjnych zużywają więcej paliwa ze względu na niższą gęstość energetyczną paliwa gazowego. Przykładowy wzrost zużycia gazu ziemnego w stosunku do zużycia oleju napędowego pokazano na rys. 2. Porównano zużycie gazu ziemnego przez autobus Jelcz M125/4/CNG z silnikiem MAN oraz zużycie oleju napędowego przez autobus Solaris z silnikiem MAN.

Porównanie zużycia gazu ziemnego i oleju napędowego przez zmodernizowany autobus Jelcz 120M pokazano na rys. 3.

Obecnie MPK w Rzeszowie posiada 189 autobusów, w tym 40 na gaz ziemny [2]. Liczba autobusów poszczególnych marek została przedstawiona w tabeli 3, natomiast miesięczne przebiegi ww. autobusów gazowych wraz ze zużyciem gazu zaprezentowano w tabeli 4.



Rys. 1. Autobus Jelcz120 M /1/CNG/ po modernizacji: 1 – widok autobusu, 2 – rozmieszczenie butli pod podłogą [2]

W 2009 r. MPK w Rzeszowie za jeden metr sześcienny gazu płać 1,72 zł [2]. W tabeli 5 przedstawiono średnie zużycie gazu ziemnego na 100 km przez autobusy oraz koszt przejechania 100 km.

Tab. 3. *Autobusy zasilane gazem ziemnym w MPK w Rzeszowie [2]*

Marka autobusu	Liczba autobusów
JELCZ120 M /1/CNG/ (po modernizacji)	2
SOLARIS URBINO 12 CNG	9
JELCZ M121 M/4	8
JELCZ 125 M/4	11
JELCZ 120 M/4	10

Tab. 4. *Przebieg i zużycie gazu ziemnego przez autobusy w poszczególnych miesiącach 2009 r. [2]*

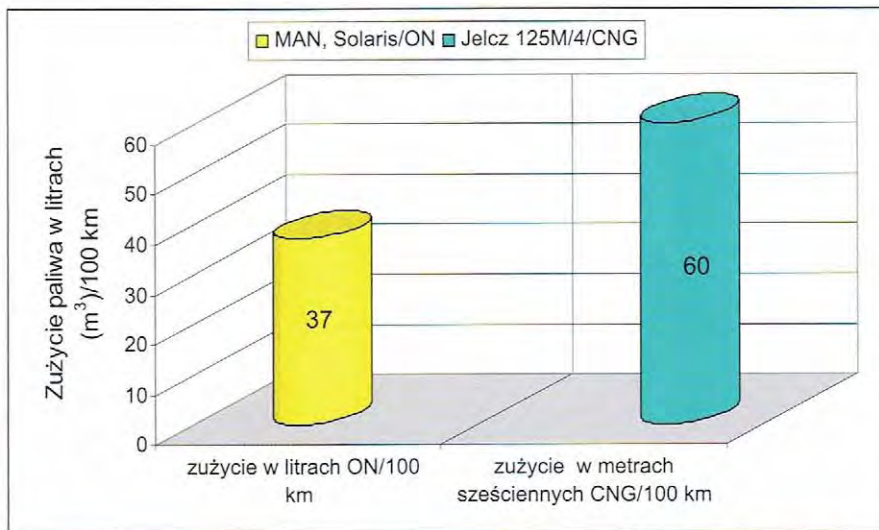
Miesiąc	Przebieg [km]	Zużycie gazu ziemnego [m ³]
Styczeń	183 228	107 839,1
Luty	180 116	104 416,5
Marzec	224 348	128 142,6
Kwiecień	197 349	107 383
Maj	209 470	114 199,6
Czerwiec	197 329	106 544,1
Lipiec	187 800	99 377,83
Sierpień	195 608	101 372,9
Wrzesień	230 257	119 477,4
Październik	222 871	122 400,76
Listopad	232 332	125 830,89
Grudzień	230 608	132 613,05
Razem	2 491 316	136 9597,73

Tab. 5. *Koszt zasilania paliwem gazowym (CNG) autobusów na odcinku 100 km w poszczególnych miesiącach 2009 r. [2]*

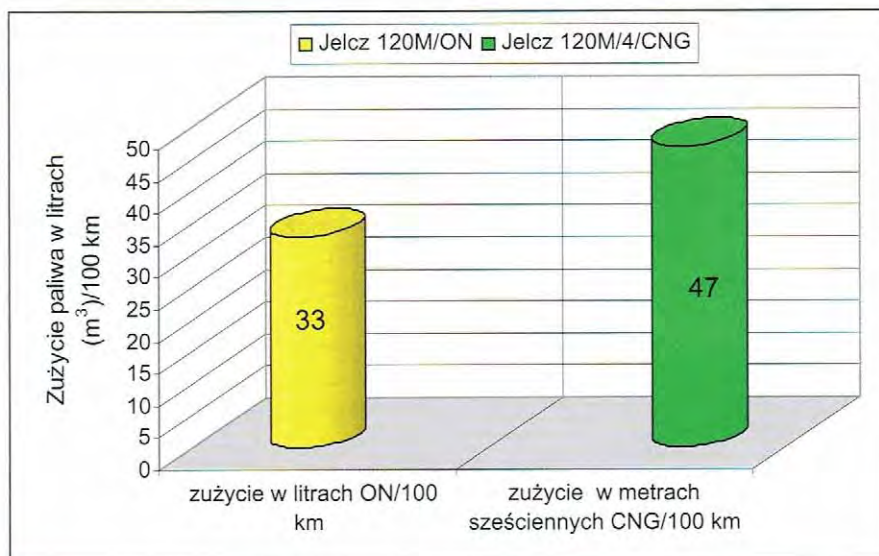
Miesiąc	Średnie zużycie gazu ziemnego przez autobusy [m ³ /100 km]	Cena za m ³ gazu ziemnego [zł]	Koszt paliwa (CNG) na odcinku 100 km [zł]
Styczeń	58,86	1,72	101,24
Luty	57,97		99,7
Marzec	57,12		98,25
Kwiecień	54,46		93,67
Maj	54,52		93,77
Czerwiec	54,00		92,88
Lipiec	52,92		91,02
Sierpień	51,82		89,13
Wrzesień	51,89		89,25
Październik	54,92		94,46
Listopad	54,16		93,16
Grudzień	57,51		99,92
Średni koszt			94,70

Tab. 6. *Koszt zasilania autobusów zasilanych olejem napędowym na odcinku 100 km w poszczególnych miesiącach 2009 r. [2]*

Miesiąc	Cena w [zł]
Styczeń	95,57
Luty	101,85
Marzec	96,64
Kwiecień	93,54
Maj	91,33
Czerwiec	99,03
Lipiec	94,24
Sierpień	95,71
Wrzesień	101,22
Październik	103,15
Listopad	103,96
Grudzień	115,3
Średni koszt	99,295



Rys. 2. *Porównanie zużycia gazu ziemnego i oleju napędowego w autobusach z silnikami typu MAN [2]*



Rys. 3. *Porównanie zużycia gazu ziemnego i oleju napędowego przez autobus Jelcz 120M [2]*

Mając dane roczne zużycie gazu ziemnego przez wszystkie autobusy zasilane CNG (1 369 597,73 m³ - tabela 4) oraz cenę za metr sześcienny gazu (1,72 zł) po jakiej MPK kupowało to paliwo w 2009 r., można obliczyć roczny koszt poniesiony na zakup gazu ziemnego do zasilania autobusów, który wyniósł **2 355 708,10 zł**.

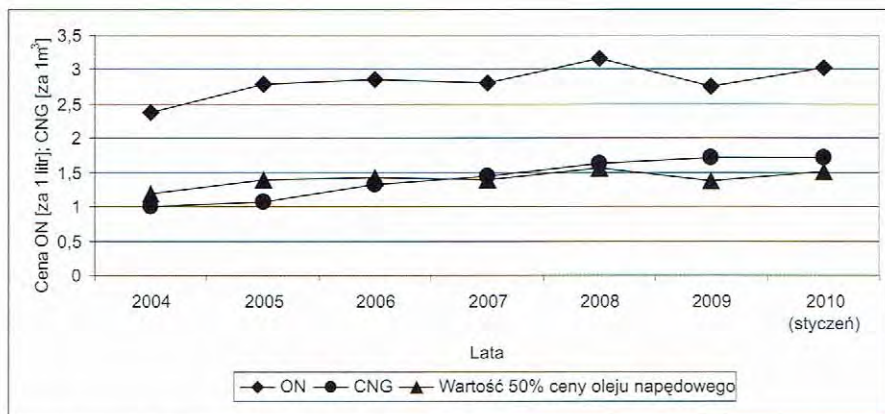
Przybliżony koszt paliwa w przypadku, gdyby te same autobusy napędzane były olejem napędowym, obliczono na podstawie kosztów przejechania 100 km przez autobusy napędzane tym rodzajem paliwa, które podano w tabeli 6.

Ponieważ w poszczególnych miesiącach koszt zużycia oleju napędowego jest różny ze względu na zmieniającą się jego cenę, dlatego do obliczeń przybliżonej ceny zużycia oleju napędowego posłużono się średnim kosztem oleju napędowego (por. tab. 6). W tym przypadku koszt paliwa odnośnie zasilania autobusów olejem napędowym wynosi **2 473 752,22 zł**, więc różnica w zasilaniu

olejem napędowym i gazem ziemnym będzie wynosić **118 044,12 zł**.

Z powyższego porównania wynika, że przy zasilaniu gazem ziemnym zaoszczędzono ww. wymienioną kwotę. Głównym czynnikiem decydującym o opłacalności stosowania gazu ziemnego, jako paliwa do napędu autobusów, jest stosunek ceny za 1 m³ gazu ziemnego do ceny jednego litra oleju napędowego. Korzyści uzyskuje się wtedy, gdy 1 m³ gazu kosztuje nie więcej niż ok. połowy ceny jednego litra oleju napędowego. Biorąc średnią cenę gazu ziemnego w okresie od 2004 r. do stycznia 2010 r., wyraźnie widać (rys. 4), że w ostatnim czasie cena 1 m³ gazu ziemnego wyraźnie przewyższa 50% ceny jednego litra oleju napędowego co powoduje, że stosowanie paliwa gazowego staje się mniej opłacalne.

Nie tylko porównanie kosztów paliwa przy zasilaniu autobusów gazem ziemnym i olejem napędowym jest istotne, ale ważną jest również kwestia amortyzacji kosztów, które w przypadku MPK w Rzeszowie wiążą się głównie



Rys. 4. Stosunek ceny oleju napędowego do gazu ziemnego od roku 2004 do stycznia 2010 r. [2]

z wyższą ceną zakupu autobusów na gaz ziemny. Koszty budowy stacji tankowania gazu poniósł Rzeszowski Oddział Karpackiej Spółki Gazowej sp. z o. o. w Tarnowie. Do wyrównania wyższej ceny autobusu (o ok. 125 tys. zł) niższymi cenami paliwa, potrzebny będzie przebieg autobusu ok. 450-500 tys. km przy założeniu, że cena za 1 m³ gazu ziemnego nie przekroczy połowy ceny jednego litra oleju napędowego.

Wrz z wprowadzeniem autobusów zasilanych gazem ziemnym trzeba przygotować odpowiednie stanowiska do napraw i obsługi

tych pojazdów. W tym celu w zajezdni MPK w Rzeszowie przystosowano trzy stanowiska do napraw autobusów gazowych oraz stanowisko diagnostyczne (rys. 5). W pomieszczeniach, w których odbywa się naprawa i obsługa autobusów na gaz ziemny, została wymieniona instalacja elektryczna oraz zainstalowana wentylacja wraz z czujnikami gazu. Na całej powierzchni hali została wykonana antystatyczna nieiskrząca posadzka.

Przed wykonaniem prac w pomieszczeniach do obsługi i napraw autobusów zasilanych gazem wykonany był projekt, który

musiał być zatwierdzony przez Państwową Inspekcję Pracy oraz Straż Pożarną. Również w trakcie prac modernizacyjnych i po ich zakończeniu przeprowadzane były kontrole, których celem było sprawdzenie, czy prace wykonywane były zgodnie z obowiązującymi przepisami. Całkowity koszt modernizacji wyniósł ok. 320 tys. zł. Czas zwrotu tej modernizacji jest uzależniony od liczby autobusów zasilanych gazem ziemnym, tzn. im więcej tych autobusów to czas zwrotu tej inwestycji jest krótszy [2].

2. Eksploatacja autobusów zasilanych sprężonym gazem ziemnym

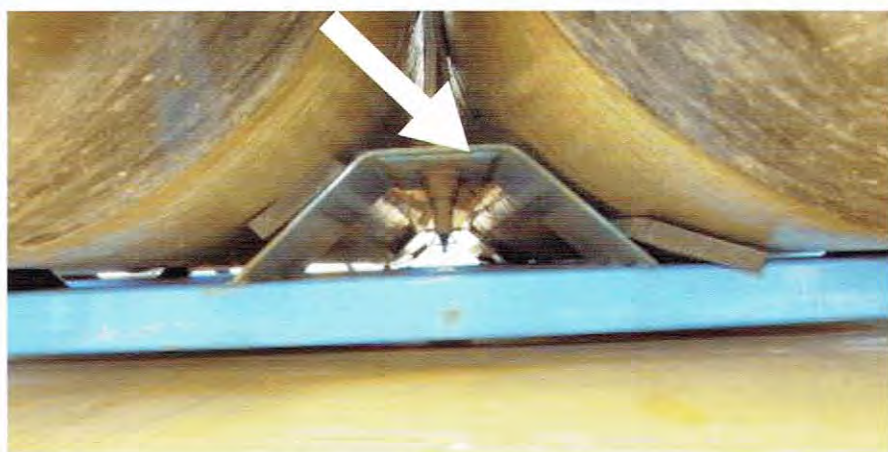
Obsługa autobusów na gaz ziemny nie różni się zbytnio od obsługi autobusów zasilanych olejem napędowym. Różnica polega na tym, że podczas wykonywania okresowych przeglądów sprawdza się szczelność instalacji gazowej. Przeglądy techniczne autobusów gazowych przeprowadzane są co 10 tys. km i realizowane we własnym zakresie przez MPK w Rzeszowie. Dodatkowo, co 10 lat należy przeprowadzać próbę szczelności zbiorników stalowych, a kompozytowych co 20 lat. Co 3 lata wykonywana jest rewizja zewnętrzna zbiorników. Próby takie są przeprowadzane przez Transportowy Dozór Techniczny,



Rys. 5. Stanowiska do napraw i obsługi autobusów CNG na zajezdni MPK Rzeszów przy ul. Trembeckiego



Rys. 7. Przykład obróconej butli [2]



Rys. 6. Wysuwające się spod butli gazowych gumowe podkładki [2]



Rys. 8. Uszkodzenie butli w wyniku otarcia [2]

który zajmuje się również kontrolą instalacji gazowej w autobusie i wystawia świadectwo homologacyjne, na podstawie którego pojazd jest dopuszczony do ruchu drogowego. Oprócz okresowych przeglądów technicznych autobusy przechodzą również comiesięczną obsługę techniczną, która ma na celu zapewnienie sprawności autobusu między przeglądami technicznymi. Sprawdzany jest wówczas stan płynów eksploatacyjnych oraz wzrokowa kontrola przewodów i złączy poszczególnych układów. Pracownik, który wykonuje naprawę autobusów gazowych, musi przejść odpowiednie przeszkolenie w celu uzyskania uprawnień do obsługi instalacji gazowych typu „E”. Podobnie kierownictwo, które nadzoruje pracę w warsztacie naprawiającym autobusy gazowe, musi mieć uprawnienia do obsługi instalacji gazowych typu „D”. Koszt przeszkolenia jednego pracownika wynosi ok. 700 zł [2].

2.1. Uszkodzenia występujące podczas eksploatacji autobusów zasilanych gazem ziemnym

W autobusach, które mają umieszczone zbiorniki na dachu, w trakcie eksploatacji pojawił się problem z wysuwającymi wkładkami spod butli (rys. 6). Wysuwające się gumowe wkładki spowodowały obluźnienie się mocowań butli, co skutkowało obracaniem się zbiorników. Obrót zbiorników powodował nie tylko uszkodzenia przewodów gazowych (rys. 7), lecz również uszkodzenie wierzchniej warstwy zbiornika i narażenie jej na korozję (rys. 8). Problem ten rozwiązano przez poprawienie mocowań zbiorników, które zapobiegają przed ich obracaniem i przesuwaniem.

Zimą w autobusach, które mają umieszczone zbiorniki pod podłogą, dość dużym mankamentem stał się śnieg, który podczas jazdy autobusu osadzał się na butlach gazowych (rys. 9). Oczywiście śnieg trzeba było usuwać, ponieważ nie tylko utrudniał dostęp do zaworów umieszczonych na butli, ale powodował dodatkowe ich schładzanie zakłócając tym samym ich pracę.

Dość dużym problemem w pojazdach zasilanych sprężonym gazem ziemnym jest wpływ temperatury na ciśnienie w zbiornikach gazu. Prosta na rys. 10 przedstawia, jak zmienia się ciśnienie gazu w zbiorniku w zależności od temperatury w jakiej znajduje się zbiornik. Jak widać, wraz ze wzrostem temperatury rośnie ciśnienie gazu. Może to być kłopotliwe w przypadku, gdy autobus zostaje zatankowany do ciśnienia 200 bar w niższej temperaturze (np. w nocy) a jego eksploatacja odbywa się w temperaturze wyższej (w dzień). Zbyt duże ciśnienie w zbiorniku może doprowadzić do jego rozerwania. Dlatego też zbiorniki są wyposażone w zawory bezpieczeństwa, których zadaniem jest „wypuszczenie” nadmiaru gazu w przypadku nadmiernego wzrostu ciśnienia.

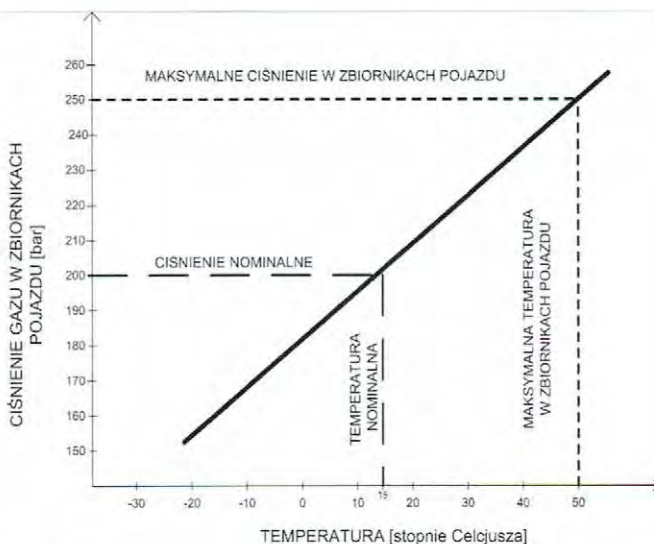
W przypadku upustu gazu ze zbiornika niebezpieczeństwo jego zapalenia jest niewielkie, ponieważ gaz ziemny jest lżejszy od powietrza i po opuszczeniu zbiornika od razu unosi się do góry. Małe jest także niebezpieczeństwo wybuchu gazu podczas uszkodzenia zbiornika, np. w wyniku wypadku, ponieważ uchodzący strumień gazu z uszkodzonego zbiornika, ze względu na duże ciśnienie w zbiorniku ma tak dużą prędkość, że ewentualnie powstały płomień zostaje „zdmuchnięty”. Również wysoka temperatura samozapłonu tego paliwa w porównaniu z innymi paliwami czyni ten rodzaj paliwa stosunkowo bezpiecznym.

Podsumowanie

W Polsce pojazdów zasilanych gazem ziemnym jest stosunkowo niewiele. Zdecydowanym liderem zastosowania tego typu paliwa jest Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Rzeszowie, które przez wprowadzenie do swojego taboru autobusów gazowych przyczyniło się do wyraźnego ożywienia na rynku tego typu pojazdów. W ślad za nim idą inne przedsiębiorstwa, które już stosują lub planują wprowadzić tego typu pojazdy do swojego taboru. Poważną barierą przed



Rys. 9. Osadzający się śnieg na butlach gazowych pod podłogą autobusu [2]



Rys. 10. Zależność ciśnienia sprężonego gazu ziemnego w zbiorniku pojazdu od temperatury.

stosowaniem gazu ziemnego jako paliwa jest jeszcze zbyt mała liczba stacji tankowania CNG. Koszt budowy takiej stacji jest dość znaczny i najczęściej przewyższa możliwości finansowe przedsiębiorstw. Obawy przed stosowaniem tego typu paliwa na szerszą skalę powoduje również polityka państwa, która nie gwarantuje stabilnych cen gazu. Jednak wprowadzenie gazu ziemnego, szczególnie przez przedsiębiorstwa komunikacji miejskiej, wydaje się być zasadne, chociażby ze względu na jego walory ekologiczne, co pozwoli na obniżenie emisji zanieczyszczeń i poziomu hałasu w miastach.

Bibliografia

- [1] Budzik G.: Zasilanie silników autobusów komunikacji miejskiej sprężonym gazem ziemnym. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2006.
- [2] Materiały MPK Rzeszów.
- [3] http://www.psgaz.pl/dla_pojazdow/
- [4] www.infobus.pl/text.php?from=tag&id=3711

Autorzy:

prof. dr hab. inż. Kazimierz Lejda - Politechnika Rzeszowska, Zakład Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych.
mgr inż. Marek Urbanik - słuchacz studiów doktoranckich na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej.