

## ANALISE OF SELECTED SYSTEMS CNG SUPPLY OF CITY BUSES ENGINE

**Mariusz Cygnar**

*Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nowym Sączu  
Ul. Staszica 1, 33-300 Nowy Sącz  
e-mail:*

**Janusz Jakóbiec**

*Instytut Technologii Nafty  
31-429 Kraków, ul. Łukaszewicza 1  
e-mail: j.jakobiec@itn.com.pl*

**Grzegorz Budzik**

*Politechnika Rzeszowska, Katedra Konstrukcji Maszyn  
Al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów  
e-mail: gbudzik@prz.edu.pl*

### **Abstract**

*This paper presents analyze of selected solutions of compressed natural gas (CNG) supply systems in powering the bus. They are shown solutions of supply with normal inhaust pressure and with turbocharger using. Modern CNG supply systems are equip by computer systems for bus and engine process control.*

*The major reason of CNG usage is an environmental aspect of the engine operation, since the CNG powered engines are much more environment friendly than the Diesel ones, which are widely used at the moment in such application as bus communication. The CNG combustion produces much less NO<sub>x</sub> and CO emissions and enables to comply EURO II and EURO III requirements. The major benefit of the CNG application in the city transportation is a reduction of air contamination within the city borders (and outside). Another advantage is the fact that natural gas is less expensive than diesel oil, which makes its application more economical.*

**Keywords:** *compressed natural gas (CNG), environment, CNG supply, emissions, automotive engines*

## ANALIZA WYBRANYCH SYSTEMÓW ZASILANIA CNG SILNIKÓW AUTOBUSÓW KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ

### **Streszczenie**

*Artykuł przedstawia analizę wybranych rozwiązań układów zasilania CNG dla autobusów komunikacji miejskiej. Przedstawione zostały rozwiązania układów zasilania i sterowania silników produkowanych seryjnie atmosferycznych oraz turbodoladowanych. Zapewnienie optymalnego przebiegu procesu spalania i spełnienie norm emisji wymaga stosowania zespolonych układów sterowania silnikiem i pojazdem.*

*Głównym powodem zasilania silników CNG jest zmniejszenie emisji substancji szkodliwych w stosunku do emisji silników wysokoprężnych, które są obecnie szeroko stosowane w autobusach komunikacji miejskiej. Zastosowanie silników zasilanych CNG pozwala na spełnienie norm EURO II i EURO III. Jest to szczególnie istotne w przypadku transportu miejskiego, gdzie stężenie substancji szkodliwych jest duże zarówno w środkach komunikacji jak i na zewnątrz. Kolejną zaletą stosowania zasilania CNG jest cena gazu zdecydowanie niższa niż oleju napędowego.*

**Słowa kluczowe:** *sprężony gaz ziemny (CNG), środowisko, układ zasilania, normy emisji, silniki spalinowe*

## 1. Wstęp

Zmieniająca się sytuacja na rynku energetycznym wymusza potrzebę poszukiwania alternatywnych źródeł zasilania pojazdów samochodowych. Zastosowanie sprężonego gazu (CNG) do zasilania pojazdów jest dobrą alternatywą dla użytkowników pojazdów. Paliwo to powoduje mniejszą emisję substancji toksycznych do atmosfery [1,6]. W chwili obecnej koszt tego paliwa jest niższy niż benzyny, oleju napędowego i gazu LPG.

Pojazdy zasilane CNG produkowane są seryjnie przez czołowych producentów światowych. Producenci mają w swojej ofercie właściwie wszystkie rodzaje pojazdów od kosiarek przez wózki widłowe, pojazdy osobowe, dostawcze, ciężarowe i autobusy.

W zatłoczonych centrach miast coraz częściej można zauważyć autobusy komunikacji miejskiej zasilane sprężonym gazem ziemnym. Takie rozwiązanie znacznie stępienie substancji szkodliwych w dużych aglomeracjach [5,7].

Adaptacja układów zasilania na gazowe wiąże się ze wzrostem wydatków w początkowej fazie inwestycji, jednak w kilkuletnim okresie czasu następuje zwrot poniesionych nakładów. Zwiększone nakłady mogą być rekompensowane w ramach odpowiedniej proekologicznej polityki Państwa.

Silniki autobusowe zasilane gazem CNG są najczęściej gazowymi wersjami silników Diesla. Adaptacja silnika wysokoprężnego na paliwo gazowe pozwala na oszczędności finansowe w stosunku do projektowania zupełnie nowego silnika. Modernizacja obejmuje zmianę układu zasilania, instalację układu zapłonowego, instalację układu sterowania, zwiększenie wydatku układu chłodzenia, przebudowę komory spalania [8].

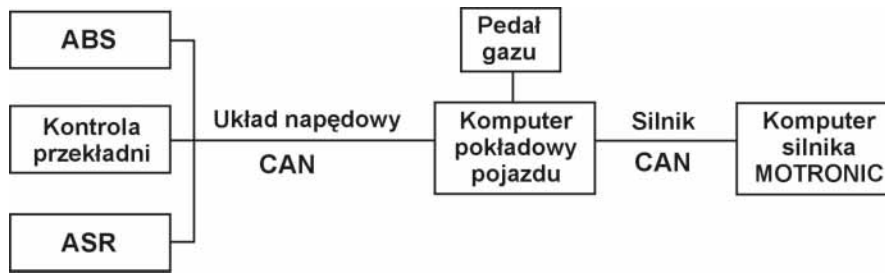
## 2. Solaris Urbino 15 CNG - silnik MAN 2876 LUH 01/02

Istnieje wiele firm produkujących silniki zasilane gazem jednak zdecydowanym liderem jest firma MAN. Jej silniki są stosowane do napędu takich autobusów jak MAN, Jelcz, Solaris [3].

Bazą silników gazowych firmy MAN jest konstrukcja silnika Diesla typ D2866. Autobusy niskopodłogowe wyposażone są w wyłącznie w wersję leżącą silnika. Silnik ten występuje w odmianie turbodoładowanej E 2876 LUH 01/02. Silnik posiadają sterowanie Bosch ME7-CNG0, elektroniczny sekwencyjny wtrysk gazu i trójdrożny katalizator.

Silnik posiada sześć cylindrów, pojemność skokową  $12,96 \text{ dm}^3$ , średnica tłoka wynosi 128 mm i skok 155 mm. Silnik rozwija moc 225 kW przy 2000 obr./min, moment obrotowy 1250 Nm przy  $1200 \div 1600$  obr./min i pracuje na mieszance ubogiej  $1 \leq \lambda \leq 1,65$ . Wartość  $\lambda$  jest regulowana z wykorzystaniem szerokopasmowej sondy Lambda i elektroniki sterującej silnikiem. Silnik jest doładowany turbosprężarką a powietrze doładowane chłodzone jest przez chłodnicę powietrza doładowującego. Dzięki temu zmniejszone jest obciążenie cieplne silnika i emisja tlenków azotu ( $\text{NO}_x$ ) Mieszanka gazu ziemnego i powietrza tworzona jest w mikserze bezpośrednio przed kolektorem. Gaz ziemny dawkowany jest do powietrza za pomocą 12 zaworów aktywowanych elektrycznie. Ciśnienie zasilania gazu (za reduktorem) wynosi około 0,85 MPa.

Wykorzystanie silników firmy MAN w autobusach Solaris Urbino 15 CNG związane jest wyposażeniem pojazdów w niezbędne urządzenia elektroniczne i mechaniczne. Autobus do którego montuje się silnik MAN 2876 LUH z systemem Motronic ME7-CNG0 musi być wyposażony w pokładowy komputer, który jest pewnego rodzaju centralą do której napływają sygnały z poszczególnych układów trakcji pojazdu. Sygnały do komputera pokładowego przekazywane są poprzez sieć wewnętrzną CAN (*ang.* CAN – *Computer Added Network*). Poszczególne moduły sterujące podłączone są do komputera pokładowego w obwodzie CAN silnika i obwodzie układu napędowego (rys. 2). Komputer pokładowy analizuje parametry pracy takich podzespołów jak: układ sterowania silnika, układ analizy położenia i przyspieszenia pedału gazu, przekładnie, układ ABS, układ kontroli poślizgu przy przyspieszaniu ASR.

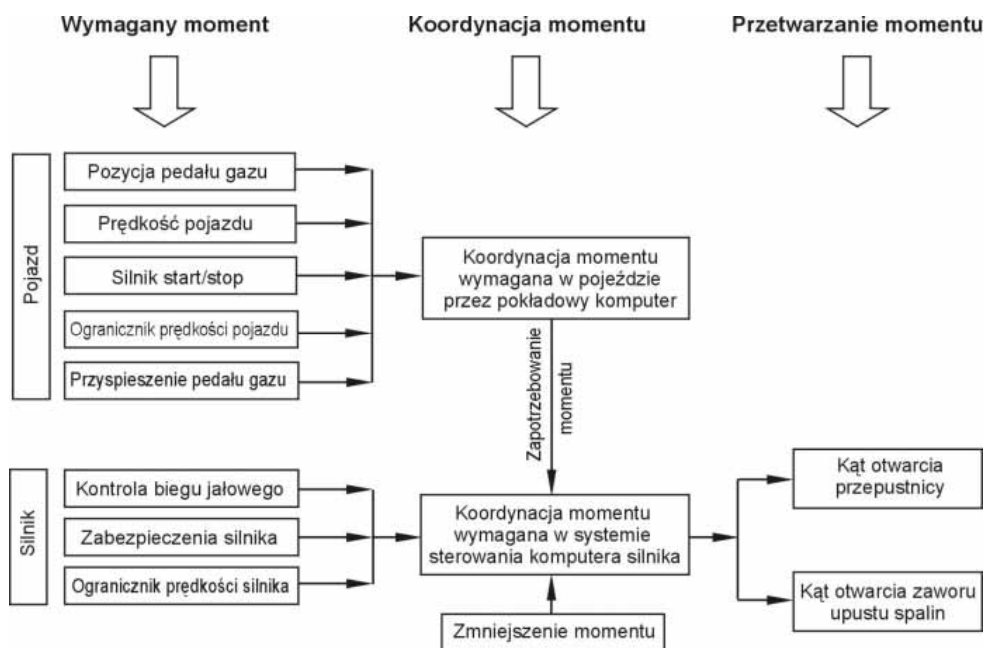


Rys. 2. Struktura CAN dla silnika zasilanego CNG [3]  
 Fig. 2. CAN structure for CNG supply engine [3]

Na podstawie tych danych komputer oblicza moment obrotowy i wartość ta zostaje nadana do układu sterowania silnikiem. Wytwarzany jest wówczas moment obrotowy niezbędny w danej chwili do zapewnienia wszystkich działania wszystkich systemów oraz samego napędu. Uzależnienie sterowania wartością momentu od wielu czynników przetwarzanych w komputerze pokładowym jest nowym rozwiązaniem w porównaniu do metody, gdzie moc silnika regulowane była wyłącznie za pomocą pedału gazu jako elementu sterującego położeniem przepustnicy.

Struktura momentu obrotowego podzielona została na trzy grupy funkcyjne (rys. 3):

- wymagany moment,
- koordynacja momentu,
- przetwarzanie momentu.

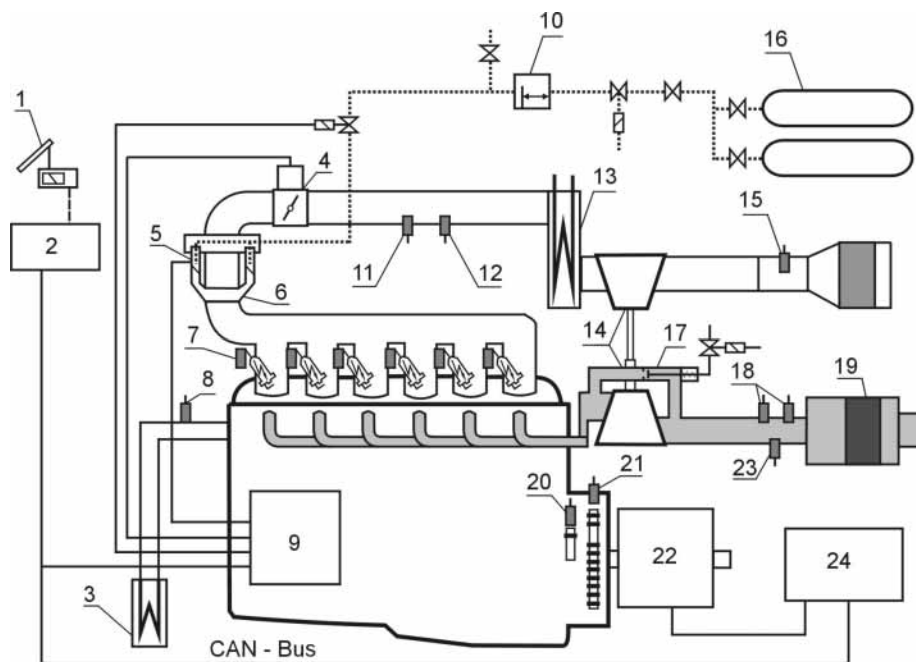


Rys. 3. Struktura momentu dla układu Motronic ME7-CNG0 [3]  
 Fig. 3. Structure of torque for Motronic ME7-CNG0 system [3]

Gaz ziemny przechowywany jest w butlach postaci sprężonej (CNG) pod ciśnieniem 20 MPa. W przypadku autobusów niskopodłogowych butle usytuowane są na dachu pojazdu. Jeżeli ciśnienie gazu w zbiornikach jest niższe niż 2 MPa nie można uruchamiać silnika. Praca silnika przy zbyt niskim ciśnieniu w zbiornikach może powodować nierównomierne doprowadzanie gazu. Może to doprowadzić do uszkodzenia silnika lub katalizatora.

W układzie zasilania zamontowane są dwa reduktory ciśnienia gazu. Jeden dla zasilania silnika (0,85 MPa) złożony z dwóch równolegle połączonych regulatorów ciśnienia i drugi do pieca

ogrzewania obniżający ciśnienie gazu do wartości 0,65 MPa. Ponieważ w czasie rozprężania gazu obniża się jego temperatura, reduktory są ogrzewane płynem z układu chłodzenia silnika.



Rys. 4. Schemat układu zasilania ubogą mieszanką CNG silnika typu MAN E2876 LUH [3]

Fig.4. Schema of CNG supply system of lean-burn engine MAN E2876 LUH [3]

1-pedał gazu, 2- centralny komputer sterujący, 3-układ chłodzenia, 4-przepustnica, 5-zawór zawór wtryskowy gazu, 6- mieszalnik gazu, 7- układ zapłonowy, 8-czujnik temperatury cieczy chłodzącej, 9- układ sterowania silnika, 10- regulator ciśnienia gazu, 11-czujnik ciśnienia powietrza doładowanego, 12-czujnik temperatury powietrza doładowanego, 13-chłodnica powietrza doładowanego, 14- turbosprężarka, 15-miernik masy powietrza, 16- zbiornik ze sprężonym gazem, 17-zawór upustu spalin, 18-sondy lambda, 19-tłumik wydechu z katalizatorem, 20-czujnik faz rozrządu, 21-czujnik prędkości obrotowej silnika, 22-skrzynia biegów, 23-czujnik temperatury gazów wydechowych, 24-sterownik skrzyni biegów

1-accelerator pedal, 2-control computer, 3-cooling system, 4-trottling valve, 5-gas injector, 6-gas carburettor, 7-ignition system, 8-cooling liquid temperature sensor, 9-engine control system, 10-pressure regulator of gas, 11-intake air pressure sensor, 12-intake air temperature sensor, 13-intercooler, 14-turbocharger, 15-mass airflow meter, 16-gas cylinder, 17-release valve of exhaust, 18-Lambda Probe, 19-silencer with catalyzer, 20-reference sensor, 21-rotational-speed sensor, 22-gearbox, 23-exhaust temperature sensor, 24-gearbox controller

W układzie zasilania znajdują się dwa rodzaje zaworów odcinających. Po stronie wysokiego ciśnienia, montowane na zbiornikach gazu, otwarte gdy włączony jest zapłon. Zawór po stronie niskiego ciśnienia, otwarty gdy silnik obraca się z prędkością większą od wartości określonej jako minimalna. Jest on zamontowany za reduktorem 0,85 MPa, blisko mieszalnika (rys. 4).

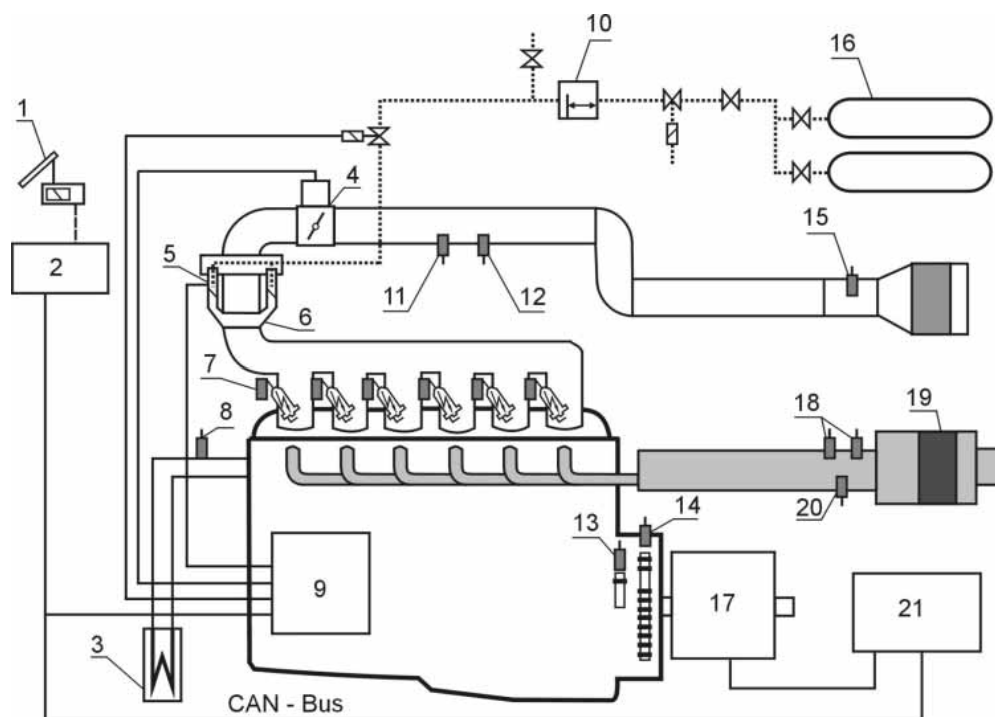
Mieszalnik gazu zamontowany jest na dolicie powietrza doładowanego, za przepustnicą, blisko kolektora dolotowego. W rezultacie daje to krótki czas na dotarcie mieszanki do cylindrów i dynamiczną reakcję silnika na zmiany obciążenia. 12 zaworów wtryskowych umieszczonych jest w czterech blokach (po trzy) rozmieszczonych równomiernie dookoła korpusu. Gaz dociera do zaworów pod ciśnieniem 0,85 MPa. Parametry gazu monitorowane są przez czujniki ciśnienia i temperatury zainstalowane bezpośrednio przed mieszalnikiem. Parametry te są przetwarzane w elektronice sterującej silnikiem w celu obliczenia odpowiedniego czasu wtrysku (otwarcia zaworów). Zawory zasilane są napięciem 12V i połączone są w pary elektrycznie połączone szeregowo i zasilane napięciem 24V. Zawory z każdej pary umieszczone są po przeciwnej stronie miksera. Każda para zaworów jest aktywowana selektywnie przez elektronikę. Kolejno aktywowane pary zaworów są obrócone względem siebie o kąt 90°.

### 3. Jelcz 125 M/4 - silnik MAN E2866 DUH 03

Silnik ten występuje tu odmianie wolnossącej typ E 2866 DUH 03, posiada sterowanie Bosch ME7-CNG0, elektroniczny sekwencyjny wtrysk gazu i trójdrożny katalizator.

Wersja posiada pojemność skokową 12 dm<sup>3</sup>, moc 185 kW, moment obrotowy 880 Nm i pracuje na mieszance paliwowo – powietrznej  $\lambda=1$ .

Wykorzystanie silników firmy MAN w autobusach Jelcz 125 M/4 CNG związane jest wyposażeniem pojazdów w niezbędne urządzenia elektroniczne i mechaniczne podobne jak w wersji silnika E2876 LUH. Nie występują tu układy związane z turbodoładowaniem silnika. Schemat układu zasilania i sterowania przedstawia rysunek 5.



Rys. 5. Schemat układu zasilania CNG silnika typu MAN E2866 DUH [3]

Fig. 5. Schema of CNG supply system of engine MAN E2866 DUH [3]

1-pedał gazu, 2- centralny komputer sterujący, 3-układ chłodzenia, 4-przepustnica, 5-zawór zawór wtryskowy gazu, 6- mieszalnik gazu, 7- układ zapłonowy, 8-czujnik temperatury cieczy chłodzącej, 9- układ sterowania silnika, 10- regulator ciśnienia gazu, 11-czujnik ciśnienia powietrza, 12-czujnik temperatury powietrza, 15-miernik masy powietrza, 16- zbiornik ze sprężonym gazem, 18-sondy lambda, 19-tłumik wydechu z katalizatorem, 20-czujnik faz rozrządu, 21-sterownik skrzyni biegów

1-accelerator pedal, 2-control computer, 3-cooling system, 4-throttling valve, 5-gas injector, 6-gas carburettor, 7-ignition system, 8-cooling liquid temperature sensor, 9-engine control system, 10-pressure regulator of gas, 11-intake air pressure sensor, 12- intake temperature sensor, 13- reference sensor, 14- rotational-speed sensor, 15-mass airflow meter, 16-gas cylinder, 17- gearbox, 18-Lambda Probe, 19-silencer with catalysator, 20-exhaust temperature sensor, 21-gearbox controller

### 3. Wnioski

Analiza poszczególnych układów zasilania została przeprowadzona na podstawie doświadczeń eksploatacyjnych przedsiębiorstw komunikacyjnych MZK Przemysł i MPK Rzeszów. Ze względu na objętość publikacji opisane zostały tylko najnowsze rozwiązania układów zasilania autobusów. Autobusy wyposażone w układy starszych generacji eksploatowane są w dużej ilości w MZK Przemysł. Przedsiębiorstwo to posiada kilkuletnie doświadczenie eksploatacji autobusów adaptowanych na CNG. Autobusy zasilane CNG po przystosowaniu silników wysokoprężnych posiadają wiele miejsc newralgicznych w których powstają awarie. Awarie te dotyczą zarówno

układu zasilania gazowego (awarie silników krokowych i zaworów) jak również innych układów silnika (pęknięcia głowic i świec zapłonowych). Doświadczenia eksploatacyjne pozwoliły na wyciągnięcie wniosków dla producentów i wyeliminowanie tego typu usterek w produkowanych seryjnie autobusach. MPK Rzeszów eksploatuje adaptowane na CNG Jelcze M120 oraz nowoczesne, produkowane seryjnie autobusy: Jelcz M125M/4 CNG i Solaris Urbino 12 CNG. Autobusy te wyposażone w sprawdzone silniki firmy MAN oraz IVECO z układem zasilania wyposażonym w sekwencyjny wtrysk gazu sterowany komputerowo.

Zakup autobusów wyposażonych fabrycznie w instalacje CNG stanowi bardzo dobre rozwiązanie dla przedsiębiorstw komunikacyjnych zamierzających wprowadzić pojazdy zasilane sprężonym gazem do swojego taboru.

## Literatura

- [1] Bielaczyc, P., Szczotka, A., *Analiza emisji związków szkodliwych spalin w początkowym okresie po rozruchu silnika ZI samochodu zasilanego alternatywnie benzyną i CNG*, Zeszyty Naukowe OBR SM BOSMAL, 2002, zeszyt 19.
- [2] Jakubiec, J., Janik, R., Gardyński, L., *Wpływ pakietu dodatku uszlachetniającego na właściwości fizykochemiczne i użytkowe auto-gazu*, Materiały VI Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Silniki gazowe 2003” Częstochowa – Szczyrk 2003.
- [3] Materiały otrzymane z RGK Sp. z o.o. Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne.
- [4] Rudkowski, M., Rudkowski J., *Wykorzystanie gazu ziemnego w autobusach. Stacje tankowania*. Materiały z sympozjum „Zrównoważony rozwój miast – ekologiczne i ekonomiczne aspekty stosowania gazu ziemnego do napędu pojazdów samochodowych”, Inowrocław, wrzesień 2001.
- [5] Sas, J., *Dlaczego gaz ziemny jest dobrym paliwem do napędu pojazdów*, Materiał z sympozjum „Zrównoważony rozwój miast – ekologiczne i ekonomiczne aspekty stosowania gazu ziemnego do napędu pojazdów samochodowych”, Inowrocław, wrzesień 2001.
- [6] Sawicki, J., *Gaz ziemny, bezpieczeństwo paliwowe XXI wieku*, Auto, nr 2, 2003.
- [7] Tkacz, A., Skwarczyński, W., Froński, A., *Napędy gazowe w gospodarce komunalnej. Plany PGNiG S.A. rozwoju zastosowania CNG w Polsce*, Materiały z sympozjum „Zrównoważony rozwój miast – ekologiczne i ekonomiczne aspekty stosowania gazu ziemnego do napędu pojazdów samochodowych”, Inowrocław, wrzesień 2001.
- [8] Bujakowski, J., *Charakterystyka gazu ziemnego jako paliwa silnikowego*, Instalator motoryzacyjny, nr 9(61), wrzesień 2003.