

Stanisław W. KRUCZYŃSKI¹
Ryszard WOŁOZYŃ²
Witold DANILCZYK³
Marek STEPNIIEWSKI⁴

JEDNOPALIWOWY UKŁAD ZASILANIA GAZEM ZIEMNYM SILNIKA O ZAPŁONIE ISKROWYM

W artykule przedstawiono zagadnienia dotyczące wykonanej w IEPiM w Politechnice Radomskiej adaptacji silnika Mercedesa OM 407 z zapłonem samoczynnym do jednopaliwowego zasilania gazem ziemnym. Tak wykonywane adaptacje są realizowane przez czołowych producentów autobusów (Volvo, Scania, Man, Solaris) wykorzystywanych w komunikacji miejskiej. W ramach prowadzonych prac wykonano dwa niezależne układy zasilania gazem ziemnym, gdzie gaz jest wprowadzany do układu zasilania za pomocą miksera lub indywidualnych wtryskiwaczy umieszczonych nad zaworami ssącymi.

THE FUEL SYSTEM FOR SI ENGINE FUELLED WITH NATURAL GAS

The paper describes some aspects of adaptation of Mercedes OM 407 diesel engine for fuelling with natural gas. Such adaptations are made by the leading producers of city buses like Volvo, Scania, Man and Solaris. The two versions of the gas fuel system have been prepared. The first version is equipped with the mixer but in the second natural gas is injected to the inlet channels.

1. WSTĘP

Poszukiwania różnych paliw zastępczych do zasilania silników spalinowych prowadzone są głównie z uwagi na malejące światowe zasoby paliw płynnych. Drugim istotnym problemem jest potrzeba ograniczenia emisji związków toksycznych emitowanych poprzez pojazdy w wyniku zastosowania paliw mniej szkodliwych dla człowieka i środowiska. Ograniczenie emisji substancji szkodliwych wydalanych do atmosfery w wyniku procesu spalania w silniku spalinowym jest możliwe między innymi poprzez zastosowanie innego nie „tradycyjnego paliwa”.

¹ Politechnika Warszawska SIMR ul.Narbutta 84, skruczyn@simr.pw.edu.pl

² Politechnika Radomska, IEPiM, ul.Chrobrego 45, rw@pr.radom.pl

³ Politechnika Warszawska SIMR ul.Narbutta 84, Wiktor.Danilczyk@simr.pw.edu.pl

⁴ Politechnika Radomska, IEPiM, ul.Chrobrego 45, m.stepniewski@pr.radom.pl

Prace badawcze nad wykorzystaniem gazu ziemnego jako paliwa alternatywnego w zasilaniu silników spalinowych są stymulowane między innymi rosnącymi wymaganiami ekologicznymi wprowadzającymi stopniowe zmniejszanie poziomu emisji poszczególnych substancji szkodliwych emitowanych przez silnik.

Gaz ziemny do zasilania pojazdów to paliwo naturalne nie wymagające do zastosowania w silnikach żadnej obróbki technologicznej oprócz osuszania i sprężania. Jest dużo lżejszy od powietrza i doskonale się z nim miesza. Wszystkie silniki o zapłonie iskrowym mogą być dostosowane do jego spalania.

Dzisiejsza dominacja paliw płynnych opartych na ropie naftowej powoduje, że mało kto pamięta, iż pierwsza konstrukcja niskoprężnego, spalinowego silnika tłokowego (N.A. Otto, 1878) zasilana była gazem. Dynamiczny rozwój technologii otrzymywania paliw płynnych (takich jak nafta, benzyna czy olej napędowy), prosty sposób magazynowania, dystrybucji i tankowania zapewniły powszechną dostępność tych paliw i niezbędny zasięg pojazdów. Spowodowało to w rezultacie wyeliminowanie na wiele lat paliw gazowych w transporcie samochodowym. Ograniczenia gospodarcze w okresie Drugiej Wojny Światowej i po jej zakończeniu, wywołały częściowy nawrót do paliw gazowych. Można było spotkać wówczas autobusy z workami gazowymi na dachu (do tej pory widoczne w dużych miastach chińskich), pojazdy z kotłami (wytwornicami gazu drzewnego) na przednich błotnikach lub przyczepach itp. W Polsce z kolei zainteresowanie paliwami gazowymi w ostatnich trzydziestu latach (głównie propanem i butanem oraz w mniejszym stopniu gazem ziemnym), było następstwem okresowo dużych niedoborów w zakresie benzyn i oleju napędowego oraz problemami i lawinowo rosnącymi cenami ropopochodnych paliw. Kluczowe znaczenie dla renesansu paliw gazowych miał jednak kryzys paliwowy w latach 70-tych, malejące zapasy ropy naftowej (rozmieszczone dodatkowo głównie w krajach niestabilnych politycznie) i ruchy ekologiczne. Zmieniło to w rezultacie nastawienie polityków i środowisk gospodarczych do gazów jako paliw alternatywnych. Równie istotne dla dalszego rozwoju transportu z wykorzystaniem paliw gazowych miało opanowanie technologii wykorzystania propanu, a następnie metanu w silnikach spalinowych. W naszym kraju wykorzystanie i stosowanie pojazdów zasilanych gazem ziemnym ma obecnie racjonalne uzasadnienie tylko dla pojazdów wykorzystywanych do obsługi i transportu w ruchu lokalnym. Wynika to z braku rozbudowanej infrastruktury pozwalającej na zatankowanie pojazdu w dowolnym miejscu w kraju. Wysoka cena stacji tankowania tym paliwem przy ograniczonym zapotrzebowaniu na to paliwo jest istotnym bodźcem ograniczającym rozwój i wprowadzanie pojazdów zasilanych tym paliwem. Największą gamę pojazdów zasilanych gazem ziemnym w Polsce stanowią głównie autobusy komunikacji miejskiej i pojazdy techniczne wykorzystywane przez gazownie.

Autobusy zasilane gazem ziemnym są wyposażone w jednopaliwowe układy, pozwalające na pracę silników jedynie na paliwie gazowym.

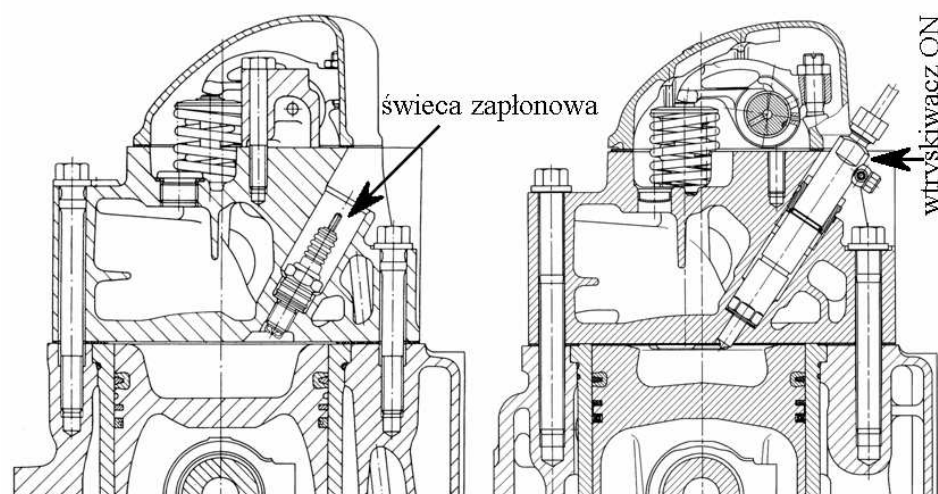
Eksplloatowane i produkowane jednopaliwowe układy zasilania powstają na bazie jednostek napędowych stosowanych w autobusach zasilanych olejem napędowym. Możliwości realizowania jednopaliwowego układu zasilania są najbardziej rozpowszechnione w autobusach komunikacji miejskiej. Firmy, które mają w swojej ofercie tak zasilane autobusy, wykorzystały do adaptacji silnika zasilanego gazem ziemnym zmodernizowaną jednostkę, zasilaną w wersji podstawowej olejem napędowym.

2. ADAPTACJA SILNIKA MERCEDESA OM 407 DO ZASILANIA GAZEM ZIEMNYM

W Instytucie Eksploatacji Pojazdów i Maszyn prowadzone są prace badawczo-rozwojowe nad adaptacją silnika Mercedes OM407 zasilanego w wersji podstawowej olejem napędowym do zasilania gazem ziemnym. Wykonana modernizacja silnika i zastosowany jednopaliwowy układ zasilania umożliwia jedynie pracę silnika na gazie ziemnym.

Adaptacji silnika OM 407 zasilanego w wersji podstawowej olejem napędowym do zasilania gazem ziemnym polegała m.in. na:

- obniżeniu stopnia sprężania do wartości 11,5, co można było uzyskać m.in. przez wymianę tłoków,
- demontażu układu zasilania olejem napędowym i zastąpieniu go układem wdmuchu gazu ziemnego do układu zasilania (zrealizowano dwie koncepcje),
- zamontowaniu układu zapłonowego wraz ze świecami zapłonowymi, wykorzystując istniejące otwory na wtryskiwacze ON,
- wyminę kolektora dolotowego,
- montażu dodatkowego osprzętu i czujników niezbędnych w jednopaliwowym układzie zasilania gazem ziemnym.

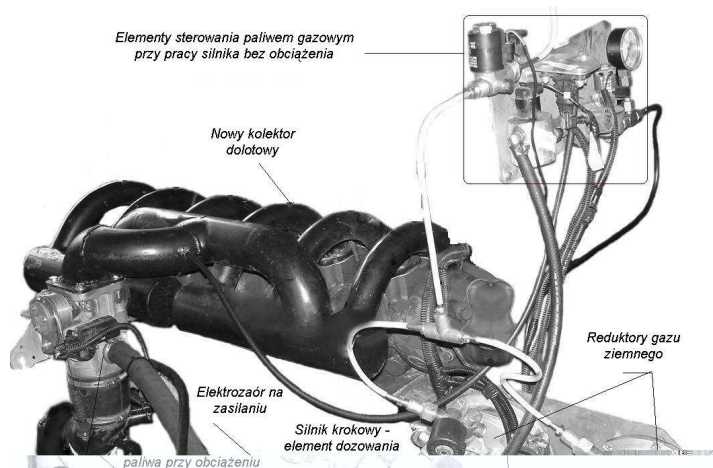


Rys.1. Przekrój silnika z świecą zapłonową po adaptacji do zasilania gazem ziemnym oraz wersja podstawowa z wtryskiwaczem oleju napędowego

W ramach prowadzonych prac przygotowano silnik do zasilania gazem ziemnym, pozwalającym na realizację dwu koncepcji zasilania uwzględniających miejsce i sposób dozowania paliwa gazowego do silnika:

- przed przepustnicę za pomocą miksera,
- nad zawór ssący za pomocą indywidualnych wtryskiwaczy.

Mikser gazu został zamontowany w układzie dolotowym, przed przepustnicą od strony filtra powietrza, blisko przepustnicy. W rezultacie takie umiejscowienie miksera pozwala na uzyskanie jednorodnej mieszanki gazowo-powietrznej dostarczanej do poszczególnych cylindrów.



Rys.2. Elementy składowe układu zasilania gazem ziemnym w modernizowanym silniku z zastosowaniem miksera przed przepustnicą powietrza

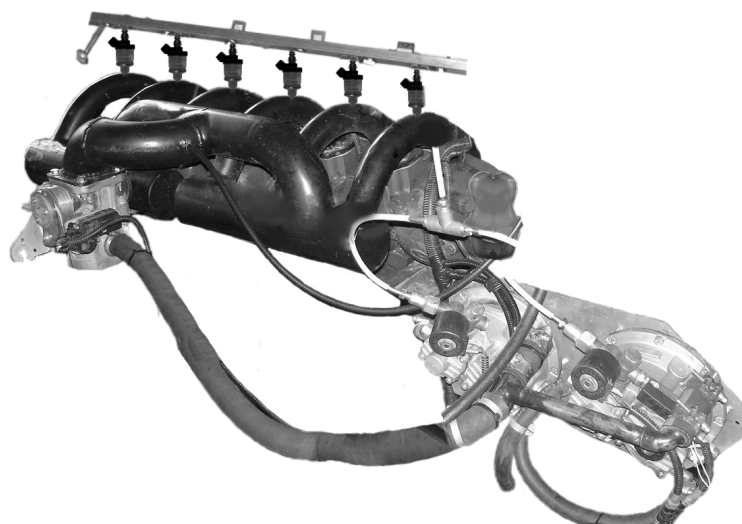
Parametry gazu w układzie zasilania są monitorowane przez czujniki ciśnienia i temperatury zainstalowane bezpośrednio przed mieszalnikiem. Parametry te są przetwarzane w elektronice sterującej m.in. silnikiem krokowym w celu obliczenia i dostarczenia odpowiedniej ilości paliwa gazowego. W układzie sterowania znajduje także się zawór biegu jałowego odpowiedzialny za dozowanie paliwa gazowego przy pracy silnika bez obciążenia.

Wykonana i opracowana druga koncepcja zasilania silnika gazem ziemnym za pomocą indywidualnych wtryskiwaczy paliwa, pozwoli na precyzyjne dozowanie i dostarczanie paliwa gazowego tylko w suwie napełniania silnika. W rezultacie daje to krótki czas na dotarcie mieszanki do cylindrów i dynamiczną reakcję silnika na zmiany obciążenia. Zasilanie silnika za pomocą indywidualnych wtryskiwaczy, eliminuje także przedostawanie się paliwa gazowego do układu wydechowego w czasie przekrycia zaworów.

Wykonana adaptacja układu zasilania gazem ziemnym wymaga zastosowania zbiorników paliwa (butli) w których gaz ziemny przechowywany jest w postaci sprężonej (CNG) pod ciśnieniem 20MPa. Jeżeli ciśnienie gazu w zbiornikach jest niższe niż 4MPa nie można uruchamiać silnika. Praca silnika przy zbyt niskim ciśnieniu w zbiornikach może powodować nierównomierne doprowadzanie gazu i zakłócenia w pracy silnika. Może to doprowadzić do uszkodzenia silnika lub katalizatora.

W układzie zasilania zamontowane są dwa reduktory ciśnienia gazu. Ponieważ w czasie rozprężania gazu obniża się jego temperatura, reduktory są ogrzewane płynem z układu chłodzenia silnika. W układzie zasilania znajdują się dwa rodzaje zaworów odcinających. Po stronie wysokiego ciśnienia, montowane na zbiornikach gazu elektrozawory, które są

otwarte gdy włączony jest zapłon. Zawór po stronie niskiego ciśnienia, otwarty jest gdy silnik obraca się z prędkością większą od wartości określonej jako minimalna.



Rys.3. Elementy składowe układu zasilania gazem ziemnym w modernizowanym silniku Mercedesa OM 407 z zastosowaniem wdmuchu gazu nad zawór ssący za pomocą indywidualnych wtryskiwaczy

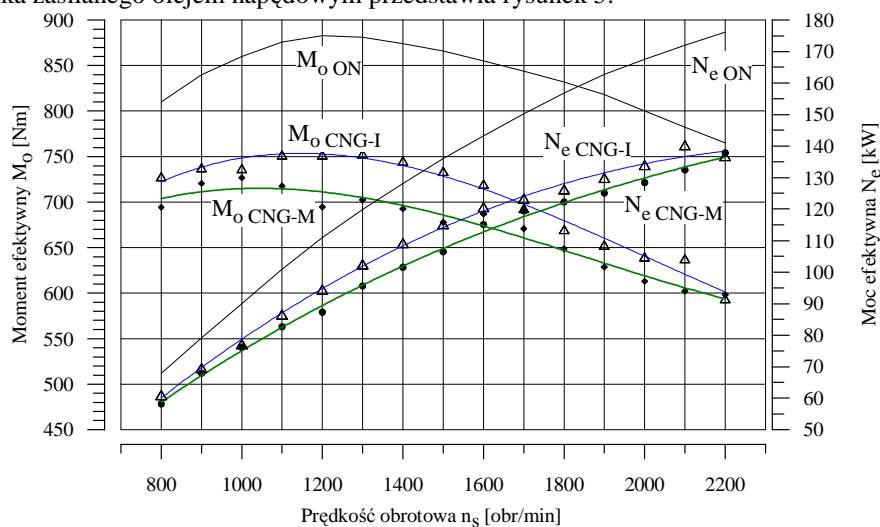
3. BADANIA STANOWISKOWE I EKSPLOATACYJNE

W ramach realizacji grantu przeprowadzono badania stanowiskowe (hamowniane) dla dwóch wykonanych wersji silnika OM-427 CNG-M i 0-427 CNG-I zasilanego gazem ziemnym. Prace optymalizacyjne związane głównie z układem zasilania skoncentrowano na wersji silnika z mieszalnikiem, który przeznaczono do badań eksploatacyjnych w autobusie Setra. Prace te polegały na doborze optymalnej dawki paliwa oraz kąta zapłonu (ustalono stały kąt zapłonu 17 deg przed GMP), tak aby skład mieszanki był zbliżony do składu stechiometrycznego. Po wykonaniu adaptacji silnika do dwóch wersji układów zasilania w ramach projektu przeprowadzono badania silnikowe na hamowni silnikowej i specjalnie przygotowanym oraz oprzyrządowanym do tego celu stanowisku badawczym wyposażonym m.in. w hamulec silnikowy Schenck, analizatory spalin, oraz układ do pomiaru ciśnienia w komorze spalania (rys.4.).



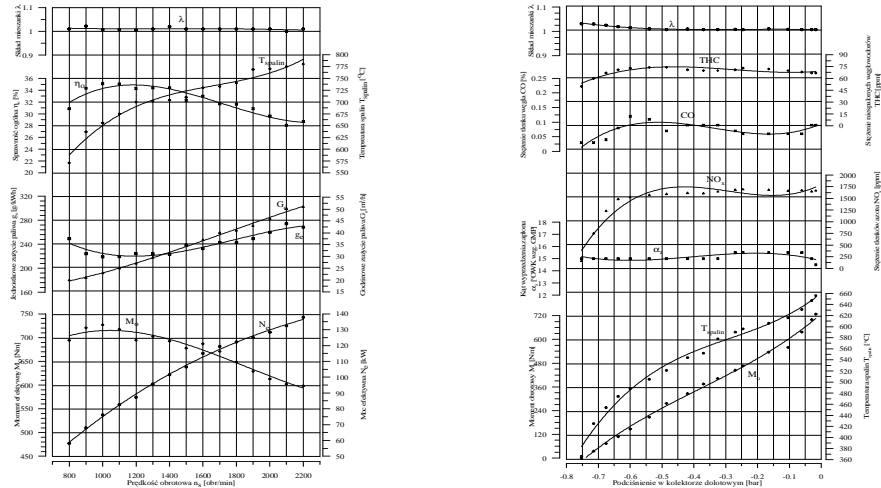
Rys.4. Stanowisko do badań hamownianych silnika oraz głowica silnika zaadaptowana do pomiarów ciśnienia w komorze spalania i elementy układu zapłonowego zamontowane na silniku OM 427CNG-I

Badania obejmowały wykonanie charakterystyk prędkościowych zewnętrznych oraz wybranych charakterystyk obciążeniowych. Uzyskane w wyniku tych prac charakterystyki prędkościowe silnika OM-427 CNG-M oraz OM-427 CNG-I w porównaniu do wersji silnika zasilanego olejem napędowym przedstawia rysunek 5.

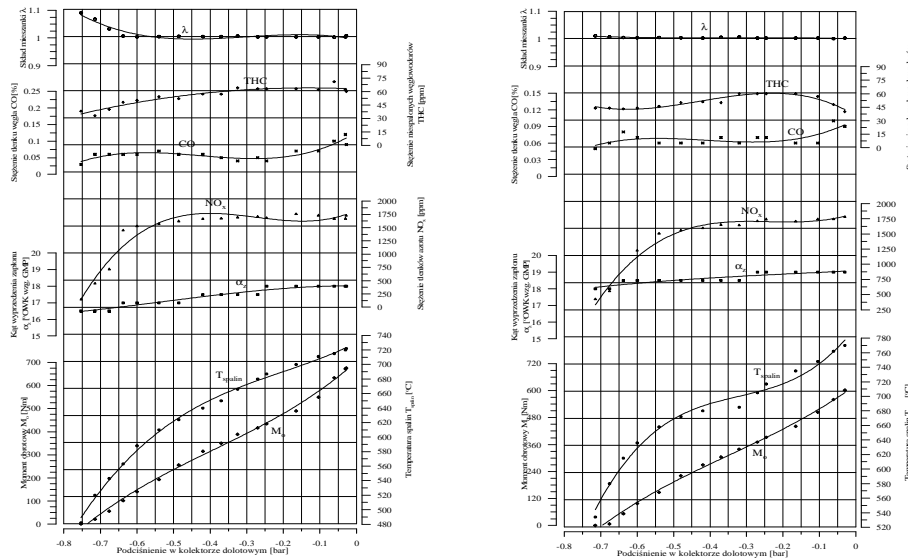


Rys.5. Charakterystyka prędkościowa zewnętrzna silnika MB OM-427 zasilanego olejem napędowym i dwóch wersji silnika zasilanego CNG (z mieszalnikiem – M oraz z wtryskiem gazu - I)

Charakterystykę prędkościową oraz wybrane charakterystyki obciążeniowe dla zoptymalizowanej wersji silnika OM-427 CNG-M przedstawia rysunek 6.



a) Charakterystyka prędkościowa zewnętrzna b) Charakterystyka obciążeniowa dla n=1000 obr/min



c) Charakterystyka obciążeniowa dla n=1500 obr/min d) Charakterystyka obciążeniowa dla n=2000 obr/min

Rys.6. Charakterystyka prędkościowa zewnętrzna (a) oraz charakterystyki obciążeniowe dla prędkości obrotowych n=1000 obr/min (b), n=1500 obr/min (c) oraz n=2000 obr/min (d) silnika OM427CNG-M

W końcowej fazie projektu zoptymalizowaną wersję 0M-427 CNG-M silnika zasilanego gazem ziemnym, przebadano w warunkach trakcyjnych po zamontowaniu w autobusie Setra eksploatowanym w Pomorskiej Komunikacji Samochodowej Wejherowo. Zbiorniki gazowe (butle półkompozytowe Faber) zamontowano w przestrzeni bagażowej. W czasie testów autobus przejechał 3409 km i średnie zużycie gazu wyniosło 48 Nm³ na 100km. Te oraz inne uwagi z eksploatacji zamieszczono w informacji o wynikach badań trakcyjnych autobusu Setra z silnikiem gazowym sporządzonej przez Pomorską Komunikację Samochodową w Wejherowie.

4. PODSUMOWANIE

Realizowane i wykonywane w Instytucie Eksploatacji Pojazdów i Maszyn adaptacje mają za zadanie opracowanie niezawodnego, ekologicznego i ekonomicznego układu zasilania gazem ziemnym. Prowadzone prace realizowane są na hamowni silnikowej oraz były zweryfikowane w eksploatacji po zamontowaniu tego silnika do autobusu. Opracowanie technologii adaptacji popularnych silników stosowanych w transporcie do zasilania gazem ziemnym, będzie alternatywą do ograniczenia emisji przy wykonywaniu np. naprawy głównej takiego silnika.

Przystosowanie np. używanego autobusu do zasilania gazem ziemnym jest ekonomicznie uzasadnione wraz z wykonaniem naprawy głównej silnika, co znacznie zmniejsza koszty całej operacji i ogranicza emisję substancji szkodliwych. Wykonywane prace dotyczą sposobów zasilania i doboru algorytmów sterowania silnikiem zasilanym gazem ziemnym.

5. BIBLIOGRAFJA

- [1] Wołoszyn R., Rudkowski M.: *Analiza porównawcza parametrów silnika autobusowego 6C(T)107 zasilanego gazem ziemnym sprężonym (CNG) i gazem ziemnym skroplonym (LNG)*. Eksploatacja silników spalinowych zeszyt nr 14. Politechnika Szczecińska. Szczecin 2006.
- [2] Wołoszyn R., Hofman P.: *Możliwości przystosowania silników spalinowych o zapłonie samoczynnym do zasilania gazem ziemnym*. Ogólnopolski miesięcznik „Autobusy” 12/2006.
- [3] Wołoszyn R.: *Rozwiązania techniczne układów zasilania silników gazem ziemnym*. IV Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna „Pojazd a Środowisko”, Radom - Jedlnia Letnisko 2003.
- [4] K. Lejda, A. Jaworski. : *LNG Alternatywne paliwo przyszłościowe dla autobusów miejskich*. Zeszyty Naukowo-Techniczne Oddziału Krakowskiego SITK. Nr 70. Kraków 1999 rok.
- [5] A.S.Chaczijan, W.E. Kuzniecowa, W.F. Wodejko, I.G. Szyszłow, R.CH. Chamidullin, S.A. Gekow. : *Badanie silników zasilanych gazem ziemnym dla ich zastosowania w transporcie i napędzie prądnic*. Eksploatacja silników spalinowych. Politechnika Szczecińska zeszyt nr 4. Szczecin 2001.
- [6] J. Beale.: *Self – Serve’ LNG Vehicle Refueling*. Gastech’96.