

ZASTOSOWANIE GAZU ZIEMNEGO JAKO PALIWA DO ZASILANIA SILNIKÓW W POJAZDACH SAMOCHODOWYCH

Prof. dr hab. inż. Kazimierz LEJDA
Mgr inż. Marek URBANIK

W artykule przedstawiono fizyko-chemiczne parametry gazu ziemnego w postaci sprężonej (CNG) oraz w fazie skroplonej (LNG), które mają wpływ na zastosowanie gazu ziemnego jako paliwa do zasilania silników spalinowych. Artykuł zawiera również charakterystykę pojazdów zasilanych gazem ziemnym. Opisane zostały również sposoby tankowania pojazdów na gaz ziemny.

1. WPROWADZENIE

Systematycznie rosnąca liczba pojazdów samochodowych powoduje zwiększanie poziomu zanieczyszczeń powietrza. Największy udział transportu samochodowego w emisji zanieczyszczeń do atmosfery jest w dużych aglomeracjach miejskich i wynosi ok. 60 ÷ 80 %. Mimo, że do oczyszczania spalin samochodowych stosowane są coraz nowsze technologie, to jednak dalsze znaczące redukcje emisji szkodliwych związków spalin, zarówno silników wysokoprężnych jak i benzynowych, są coraz trudniejsze. W takiej sytuacji należy się zastanowić nad zastąpieniem benzyny i oleju napędowego paliwem alternatywnym. Jednak należy pamiętać o tym, aby wprowadzić paliwo alternatywne, musi ono zapewnić oprócz znaczących korzyści ekologicznych również konkurencyjność pod względem kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych. Takim paliwem alternatywnym może być gaz ziemny, który jest tańszy w porównaniu z paliwami konwencjonalnymi a pojazdy zasilane tym paliwem emitują mniej szkodliwych związków w odniesieniu do benzyny oraz oleju napędowego.

Stosując gaz ziemny zmniejsza się również poziom hałasu pojazdu od 4 do 2 dB. Oznacza to w praktyce, że w odległości 7 m od przejeżdżającego pojazdu hałas zmniejsza się o ok. 40 %. Ma to duże znaczenie, zwłaszcza w aglomeracjach miejskich o dużym natężeniu ruchu pojazdów [5].

2. PARAMETRY FIZYKO-CHEMICZNE LNG I CNG

Niska gęstość gazu, a w konsekwencji mała ilość energii zgromadzona w jednostce objętości przy ciśnieniu atmosferycznym powoduje, że gaz ziemny gromadzony jest w pojazdach w postaci sprężonej lub skroplonej.

Gaz ziemny skrapla się przy ciśnieniu atmosferycznym w temperaturze - 161°C. Dzięki temu, objętość zajmowana przez to paliwo zmniejsza się aż 600-krotnie. Tak powstaje skroplony gaz ziemny LNG (*Liquified Natural Gas*). Aby temperatura LNG nie wzrastała, musi on być przechowywany w specjalnych zbiornikach kriogenicznych o podwójnych ścianach, z termoizolacyjnymi komorami próżniowymi. Szacuje się, iż LNG stanowi ok. 4% zużycia gazu ziemnego na świecie. Paliwo to jest dość popularne w USA, gdzie istnieją duże stacje skraplania gazu, choć nie zawsze są one dogodnie położone dla przewoźników, którzy chcieliby tankować na nich swoje pojazdy. W najbliższej przyszłości należy się jednak spodziewać rozrostu sieci stacji skraplania gazu ziemnego.

Drugim sposobem na zmniejszenie objętości gazu ziemnego jest jego sprężenie. Obecnie, gaz ziemny spręża się do ciśnienia ok. 20 MPa w specjalnie opracowanych do tego celu butlach stalowych bądź kompozytowych. Tak powstaje sprężony gaz ziemny CNG (*Compressed Natural Gas*). Dzięki sprężeniu gazu ziemnego jego gęstość rośnie ok. 200 - krotnie. To paliwo zdobyło sobie znacznie większą popularność w Europie. Zasilanie w systemie CNG cieszy się coraz większą popularnością. Problemem jest tutaj jednak budowa stacji sprężania i tankowania gazu, które są dość drogą inwestycją, jednak należy się spodziewać, że wraz z rozrostem sieci tego typu stacji popularność tego paliwa będzie nadal rosła.

Dla zapewnienia stałości istotnych parametrów gazu ziemnego w krajach Unii Europejskiej wprowadzono normę EN 437, która określa wymagania dotyczące składu chemicznego oraz charakterystyki spalania, dzieląc gaz ziemny przeznaczony do zasilania pojazdów napędzanych silnikami spalinowymi na cztery grupy: G20, G21, G23 i G25. Norma ta określa również

dopuszczalne zanieczyszczenie gazu wodą oraz olejami, które mogą się pojawić w gazie podczas procesu jego sprężania [5].

Parametry gazu ziemnego, które w zasadniczy sposób określają możliwość jego efektywnego wykorzystania do zasilania silników spalinowych, to:

Liczba Wobbe'go - jest najbardziej znaczącą zmienną w ocenie przydatności gazu ziemnego; jest uzależniona od składu gazu i decyduje o jego kwalifikacji do grupy wysokokalorycznej - H lub niskokalorycznej - L. Gaz ziemny o różnym składzie, lecz tej samej liczbie Wobbe'go, zapewnia w przybliżeniu uzyskanie podobnej ilości ciepła w procesie spalania, pod warunkiem zapewnienia właściwego przebiegu tego procesu.

Liczba metanowa - wyraża odporność paliwa gazowego na spalanie stukowe i jest odpowiednikiem liczby oktanowej charakteryzującej paliwa benzynowe. Odporność gazu ziemnego na spalanie stukowe znacznie przewyższa odporność benzyn.

Wartość opałowa mieszaniny powietrzno-gazowej - jest definiowana mocą użytkową możliwą do uzyskania podczas zasilania silnika spalinowego gazem ziemnym o znanym składzie. Wartość ta jest w przybliżeniu taka sama dla gazu ziemnego pochodzącego z różnych źródeł (tzn. można założyć, że niezależnie od miejsca wydobycia gaz zapewnia uzyskanie podobnych osiągnięć). Odmienny skład gazu wymaga jednak zapewnienia odpowiedniej ilości powietrza dla wytworzenia mieszaniny stechiometrycznej. Ilość ta wzrasta lub maleje w zależności od zawartości gazów obojętnych, maleje w przypadku obniżania się zawartości propanu i butanu. W konsekwencji, jeżeli system zasilania nie jest wyposażony w układ elektronicznej regulacji kompensującej te zmiany, pogorszeniu ulegają nie tylko osiągi silnika, lecz wzrasta również poziom emisji składników toksycznych w spalinach [1].

3. CHARAKTERYSTYKA POJAZDÓW ZASILANYCH GAZEM ZIEMNYM

Pojazdy zasilane gazem ziemnym są oznaczone symbolem NGV (*Natural Gas Vehicles*). Obecnie pojazdy zasilane gazem występują w różnych odmianach;

Pojazdy dedykowane posiadające tzw. napęd monowalentny – pojazdy tego typu zasilane są wyłącznie gazem ziemnym. Pojazdy te wyposażone są w silniki, które są zaprojektowane pod kątem zasilania paliwem gazowym. Takie silniki mają znacznie wyższą sprawność niż silniki, które przekonstruowano z paliwa alternatywnego na paliwo gazowe. Do tej kategorii są zaliczane również pojazdy posiadające tzw. zbiornik rezerwowy na paliwo konwencjonalne, ale nie większy niż 15 litrów.

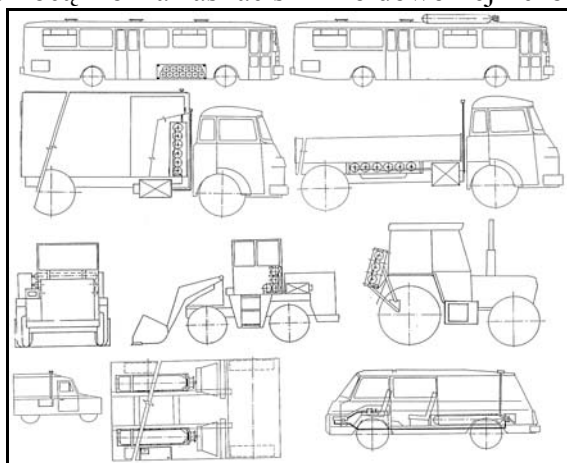
Pojazdy podwójne posiadające tzw. napęd bivalentny – pojazdy te mogą być napędzane gazem ziemnym, jak i benzyną. Kierowca w tego typu pojeździe może nawet podczas jazdy przełączyć napęd z jednego rodzaju paliwa na drugi, ale nie może zasilać silnika obydwoma paliwami jednocześnie. Stopień sprężania silnika musi być taki sam, jak dla silnika benzynowego. Pojazdy tego typu to głównie pojazdy osobowe. Wadą tych pojazdów jest nieco wyższe zużycie gazu w porównaniu z pojazdami dedykowanymi. Natomiast zaletą jest to, że mają większy zasięg.

Pojazdy z silnikami pracującymi w systemie „dual-fuel” – silniki w tych pojazdach pochodzą od silników wysokoprężnych. Pojazdy te są zasilane dwoma paliwami jednocześnie tj. olejem napędowym i gazem ziemnym. Podstawowe paliwo stanowi gaz ziemny, który jest mieszany z powietrzem, natomiast olej napędowy stanowi źródło inicjujące zapłon, dzięki czemu silnik ten nie wymaga stosowania układu zapłonowego [5].

Obecnie gazem ziemnym są zasilane pojazdy osobowe, ciężarowe, autobusy, pojazdy komunalne (np. śmieciarki), wózki widłowe. Cechą charakterystyczną pojazdów zasilanych gazem ziemnym są zbiorniki, w których jest magazynowany gaz do zasilania silnika. Miejsce zamontowania butli gazowych w pojeździe zależy przede wszystkim od rodzaju pojazdu i jego przeznaczenia. Przykładowe rozmieszczenie butli w zależności od rodzaju pojazdu przedstawia rys. 1.

3.1 Zasilanie silników z zapłonem iskrowym gazem ziemnym

Obecnie silniki z zapłonem iskrowym coraz częściej są zasilane gazem ziemnym w tzw. systemie wtryskowym. Zasada działania tego układu jest podobna, jak w przypadku układu wtryskowego benzyny. Wtrysk gazu ziemnego do cylindra odbywa się sekwencyjnie poprzez wtryskowy zawór elektromagnetyczny, który jest umieszczony przed zaworem ssącym każdego z cylindrów. Ponadto, układ wyposażony jest w listwę paliwową, w której zamontowany jest regulator ciśnienia. Paliwo gazowe (CNG) ze zbiornika podawane jest do listwy paliwowej, w której za pomocą regulatora ciśnienia utrzymywane jest stałe ciśnienie gazu rzędu 7÷9 bar. W ten sposób eliminuje się tzw. pulsacje ciśnienia gazu wywołane otwarciem i zamknięciem wtryskiwacza. Taki układ zapewnia równomierny rozkład mieszaniny paliwowej do każdego cylindra, zwiększając tym samym dynamikę silnika z równoczesną redukcją emisji szkodliwych związków zawartych w spalinach. Dzięki temu, że układ posiada na każdy cylinder osobny wtryskiwacz gazu, za jego pomocą można zasilac silnik o dowolnej liczbie cylindrów.



Rys. 1. Przykładowe rozmieszczenie butli na gaz ziemny w zależności od rodzaju pojazdu [3]

Podobnie jak w przypadku wielopunktowego wtrysku benzyny, przedstawiony układ realizuje następujące funkcje [2]:

- sterowanie kątem wyprzedzenia zapłonu z uwzględnieniem zarówno mieszanki paliwowo-powietrznej ubogiej oraz stechiometrycznej,
- kontrola biegu jałowego,
- odcinanie dopływu paliwa podczas hamowania silnikiem,
- wykrywanie spalania stukowego oraz przerw w zapłonie.

Takie rozwiązanie jest stosowane w silniku IVECO o pojemności 9,5 dm³ (rys.2). Silnik ten jest przeznaczony głównie do napędu autobusów. Jednostka ta wyposażona w klasyczny układ zasilania (tzn. z jednopunktowym wtryskiem paliwa gazowego) rozwija moc 161 kW przy 2100 obr/min i przy średnim zużyciu paliwa 60 m³/100 km. Natomiast ten sam silnik wyposażony w wielopunktowy wtrysk gazu rozwija moc 191 kW przy 2100 obr/min zużywając średnio 53 m³/100 km gazu ziemnego.



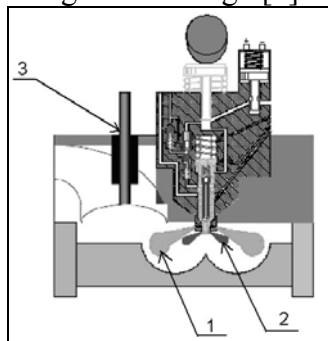
Rys. 2. Widok silnika gazowego IVECO o pojemności 9,5 dm³ z wielopunktowym wtryskiem gazu [2]

Systemy wielopunktowego wtrysku gazu obecnie coraz częściej są stosowane w silnikach gazowych, ponieważ w znacznym stopniu przyczyniają się do wykorzystania energii zawartej w paliwie oraz do obniżenia emisji szkodliwych związków zawartych w spalinach [2].

3.2 Zasilanie silników z zapłonem samoczynnym gazem ziemnym

Silnik wysokoprężny jest najczęściej wykorzystywany w autobusach komunikacji miejskiej ze względu na mniejsze zużycie paliwa w porównaniu z silnikami benzynowymi. Jednak pomimo niższego zużycia paliwa, jednostki te emitują więcej substancji szkodliwych (głównie cząstek stałych). Wprowadzone udoskonalenia silnika wysokoprężnego w znacznym stopniu obniżają emisję szkodliwych związków, ale niestety obniżają jego sprawność.

Ciekawym rozwiązaniem dla silnika Diesla jest dostosowanie go do zasilania jednocześnie dwoma rodzajami paliw – olejem napędowym i gazem ziemnym, bez wyraźnego zmniejszenia jego mocy i sprawności. Modyfikacja taka polega na zastąpieniu zwykłych wtryskiwaczy jednopaliwowych przez tzw. wtryskiwacze dwupaliwowe (rys. 3), które umożliwiają jednoczesny wtrysk do cylindra oleju napędowego oraz gazu ziemnego [2].



Rys. 3. Wtryskiwacz dwupaliwowy firmy Westport [2]: 1 – wtrysnięta dawka gazu ziemnego, 2 – pilotująca dawka oleju napędowego, 3 – świeca żarowa.

System ten działa w następujący sposób: bezpośrednio przed końcem suwu sprężania wtryskiwana jest do cylindra tzw. dawka pilotująca oleju napędowego. Następnie, po zapaleniu się rozpylonego w cylindrze oleju napędowego, następuje wtrysk gazu ziemnego, który zapala się od dawki pilotującej ON, po czym następuje całkowite spalanie mieszanki paliwowo - powietrznej i suw pracy. Olej napędowy jest dostarczany do cylindra w celu zainicjowania zapłonu mieszanki, ponieważ zapłon samego gazu ziemnego od rozgrzanego powietrza w cylindrze nie jest możliwy ze względu na wyższą temperaturę zapłonu gazu ziemnego w porównaniu z olejem napędowym. Ilość wtryskiwanego oleju napędowego w dawce pilotującej nie przekracza 5 % całkowitej ilości paliwa i zależy od obciążenia silnika. Przy niewielkim obciążeniu jednostki napędowej stosunek dawki pilotującej do całkowitej ilości paliwa jest większy w porównaniu z jednostką, która pracuje przy większym obciążeniu. Natomiast czas wtrysku gazu po wtrysnięciu oleju napędowego jest tak dobrany, aby dawka pilotująca miała czas się zapalić. Ze względu na to, że gaz w butlach jest magazynowany pod ciśnieniem 20 MPa, a wtrysk gazu następuje pod ciśnieniem do 30 MPa, układ ten musi być wyposażony w dodatkową sprężarkę, która spręża gaz w celu zapewnienia odpowiedniego ciśnienia wtrysku gazu ziemnego do cylindra.

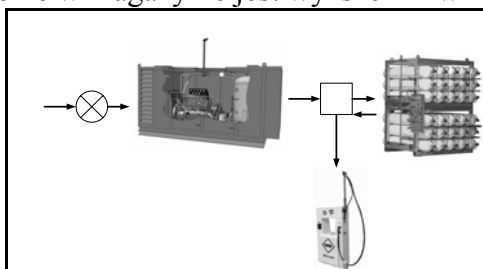
Przedstawiony układ dwupaliwowy znacząco obniża emisję szkodliwych związków do atmosfery, przy zachowaniu praktycznie takiej samej sprawności i mocy silnika. Często w układzie tym jest montowany układ recyrkulacji spalin, który dodatkowo prowadzi do obniżenia toksyczności [2].

4. SPOSOBY TANKOWANIA POJAZDÓW ZASILANYCH GAZEM ZIEMNYM

Tankowanie pojazdów gazem ziemnym zwykle odbywa się na ogólnodostępnych dużych stacjach i coraz częściej można spotkać (szczególnie w krajach Europy Zachodniej) dystrybutorzy z gazem ziemnym na stacjach paliwowych zintegrowane razem z dystrybutorami benzyny i oleju napędowego. Czynności wykonywane podczas tankowania pojazdu gazem ziemnym w zasadzie są podobne do tych, jakie się wykonuje podczas tankowania benzyny czy oleju napędowego. Sposób postępowania na różnych stacjach może nieco się różnić, co uzależnione jest od producenta dystrybutora.

4.1 Tankowanie szybkie CNG

Tryb szybkiego tankowania umożliwia napełnienie zbiorników gazem ziemnym w czasie podobnym do tankowania oleju napędowego lub benzyny i odbywa się według schematu pokazanego na rys. 4. Czas zatankowania samochodu osobowego lub dostawczego wynosi od 3 do 7 minut. W przypadku autobusów i samochodów ciężarowych czas ten wydłuża się do ok. 15 minut. Większość stacji szybkiego tankowania wyposażona jest w tzw. trójsegmentowy kaskadowy magazyn gazu. Segment ten dzieli się na trzy pojedyncze zestawy, nisko- średnio- i wysokociśnieniowe. Kompresor spręża gaz ziemny z sieci i najpierw „ładuje” go do zestawu wysokociśnieniowego, aż do osiągnięcia ciśnienia ok. 300 bar. Następnie tankowane są butle z zestawu średniego ciśnienia, a w ostatniej kolejności butle z zestawu niskiego ciśnienia. Jeżeli ciśnienie we wszystkich zestawach osiągnie 300 bar to następuje wyłączenie kompresora. Przepływ gazu z magazynu do butli w pojeździe odbywa się na zasadzie różnicy ciśnień, dlatego w celu szybkiego przepływu gazu ciśnienie w magazynie jest wyższe niż w zbiornikach pojazdu.

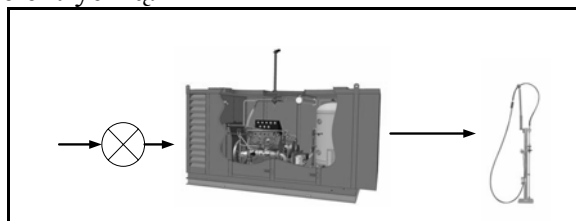


Rys. 4. Schemat stacji szybkiego tankowania: 1 – przyłącz sieci, 2 – licznik gazu, 3 – moduł sprężarkowy, 4 – sterownik kolejności tankowania, 5 – magazyn gazu, 6 – dystrybutor [4]

Całym procesem tankowania kieruje sterownik kolejności, którego zadaniem jest wykorzystanie gazu zgromadzonego w magazynie, z jak największą wydajnością. Proces napełniania butli w samochodach zaczyna się od sekcji niskiego ciśnienia. W przypadku gdy ilość zgromadzonego gazu w sekcji niskiego ciśnienia wystarczy żeby osiągnąć w butlach pojazdu ciśnienie o wartości 200 bar to proces tankowania zostaje zakończony. W przeciwnym razie sterownik kolejności przełącza tankowanie do sekcji magazynu ze średnim ciśnieniem. Odpowiednio następuje przełączanie napełniania z sekcji średniej do sekcji wysokiego ciśnienia [6]. Oprócz sterownika kolejności w procesie tankowania bierze też udział sterownik ciśnienia napełniania. Jego zadaniem jest niedopuszczenie aby w butlach pojazdu ciśnienie przekroczyło 200 bar. Ten tryb tankowania gazu ziemnego doskonale nadaje się dla stacji publicznych.

4.2 Tankowanie wolne CNG

Czas tankowania pojazdu tym trybem jest znacznie dłuższy w porównaniu z trybem szybkim, bowiem trwa kilka godzin. Podczas tankowania trybem wolnym butle w pojeździe są napełniane bezpośrednio z gazociągu za pomocą kompresora (od którego wydajności zależy czas tankowania). Tankowanie trwa do momentu osiągnięcia ciśnienia 200 bar w butlach pojazdu. Podczas wolnego tankowania temperatura gazu jest stała i prawie równa temperaturze otoczenia. Jest to zjawisko bardzo korzystne, ponieważ po uzyskaniu maksymalnego ciśnienia w zbiorniku nie następuje jego obniżenie spowodowane spadkiem temperatury gazu. Wolne tankowanie odbywa się według schematu pokazanego na rys. 5. Jest tańsze od tankowania szybkiego. Wynika to z tego, że podczas tankowania trybem wolnym stosowane są sprężarki o bardzo małej wydajności i o małym zapotrzebowaniu na energię elektryczną.



Rys. 5. Schemat stacji wolnego tankowania: 1 – przyłącz sieci, 2 – licznik gazu, 3 – moduł sprężarkowy, 4 – dystrybutor [4]

4.3 Tankowanie LNG

Tankowanie skroplonego gazu ziemnego przebiega podobnie jak tankowanie LPG. Podobnie jak w przypadku LPG, do zatankowania LNG nie potrzeba tak wysokiego ciśnienia, jak w przypadku tankowania sprężonego gazu ziemnego, bowiem gaz do zbiornika pojazdu jest wtłaczany w postaci płynnej i wymaga tylko ciśnienia rzędu kilku bar. W czasie tankowania pojazdu skroplonym gazem ziemnym należy zachować odpowiednie środki ostrożności. Związane jest to z niską temperaturą gazu (-161°C). Kontakt z gazem jakiegokolwiek części ciała w tak niskiej temperaturze grozi natychmiastowym odmrożeniem. Przypadkowy kontakt z gazem może nastąpić podczas podłączania, jak i rozłączania końcówki dystrybutora ze złączem pojazdu.

5. PODSUMOWANIE

Obecnie pojazdów zasilanych gazem ziemnym w stosunku do ilości globalnej w Polsce jest stosunkowo niewiele, jednak ich liczba systematycznie rośnie. W głównej mierze są to pojazdy komunikacji miejskiej i podmiejskiej, pojazdy komunalne miast oraz samochody osobowe indywidualnych użytkowników. Wprowadzenie gazu ziemnego jako paliwa do zasilania pojazdów samochodowych napotyka pewne trudności, które są związane głównie z brakiem: odpowiedniej infrastruktury (głównie chodzi o stacje tankowania) oraz dostatecznego rozeznania ze strony władz samorządowych i regionalnych dotyczących zalet paliw gazowych. Wbrew tym trudnościom, paliwa gazowe, które są bardzo interesującą alternatywą dla paliw ciekłych, między innymi ze względu na poziom emisji toksycznych składników spalin, znacznie niższy poziom hałasu silnika oraz ich cenę, znajdują coraz większe zastosowanie w transporcie samochodowym. W niedalekiej przyszłości można się spodziewać, że do grupy pojazdów na gaz ziemny dołączą w znacznej liczbie pojazdy przedsiębiorstw taksówkowych oraz samochody dostawcze. Przykładem możliwości pokonywania trudności jest propan-butan (LPG), który w wyniku zainteresowania ze strony użytkowników pojazdów prywatnych, a także rozbudowy infrastruktury oraz korzystnej relacji ceny w stosunku do paliwa konwencjonalnego, znalazł swoją trwałą pozycję na rynku paliw.

LITERATURA

- [1] Flekiewicz M.: Gaz ziemny jako paliwo do napędu pojazdów samochodowych. Artykuł opublikowany na stronie: http://www.rynekgazu.pl/filez/Gaz_ziemny_jako_paliwo194212144.pdf
- [2] Flekiewicz M.: Systemy zasilania paliwami gazowymi – Auto Gaz Śląski. Artykuł opublikowany na stronie: http://www.ekologia-info.eu/index.php?lang=1&menu=5&menu_select=4&podmenu_select=8
- [3] Nycz K.: Konferencja naukowo techniczna; Gaz ziemny paliwem silnikowym. 1991r.
- [4] Urbanik M.: Analiza organizacyjna i ekonomiczna zastosowania gazu ziemnego jako paliwa do zasilania pojazdów w przedsiębiorstwie transportowym. Praca dyplomowa -Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2007
- [5] Materiały internetowe (dotyczące paliw gazowych).
- [6] Materiały promocyjne firmy Wimtec.: Stacje napełniania wysokosprężonym gazem ziemnym.

USING THE NATURAL GAS AS FUELS FOR POWERING ENGINES IN MOTOR VEHICLES

In the article physicochemical parameters of the natural gas are described in the compressed form (CNG) and in the phase liquefied (LNG) which are affecting of the using the natural gas as fuels for powering internal-combustion engines. The article also contains the characterization of vehicles powered with natural gas. Also ways of fueling vehicles up to the natural gas are also described.