

Marek Rudkowski

I B MER Kraków - NGV AUTOGAS Sp. z o. o.

Krzysztof Dybaś

Zakład Gazowniczy Kraków

ZASTOSOWANIE GAZÓW JAKO ALTERNATYWNYCH PALIW SILNIKOWYCH W TRANSPORCIE SAMOCHODOWYM

WSTĘP

Malejące światowe zasoby ropopochodnych paliw płynnych powodują zwiększone zainteresowanie paliwami zastępczymi. Istotnym czynnikiem jest również potrzeba stosowania paliw umożliwiających ograniczenie emisji toksycznych związków pochodzących ze spalania paliw w silnikach spalinowych. Paliwami spełniającymi te wymagania są przyjazne dla środowiska paliwa gazowe: wodór, metan propan-butan, biogaz i inne, których szersze zastosowanie wymaga jednak rozwiązania zagadnienia magazynowania tych paliw w pojazdach i opracowania nowych układów zasilania oraz oczyszczania spalin. Pierwsze silniki spalinowe z końca XIX wieku były napędzane gazem i od tego czasu, co pewien czas, wracała idea gazowego zasilania silników. W ostatnim czasie dzięki korzystnym uwarunkowaniom techniczno-ekonomicznym w wielu krajach obserwuje się systemowy rozwój wprowadzania zwłaszcza gazu ziemnego, jako perspektywicznego paliwa silnikowego. Wszędzie gdzie obserwuje się szybki rozwój NGV¹, jest on z reguły stymulowany pomocą rządową. Wsparcie rządowe polega na stosowaniu długoterminowych, kilku-kilkunastoletnich programów promocyjnych NGV, w których określa się politykę cenową paliwa (wysokość podatków), ulgi lub subsydia dla użytkowników NGV, stosuje się inne zachęty w postaci bezpłatnych parkingów dla pojazdów NGV w centrach miast czy wyznaczania uprzywilejowanych pasów ruchu. (Tabela 1.)

¹NGV - Natural Gas for Vehicles - określenie międzynarodowe na pojazdy napędzane gazem ziemnym

Tabela 1. Zachęty podatkowe stosowane w krajach europejskich do stosowania paliw ekologicznych

Państwo	Podatek zawarty w cenie paliwa w danym kraju w przeliczeniu na ekwiwalent 1 litra oleju napędowego, bez VAT			Uwagi
	CNG na ekwiwalent 1 litra oleju napędowego	LPG na ekwiwalent 1 litra oleju napędowego	Olej napędowy	
Niemcy	0,27 DEM/l 0,14 euro/l		0,62 DEM/l 0,32 euro/l	Plany zwiększenia podatku od CNG do 0,52 DEM/m ³ (0,27 euro/m ³)
Hiszpania	10PTA/l 0,061 euro/l			
Francja	0,818FRF/l 0,125 euro/l	0,802 FRF/l 0,123 euro/l	2,432 FRF/l 0,374 euro/l	Częściowa refundacja podatków dla pojazdów transportu publicznego w ramach następujących limitów: CNG-4,320 FRF dla pojazdu rocznie (665 euro)
Miasto Bruksela	Nie ma podatków		9,70 BEF/l 0,241 euro/l	
Włochy	Nie ma podatków		747,47 litrów/l 0,40 euro/l	
Holandia	Nie ma podatków	Nie ma podatków		
Szwecja	Nie ma podatków dla przewoźników			

Spośród ponad 600 milionów pojazdów na świecie około 1 milion stanowią pojazdy NGV a około 4,5 miliona jest zasilane gazem płynnym LPG. Ilość pojazdów fabrycznie przystosowanych do zasilania gazem ziemnym czy propanem-butanem stanowi jedynie margines. Zdecydowana większość to pojazdy dwupaliwowe, przystosowane do zasilania gazem w wyspecjalizowanych zakładach, posiadających wymagane uprawnienia.

I. ROZWÓJ NAPĘDU GAZOWEGO W POLSCE

Na początku lat 60-tych eksploatowano w Polsce około 2000 pojazdów gazowych, głównie ciężarowych (LUBLIN, STAR) z silnikami benzynowymi. Obsługiwało

je kilka stacji sprężania gazu zlokalizowanych głównie na południu kraju (w Krośnie, Rzeszowie, Tarnowie, Krakowie, Mysłowicach, Zabrze, Gliwicach, Sosnowcu i w Bielsku). Na początku lat 70-tych stacje te zostały zlikwidowane na skutek niekorzystnych relacji cenowych benzyny i oleju napędowego do gazu. Ponowne zainteresowanie gazem ziemnym jako paliwem pojawiło się w połowie lat osiemdziesiątych, gdy Przemysłowy Instytut Motoryzacji w kooperacji z Uczelniami Wyższymi, Instytutami Badawczymi i przemysłem, kierował projektem rozwoju NGV w Polsce.

W wyniku projektu realizowanego w latach 1985-1989 zakupiono trzy agregaty sprężarkowe, które następnie zainstalowano w stacjach sprężania gazu w Krakowie, Warszawie i Przemyślu, oraz przystosowano do zasilania gazem ziemnym kilkadziesiąt pojazdów różnych typów, w tym opracowano gazowe wersje autobusu miejskiego IKARUS.

W zasadzie największe efekty ekonomiczne i ekologiczne uzyskuje się przy wprowadzeniu napędu gazowego do autobusów komunikacji miejskiej. Pokonują one rocznie dystans rzędu 60-70 tys. km, co powoduje, że nawet przy niedużej różnicy ceny oleju napędowego i gazu uzyskuje się znaczne oszczędności. Pierwsze próby wprowadzenia na większą skalę napędu gazowego do autobusów miały miejsce w krakowskim MPK, gdzie w latach 1993/4 przystosowano do zasilania gazem ziemnym 6 sztuk autobusów IKARUS 280. Były one eksploatowane do 1999 roku, do czasu awarii stacji sprężania gazu oraz znacznego wyeksploatowania pojazdów (jednostki kilkunastoletnie po kilku remontach).

Adaptacja autobusów do zasilania gazem została wykonana przy wsparciu finansowym Komitetu Badań Naukowych, a opracowana przez PIMOT, IBMER i NGV AUTOGAS.

Zakres zmian potrzebnych do przystosowania autobusu do zasilania gazem dotyczył silnika i pojazdu. W silnikach obniżono wartość stopnia sprężania z 17 do 12, a w miejsce wtryskiwaczy oleju napędowego, wprowadzono w głowicy świecę zapłonowe i elektroniczny układ zapłonowy. W układzie dolotowym wprowadzono otwarty układ tworzenia mieszanki gazowo-powietrznej pierwszej generacji. Ze względu na wyeliminowanie osprzętu zasilania wtryskowego i pompy wtryskowej z regulatorem maksymalnej prędkości obrotowej, należało opracować nowy układ

zabezpieczający silnik przed rozbieganiem się. Wszystkie układy (zapłonowy, tworzenia mieszanki i regulacji maksymalnej prędkości obrotowej) opracowano w NGV AUTOGAS.

Drugim miastem, które zdecydowało się na kompleksowe wprowadzenie napędu gazowego (gaz ziemny) jest Przemysł. W wyniku usilnych starań kierownictwa miejskiego zakładu komunikacji w 1996 roku wykonano kilkanaście autobusów JELCZ M 11 NGV, przystosowanych do zasilania gazem ziemnym, w trakcie remontów głównych autobusów. Ze względu na specyficzne warunki geologiczne Przemysła przez pierwsze trzy lata autobusy tankowano gazem bezsprężarkowo pod naturalnym ciśnieniem około 180 bar, odpowiednio uzdatnionym, w kopalni gazu zlokalizowanej na obrzeżu miasta. W 1999 roku uruchomiono stację sprężania gazu, zlokalizowaną w terenie zajezdni. Gaz doprowadza się pod ciśnieniem 70 bar z pobliskiej kopalni gazu i w dwustopniowej sprężarce spręża do ciśnienia 220 bar. Ponad roczna eksploatacja systemu wskazuje na znaczne oszczędności wynikające z:

- a) ograniczenia tzw. przebiegów technologicznych autobusów do odległej o 7 km od zajezdni kopalni gazu,
- b) wyższego ciśnienia końca sprężania, co zapewnia zatankowanie większej ilości gazu i w rezultacie większy zasięg autobusu oraz bezpośrednio z tym związane skrócenie czasu pracy kierowców.

Duża niezawodność działania stacji sprężania i zastosowanie tzw. stopnia zerowego tankowania, gdy w pierwszej fazie gaz podawany jest do zbiorników autobusu pod ciśnieniem, pod którym dostarczony jest do stacji tankowania czyli 70 bar, powoduje, że średni czas tankowania nie przekracza 8 minut. Warunki drogowe Przemysła wymusiły usytuowanie butli gazowych w kratownicy pod podłogą autobusu. Kierownictwo MZK w Przemysłu planuje przystosowanie całej floty 60 sztuk autobusów będących w posiadaniu Zakładu, jednak na przeszkodzie tym planom stoi brak odpowiednich środków. Na początku br. zakupiono jeden fabrycznie nowy autobus JELCZ 120 M/1 przystosowany do zasilania gazem ziemnym, a do końca roku planuje się zakup dalszych takich jednostek. Autobus ten posiada homologację i jest skonstruowany w oparciu o doświadczenia z kilkuletniej eksploatacji kilkudziesięciu jednostek. W układzie dolotowym zastosowano nowy zamknięty system tworzenia mieszanki (system tworzenia mieszanki z sondą „λ” i katalizatorem). Osobnym

zagadnieniem, podnoszonym nieraz do rozmiaru poważnego problemu, jest organizacja zaplecza naprawczo-obsługowego przedsiębiorstwa eksploatującego tabor NGV.

Na podstawie wieloletnich doświadczeń z autobusami i wózkami podnośnikowymi zasilanymi gazem ziemnym należy stwierdzić, że pełne bezpieczeństwo realizacji prac naprawczo-obsługowych można uzyskać przez zastosowanie seryjnie produkowanej, taniej i powszechnie dostępnej aparatury sygnalizującej obecność gazu w pomieszczeniach, połączonej z systemem alarmowym. Sprawnie działający system wentylacji warsztatu na wypadek stanów awaryjnych wzmocniony układami wymuszającymi przyspieszoną wymianę powietrza, w pełni zapewnia wymogi bezpieczeństwa.

Prócz gazu ziemnego rozpowszechnia się również napęd gazem płynnym propanbutan. Przykładem przedsiębiorstwa komunikacyjnego, które w całości przystosowało swój tabor do LPG jest MKS w Dębicy. W wyniku bardzo dobrego przygotowania fachowego kierownictwa Przedsiębiorstwa, jak również systematycznie szkolonego personelu odniesiono znaczny sukces ekonomiczny i ekologiczny. Wyeliminowano z eksploatacji mocno zużyte silniki diesla, a na ich miejsce wprowadzono silniki z napędem LPG skonstruowane na ich bazie przy okazji remontu kapitalnego połączonego z modernizacją. Środki na ten cel wyasygnował w formie częściowo umorzonej pożyczki WFOŚ w Tarnowie, który finansowanie prac uwarunkował komisijnym odbiorem każdej adaptowanej do zasilania LPG jednostki. W trakcie odbioru badano, czy autobus spełnia ostre kryteria w zakresie emisji spalin ($CO=0,3\%$, $HC=250$ ppm, $PM=0$) i emisji hałasu (obniżenie o 3-5 dB), gdyż podobne pomiary wykonuje się przy okresowych badaniach autobusów. W praktyce udało się nie tylko spełnić założone limity, ale nawet znacznie je obniżyć np. wartość emisji HC uzyskiwano na poziomie 50-100 ppm.

2. DOKONANIA POLSKIEGO GÓRNICTWA NAFTY I GAZU W PROMOWANIU GAZU ZIEMNEGO JAKO PALIWA SILNIKOWEGO

Jak wspomniano we wstępie, na początku lat sześćdziesiątych, istniało w Polsce kilka stacji tankowania pojazdów gazem, zbudowanych na podstawie dokumentacji opracowanej przez Biuro Projektów Gazownictwa „Gazoprojekt” we Wrocławiu,

a wzniesionych przez Budownictwo Urzędów Gazowniczych „Gazobudowa” w Zabrze. Do sprężania gazu stosowano dwa rodzaje importowanych sprężarek: czterostopniowe, czeskiej firmy „SKODA” i pięciostopniowe francuskiej firmy „LUCHARD”.

Kilkudziesięcioletnie tradycje w stosowaniu gazu ziemnego ma Sanocki Zakład Górnictwa Nafty i Gazu, w którym od początku lat pięćdziesiątych do końca lat sześćdziesiątych kopalnie ropy naftowej rejonu Sanoka były obsługiwane przez tabor ciężarowy, przystosowany do zasilania gazem ziemnym - głównie samochody „STAR” i „DODGE”, tankowane w Krośnie. Ponowne zainteresowanie wykorzystaniem gazu ziemnego jako paliwa nastąpiło w 1987 roku tym razem jednak, w celu obniżenia kosztów projektu, sięgnięto po gaz wysokosprężony pochodzący z odwiertów o wysokim ciśnieniu złożowym. Zakład Sanocki własnymi siłami zaprojektował i wykonał systemem gospodarczym punkty tankowania w kopalniach gazu w Przemyślu (p_{\max} 18,6 MPa) i w Przybyszówce k/Rzeszowa. W przystosowaniu pojazdów do zasilania gazem („Żuki”, „GAZ-66”, UAZ) uczestniczył PIMOT, Politechnika Śląska i Krakowska. Zakupiono również kilka nowych sztuk samochodów RENAULT-Traffic, które specjalistyczna firma belgijska wykonująca gazowe wersje pojazdów RENAULT, wyposażyła w osprzęt gazowy.

Dużymi osiągnięciami we wdrażaniu napędu gazowego może wykazać się Zakład Gazowniczy w Krakowie. W latach 1985-1991 ówczesny dyrektor inż. Stanisław Satława nawiązał ścisłą współpracę z Zakładem Silników Politechniki Krakowskiej, w wyniku której wybudowano laboratorium silników gazowych oraz doświadczalną stację sprężania gazu na terenie Zakładu przy ul. Halickiej. W wyniku wieloletnich prac badawczych, prowadzonych w tym Laboratorium opracowano gazowe wersje większości silników produkowanych oraz eksploatowanych w Polsce.

W 1990 roku Zakład Gazowniczy otrzymał od ówczesnego Ministerstwa Przemysłu wyposażenie stacji tankowania z agregatem sprężarkowym włoskiej firmy SAFE, o wydajności 600 nm³/h. W oparciu o ten agregat uruchomiono czterostanowiskową stację sprężania gazu umożliwiającą tankowanie około 200 pojazdów na dobę. Oddanie do eksploatacji tej stacji umożliwiło uruchomienie autobusów gazowych w Krakowie. Tabela 3 poz. 1.

W ciągu kilku lat Zakład Gazowniczy przystosował do zasilania gazem ziemnym 29

sztuk swoich samochodów: GAZ 66, GAZ 53A, NYSA, ŻUK, TARPAN, UAZ, RENAULT Expres-Trafic, a roczny przebieg tych samochodów wynosił rzędu 100-150 tyś. km.

Zakłady Gazownicze w Warszawie posiadają przy ul. Kasprzaka własną zawodową stację tankowania gazem ziemnym. W oparciu o tę stację wprowadzono do eksploatacji około 20 sztuk nowych samochodów PEUGEOT PARTNER, przystosowanych do dwupaliwowego zasilania - gazem ziemnym lub benzyną. Pojazdy te są wykorzystywane już ponad rok jako Pogotowia Gazowe. W Oddziale w Radomiu uruchomiono małą stację sprężania gazu produkcji firmy NGV AUTOGAS z Krakowa, która obsługuje kilka pojazdów gazowych w tym Pogotowia Gazowe. Aktualnie trwają starania o uruchomienie autobusowej komunikacji miejskiej w Warszawie z napędem gazowym.

3. GAZ ZIEMNY JAKO PALIWO DLA TRANSPORTU WEWNĘTRZNEGO

W 1990 roku w ówczesnej Fabryce Samochodów Małolitrażowych w Bielsku-Białej (obecnie FIAT AUTO POLAND) eksploatowano 250 sztuk wózków widłowych z silnikami diesla, z których 70 % wykorzystywano w znacznej mierze na terenie hal fabrycznych. Tak duża ilość dość wyeksploatowanych wózków (średni wiek około 15 lat) powodowała przekroczenia dopuszczalnych norm stężenia toksycznych składników spalin, głównie CO - 2,5 razy a cząstek stałych (sadzy) -6-cio krotnie. W celu poprawienia sytuacji zdecydowano o próbnym przystosowaniu do zasilania gazem ziemnym dwóch wózków widłowych - RAK i GPW. Po wszechstronnej analizie uznano, że gaz ziemny będzie znacznie bezpieczniejszy w stosowaniu w halach niż cięższy od powietrza propan-butan. Brano również pod uwagę koszty eksploatacji, które dla gazu ziemnego wypadały znacznie korzystniej niż dla propanu-butanu, mimo że należało zbudować stację sprężania gazu. Nowy właściciel fabryki - FIAT po dokonaniu analizy wyników ponad rocznej próbnej eksploatacji zdecydował się na budowę większej stacji sprężania gazu i na przystosowanie 75 sztuk wózków widłowych do zasilania gazem. Program ten zrealizowano do 1996 roku i następnie rozszerzono projekt na Zakład Karoserii w Tychach, gdzie wybudowano drugą stację sprężania gazu i przystosowano do zasilania gazem ponad 70 wózków widłowych i 12

ciągników rolniczych, służących do transportu technologicznego. Po pozytywnych doświadczeniach FIAT AUTO POLAND decyzję o przystosowaniu swojego transportu wewnętrznego do zasilania gazem ziemnym podjęły: POLOYAT w Bielsku-Białej, Świdnicy i w Płocku, ZML w Kętach, POLIFARB w Cieszynie, ZELMER w Rzeszowie, CERSANIT w Krasnymstawie, HUTA SZKŁA WALCOWANEGO w Jarosławcu i Huta im. Tadeusza Sendzimira w Krakowie. W sumie Zakłady te dysponują liczbą około 150 sztuk gazowych (CNG) wózków widłowych eksploatowanych na 2-3 zmiany.

4. OCENA UZYSKANYCH EFEKTÓW

W przypadku pojazdów a zwłaszcza autobusów poruszających się po zatłoczonych ulicach miast, najistotniejszym argumentem za rozwojem napędu gazowego jest całkowite wyeliminowanie charakterystycznego dla silnika diesla dymienia oraz uzyskanie tanim kosztem poziomu emisji spalin zbliżonego do wymagań normy EURO 3. Twierdzenie osób z kręgu lobbingu naftowego, że współczesne silniki diesla również spełniają surowe wymagania norm wymaga postawienia pytania: za jaką cenę? i przy jak dużej komplikacji konstrukcyjnej silnika w powiązaniu z wysokimi wymaganiami co do jakości paliwa (oleju napędowego) dla tych silników, którego surowiec - ropa naftowa w całości pochodzi z importu. W warunkach polskich 35-40% gazu ziemnego pochodzi ze złóż krajowych, a aktualna i perspektywiczna cena tego paliwa jest i będzie zdecydowanie niższa od wyczerpujących się paliw ropopochodnych. Według prognoz, przy obecnym poziomie zużycia gazu ziemnego w Europie jego zasoby wystarczą na ponad 100 lat. Kilkuletnia eksploatacja autobusów zasilanych gazem ziemnym w Krakowie i Przemysłu wskazuje na możliwość uzyskania obniżenia kosztów eksploatacji (różnica między ceną oleju napędowego i ekwiwalentnej ilości gazu ziemnego) rzędu 35-40%. Niezaprzeczalne są korzyści ekologiczne. W przekonaniu autorów polski system gazowniczy jest przygotowany do realizacji projektu budowy krajowej sieci stacji sprężania dla potrzeb transportu i komunikacji. Realizacja tego projektu jest możliwa w oparciu o dotychczasowe doświadczenia i w powiązaniu z przemysłem krajowym, co znacznie obniżyłoby koszty jego realizacji.

Jesteśmy również w kraju przygotowani do uruchomienia zaplecza technicznego montującego instalacje zasilania gazem ziemnym w już eksploatowanych pojazdach. Mogłyby się tego podjąć wyspecjalizowane, dodatkowo przeszkolone wybrane zakłady, których sieć (około 1200) montuje i serwisuje instalacje LPG w pojazdach.

Mamy również w Polsce technologie i niezbędne komponenty do produkcji fabrycznych, gazowych wersji pojazdów NGV (osprzęt zasilania gazem, sterowane elektronicznie układy tworzenia mieszanki ze zmiennym kątem wyprzedzenia zapłonu, elektroniczne układy zapłonowe opracowane dla różnych typów silników gazowych, krajowe butle nadające się do zastosowania zwłaszcza w autobusach i samochodach ciężarowych).

5. STACJE TANKOWANIA GAZEM

Od rozwoju ilościowego i technologicznego stacji tankowania gazu ziemnego zależy możliwość rozwoju pojazdów zasilanych tym paliwem. Aktualnie w Polsce dysponujemy trzema dużymi, otwartymi stacjami tankowania w Warszawie, Krakowie i Przemyślu, dwoma punktami napełniania zlokalizowanymi przy kopalniach gazu (Przemyśl, Rzeszów) i jedenastoma małymi, zamkniętymi stacjami tankowania wózków widłowych CNG*, zlokalizowanymi w FIAT AUTO POLAND w Bielsku-Białej i w Tychach, POLOYAT w Bielsku-Białej, Płocku i w Świdnicy, Zakładach Metali Lekkich w Kętach, POLIFARB w Cieszynie, ZELMER w Rzeszowie, CERSANIT w Krasnymstawie, Hucie Szkła Walcowanego w Jaroszewcu i pojazdów w Zakładzie Gazowniczym w Radomiu. Stacje te obsługują ponad 300 wózków widłowych i ciągników rolniczych różnych typów, pracujących jako środki transportu wewnętrznego. Stacje te zostały wyposażone w dwa typy agregatów: GAS-160 lub AG 170-380 Ex skonstruowanych i zbudowanych w NGV AUTOGAS. Posiadają one wszystkie wymagane atesty i dopuszczenia.

Decyzja o budowie stacji tankowania gazu ziemnego dla pojazdów musi być każdorazowo poprzedzona szczegółową analizą lokalizacyjną i techniczno-ekonomiczną. Im wyższe mamy do dyspozycji ciśnienie początkowe zasilania agregatów sprężarkowych, tym tańsza będzie eksploatacja stacji. W warunkach polskich spotyka się kopalnie gazu, w których wysokometanowy gaz ziemny występuje

pod naturalnym ciśnieniem rzędu 160-200 bar. Niezbędnym warunkiem do uruchomienia bezsprężarkowej stacji CNG jest więc możliwość stałego poboru gazu o minimalnym wydatku rzędu 80-100 nm³/h (normalne metry sześciennie), oraz udokumentowana prognoza, że takie warunki geologiczne utrzymają się przez dłuższy okres czasu.

Tabela 2. Parametry sprężarek

LP.	Parametry	Typ sprężarki	
		GAS-160	AG 170-380Ex
1	Ciśnienie maksymalne p_{max}	20 MPa (200 bar)	22 MPa (220 bar)
2	Maksymalne objętościowe natężenie przepływu gazu Q_{max}	- 4,5 Nm ³ /h przy $p_{zasilania}$ do 200 mm H ₂ O - 8-9 Nm ³ /h przy $p_{zasilania} = 1$ bar	- 50 Nm ³ /h przy $p_{zasilania} = 0,2$ bara - 75 Nm ³ /h przy $p_{zasilania} = 0,8$ bara
3	Zasilanie elektryczne	4,5 kW (3x380V)	40 kW (3x380V)
4	Chłodzenie	powietrzne	powietrzne
5	Ilość stopni	3	4
6	Ilość cylindrów	2 w układzie V	2x2 w układzie V
7	Masa agregatu	140 kg	750 kg
8	Trwałość do remontu	1500-2000h	8000 h

Na przykładzie niedawno uruchomionej stacji CNG, zlokalizowanej na terenie zajezdni MZK w Przemyślu, można dokonać szczegółowej analizy kosztów inwestycji i możliwości ich zwrotu. Koszt budowy tej stacji nie przekroczył 1 mln PLN. Ciśnienie zasilania wynosi około 70 bar a dwustopniowy hydrauliczny agregat sprężarkowy zapewnia uzyskanie wydajności (objętościowego natężenia przepływu) około 600 nm³/h i maksymalnego ciśnienia sprężania $p_{max}=200$ bar. Autobus przystosowany do zasilania gazem ziemnym pobiera jednorazowo około 150 nm³, co wystarcza do przejechania około 320-350 km. Czyli w ciągu godziny istnieje możliwość bezpośredniego zatankowania czterech autobusów. Przy obecnej liczbie 16 autobusów CNG ocenia się, że stacja tankowania będzie obciążona przez cztery godziny dziennie. Docelowo przewiduje się eksploatację około 60 autobusów CNG, czyli wówczas dobowy czas pracy stacji wydłuży się do około 16 godzin. W budynku stacji przewidziano miejsce do zabudowy kolejnego agregatu sprężarkowego, który umożliwi zwiększenie jej wydajności.

Opisany wyżej planowany sposób rozwoju stacji jest bardzo korzystny w aspekcie

wykorzystania stacji i poniesionych nakładów. Zabudowanie już na obecnym etapie dwukrotnie większego agregatu sprężarkowego zapewniającego wydatek np. rzędu 1200 nm³/h, który byłby w pełni wykorzystany dopiero za kilka lat, mógłby spowodować brak ekonomicznego uzasadnienia wprowadzania napędu gazowego, gdyż koszt opłat stałych za zamówioną energię elektryczną i gaz mogą wielokrotnie przewyższyć bieżący koszt zakupu faktycznie zużytej energii elektrycznej i gazu ziemnego.

Na świecie obserwuje się tendencję do planowego, stopniowego zwiększania zdolności technicznych nowobudowanych stacji CNG. Uzyskuje się to przez stopniowe zwiększanie ilości zastosowanych agregatów sprężarkowych lub też wymiany agregatów sprężarkowych o początkowym mniejszym wydatku na agregaty większe.

Coraz popularniejszy szczególnie w USA staje się system stosowania przewoźnych agregatów sprężarkowych. Warunkiem uruchomienia omawianego systemu stacji tankowania bez stałych, zamontowanych na stacji agregatów sprężarkowych jest odpowiednio gęsta sieć rurociągów przesyłowych gazu i niezbyt oddalone od siebie punkty poboru i magazynowania sprężonego gazu. Zwykle w zależności od zapotrzebowania w promieniu nie większym niż 30-50 km. Ideą systemu jest wykorzystanie jednego, odpowiednio dobranego pod względem wielkości wydatku, obwoźnego agregatu sprężarkowego napędzanego zwykle silnikiem spalinowym zasilanym gazem ziemnym. Przy poszczególnych punktach poboru i tankowania gazu znajdują się baterie wysokociśnieniowych butli gazowych (od kilku do kilkudziesięciu), w których okresowo co dwa, trzy dni uzupełnia się rezerwę sprężonego gazu tak, aby mógł on być bezsprężarkowo przetankowywany kaskadowo do butli zabudowanych w pojazdach. Taki system pozwala na zdecydowane obniżenie kosztów inwestycyjnych przy uruchamianiu systemu NGV.

Kolejnym, równie ważnym zagadnieniem przy projektowaniu stacji CNG dla potrzeb wewnętrznych jest przeprowadzenie analizy wymaganego czasu tankowania. Ma to szczególne znaczenie przy planowaniu budowy stacji tankowania CNG dla autobusów, które muszą być tankowane w określonych porach w zawężonym przedziale czasu. Wymagany jest wówczas tzw. szybki system tankowania. W innych przypadkach np. przy tankowaniu pojazdów CNG pocztowych, policyjnych czy służb komunalnych (śmieciarki, zmiatarki, beczkowsy itp.), energetycznych i gazowych

pracujących w określonych porach dnia zaleca się stosowanie tzw. wolnego systemu tankowania, zwykle w porze nocnej.

Oba te systemy różnią się od siebie dość znacznie zastosowanymi rozwiązaniami konstrukcyjno-technologicznymi i wysokością koniecznych nakładów inwestycyjnych.

Tankowanie szybkie wymaga stosowania droższych agregatów sprężarkowych o dużych wydatkach gazu, a głównym celem jest tu uzyskanie krótkich czasów tankowania (rzędu 4-6 minut). Koszt zastosowania takiej technologii jest znacznie wyższy od tzw. systemu wolnego tankowania, gdyż prócz agregatów o dużym wydatku gazu, wykorzystywanych okresowo, stacja musi posiadać rozbudowany system magazynowania sprężonego gazu, sterowany tak, aby w możliwie krótkim czasie następowało ładowanie i rozładowywanie pojemności roboczej. Wiąże się to z zastosowaniem dodatkowych systemów ochładzania (przy ładowaniu) i ogrzewania (przy gwałtownym rozładowywaniu) gazu. Stawiane są również bardzo wysokie wymagania co do dopuszczalnego poziomu zawilgocenia i czystości gazu. Sprężanie gazu w systemie magazynowania i następne rozprężanie go przy tankowaniu pojazdu, wiąże się z podwyższonymi kosztami eksploatacji systemu.

System tzw. wolnego tankowania jest pozbawiony wyżej wymienionych wad. Polega on na koncepcji długiego, zwykle kilkugodzinnego równoczesnego tankowania kilkunastu lub kilkudziesięciu pojazdów w systemie tzw. „rampy” lub indywidualnych agregatów sprężarkowych o małych wydatkach gazu. W systemie tzw. rampy jeden lub kilka agregatów sprężarkowych o średnim wydatku tłoczy gaz do rampy, do której indywidualnie podłączone są pojazdy gazowe. W miarę wzrostu ciśnienia w magistrali rampy, zostaje podniesione ciśnienie gazu w butlach zabudowanych w pojazdach i po osiągnięciu maksymalnego ciśnienia następuje indywidualne odłączenie dopływu gazu z rampy. System ten jest znacznie tańszy w eksploatacji od tzw. systemu szybkiego tankowania ze względu na lepsze wykorzystanie zainstalowanych agregatów sprężarkowych (pełniejsze obciążenie), brak występowania niekorzystnego zjawiska sprężania i rozprężania gazu oraz wszystkich związanych z tym problemów technicznych, technologicznych i ekonomicznych.

LITERATURA

1. Jarczewski M., Rafałowski T., Kozaczewski W., Sprawozdanie z badań silnika MAN typ D 2156 HM6U przystosowanego do zasilania gazem ziemnym. Praca wykonana w PIMOT, Warszawa 1993, BLS. 004.93B.
2. Rudkowski M., Rudkowski J., Polskie autobusy miejskie zasilane gazem ziemnym, Konstrukcja i eksploatacja autobusów komunikacji miejskiej zasilanych gazem ziemnym, „Materiały konferencyjne” nr 19, z. 54, Kraków 1997.
3. Agopsowicz J., Ocena 6-letniej eksploatacji gazowych wózków widłowych i stacji sprężania gazu w FIAT AUTO POLAND S.A. Bielsko-Biała, „Materiały konferencyjne” nr 19,z.54, Kraków 1997.
4. Jarczewski M., Rudkowski M., Ekologiczne paliwo. Przegląd Techniczny 49/1996.
5. Rudkowski M., Rudkowski J., Rozwój autobusów gazowych w Polsce, „Materiały konferencyjne” nr 19 Politechnika Częstochowska 1997, IV Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Silniki Gazowe 97”, Częstochowa - Vysne Rużbacky 9-12.12.1997.
6. Rudkowski M., Papuga T., Wyniki adaptacji pojazdów do zasilania gazem ziemnym, Materiały konferencyjne „Gaz ziemny paliwem silnikowym” - Czarna 1997.
7. Rudkowski J., Rudkowski M., Wybrane zagadnienia z eksploatacji 50 autobusów zasilanych gazem, „Materiały konferencyjne” nr 23, z. 60, Kraków 1998.
8. Rudkowski M., Rudkowski J., NGV w Polsce „Materiały konferencyjne” nr 23, z. 60, Kraków 1998.
9. Rudkowski J., Rudkowski M., Stacje tankowania gazu ziemnego CNG dla pojazdów, „Materiały konferencyjne” nr 31, z. 70, Kraków 1999.
10. Rudkowski J., Gis W., Rudkowski M., Opłacalność zastosowania napędu gazowego i problemy w eksploatacji autobusów gazowych komunikacji miejskiej, „Materiały konferencyjne" nr 36 Politechnika Częstochowska 2000, V Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Silniki Gazowe 2000”, Częstochowa 2000.
11. Dybaś K., Kokurewicz J., Gaz ziemny jako paliwo alternatywne dla samochodów, Polski Gaz i Nafta, Magazyn nr 6 (3i) 1997
12. Paliwa w napędach Autobusów Miejskich, Materiały na komisję autobusową - czerwiec 2000.

**Tabela.3. Podstawowe dane techniczne autobusów adaptowanych do zasilania gazem ziemnym i propanowo-butanowym
w NGV AUTOGAS Sp. z o.o. w Krakowie (stan z sierpnia 2000).**

	autobusy rok wdrożenia pierwszej szt.	silnik	paliwo*	pojemność skokowa - dm ³	moc (kW)/obr	moment (Nm)/obr	ε	ilość butli, pojemność wodna, ilość gazu	eksploatacyjne zużycie paliwa dm ³ /100 km	miejsce eksploatacji	ilość autobusów	przebieg w tys. km
1	IKARUS 280 przegubowy 1993-1999	Raba-Man D2156HM6U	CNG	10,3	135/2200	754/1150	12	12x50 dm ³ p _{max} =20Mpa 140nm ³ **CNG	45-50	MPK Kraków	6	750
2	JELCZ 120M/2 1994	SW 11/300	LPG	11,09	132/2200	750/1050	9	1x110dm ³ ; 2x90dm ³ 230 dm ³ LPG	45-50	MPK Jelcz	1	260
3	JELCZ M11 1994	Raba-Man D2156	LPG	10,3	145/2200	760/1100	9	4x60 dm ³ 192 dm ³ LPG	45-50	MPK Kraków	1	230
4	JELCZ 110M 1995/96	W 11/300	LPG	11,09	132/2200	750/1050	9	3x110 dm ³ 260 dm ³ LPG	60-70	TRANSLUB Luboń k/Poznań	1	200
5	JELCZ M11 1995	Raba-Man D2156	LPG	10,3	145/2200	760/1100	9	3x110 dm ³ 260 dm ³ LPG	50-57	MZK Starachowice	1	21
6	JELCZ 110M 1996	W 11/300	LPG	11,09	132/2200	750/1050	9	3x110 dm ³ 260 dm ³ LPG	48-60	MKS Dębica	10	1350
7	AUTOSAN H9 1996	6C107	LPG	6,54	108/2600	440/1000	8,5	1x70dm ³ ; 1x90dm ³ 130 dm ³ LPG	33-38	MKS Dębica	7	1250
8	JELCZ 120M/2 1998	MD1112	LPG	11,09	150/2200	760/1000	9	3x140 dm ³ 336 dm ³ LPG	55-60	MKS Dębica	9	850
9	JELCZ M11 1996	Raba-Man D2156	CNG	10,3	135/2200	754/1150	1	8x50dm ³ ; 2x80dm ³ p _{max} =16Mpa 110 nm ³ CNG	38-40	MZK Przemyśl	16	2450
10	JELCZ 120M/2 1998	MD1112	CNG	11,09	152/2200	765/1050	11	8x50 dm ³ 95 nm ³ CNG	35-50	MZK Przemyśl	1	70
11	PAZ 3205 1996	ZMZ 5112-10	LPG	4,25	92/3200	290/2000	7,6	1x140 dm ³ 110 dm ³ LPG	20-24	PGNiG SA	15	1570
12	JELCZ M11 1997	Raba-Man D2156	CNG	10,39	135/2200	754/1150	11	8x50dm ³ ; 2x80dm ³ p _{max} =16Mpa 110 nm ³ CNG	38-40	MZK Przemyśl	1	130
13	JELCZ 120M/2 1999	W 11/300	LPG	11,09	132/2200	750/1050	9	3x110 dm ³ 260 dm ³ LPG	55-60	PKM Tychy	1	80
14	JELCZ 120M/2 1999	MD1112	LPG	11,09	150/2200	760/1000	9	3x140 dm ³ 336 dm ³ LPG	55-60	MPK Ostrowiec Świętokrzyski	8	290
15	JELCZ 120M/2 2000	MD1112	LPG	11,09	150/2200	760/1000	9	3x140 dm ³ 336 dm ³ LPG	55-60	PKM Tychy	7	190
16	JELCZ 120M/2 2000	MD1112	LPG	11,09	150/2200	760/1000	9	3x140 dm ³ 336 dm ³ LPG	55-60	PKM Tychy	7***	-

*paliwo: LPG – propan-butan; CNG – gaz ziemny

**nm³ – normalne metry sześciennie

*** autobusy w realizacji

