

mł. bryg. mgr inż. **Adam GONTARZ**
Zespół Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Straży Pożarnej
i Technicznych Zabezpieczeń Przeciwpożarowych

**STOSOWANIE NAPĘDÓW HYBRYDOWYCH
SPALINOWO-ELEKTRYCZNYCH ORAZ GAZOWYCH PALIW
ALTERNATYWNYCH W SAMOCHODACH I ZWIĄZANE
Z TYM NIEBEZPIECZEŃSTWA DLA UŻYTKOWNIKÓW
I PROWADZĄCYCH DZIAŁANIA RATOWNICZO-GAŚNICZE***

**Usage of hybrid drives (combustion and electric) and gas alternative
fuels in cars, and hazards for users and rescue services connected
with it***

Streszczenie

W artykule przedstawiono podstawowe źródła zagrożeń związanych z konstrukcją i eksploatacją samochodów wyposażonych w gazowe układy zasilania silników spalinowych (gaz propan-butan LPG i gaz ziemny CNG) oraz napędy hybrydowe (spalinowo-elektryczne).

Określono potencjalne niebezpieczeństwa dla użytkowników i prowadzących działania ratowniczo-gaśnicze, będące następstwem wypadków lub pożarów, w których uczestniczą samochody zasilane paliwami alternatywnymi i z napędami elektrycznymi o wysokim napięciu. Przedstawiono wyniki badań pożarów testowych samochodów zasilanych gazem LPG. W oparciu o zalecenia producentów samochodów hybrydowych zawarto podstawowe wytyczne prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych, uwzględniające specyfikę konstrukcji i działania hybrydowego zespołu napędowego z akumulatorem niklowo-wodorkowym.

*Strony w druku - 99-112

*Pages in print - 99-112

Summary

This article presents essential sources of hazards connected with structure and use of cars equipped with gas powered systems of combustion motors (propane-butane gas LPG and natural gas CNG) and hybrid drives (combustion and electric).

Potential hazards are determined for users and fire and rescue services, which are the results of accidents and fires where alternative fuel powered cars and cars with electric (high voltage) drives are involved.

The results of test fires of LPG gas powered cars are presented.

On the basis of hybrid cars manufacturers recommendations, essential guidelines for fire and rescue services operations are described, taking into consideration the specificity of structure and work of hybrid driving system with nickel-hydrogen battery.

Słowa kluczowe: ratownictwo techniczne, pożary i zagrożenia, samochody

Key words: road rescue, fires and hazards, cars

Wstęp

Próby zastosowania innych, niż benzyna i olej napędowy, paliw do zasilania silników spalinowych w pojazdach były prowadzone już od bardzo dawna. Pierwsze układy zasilania gazem skonstruowano we Włoszech, zaraz po wybuchu II wojny światowej. Było to spowodowane głównie niedoborem paliw silnikowych.

W Polsce pierwsze znaczące próby dostosowywania silników do zasilania gazem LPG były prowadzone w latach 80-tych ubiegłego wieku. Spowodowane było to również niedoborem benzyny na rynku (wprowadzono kartki na paliwo). Instalacje gazowe pochodziły z importu prywatnego, głównie z Włoch lub Holandii. Na uwagę zasługuje fakt, iż przy braku odpowiednich stacji napełniania zbiorników gazu, był on przelewany z butli turystycznych lub butli przeznaczonych do ogrzewania, lub bezpośrednio używano tych butli zamiast zbiorników, co stwarzało olbrzymie zagrożenie.

Obecnie w Europie Polska jest krajem o jednej z największych ilości aut zasilanych gazem LPG i wciąż charakteryzuje się dużą dynamiką rozwoju w tym zakresie. Szacuje się, że w 2007 roku po naszych drogach jeździło około 2 mln takich pojazdów. Wzrost ilości samochodów spowodował rozwój stacji tankowania LPG, których ilość osiągnęła 3,5 tys. w 2004 roku.

Zdecydowanie wolniejszy rozwój notuje się wśród samochodów z instalacjami CNG. W 2009 roku w Polsce było eksploatowanych zaledwie około 1700 takich pojazdów [źródło: pgnig.pl]. Odbiorców CNG na stacjach tankowania można podzielić na cztery grupy: komunikacja publiczna, floty pojazdów, pojazdy spółek PGNiG oraz odbiorcy indywidualni. Przedsiębiorstwa komunikacyjne wykorzystujące autobusy na CNG funkcjonują w 19 polskich miastach. Najwięcej takich autobusów jeździ obecnie w Rzeszowie, Tarnowie, Radomiu i w Tychach. Liczba autobusów na CNG przekroczyła granicę 200 sztuk. Na podstawie danych ze stacji CNG można oszacować liczbę klientów indywidualnych na ok. 700 osób.

Na terenie kraju działa obecnie 28 ogólnodostępnych stacji tankowania CNG, a kolejne 14 jest planowanych.

Szukanie alternatywnych paliw wynika z kończących się zasobów ropy naftowej, względów ekologicznych oraz z rachunku ekonomicznego. Silniki zasilane gazem emitują znacznie mniej składników toksycznych do otoczenia (głównie tlenków azotu i cząstek stałych), a także charakteryzują się zdecydowanie bardziej cichą pracą od silników zasilanych etyliną lub olejem napędowym. Zasilanie gazem ziemnym (CNG) powoduje spadek poziomu hałasu silnika o około 3 dB, w stosunku do zasilania benzyną lub olejem napędowym, dlatego gaz ten szczególnie nadaje się do napędzania autobusów w aglomeracjach miejskich.

Oprócz względów ekologicznych nie bez znaczenia jest obniżenie kosztów eksploatacji pojazdów samochodowych. Niższa o około 50 % cena paliwa gazowego w porównaniu z ceną benzyny, powoduje obniżenie kosztu paliwa zużywanego na pokonanie każdego kilometra trasy. Fakt ten wywołał wzrost zainteresowania użytkowników takim paliwem. Wzrost popytu stał się podstawowym czynnikiem wpływającym na rozwój rynku instalacji gazowych i całej infrastruktury związanej z przetwarzaniem i dystrybucją gazu.

Na początku XXI wieku zaczęto w Polsce sprzedawać również samochody z napędem hybrydowym spalinowo-elektrycznym. Napęd taki, składający się z silnika spalinowego i elektrycznego, pozwala na korzystanie z dwóch źródeł energii podczas jazdy: benzyny oraz energii elektrycznej zgromadzonej w wysokonapięciowym akumulatorze. Zastosowanie dwóch źródeł wpływa na zmniejszenie zużycia paliwa (głównie w ruchu miejskim) oraz zmniejszenie emisji spalin.

Stosowanie paliw alternatywnych (LPG i CNG), jak również napędów spalinowo-elektrycznych, powoduje jednak występowanie dodatkowych potencjalnych zagrożeń dla ratowników i osób ratowanych w przypadku kolizji drogowych, pożaru oraz innych zdarzeń. Główne zagrożenia wiążą się z:

- magazynowaniem cieczy palnych lub gazu pod wysokim ciśnieniem,
- ulatnianiem się gazu w przypadku rozszczelnienia instalacji, stwarzającego zagrożenie wybuchem,
- występowaniem wysokiego napięcia w samochodach hybrydowych,
- możliwością wycieku elektrolitu z akumulatorów używanych w samochodach hybrydowych.

Z tego względu celowym jest dokładne rozpoznanie wszystkich zagrożeń i odpowiednie postępowanie podczas akcji ratowniczych, w celu podwyższenia bezpieczeństwa ratowników i osób ratowanych, stykających się coraz częściej z nowymi konstrukcjami napędów i układów zasilania samochodów.

Układy zasilania gazem ciekłym propan-butan LPG

Charakterystyka układów zasilania gazem LPG

Gaz LPG (ang. Liquefied Petroleum Gas) uzyskiwany jest jako produkt uboczny przy rafinacji ropy naftowej. Niewielkie jego ilości otrzymuje się także ze złóż gazu ziemnego, zwykle na początku uruchamiania nowego odwiertu.

Głównymi składnikami LPG są węglowodory: propan (C_3H_8) oraz n-butan (C_4H_{10}) i izobutan. Udział poszczególnych składników jest uzależniony od przewidywanych temperatur otoczenia: w okresie zimowym - dla zapewnienia odpowiedniego ciśnienia par paliwa w zbiorniku samochodu - większy jest udział propanu (max 55%), w okresie letnim zwiększa się natomiast udział pozostałych składników.

Ciepło parowania LPG dla typowych warunków wynosi około 400 kJ/kg.

Gęstość węglowodorów wchodzących w skład LPG jest większa od gęstości powietrza (w warunkach normalnych dla propanu - ok. 1,5 razy większa, dla n-butanu i izobutanu - ponad

2 razy). W fazie ciekłej gęstość jego jest niższa od gęstości benzyny (gęstość benzyny to 750-760 kg/m³, propanu - 505 kg/m³, butanu - 578 kg/m³).

Propan oraz butan są gazami bezwonnymi, jednak dla sygnalizacji wycieków z instalacji stosuje się celowe jego nawanianie. LPG słabo miesza się z powietrzem; jako cięższy od powietrza opada w dół. Jeżeli stężenie jego jest duże powstaje biała mgiełka.

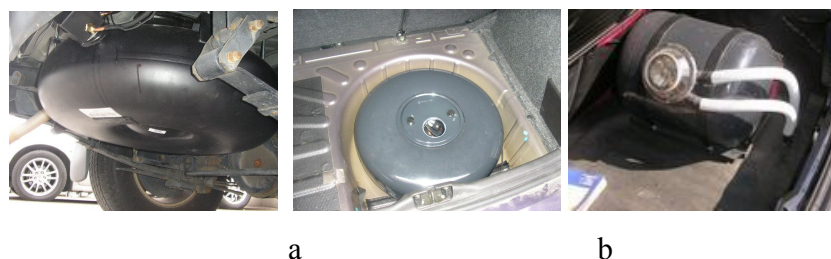
Temperatura zapłonu/samozapłonu: propan -95 °C/470 °C, butan -60 °C/365 °C [13].

Dolna i górna granica wybuchowości z powietrzem: propan 2,1÷9,5 % (50÷340 g/m³), butan 1,5÷8,5 % (39÷206 g/m³). Gaz LPG stanowi zatem bardzo duże zagrożenie pożarowe.

Zagrożenia dla zdrowia: w wysokich stężeniach działa słabo drażniąco, narkotycznie oraz dusząco. Bezpośredni kontakt ze skroplonym gazem może powodować odmrożenia.

W zbiorniku samochodowym gaz LPG znajduje się w postaci cieczy, nad którą znajduje się faza gazowa pod ciśnieniem par nasyconych. Różnice prężności par nasyconych głównych składników paliwa powodują, że skład fazy gazowej znacznie różni się od fazy ciekłej. Dlatego przy zasilaniu silników spalinowych stosowany jest powszechnie pobór fazy ciekłej, ograniczający zmiany składu paliwa pobieranego ze zbiornika.

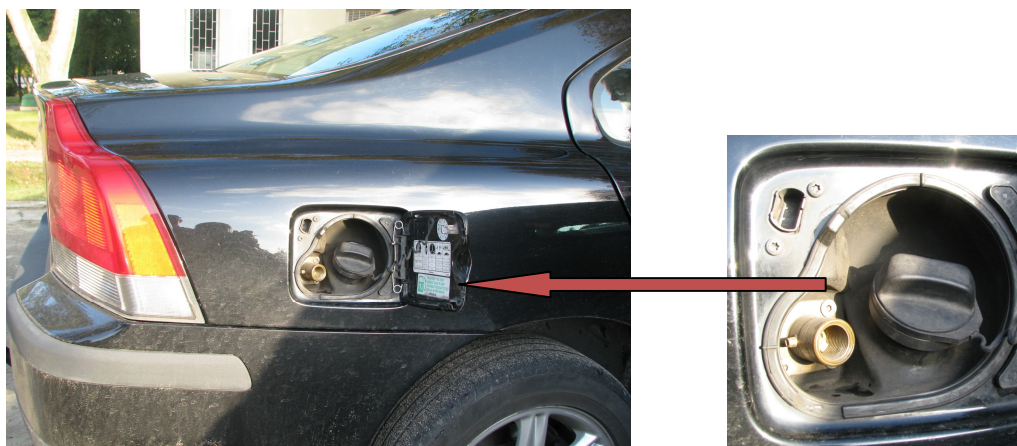
Gaz propan-butan (LPG) ulega skropleniu pod niewielkim ciśnieniem i jest przewożony w zbiorniku wykonanym z blachy stalowej pod ciśnieniem 2,0-2,5 MPa (instalacja jest projektowana na ciśnienie 3,0 MPa), umieszczonym – w przypadku samochodu osobowego – zazwyczaj w przestrzeni bagażowej lub we wnęce koła zapasowego (zbiorniki walcowe lub toroidalne o pojemności zaczynającej się praktycznie od 40 dm³) (fot. 1). Zgodnie z obowiązującymi przepisami [6] niedozwolone jest mocowanie zbiornika gazu w przedniej części pojazdu oraz w komorze silnika.



Fot. 1. Umieszczenie zbiorników gazu w samochodach osobowych:

- a) zbiornik toroidalny podwieszony pod pojazdem,
- b) zbiornik toroidalny we wnęce koła zapasowego,
- c) zbiornik walcowy zamocowany wzdłużnie w bagażniku.

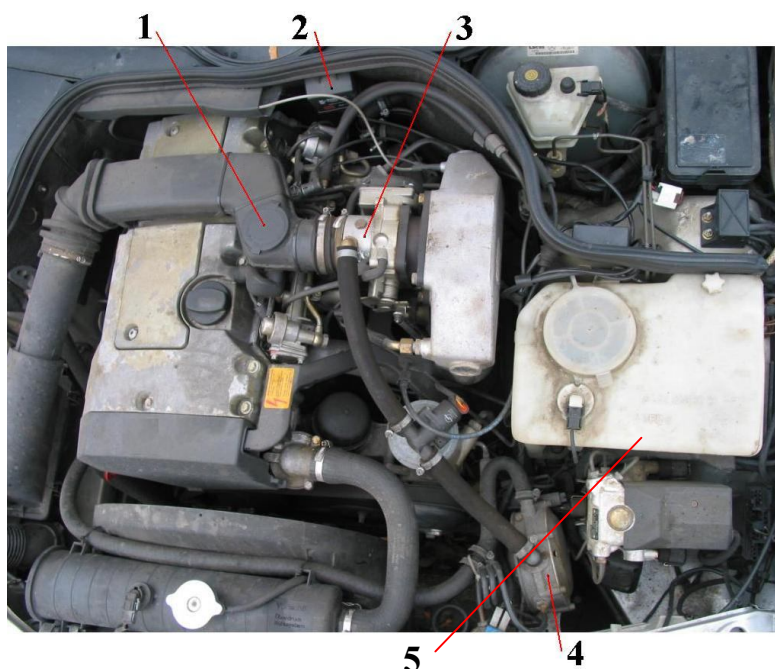
Pojazd zasilany gazem LPG posiada widoczny zawór tankowania gazu, umieszczony zazwyczaj w zderzaku tylnym lub pod zderzakiem. W niektórych rozwiązaniach (zazwyczaj z fabryczną instalacją gazową) zawór znajduje się obok korka do tankowania benzyny, pod wspólną pokrywą (fot. 2). Pojazd taki jest trudny do rozpoznania z zewnątrz.



Fot. 2. Umieszczenie zaworu tankowania gazu obok korka wlewu paliwa w samochodzie Volvo. Jak wspomniano powyżej gaz skroplony LPG jest cięższy od powietrza i w przypadku rozszczelnienia instalacji może zbierać się w najniższych miejscach, przy gruncie, wnikać do kanalizacji i stać się przyczyną wybuchu lub pożaru.

Samochody osobowe zasilane gazem propan-butan wyposażone są w instalacje dostosowane do konstrukcji silnika. W najstarszych silnikach, gaźnikowych, stosowane są najprostsze instalacje podciśnieniowe (I generacji). W takim rozwiązaniu gaz w stanie płynnym przepływa miedzianym przewodem ze zbiornika do reduktora (zwanego też parownikiem) umieszczonego w komorze silnika, gdzie jest zamieniany na fazę lotną. Z parownika gaz przepływa do mieszalnika umieszczonego nad gaźnikiem, gdzie łączy się z powietrzem i skąd jest zasysany do silnika.

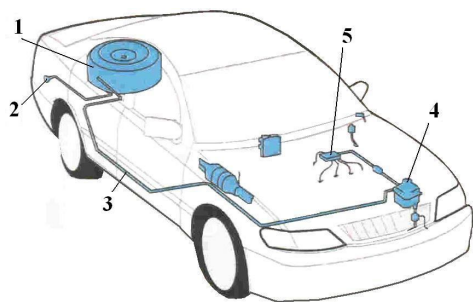
W starszych silnikach, ale już z wtryskiem paliwa, budowa instalacji jest podobna do opisanej powyżej z tą różnicą, że dochodzi dodatkowe urządzenie wykonawcze (zawór dławiący z silnikiem krokowym pomiędzy reduktorem a mieszalnikiem) umożliwiające regulację składu mieszanki na podstawie danych z sondy lambda układu benzynowego, oraz urządzenie elektroniczne (tzw. emulator), zapewniające prawidłowe działanie układu LPG (fot. 3).



Fot. 3. Elementy instalacji podciśnieniowej LPG II generacji w samochodzie osobowym z wtryskowym układem zasilania: 1 – zawór upustowy, 2 – emulator, 3 – mieszalnik, 4 – reduktor, 5 – silnik krokowy

Nowszą generacją (trzecią) urządzeń gazowych jest wtrysk gazu w fazie lotnej (wtrysk jedno- lub wielopunktowy). W układzie takim brak jest mieszalnika. Do kolektora dolotowego doprowadzone są przewody, przez które gaz przepływa z reduktora (ryc. 1). Dawkowanie gazu jest regulowane przez zmianę jego ciśnienia. Paliwo jest podawane do kolektora w niewielkiej odległości od głowicy, co wpływa korzystnie na bezpieczeństwo eksploatacji samochodu.

W najnowszych rozwiązaniach układów zasilania gaz jest podawany przez pompę wysokiego ciśnienia umieszczoną w zbiorniku gazu i wtryskiwany do silnika w fazie płynnej przez wtryskiwacze (IV generacja instalacji). Dawkowanie ilości gazu jest regulowane czasem otwarcia wtryskiwaczy (wtrysk sekwencyjny).



Ryc. 1. Instalacja ciśnieniowa LPG trzeciej generacji: 1 – zbiornik gazu, 2 – zawór tankowania zbiornika, 3 – przewód doprowadzający gaz, 4 – reduktor, 5 – kolektor dolotowy.

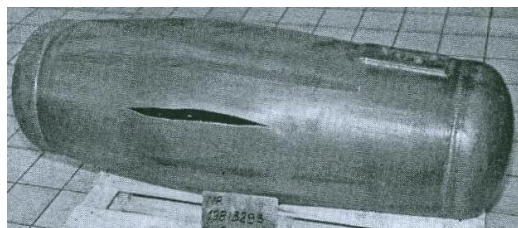
W pojazdach samochodowych stosowane są odpowiednie rozwiązania konstrukcyjne i systemy zabezpieczające instalacje gazowe, m. in.:

- zbiorniki na gaz wytrzymują trzykrotny wzrost ciśnienia (6,75 MPa),
- zawory ograniczające napełnianie zbiornika do 80% jego całkowitej pojemności,
- zawory odcinające przy zbiornikach (elektromagnetyczne) – zamykają wypływ gazu ze zbiornika w chwili zgaśnięcia silnika,
- zawory nadciśnieniowe zabezpieczające przed rozerwaniem zbiornika, które w kontrolowany sposób upuszczają nadmiar ciśnienia w zbiorniku przewodem na zewnątrz nadwozia (zawory nie wymagane dla starych zbiorników klasy B wykonanych wg R67 EKG ONZ - wersja podstawowa, dla których ciśnienie rozerwania wynosi min 10,125 MPa),
- termiczny zawór bezpieczeństwa (bezpiecznik termiczny) zamontowany na zbiorniku (nie wymagany, jeżeli przepustowość zaworu nadciśnieniowego przekracza $17,7 \text{ m}^3/\text{min}$),
- system odcinający wypływ gazu na skutek spadku ciśnienia w przewodzie wysokociśnieniowym (np. przerwanie przewodu zasilającego do silnika).

Samochodowe instalacje gazowe LPG podlegają przepisom i wymaganiom dotyczącym bezpieczeństwa. Wymagania techniczne, określone w Regulaminie 67 EKG ONZ oraz rozporządzeniu [6], koncentrują się na zapewnieniu bezpieczeństwa użytkownika elementów instalacji,

przy czym najistotniejsze są wymagania dotyczące zbiornika gazu wraz z jego armaturą oraz zabezpieczenie przed niepożądanym wypływem, w tym również podczas uszkodzenia. Szczególnie rygorystyczne są przepisy dotyczące mocowania zbiornika do konstrukcji pojazdu. W samochodach osobowych i ciężarowych o masie dopuszczalnej do 3500 kg mocowanie musi wytrzymać przyspieszenia $20g$ (g – przyspieszenie ziemskie) działające wzdłuż osi wzdłużnej samochodu i $8g$ prostopadle do niej. Przykładowo, przy masie zbiornika o pojemności wodnej 40 dm^3 (masa zbiornika z gazem 35 kg) przekłada się to na siłę wzdłużną około 6880 kg i siłę poprzeczną 2750 kg. Takie mocowanie powoduje, że nawet przy silnych uderzeniach pojazdu nie powinno nastąpić wyrwanie zbiornika.

Same zbiorniki przed wprowadzeniem do sprzedaży oraz w ramach kontroli produkcji poddawane są próbie rozrywania. Wynik próby jest pozytywny, jeżeli zbiornik uległ rozerwaniu przy ciśnieniu nie mniejszym niż wymagane, oraz nie uległ rozerwaniu na części (powstające odłamki zbiornika są niedopuszczalne – fot. 4). Potwierdzeniem spełnienia wymagań jest świadectwo homologacji, upoważniające producenta do wprowadzenia do sprzedaży.



Fot. 4. Widok zbiornika gazu LPG po próbie rozrywania [1]

Zagrożenia występujące podczas akcji ratowniczych z udziałem samochodów wyposażonych w instalacje gazowe LPG

Każde urządzenie, gromadzące duże ilości energii, jest potencjalnym zagrożeniem. Instalacja gazowa LPG w samochodzie nie jest jednak czynnikiem w istotny sposób zwiększającym zagrożenie dla kierowcy i pasażerów, pod warunkiem przestrzegania elementarnych zasad bezpieczeństwa, które każdy użytkownik powinien znać.

Gdy nastąpi nieszczelność układu zasilania gazem, użytkownik ostrzegany jest poprzez mocny, charakterystyczny zapach. Sam zapach nie dowodzi wystąpienia nieszczelności, lecz stanowi sygnał o konieczności sprawdzenia szczelności instalacji.

Duże zagrożenie stwarzają samochody z nielegalnymi instalacjami LPG pochodzącymi z odzysku. Duża część instalacji gazowych lub ich głównych elementów ze złomowanych aut nie kończy życia wraz z pojazdami, w których je zainstalowano. Trafiają one do innych samochodów, najczęściej kilku- lub nawet kilkunastoletnich. Instalacje z odzysku najczęściej są montowane sposobem gospodarczym, w małych warsztatach. Należy podkreślić, że niezależnie od starań mechanika instalacja z odzysku jest bardzo niebezpieczna.

Poniżej przedstawiono możliwe scenariusze zachowania się elementów układu LPG w trakcie wypadku i/lub pożaru samochodu.

Mechaniczne uszkodzenia układu zasilania LPG

- 1) W razie kolizji najbardziej wrażliwymi elementami układu zasilania LPG są zawór tankowania i przewód łączący go z wielozaworem zbiornika. W przypadku utraty szczelności połączeń tych części lub nawet ich zniszczenia, nastąpi jednak zablokowanie wypływu gazu ze zbiornika przez zawór zwrotny, który stanowi część wielozaworu. Oznacza to jedynie wypływ niewielkiej ilości gazu z przewodu.
- 2) Większe zagrożenie może być następstwem uszkodzenia lub wyrwania zbiornika paliwa gazowego. Zważywszy jednak na wytrzymałość (stalowe ścianki kilkumilimetrowej grubości), kształt zbiornika i sposób mocowania, mało prawdopodobne jest wystąpienie takiej sytuacji w praktyce.
- 3) Uszkodzenie (rozerwanie) przewodów miedzianych łączących zbiornik z urządzeniami zasilanymi nie powoduje dużego wypływu gazu z instalacji. W przypadku konstrukcji układów starszych generacji nastąpi zadziałanie zaworu ograniczającego wypływ gazu do około 1 dm³/min. W nowych rozwiązaniach (spełniających Regulamin 67 EKG ONZ, seria 01) wypływ gazu ze zbiornika zostaje wstrzymany całkowicie po zgaśnięciu silnika (zadziała zawór elektromagnetyczny przy zbiorniku).
- 4) Przy uszkodzeniu instalacji elektrycznej zostają uruchomione wszystkie zawory odcinające w układzie zasilania LPG.

Pożar samochodu z instalacją LPG

Zdarzenie, którego nie można wykluczyć to pożar samochodu. Z reguły zaczyna się w komorze silnika, gdzie paliwa jest niewiele i rozprzestrzenia się powoli – jeśli w porę nie zostanie ugazony – na całe auto.

Sam układ zasilania LPG niesie minimalne ryzyko powstania pożaru.

W większości przypadków pożar samochodu jest spowodowany wystąpieniem zwarcia instalacji elektrycznej samochodu, nie związanej z układem zasilania LPG.

Pożar związany z instalacją LPG może nastąpić na skutek tzw. „zamrożenia” reduktora ewentualnie w wyniku awaryjnej pracy układu zasilania benzyną (brak właściwej konserwacji/przeglądów z powodu sporadycznego jej załączania). „Zamrożenie” reduktora powoduje ograniczenie odparowywania LPG, nagromadzenie dużej ilości gazu w fazie ciekłej w parowniku i przewodzie doprowadzającym gaz do silnika, w konsekwencji doprowadza to do nadmiaru paliwa w kolektorze dolotowym i przedostanie się fazy gazowej do przedziału silnika pojazdu. Podczas np. rozruchu silnika może nastąpić zapalenie gazu w wyniku wystąpienia zjawiska tzw. cofnięcia płomienia.

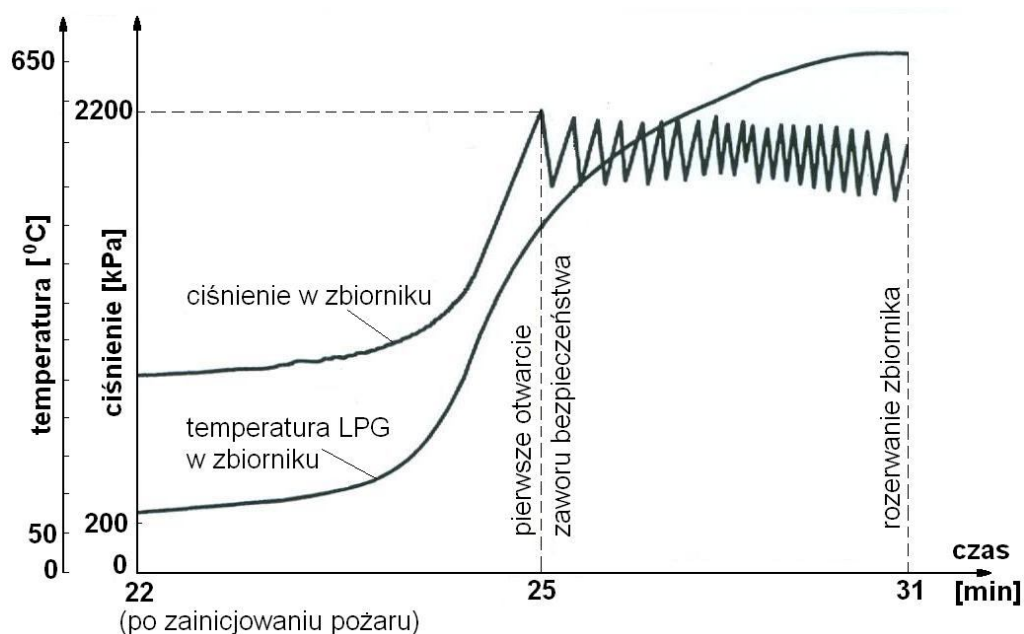
W samochodach z LPG występują dwa zbiorniki paliwa: z benzyną i z paliwem gazowym. Zbiornik z benzyną jest o wiele bardziej niebezpieczny, szczególnie gdy znajduje się w nim niewielka ilość paliwa. W trakcie pożaru następuje szybki wzrost temperatury znajdującego się w nim paliwa oraz gwałtowny wzrost ciśnienia spowodowany intensywnym parowaniem cieczy, co może doprowadzić do rozerwania zbiornika i rozlania płonącej benzyny na dużą odległość. Paląca się benzyna zazwyczaj powoduje nagrzewanie zbiornika z gazem, co prowadzi do wzrostu ciśnienia w jego wnętrzu i zmniejszenie jego wytrzymałości. Zbiorniki gazowe wyposażone są w zawory bezpieczeństwa, które powodują w takich wypadkach upust gazu na zewnątrz zbiornika i w rezultacie obniżenie ciśnienia. Ciśnienie otwarcia zaworu wynosi: 2300-2700 kPa - dla zbiorników klasy A wykonanych wg wymagań R67 EKG ONZ wersja podstawowa, 2600-2900 kPa – dla nowych zbiorników wykonanych wg Serii 01 poprawek do regulaminu R67 EKG ONZ.

Dla sprawdzenia zachowania się zbiorników w czasie pożaru producenci wraz z jednostkami badawczymi przeprowadzają testy bezpieczeństwa, polegające na obserwacji i rejestracji przebiegu pożaru. Na podstawie wyników uzyskanych z takich testów stwierdzono, że podczas pożaru materiał zbiornika może nagrzać się nawet do 900 °C. Po nagraniu do 700 °C wytrzymałość stali zmniejsza się aż ośmiokrotnie, co może doprowadzić do rozerwania ścianek. W jednym z testów opisanych w literaturze [1] zniszczenie zbiornika nastąpiło po nagraniu się

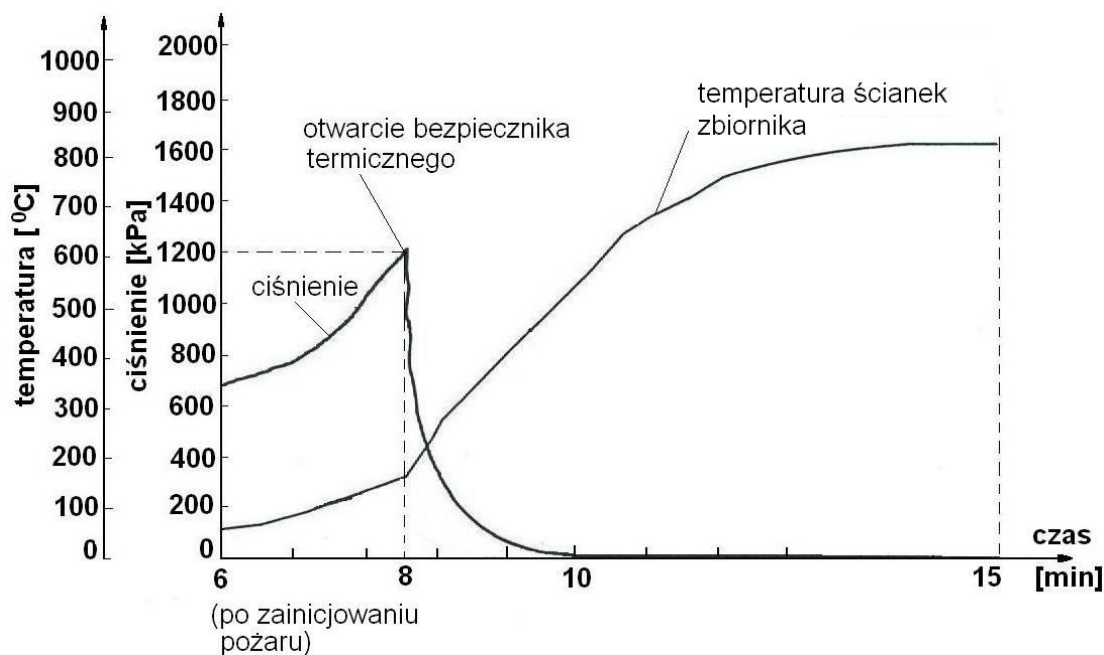
ścianek zbiornika do $650\text{ }^{\circ}\text{C}$, pomimo poprawnej pracy zaworu bezpieczeństwa ograniczającego ciśnienie w zbiorniku do 2200 kPa . Rozerwanie zbiornika spowodowało gwałtowny wypływ paliwa i zapłon w całej jego objętości.

Zabezpieczeniem przed rozerwaniem może być szybkie opróżnienie zbiornika. Zapewnia to bezpiecznik termiczny, który po osiągnięciu określonej temperatury (ok. $110\text{ }^{\circ}\text{C}$) rozszczelnia zbiornik i zapewnia ciągły wypływ gazu.

Ryc. 2 i 3 przedstawiają dwa przebiegi zmian temperatury i ciśnienia w zbiornikach podczas dwóch odrębnych pożarów testowych samochodów z instalacją LPG. Pożary samochodów zostały zainicjowane przez rozniecenie ognia pod silnikiem umieszczonym z przodu. Wykres na ryc. 2 dotyczy zbiornika wyposażonego w zawór bezpieczeństwa, natomiast wykres na ryc. 3 dotyczy zbiornika wyposażonego dodatkowo w bezpiecznik termiczny. Pierwsze otwarcie zaworu bezpieczeństwa i erupcja ognia w pierwszym przypadku nastąpiła po 25 min od zainicjowania pożaru, natomiast po 31 minutach nastąpiło rozerwanie zbiornika. W drugim przypadku nie doszło do eksplozji, bezpiecznik termiczny zadziałał po około 8 minutach od podpalenia.



Ryc. 2. Przebieg zmian temperatury i ciśnienia w zbiorniku gazu podczas pożaru samochodu: zbiornik o pojemności 45 dm^3 z zaworem bezpieczeństwa (bez bezpiecznika termicznego) [1]

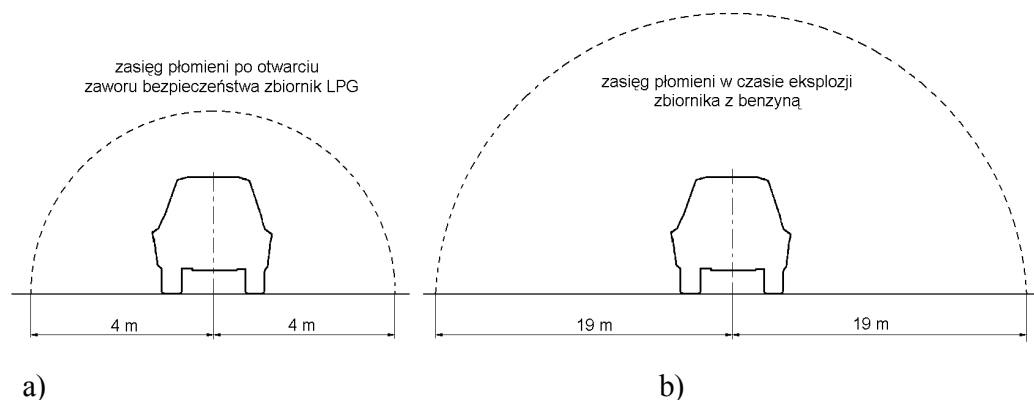


Ryc. 3. Przebieg zmian temperatury i ciśnienia w zbiorniku gazu podczas pożaru samochodu: zbiornik o pojemności 60 dm³ z bezpiecznikiem termicznym [1]

Z opisanych powyżej testów pożarowych można wnioskować, że podczas pożaru samochodu, w trakcie którego następuje podgrzewanie zbiornika gazu, może wystąpić zjawisko wybuchu BLEVE (boiling liquid expanding vapour explosion). Wybuch taki spowodowany jest nagłym wyciekem gazu LPG w fazie ciekłej w temperaturze wyższej od jego temperatury wrzenia, przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym, powstałym w wyniku rozerwania powłoki zbiornika (utrata wytrzymałości stali pod wpływem temperatury). Uwolniona do ciśnienia atmosferycznego ciecz w jednym momencie zamienia się w parę i gwałtownie ekspanduje, kilkusetkrotnie zwiększając swoją objętość w stosunku do swojej pierwotnej objętości. Powstała w ten sposób chmura mieszaniny gazu i powietrza zapala się, stwarzając bardzo duże zagrożenie.

W innych testach opisanych w literaturze [12] pożary samochodów zostały zainicjowane przez rozniecenie ognia pod pojazdem z tyłu. Zbiorniki gazu wyposażone były w ciśnieniowe zawory bezpieczeństwa. Za każdym razem, po około 8-10 minutach, następowało otwarcie zaworu i erupcja ognia na zewnątrz lub do wnętrza pojazdu, w zależności od usytuowania zaworu. Pod-

czas jednego z testów doszło do wybuchu zbiornika paliwa. Na rys. 4 przedstawiono porównanie zasięgów płomieni dla obydwu przypadków.



Ryc. 4. Porównanie zasięgu płomieni podczas otwarcia zaworu bezpieczeństwa zbiornika gazu (ryc. a) oraz w czasie eksplozji zbiornika z benzyną (ryc. b) [12]

Jeszcze innym doświadczeniem przeprowadzonym przez Wojskowy Instytut Techniki Uzbrojenia było przebicie zbiornika z gazem z broni wojskowej. Po strzale nie nastąpiło zapalenie się gazu, jedynie jego wypływ w postaci białej mgiełki. Uwolniony gaz w tym przypadku potrzebuje do zapalenia dodatkowego źródła zapłonu, w przeciwnym wypadku ulega rozproszeniu w atmosferze.

Gaszenie samochodu z LPG polega na schładzaniu go wodą i pianą z bezpiecznej odległości. Jak wykazały opisane powyżej testy, szczególne niebezpieczeństwo występuje podczas rozwiniętego pożaru, kiedy płomienie powodują nagrzewanie się zbiornika z gazem. Prawdopodobnym przypadkiem jest wystąpienie erupcji ognia o kilkumetrowym zasięgu, spowodowana otwarciem zaworu bezpieczeństwa. W zależności od usytuowania zaworu erupcja może również być skierowana do wnętrza pojazdu.

Zasady postępowania podczas akcji ratowniczej z udziałem samochodu wyposażonego w instalację LPG

Jeżeli podczas rozpoznania zostanie stwierdzone, że doszło do rozszczelnienia instalacji należy:

- dokonać pomiaru stężeń z wykorzystaniem eksplozometru oraz wyznaczyć strefę zagrożenia wybuchem,

- wyznaczyć strefę niebezpieczną o promieniu ok. 100 m,
- wyeliminować wszelkie możliwe źródła zapłonu, nie odłączać akumulatora, aby nie doprowadzić do iskrzenia, co może być powodem wybuchu,
- przy określaniu stref zagrożenia wybuchem zwrócić uwagę na miejsca zalegania LPG (zagłębienia terenu, studzienki kanalizacyjne, miejsca w samochodzie gdzie może się zbierać cięższy od powietrza gaz propan-butan),
- w razie zagrożenia wybuchem natychmiast ewakuować poszkodowanych znajdujących się w samochodzie,
- podczas pożaru auta schładzać zbiornik z gazem,
- ograniczyć do niezbędnego minimum liczbę ratowników znajdujących się w strefie bezpośredniego zagrożenia wybuchem,
- stosować wszelkie możliwe (dostępne) osłony ratowników oraz pełną ochronę (ubrania i rękawice specjalne, kominiarki niepalne, maski do aparatów powietrznych, przyłbice itp.),
- w przypadku powstania rozlewiska ciekłego gazu nie wchodzić w powstałą kałużę.

Rozpoznanie samochodu z zamontowaną instalacją LPG

Samochód z instalacją gazową można rozpoznać po charakterystycznych cechach:

- zawór do tankowania zamontowany na tylnym błotniku lub pod tylnym zderzakiem (niektóre auta mogą go mieć pod klapką wlewu paliwa),
- zbiornik gazu w kształcie walca w bagażniku lub pod podłogą,
- zbiornikiem gazu o kształcie toroidalnym umiejscowiony w miejscu koła zapasowego,
- centralka sterowania umieszczona na desce rozdzielczej,
- reduktor-parownik umieszczony w komorze silnikowej,
- zapach nawonionego gazu wydobywającego się z rozszczelnionej instalacji,
- inne znaki, np. naklejki lub napisy na karoserii pojazdu lub na szybach.

Układy zasilania gazem sprężonym CNG

Charakterystyka układów zasilania gazem CNG

Sprężony gaz ziemny CNG (ang. Compressed Natural Gas) zawiera głównie metan. Jest to bezbarwny i bezzapachowy gaz. Granica wybuchowości DGW wynosi 5 %, natomiast GGW 15 %. Gęstość gazu przy ciśnieniu 1013 hPa wynosi 72 g/dm³. Temperatura zapłonu metanu wynosi około -188 °C, natomiast temperatura samozapłonu 580 °C [4].

W Polsce dostępny jest gaz wysokometanowy (zawiera około 98 % metanu) oraz zaazotowany (69% metanu). Samochodowe instalacje CNG zasilane są gazem wysokometanowym.

Ze względu na bezpieczeństwo użytkowania metan jest nawaniany.

Gaz ziemny CNG jest sprężony do ciśnienia 20 MPa (instalacja jest projektowana na ciśnienie 26 MPa) i przewożony w butlach stalowych, lub butlach wykonanych z kompozytu wzmocnionego włóknami węglowymi, lub butlach z wewnętrzną powłoką metalową i zewnętrzną – pokrytą warstwą kompozytową (średnio od 5 do 10 butli dla jednego pojazdu, o łącznej pojemności gazu od 800 dm³ do 1600 dm³), umieszczonych w obudowie dachowej lub w przestrzeni podpodłogowej autobusu lub samochodu ciężarowego. W przypadku instalacji CNG montowanych w zakładach instalatorskich, można się spotkać z butlami umieszczonymi w przedziale bagażowym lub ładunkowym.

Butle na CNG, w zależności od konstrukcji, wytrzymują ciśnienie rozrywające 450-730 bar.

Butle połączone są przewodem zbiorczym, a każda butla wyposażona jest w zawór odcinający i bezpieczeństwa. Instalacja posiada centralny zawór odcinający, powodujący całkowite przerwanie dopływu gazu do silnika. Zgodnie z międzynarodowymi przepisami przewody gazowe (bezszwowe, wykonane ze stali szlachetnej) są prowadzone pod podłogą lub wzdłuż przestrzeni pasażerskiej autobusu, w sposób uniemożliwiający przedostawanie się gazu do wnętrza. Przed wtłoczeniem gazu do silnika następuje obniżenie jego ciśnienia do 9,5 lub 10 bar. Silniki wysokoprzężne, przystosowane do zasilania gazem, posiadają iskrowy system zapłonowy (świeca zapłonowa dla każdego cylindra, cewka indukcyjna) inicjujący spalanie wtryskiwanego gazu do komory spalania. Gaz ziemny jest lżejszy od powietrza i w przypadku rozszczelnienia układu ulatnia się do góry (metan błyskawicznie rozprasza się w powietrzu), dlatego pojemniki z gazem CNG montowane są często na dachu pojazdu.

Istnieją dwa rodzaje pojazdów zasilanych gazem ziemnym – mono- i biwalentne. Pierwsze spalają wyłącznie CNG, ewentualnie wyposażone są w rezerwowe, najwyżej 15-litrowe zbiorniki

z benzyną. Pojazdy biwalentne dysponują standardowym zasilaniem benzynowym, a oprócz tego mają zainstalowany układ napędzania gazem.

Zagrożenia występujące podczas akcji ratowniczych z udziałem samochodów wyposażonych w instalacje gazowe CNG

W przypadku kolizji samochodów zasilanych gazem ziemnym (CNG), w trakcie akcji ratowniczej należy postępować podobnie, jak z autami z instalacjami na gaz płynny LPG. Zbiorniki na gaz ziemny magazynują metan pod ciśnieniem ok. 200 bar w stanie gazowym. Właściwości fizyko-chemiczne metanu są inne niż propanu-butanu. Jest lżejszy od powietrza i unosi się w terenie otwartym, tym samym zmniejszając niebezpieczeństwo wybuchu.

Wg specjalistów amerykańskich gaz ziemny jest najbezpieczniejszym paliwem silnikowym. Na dalszych miejscach są benzyna, olej napędowy i gaz LPG. Zdają się to potwierdzać również pożary i wypadki, w których zlokalizowane butle z gazem CNG nie eksplodowały (np. pożar zajezdni w 1990 roku w Utrechcie – eksplodowały zbiorniki z olejem napędowym, stalowe zbiorniki z gazem nie uległy rozerwaniu). Na przykład, ze względu na bezpieczeństwo użytkowania, w niektórych miastach amerykańskich (m.in. w Las Vegas) dla policji zakupiono właśnie pojazdy na CNG (pojazdy są narażone na ostrzelanie czy podpalenie). Z tych samych powodów obsługa niektórych dużych lotnisk europejskich czy amerykańskich korzysta z pojazdów zasilanych gazem ziemnym.

Pożar samochodu z instalacją CNG

Pożar pojazdu oddziałuje intensywnie na instalację CNG, w tym również na zbiornik, powodując jego intensywne nagrzewanie. Każda butla wyposażona jest w wielofunkcyjny zawór z termoelementem (temperatura topnienia 110 °C) [4]. Po stopieniu się metalu następuje uwolnienie gazu do środowiska pożaru, rośnie intensywność spalania i promieniowania cieplnego. Stwarza to dodatkowe zagrożenie dla ratowników, podobnie jak przy instalacjach LPG.

Zbiorniki gazu są też powszechnie wyposażone w nadciśnieniowe zawory bezpieczeństwa, które otwierają się przy ciśnieniu 270-300 bar.

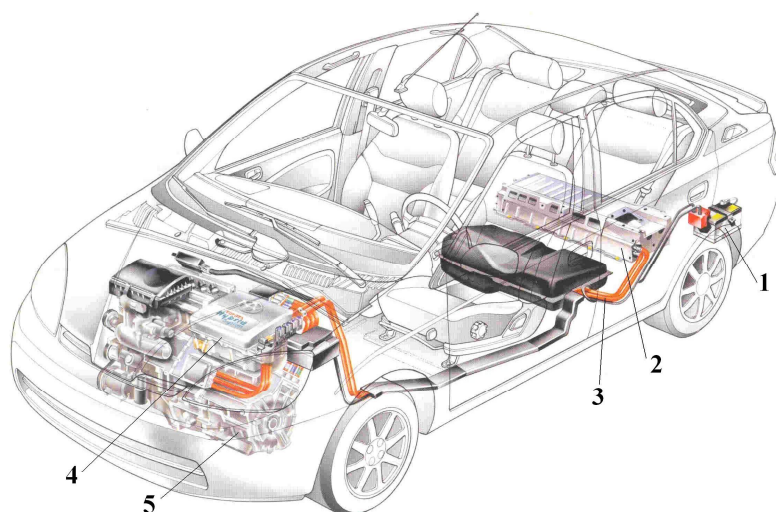
Napędy hybrydowe spalinowo-elektryczne

Charakterystyka napędów hybrydowych spalinowo-elektrycznych

Pojazd z napędem hybrydowym spalinowo-elektrycznym posiada silnik spalinowy oraz silnik elektryczny prądu zmiennego (lub stałego) o pracy odwracalnej (odwracalność pracy pozwala na odzyskiwanie energii podczas hamowania). Silnik elektryczny zazwyczaj służy do ruszania z miejsca i przyspieszania samochodu. Przy stałej prędkości działa silnik spalinowy, a silnik elektryczny pracuje wtedy jako prądnica i doładowuje akumulatory. Przy gwałtownym przyspieszaniu pracują obie jednostki jednocześnie.

W samochodzie hybrydowym znajdują się urządzenia zasilane wysokim napięciem. Należą do nich: silnik elektryczny, prądnica, falownik zespołu napędowego. Wysokie napięcie wykorzystuje się również do zasilania sprężarki klimatyzacji. Pozostałe wyposażenie elektryczne (np. światła, wskaźniki) zasilane z akumulatora 12 V.

Akumulator zespołu hybrydowego znajduje się za tylnym siedzeniem, pozostałe elementy zespołu umiejscowione są w przedniej części pojazdu (ryc. 5). Ogniwa akumulatora zespołu hybrydowego połączone są szeregowo, co pozwala uzyskać nominalne napięcie rzędu kilkuset wolt (np. w Toyocie Prius jest 28 ogniw typu niklowo-wodorkowego o łącznym napięciu 201,6 V). Obok akumulatora montuje się wyłącznik bezpieczeństwa, przerywający obwód elektryczny w razie wypadku lub uszkodzenia. Przesyłanie prądu pomiędzy akumulatorem a falownikiem, który przetwarza prąd stały na prąd zmienny (w Toyocie Prius jest przetwarzane napięcie 201,6 V na napięcie 500 V), odbywa się przewodami wysokiego napięcia zlokalizowanymi pod podłogą. Przewody wysokiego napięcia znajdują się również w komorze silnika (łączą falownik z prądnicą i silnikiem elektrycznym). Dla łatwej identyfikacji przewody są w kolorze pomarańczowym. Pojazd nie posiada tradycyjnego alternatora i rozrusznika.



Ryc. 5. Rozmieszczenie elementów napędu hybrydowego (Toyota Prius) [7]: 1 – akumulator 12 V (ołowiowy), 2 – akumulator hybrydowego zespołu napędowego 201,6 V, 3 – przewody wysokiego napięcia (kolor pomarańczowy), 4 – falownik, 5 – silnik elektryczny

Zagrożenia występujące podczas akcji ratowniczych z udziałem samochodów wyposażonych w napęd hybrydowy spalinowo-elektryczny

Podczas wypadku samochodu z napędem hybrydowym mogą wystąpić zagrożenia:

- porażenie prądem o wysokim napięciu,
- skażenie skóry elektrolitem z akumulatora hybrydowego zespołu napędowego,
- skażenie wziewne powstające na skutek pożaru akumulatora hybrydowego zespołu napędowego,
- zatrucie pokarmowe elektrolitem.

Bardzo ważnym elementem w obchodzeniu się z urządzeniami hybrydowego zespołu napędowego zasilanego prądem o wysokim napięciu jest zachowanie najwyższej ostrożności, pomimo stosowanych przez producentów rozbudowanych środków zabezpieczających.

Poniżej przedstawiono zasady postępowania w czasie akcji ratowniczej, opracowane na podstawie materiałów informacyjnych Toyoty [5].

Środki zabezpieczające przed porażeniem prądem o wysokim napięciu

W każdym samochodzie hybrydowym występują rozbudowane systemy chroniące przed porażeniem:

- przewody wysokiego napięcia, biegnące od akumulatora do falownika umieszczonego w komorze silnika, prowadzone są pod podłogą i są osłonięte,
- oba przewody (dodatni i ujemny) są izolowane względem masy pojazdu, co sprawia, że dotknięcie nadwozia nie grozi porażeniem,
- zainstalowany czujnik przebicia izolacji kontroluje, czy nie występuje przebicie wysokiego napięcia do masy (w przypadku przebicia pojawia się komunikat na wyświetlaczu komputera),
- przewody wysokiego napięcia połączone są z akumulatorem za pośrednictwem dwóch przekaźników, które po wyłączeniu napędu odcinają przepływ prądu z akumulatora do falownika,
- po zadziałaniu poduszek czołowych w czasie kolizji pojazdu następuje otwarcie styków przekaźników akumulatora, przerywając dopływ wysokiego napięcia,
- w akumulatorze znajduje się bezpiecznik wysokiego napięcia przerywający obwód wewnątrz akumulatora podczas kolizji.

Wytyczne prowadzenia działań ratowniczych

Po przybyciu na miejsce zdarzenia ratownicy powinni postępować według standardowych procedur działania z uwzględnieniem podanych poniżej wskazówek.

Nigdy nie należy zakładać, że napęd jest wyłączony, na podstawie wyłączonego silnika spalinowego.

Działania ratownicze powinny zawierać następujące czynności:

- podłożyć kliny pod koła,
- dokonać stabilizacji pojazdu, jeżeli zachodzi taka potrzeba,

Zabrania się podkładania podpór stabilizujących pod przewodami wysokiego napięcia.

- zaciągnąć hamulec postojowy,
- wyłączyć zapłon przyciskiem „POWER” na desce rozdzielczej (sygnalizowane zgaśnięciem piktogramu „READY”),

Należy pamiętać, że po wyłączeniu zapłonu przez 5 minut utrzymywane jest jeszcze wysokie napięcie w układzie, natomiast przez 90 s zasilany jest układ poduszek powietrznych.

- wyciągnąć elektroniczny klucz z gniazda i przenieść go na odległość min 5 m od pojazdu (pojazd może być wyposażony w układ zdalnego rozpoznawania kluczyka, co stwarza zagrożenie przypadkowego wciśnięcia przycisku „POWER” i niezamierzonego uruchomienia napędu),
- rozłączyć zaciski akumulatora 12 V znajdującego się w bagażniku,
- wyjąć bezpiecznik HEV (kolor żółty, 20A), znajdujący się w komorze silnika,
- nie wolno przecinać lub odsłaniać przewodów zasilających silnik elektryczny (są to przewody o dużym przekroju w izolacji koloru pomarańczowego),
- przy usuwaniu szyb należy stosować normalne procedury ratownicze,
- zachować szczególną ostrożność przy pracy w bliskim sąsiedztwie aktywnych poduszek powietrznych i kurtyn,
- do otwierania i usuwania drzwi można stosować standardowe procedury ratownicze, używając ręcznych, elektrycznych lub hydraulicznych narzędzi ratowniczych,
- dachu nie należy rozcinać, ze względu na umiejscowienie kurtyn powietrznych w belkach nośnych i możliwość ich uruchomienia,
- w czasie podnoszenia pojazdu za pomocą poduszek ratowniczych, nie należy podkładać ich pod przewody wysokiego napięcia, zbiornik paliwa lub układ wydechowy.

Pożar samochodu hybrydowego

1. Po przyjeździe na miejsce akcji należy bezzwłocznie przystąpić do gaszenia pojazdu, zgodnie ze standardowymi procedurami. Jako środek gaśniczy może być użyta woda.
2. W przypadku pożaru akumulatora hybrydowego zespołu napędowego należy uwzględnić następujące czynniki:
 - akumulator znajduje się w specjalnej osłonie; dostęp do niego jest bardzo ograniczony,
 - nie należy usuwać ani demontować osłony akumulatora, gdyż może to grozić porażeniem elektrycznym lub zwarcie instalacji,
 - ogniwa akumulatora NiMH ulegają szybkiemu spalaniu,
 - głównym składnikiem elektrolitu w akumulatorze NiMH są wodorotlenki potasu i sodu.

3) Przy gaszeniu pożaru akumulatora wysokiego napięcia, zalecane jest działanie z bezpiecznej odległości prądem wody, chroniąc pojazd przed rozprzestrzenianiem się ognia i kierując dym w bezpieczną stronę.

4) W sytuacji zagrożenia pożarem ogniów niklowo-wodorkowych akumulatora należy schładzać go wodą z bezpiecznej odległości, aby zapobiec ich zapaleniu.

Wyciek elektrolitu z akumulatora hybrydowego zespołu napędowego

Elektrolit NiMH jest silnie alkaiczny ($\text{pH}=13,5$) co powoduje, że jest on niebezpieczny w zetknięciu ze skórą. Elektrolit jest w postaci żelowej i praktycznie nie ulega wyciekowi po pęknięciu obudowy. Jednakże, w przypadku wydostania się na zewnątrz, do neutralizacji używać substancji o odczynie kwaśnym, np. octu lub roztworu kwasu borskiego w proporcjach: 800 g kwasu na 20 litrów wody.

Przy usuwaniu wycieku należy stosować środki ochrony osobistej, tj. okulary ochronne, rękawice gumowe, fartuchy ochronne, buty gumowe.

Postępowanie przy różnych rodzajach skażenia elektrolitem

Skażenie powierzchniowe – zdjąć skażoną odzież, a następnie skażone miejsca na skórze spłukiwać wodą przez około 20 minut. Odzież oddać do utylizacji.

Skażenie pokarmowe – nie wywoływać wymiotów, podać duże ilości wody do wypicia.

We wszystkich przypadkach po udzieleniu pierwszej pomocy wezwać zespół ratownictwa medycznego lub odtransportować osoby poszkodowane do najbliższego szpitalnego oddziału ratunkowego.

Zastosowanie wodoru do napędu samochodów

Na koniec należy jeszcze wspomnieć o paliwie przyszłości, jakim niewątpliwie jest wodór. Wodór jest powszechnie uważany za „najczystsze” ekologicznie i najbardziej przyjazne środowisku paliwo, gdyż w wyniku jego spalania w powietrzu lub tlenie produkowana jest wyłącznie woda. Zasoby wodoru również są nieograniczone.

Wodór jest gazem palnym i wybuchowym, z powietrzem tworzy mieszaninę wybuchową w bardzo szerokim zakresie stężeń [15]. Przy rozprężaniu ulega ogrzewaniu. Płomień palącego się wodoru

w dzień jest niewidoczny, a jego temperatura w wilgotnym powietrzu już w niewielkiej odległości od płomienia szybko spada. Wodór jest gazem lżejszym kilkanaście razy od powietrza, istnieje zatem niebezpieczeństwo gromadzenia się gazu w górnych partiach pomieszczeń w ilościach niekontrolowanych mogących wywołać wybuch. Wodór stwarza zagrożenie pożarowe i wybuchowe w wielu reakcjach chemicznych, m.in. z chlorowcami, utleniaczami oraz z niektórymi związkami tlenowymi. W wysokich stężeniach może spowodować uduszenie.

Powodzenie zastosowania wodoru do napędu samochodów zależy w głównej mierze od pomyslnego rozwiązania problemu jego tankowania i przewozu w zbiornikach pojazdów.

Z dotychczasowych doświadczeń wynika, że wodór może być gromadzony w trzech następujących stanach [14]:

- **gazowym** przy wysokim, dochodzącym do 700 barów ciśnieniu, co wymaga stosowania zbiorników w postaci butli stalowych lub innych,
- **płynnym** przy ciśnieniu prawie atmosferycznym, jednak w bardzo niskich temperaturach (-253 °C), a więc w zbiorniku o szczególnym rodzaju izolacji,
- **w postaci chemicznie związanej**, jako związki wodoru z metalami, czyli wodorki (zbiorniki są jednocześnie wymiennikami ciepła).

Każdy ze sposobów gromadzenia wodoru będzie stwarzał więc określone niebezpieczeństwo.

Ze względu na wysokie koszty wykonania samego silnika oraz zbiornika na wodór, produkowane obecnie samochody zasilane takim paliwem są dużo droższe i stać na nie tylko najbogatszych. Dużym problemem jest również zapewnienie odpowiednich stacji tankowania. Stacje „wodorowe” istnieją obecnie w Kalifornii, Japonii, na lotnisku w Monachium i w Berlinie [14].

W wielu ośrodkach badawczych na świecie trwają badania zmierzające do rozwiązania problemów związanych z tankowaniem i składowaniem wodoru. Prace te dają podstawę do postawienia tezy, że wodór to niewątpliwie paliwo przyszłości.

Wnioski

1. Instalacje gazowe stosowane w pojazdach samochodowych spełniają wysokie normy bezpieczeństwa. Stosowane są różnorodne zabezpieczenia będące wynikiem wieloletniej praktyki i doświadczeń w eksploatacji samochodów z instalacjami gazowymi.

2. Zbiorniki gazu poddawane są testom potwierdzającym bezpieczne zachowanie się w warunkach rzeczywistych: test uderzeniowy – symulujący wypadek samochodu przy prędkości 50 km/h, test rozerwania zbiornika – sprawdzający konstrukcję zbiornika podczas kontrolowanej eksplozji wywołanej ciśnieniem, test ogniowy – symulujący zachowanie się zbiornika napełnionego gazem podczas pożaru.
3. Dużym zagrożeniem mogą być instalacje LPG z odzysku, montowane najczęściej sposobem gospodarczym, w małych warsztatach.
4. Podczas pożaru należy zwracać uwagę na zachowanie się zbiornika, który może stwarzać największe niebezpieczeństwo. Może wtedy nastąpić erupcja palącego się gazu przez zawór bezpieczeństwa lub spadek wytrzymałości ścianek, w skrajnym przypadku rozerwanie zbiornika i w konsekwencji zapłon paliwa w całej jego objętości.
5. Samochody zasilane gazem CNG stwarzają małe zagrożenie podczas wypadku. Brak informacji na temat znaczących interwencji, w których instalacja ze sprężonym gazem ziemnym stanowiłaby zagrożenie.
6. Stosowanie dodatkowego oznaczeń samochodów napędzanych alternatywnymi źródłami zasilania w znacznym stopniu ułatwiłoby poprawne rozpoznanie oraz postępowanie podczas usuwania skutków zdarzeń na drogach.
7. W związku z rosnącą ilością pojazdów z alternatywnymi źródłami zasilania należy zwiększyć nacisk na szkolenie służb ratowniczych, szczególnie jednostek OSP.

Literatura

1. Majerczyk A., Taubert S.: Układy zasilania gazem propan-butan. WKŁ, Warszawa 2006.
2. Gontarz A., Kaczmarzyk S., Bocian K.: Budowa pojazdów samochodowych - System szkolenia członków Ochotniczych Straży Pożarnych biorących bezpośredni udział w działaniach ratowniczych. Szkolenie kierowców – konserwatorów sprzętu ratowniczego OSP. CNBOP czerwiec 2007.

3. Gawroński J.: Organizacja akcji ratownictwa technicznego na drogach - System szkolenia członków Ochotniczych Straży Pożarnych biorących bezpośredni udział w działaniach ratowniczych. Szkolenie kierowców – konserwatorów sprzętu ratowniczego OSP. CNBOP czerwiec 2007.
4. Pietrzak M.: CNG w pojazdach a bezpieczeństwo ratowników. Przegląd Pożarniczy 7/2008.
5. Toyota Prius. Samochód z napędem hybrydowym spalinowo-elektrycznym. Zasady bezpieczeństwa. Toyota Motor Corporation 2003.
6. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 31 grudnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia (Dz. U. z dnia 26 lutego 2003 r. z późniejszymi zmianami).
7. Łęgiewicz J.: Tak samo, ale inaczej. Auto-Technika Motoryzacyjna, nr 12/2000.
8. Toyota Motor Marketing Europe. 2006 r.
9. Grad K.: Coraz więcej aut jeździ na instalacji gazowej z odzysku. Gazeta Prawna, 2008-05-15.
10. Bąk Ł., Czas na gaz. Motor nr 9/2007.
11. pgnig.pl
12. Guzowski P., Pawłowski R.: Auto na gaz. Instalacje zasilania samochodów ciekłym gazem, Taktyka działań ratowniczych. Opolska Oficyna Wydawnicza, Opole 1994.
13. Karta charakterystyki niebezpiecznego preparatu Propan-Butan – LPG. BP Polska Sp. z o.o. 31-358 Kraków, ul. Jasnogórska 1.
14. Prof. dr hab. inż. Kazimierz Lejda, mgr inż. Paweł Wojewoda: Wodór jako paliwo w pojazdach samochodowych. Politechnika Rzeszowska. Zakład Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych.
15. Karta charakterystyki wodoru (http://omegaok.republika.pl/RATOWNICTWO%20CHEMICZNE_pliki/wodor.txt)