

Jan Kielin<sup>a)\*</sup>, Jacek Zboina<sup>a)</sup>, Grzegorz Bugaj<sup>b)</sup>, Jacek Zalech<sup>c)</sup>, Damian Bąk<sup>a)</sup>

<sup>a)</sup> *Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute / Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowy Instytut Badawczy*

<sup>b)</sup> *Central Institute for Labour Protection – National Research Institute (CIOP-PIB) / Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy*

<sup>c)</sup> *National Headquarters of the State Fire Service of Poland / Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej*

\* *Corresponding author / Autor korespondencyjny: jkielin@cnbop.pl*

## Rescue and Firefighting Operations During Incidents Involving Alternatively Powered Vehicles. Gas Propulsion

### Działania ratowniczo-gaśnicze podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z napędem alternatywnym. Napędy gazowe

#### ABSTRACT

**Purpose:** The purpose of this article is to present the most important information and conclusions about gas-powered motor vehicles and the associated risks during fires and local emergencies. An additional area of consideration for the article's authors is the challenges that emergency services may encounter during rescue and firefighting operations involving such vehicles.

**Introduction:** Technological advances in propulsion systems used in vehicles and machinery pose a variety of challenges for fire protection. It results in the evolution of known threats and the emergence of new ones. Among other things, these developments have a significant impact on the technologies of rescue operations during fires and traffic accidents involving vehicles with different propulsion systems (increasingly using gaseous fuels). Equally important is ensuring fire safety when operating such vehicles.

**Methodology:** On the basis of a review and analysis of the literature on the subject, as well as available research results, conclusions have been formulated regarding the fire safety of gas-powered vehicles. Aspects relevant to conducting rescue and firefighting operations involving such vehicles were taken into account.

**Conclusions:** Necessary measures to improve fire protection, including the conduct of effective rescue and firefighting operations during incidents involving alternatively powered vehicles include:

1. Keeping as accurate a record as possible of fires and local emergencies involving the vehicles in question.
2. Urgently developed and updated educational materials that allow training, both for the rescuers and commanders of KSRG units, in blended learning mode, and systematically conducted such training.  
An example of this is the educational platform prepared by CNBOP-PIB in 2009 for OSP rescuers (rescue operations) and rural residents (handling emergency situations). The platform is still in place today, and although it needs updating, it has been used successfully for many years for training and professional development of a wide range of the rescuers.
3. A rescue database of vehicles involved in incidents urgently prepared and made available to the rescuers of firefighting units that are part of the KSRG. Such a base should be established immediately or be available on terms convenient to the rescue units (such as CRS or ERG).

**Keywords:** alternative propulsion, CNG, LNG, methane, LPG, ethane, propane, methanol, fuel cells, emergency cards, fire safety

**Type of article:** review article

---

**Received:** 28.04.2023; **Reviewed:** 11.05.2023; **Accepted:** 11.05.2023;

Authors' ORCID IDs: J. Kielin – 0000-0002-3506-5424; J. Zboina – 0000-0002-9436-5830; G. Bugaj – 0000-0003-1650-023X; J. Zalech – 0000-0001-7948-2812; D. Bąk – 0000-0002-2549-3855;

Percentage contribution: J. Kielin – 30%; J. Zboina – 20%; G. Bugaj – 20%; J. Zalech – 15%; D. Bąk – 15%;

**Please cite as:** SFT Vol. 61 Issue 1, 2023, pp. 6–31, <https://doi.org/10.12845/sft.61.1.2023.1>;

This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

---

#### ABSTRAKT

**Cel:** Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie najważniejszych informacji i wniosków dotyczących pojazdów mechanicznych z napędami gazowymi oraz związanego z nimi ryzyka podczas pożarów i miejscowych zagrożeń. Dodatkowym obszarem rozważań autorów artykułu są wyzwania, na jakie mogą napotkać służby ratownicze podczas działań ratowniczo-gaśniczych z udziałem takich pojazdów.

**Wprowadzenie:** Postęp technologiczny w zakresie napędów stosowanych w pojazdach i maszynach stawia przed ochroną przeciwpożarową różnorodne wyzwania. Skutkuje ewolucją znanych zagrożeń i powstawaniem nowych. Rozwój ten ma między innymi istotny wpływ na technologie działań ratowniczych podczas pożarów i wypadków komunikacyjnych, w których uczestniczą pojazdy o różnych napędach (coraz częściej na paliwa gazowe). Równie ważną kwestią jest zapewnienie bezpieczeństwa pożarowego podczas eksploatacji takich pojazdów.

**Metodologia:** Na podstawie przeglądu i analizy literatury przedmiotu, a także dostępnych wyników badań sformułowano wnioski w zakresie bezpieczeństwa pożarowego pojazdów o napędach gazowych. Uwzględniono przy tym aspekty istotne z punktu widzenia prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych z udziałem takich pojazdów.

**Wnioski:** Do niezbędnych działań na rzecz doskonalenia ochrony przeciwpożarowej, w tym prowadzenia skutecznych działań ratowniczo-gaśniczych podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z napędem alternatywnym należy:

1. Prowadzenie możliwie dokładnej ewidencji pożarów i miejscowych zagrożeń, w których uczestniczą omawiane pojazdy.
2. Pilne opracowanie i aktualizowanie materiałów edukacyjnych pozwalających na prowadzenie szkoleń, zarówno dla ratowników, jak i dowódców jednostek KSRG, w trybie *blended learning* oraz systematyczne prowadzenie takich szkoleń. Przykładem może tu być przygotowana przez CNBOP-PIB w 2009 roku platforma edukacyjna dla ratowników OSP (działania ratownicze) oraz mieszkańców terenów wiejskich (postępowanie w sytuacjach kryzysowych). Platforma ta funkcjonuje do dziś i choć wymaga aktualizacji, przez wiele lat była z powodzeniem wykorzystywana do szkolenia i doskonalenia zawodowego szerokiej grupy ratowników.
3. Niezwłoczne przygotowanie i udostępnienie ratownikom jednostek straży pożarnych wchodzących w skład KSRG bazy danych ratowniczych dotyczących pojazdów biorących udział w zdarzeniach. Baza taka powinna jak najszybciej powstać lub być dostępna na warunkach dogodnych dla jednostek ratowniczych (jak CRS czy ERG).

**Słowa kluczowe:** napędy alternatywne, CNG, LNG, metan, LPG, etan, propan, metanol, ogniwa paliwowe, karty ratownicze, bezpieczeństwo pożarowe

**Typ artykułu:** artykuł przeglądowy

**Przyjęty:** 28.04.2023; **Zrecenzowany:** 11.05.2023; **Zaakceptowany:** 11.05.2023;

Identyfikator ORCID autorów: J. Kielin – 0000-0002-3506-5424; J. Zboina – 0000-0002-9436-5830; G. Bugaj – 0000-0003-1650-023X; J. Zalech – 0000-0001-7948-2812; D. Bąk – 0000-0002-2549-3855;

Procentowy wkład merytoryczny: J. Kielin – 30%; J. Zboina – 20%; G. Bugaj – 20%; J. Zalech – 15%; D. Bąk – 15%;

**Proszę cytować:** SFT Vol. 61 Issue 1, 2023, pp. 6–31, <https://doi.org/10.12845/sft.61.1.2023.1>;

Artykuł udostępniany na licencji CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

## Introduction

Vehicles powered by natural gas (CNG, LNG) or liquefied petroleum gas/autogas (LPG) have been in use for a long time. According to the *Obserwator Logistyczny* [1] portal, two and a half million vehicles in Poland are equipped with LNG installation. It is widely believed that the potential dangers of using such cars have already been well understood. However, the authors are not convinced about this thesis. After all, it should be borne in mind that a severe accident of a truck or bus powered by liquefied or compressed natural gas can happen not only in a large city, but also in a small town far from a major metropolitan area. It can be assumed that in such a case the first rescue operations will be undertaken by the nearest OSP unit, and the effectiveness of the entire action, as well as the safety of KSRG rescuers, will be determined by the knowledge, skills and experience of the leader of rescue operations of this very unit.

This article, which expands on the work entitled *Rescue and Firefighting Operations During Incidents Involving Alternatively Powered Vehicles. Electric Vehicles* [2], aims, among other things, to provide the rescuers with practical knowledge to help them carry out rescue operations during incidents (such as accidents and fires) involving vehicles with alternative propulsion systems – particularly gas propulsion systems. The abbreviations and definitions used in this article have already been presented in the work mentioned above [2]. At the end of the article is their supplement.

## Wprowadzenie

Pojazdy napędzane gazem ziemnym (CNG, LNG) lub gazem płynnym/autogazem (LPG) są użytkowane już od dawna. Według danych portalu *Obserwator Logistyczny* [1] dwa i pół miliona pojazdów w Polsce wyposażonych jest w instalację LNG. W powszechnej opinii potencjalne zagrożenia związane z użytkowaniem takich samochodów zostały już dobrze poznane. Autorzy nie są jednak co do tej tezy przekonani. Należy mieć bowiem na uwadze, że ciężki wypadek samochodu ciężarowego lub autobusu napędzanego skroplonym lub sprężonym gazem ziemnym może zdarzyć się nie tylko w dużym mieście, ale także w niewielkiej miejscowości, oddalonej od większej aglomeracji. Można założyć, że w takim przypadku pierwsze działania ratownicze podejmie najbliższa jednostka OSP, a o skuteczności całej akcji, a także o bezpieczeństwie ratowników KSRG, zadecydują wiedza, umiejętności i doświadczenie kierującego działaniami ratowniczymi właśnie tej jednostki.

Niniejszy artykuł, będący rozwinięciem pracy pt. *Działania ratowniczo-gaśnicze podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z napędem alternatywnym. Pojazdy elektryczne* [2], ma na celu m.in. dostarczenie ratownikom praktycznej wiedzy pomocnej w prowadzeniu działań ratowniczych podczas zdarzeń (takich jak wypadki i pożary) z udziałem pojazdów, w których zastosowane są napędy alternatywne – w szczególności napędy gazowe. Skróty oraz definicje używane w tym artykule zostały już przedstawione we wspomnianej wyżej pracy [2]. Na końcu artykułu znajduje się ich uzupełnienie.

Due to the volume of the subject under review, the authors intentionally omitted the topic of hydrogen propulsion. This topic will be the subject of a separate publication, reported in the journal "Safety & Fire Technology."

Ze względu na objętość analizowanej tematyki autorzy celowo pominieli wątek napędów na wodór. Temat ten będzie przedmiotem odrębnej publikacji, zgłoszonej do czasopisma „Safety & Fire Technology”.

### Types of used gas alternative propulsion systems, basic dangers of their use, physicochemical properties, rules of conduct during rescue and firefighting operations

### Rodzaje stosowanych gazowych napędów alternatywnych, podstawowe zagrożenia wynikające z ich stosowania, właściwości fizykochemiczne, zasady postępowania podczas działań ratowniczo-gaśniczych

#### Drives powered by natural gas (CNG/LNG)

Natural gas is a mixture of methane and ethane with a blend ratio of 85:15. Its synonyms are CNG (compressed natural gas) or LNG (liquefied natural gas). Natural gas drives are most often designed as bivalent drives. This means that vehicles with such propulsion usually have an engine that runs on two different fuels: gasoline and natural gas (a mixture of methane and ethane). Bus engines, on the other hand, are often powered solely by natural gas (monovalent drives), with the majority of natural gas-powered vehicles being trucks. Passenger cars can also be equipped with monovalent natural gas technology.

Trucks powered by cryogenic liquid methane (LNG) have gained major importance in the heavy road transport sector in the recent years. About 12,000 LNG-powered trucks are currently registered in Europe.

#### Napędy zasilane gazem ziemnym (CNG/LNG)

Gaz ziemny jest mieszaniną metanu i etanu o proporcji mieszanki 85:15. Jego synonimami są CNG (sprężony gaz ziemny) lub LNG (skroplony gaz ziemny). Napędy na gaz ziemny są najczęściej projektowane jako napędy biwalentne. Oznacza to, że pojazdy o takim napędzie mają zazwyczaj silnik zasilany dwoma różnymi paliwami: benzyną i gazem ziemnym (mieszaniną metanu i etanu). Natomiast silniki autobusów często zasilane są wyłącznie gazem ziemnym (napędy monowalentne), przy czym większość pojazdów napędzanych gazem ziemnym to pojazdy ciężarowe. Samochody osobowe również można wyposażyć w technologię gazu ziemnego z napędem monowalentnym.

Samochody ciężarowe zasilane kriogenicznym ciekłym metanem (LNG) zyskały w ostatnich latach duże znaczenie w sektorze ciężkiego transportu drogowego. W Europie zarejestrowanych jest aktualnie ok. 12 tys. samochodów ciężarowych zasilanych LNG.

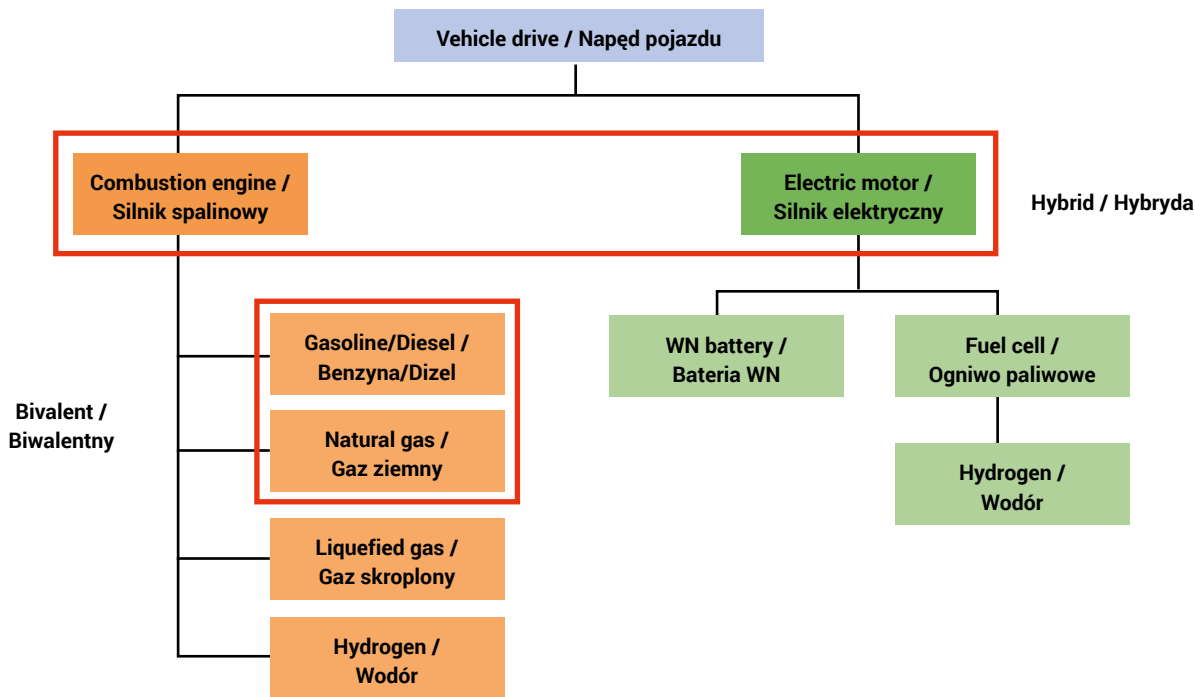


Figure 1. Classification of motor vehicles by propulsion system  
Rycina 1. Klasyfikacja pojazdów samochodowych według napędów

Source: Own elaboration based on: J. Heck, *Alternative Fahrzeugantriebe im Feuerwehreinsatz*, Kohlhammer 2018 [3].  
Źródło: Opracowanie własne na podstawie: J. Heck, *Alternative Fahrzeugantriebe im Feuerwehreinsatz*, Kohlhammer 2018 [3].

### Properties of CNG

Compressed CNG natural gas contains mainly methane. It is colourless and odourless. Its lower explosive limit is 5%, its upper limit is 15%. The density of the gas at 1013 hPa is equal to 72 g/dm<sup>3</sup>. The flash point of methane is about -188°C, the auto-ignition temperature is 580°C.

### Advantages of CNG as a fuel:

1. Low emissions due to the low percentage of carbon (the main component is methane, CH<sub>4</sub>).
2. Combustion is slower, the engine runs quieter than one powered by gasoline or diesel.
3. If the cylinder or system is unsealed, the gas quickly disperses (it does not spill like gasoline and does not sit near the ground like LPG).
4. Fully airtight refuelling and storage system, no gas vapour emissions into the atmosphere.
5. Cars with a factory-installed CNG system are available for sale.
6. The highest calorific value among motor fuels (for CNG: 50.05 MJ/kg, for gasoline: 45 MJ/kg). The installation for the car is selected by the manufacturer, adapting the engine controller to this type of power supply; cylinders with significant capacity are usually located under the chassis, not limiting the functionality of the vehicle.
7. Significant fuel savings, even for a compression-ignition engine.
8. It is not manufactured from petroleum.
9. No impact of the refuelling station on the quality of the gas – it comes directly from the city's medium-pressure pipeline, not from the station's tanks.
10. Natural gas is delivered to the station via the city's gas pipeline, and there is no need to transport CNG by tanker trucks.

### Właściwości CNG

Sprężony gaz ziemny CNG zawiera głównie metan. Jest bezbarwny i bezzapachowy. Jego dolna granica wybuchowości wynosi 5%, górna – 15%. Gęstość gazu przy ciśnieniu 1013 hPa jest równa 72 g/dm<sup>3</sup>. Temperatura zapłonu metanu wynosi ok. -188°C, temperatura samozapłonu – 580°C.

### Zalety CNG jako paliwa:

1. Niska emisja zanieczyszczeń ze względu na małą zawartość procentową węgla (główny składnik to metan, CH<sub>4</sub>).
2. Spalanie przebiega wolniej, silnik pracuje ciszej niż ten zasilany benzyną czy olejem napędowym.
3. W razie rozszczelnienia butli lub instalacji gaz szybko ulega rozproszeniu (nie rozlewa się jak benzyna i nie zalega przy ziemi jak LPG).
4. W pełni hermetyczna instalacja tankowania oraz składowania, brak emisji oparów gazu do atmosfery.
5. W sprzedaży dostępne są auta z zamontowaną fabrycznie instalacją CNG. Instalację do auta dobiera producent, dostosowując do tego rodzaju zasilania sterownik silnika; butle o znacznej pojemności zwykle są umieszczone pod podwoziem, nie ograniczając funkcjonalności pojazdu.
6. Najwyższa wartość opałowa wśród paliw silnikowych (dla CNG: 50,05 MJ/kg, dla benzyny: 45 MJ/kg).
7. Znaczna oszczędność na paliwie, nawet dla silnika z zapłonem samoczynnym.
8. Nie jest produkowany z ropy naftowej.
9. Brak wpływu stacji tankowania na jakość gazu – pochodzi on bezpośrednio z miejskiego gazociągu średniego ciśnienia, a nie ze zbiorników danej stacji.
10. Gaz ziemny jest dostarczany do stacji za pomocą gazociągu miejskiego, nie ma konieczności transportu CNG autocysternami.



**Figure 2.** Compressed gas cylinders for CNG propulsion  
**Rycina 2.** Butle ze sprężonym gazem dla napędu CNG

**Source / Źródło:** Landesschule und Technische Einrichtung für Brand- und Katastrophenschutz, *Alternative Antriebe für Kraftfahrzeuge. Eine Broschüre für die Feuerwehren Brandenburgs*, 2021 [4, p. 4].

In its original state, natural gas is colourless and odourless. For further distribution, natural gas is odorized (admixture of odorant).

Natural gas is stored in pressurized gas tanks (cylinders) made of stainless steel or plastic (composites) with a permissible working pressure of up to 250 bar. The cylinders are installed on the chassis and must be equipped with safety valves. All pressure lines are made of stainless steel.

### CNG and LNG refuelling systems

The illustrative diagrams of LNG and LNG – CNG refuelling stations with detailed descriptions of its components are available at [5].

### CNG tanks

The car's tank has a pressure of 20 MPa when fully fuelled. While driving the car, it steadily decreases in proportion to gas consumption. The tank's fittings provide pressure control inside the tank, the gas is discharged safely, gradually to the outside. The flame will decrease with the loss of gas. It should be borne in mind that this will be a process that causes the tank to cool down, since the reduction in pressure from 20 to 0.1 MPa is accompanied by a sharp drop in gas temperature. Such a low fuel temperature causes the small-diameter holes to become covered with a layer of ice and prevents further escape of the gas until the ice plug melts. It will build up steadily until the tank is completely emptied and the pressure inside is equalized with atmospheric pressure [6].

CNG refuelling involves steps similar to those when refuelling liquid fuels. Therefore, the same safety rules should be applied as when refuelling liquid fuels. Methane is pumped into the dispenser hose, through which it enters the vehicle connection and the vehicle tank, but only after the gun is properly connected with the vehicle. If this connection is leaking, refuelling will be stopped immediately. CNG dispensers – like gasoline dispensers – are equipped with breakaway connectors that should work if the dispenser's connection to the car is unsealed. The use of such a valve eliminates the dangerous repercussions of, for example, driving away a car connected to the distributor.

The distributors, are always placed in a protective enclosure, which protects them from being invaded by vehicles.

### Vehicles equipped with CNG system

Features of a CNG-equipped vehicle include an additional CNG connection spigot next to the fuel filler and two fuel gauges.

According to ECE-R 110 regulation [7], each tank must be equipped with the following safety devices (as a rule, one tank valve combines all safety devices):

1. Solenoid shut-off valve.
2. Flow restrictor.

Ad. 1. The solenoid shut-off valve is opened by the engine control unit during natural gas operation. If no current is flowing,

W swoim pierwotnym stanie gaz ziemny jest bezbarwny i bezwonny. Do dalszej dystrybucji gaz ziemny jest nawaniany (domieszka substancji zapachowej).

Gaz ziemny jest przechowywany w ciśnieniowych zbiornikach gazu (butlach) wykonanych ze stali nierdzewnej lub z tworzywa sztucznego (kompozyty) o dopuszczalnym ciśnieniu roboczym do 250 barów. Butle są zainstalowane na podwoziu i muszą być wyposażone w zawory bezpieczeństwa. Wszystkie przewody ciśnieniowe są wykonane ze stali nierdzewnej.

### Instalacje służące do tankowania CNG i LNG

Poglądowe schematy stacji tankowania LNG oraz LNG i CNG wraz ze szczegółowymi opisami jego elementów są dostępne na stronie internetowej [5].

### Zbiorniki CNG

W zbiorniku samochodu przy pełnym zatankowaniu panuje ciśnienie 20 MPa. Podczas jazdy samochodem systematycznie spada, proporcjonalnie do zużycia gazu. Osprzęt zbiornika zapewnia kontrolę nad ciśnieniem w jego wnętrzu, gaz odprowadzany jest bezpiecznie, stopniowo na zewnątrz. Płomień będzie mała wraz z ubytkiem gazu. Należy pamiętać, że będzie to proces powodujący studzenie zbiornika, gdyż redukcji ciśnienia z 20 do 0,1 MPa towarzyszy gwałtowny spadek temperatury gazu. Tak niska temperatura paliwa powoduje, że otwory o małych średnicach pokrywają się warstwą lodu i uniemożliwiają dalsze ujście gazu do czasu roztopienia korka lodowego. Będzie się on tworzył systematycznie, aż do całkowitego opróżnienia zbiornika i wyrównania ciśnienia w jego wnętrzu z ciśnieniem atmosferycznym [6].

Tankowanie CNG polega na wykonywaniu czynności podobnych do tych podczas tankowania paliw płynnych. Należy zatem stosować takie same zasady bezpieczeństwa jak podczas tankowania paliw płynnych. Metan jest pompowany do węży dystrybutora, poprzez który dostaje się do przyłącza samochodowego i zbiornika pojazdu, lecz tylko po prawidłowym połączeniu pistoletu z pojazdem. W przypadku nieszczelności tego połączenia tankowanie zostanie natychmiast przerwane. Dystrybutory CNG – podobnie jak dystrybutory benzyn – wyposażane są w złącza zrywne, które powinny zadziałać w przypadku rozszczelnienia połączenia dystrybutora z samochodem. Zastosowanie takiego zaworu eliminuje niebezpieczne następstwa, jakie może nieść ze sobą np. odjechanie samochodu połączonego z dystrybutorem.

Dystrybutory, umieszczane są także w obudowie ochronnej, co zabezpieczana przed najechnaniem na nie przez pojazdy.

### Pojazdy wyposażone w instalację CNG

Cechy pojazdu wyposażonego w instalację CNG obejmują dodatkowy króciec przyłączeniowej instalacji CNG obok wlewu paliwa oraz dwa wskaźniki paliwa.

Zgodnie z regulacją ECE-R 110 [7] każdy zbiornik musi być wyposażony w następujące urządzenia zabezpieczające (z reguły jeden zawór zbiornika łączy w sobie wszystkie urządzenia zabezpieczające):

1. Elektromagnetyczny zawór odcinający.
2. Ogranicznik przepływu.

Ad. 1. Elektromagnetyczny zawór odcinający jest otwierany przez jednostkę sterującą silnika podczas pracy na gazie

it closes automatically. During refuelling, it opens under the pressure of pumped natural gas (CNG).

It is opened by the engine control unit when running on natural gas. The valve closes:

- while the engine is stopped;
- in gasoline mode;
- when 12 V power supply is disconnected (not in concentrations > 20% DGW);
- by the airbag control unit when an accident is detected with airbag and/or belt pretensioner triggering (for factory-built vehicles only). To protect solenoid valves in the event of a side impact, they are usually placed in a protective cage.

Ad. 2. If the natural gas line or gas pressure regulator is damaged in an accident, the flow restrictor inhibits uncontrolled gas outflow. It is located in the gas tank connection. If the natural gas tanks are fully filled, the process takes up to several hours. It can be interrupted by operating a manual shut-off valve (if it can be done safely). This does not disable any safety devices.

The thermal fuse (TPRD)<sup>1</sup> can be designed as a fuse liner or as a glass plate. However, the common feature of both solutions is that they are triggered at  $100^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$  and thus open a hole for pressure reduction. If an ignition source is present, escaping natural gas is ignited and jet combustion (flare) occurs. This prevents the spread of natural gas that would occur if the tank were to burst. The process can no longer be stopped. Natural gas flows out until the tank is completely empty. This process can take up to 90 seconds for each fully filled natural gas tank [3, p. 17]. Importantly, natural gas tank thermal fuses can react with a delay. This time cannot be precisely determined.

<sup>1</sup> TPRD – thermal pressure relief device.

ziemnym. Jeżeli nie płynie prąd, zamyka się on automatycznie. Podczas tankowania otwiera się pod wpływem ciśnienia tłoczego gazu ziemnego (CNG).

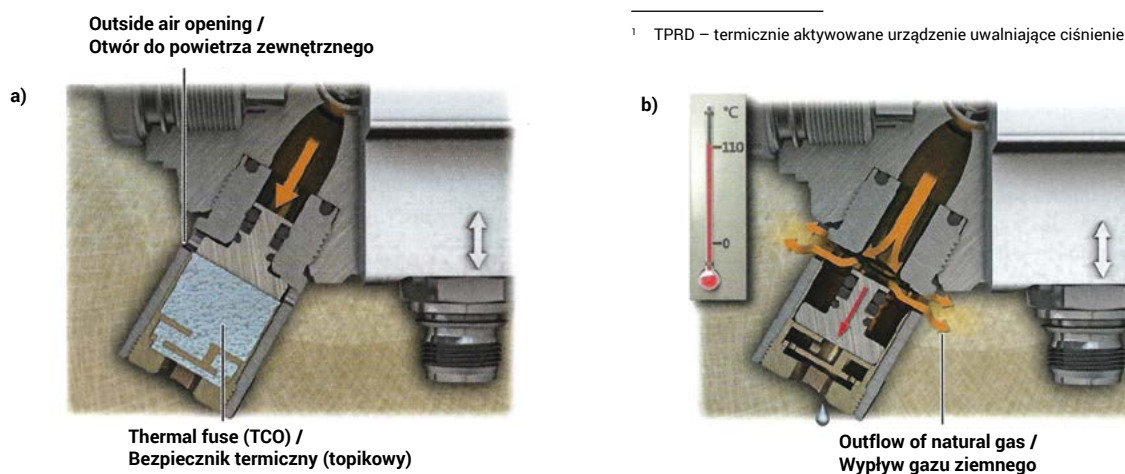
Jest on otwierany przez jednostkę sterującą silnika podczas pracy na gazie ziemnym. Zawór zamyka się:

- podczas postoju silnika;
- w benzynowym trybie pracy;
- po odłączeniu zasilania 12 V (nie w stężeniach > 20% DGW);
- przez jednostkę sterującą poduszkami powietrznymi po wykryciu wypadku z wyzwoleniem poduszki powietrznej i/lub napinacza pasa (tylko w przypadku pojazdów w wykonaniu fabrycznym). W celu zabezpieczenia zaworów elektromagnetycznych na wypadek uderzenia bocznego zazwyczaj umieszcza się je w klatce ochronnej.

Ad. 2. Jeśli w wyniku wypadku uszkodzony zostanie przewód gazu ziemnego lub reduktor ciśnienia gazu, ogranicznik przepływu hamuje niekontrolowany wypływ gazu. Znajduje się on w przyłączy zbiornika gazu. Jeśli zbiorniki na gaz ziemny są całkowicie napełnione, proces ten trwa nawet kilka godzin. Można go przerwać poprzez uruchomienie ręcznego zaworu odcinającego (jeśli można to zrobić bezpiecznie). Nie powoduje to wyłączenia żadnych urządzeń zabezpieczających.

Bezpiecznik termiczny (TPRD)<sup>1</sup> może być zaprojektowany jako wkładka topikowa lub jako płytkę szklaną. Wspólną cechą obu rozwiązań jest jednak to, że są one wyzwolane w temperaturze  $100^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$  i w ten sposób otwierają otwór do redukcji ciśnienia. W przypadku obecności źródła zapłonu, ulatniający się gaz ziemny ulega zapaleniu i dochodzi do spalania strumieniowego (pochodnia). Zapobiega to rozprzestrzenianiu się gazu ziemnego, do którego doszłoby w przypadku rozerwania zbiornika. Procesu nie da się już zatrzymać. Gaz ziemny wypływa na zewnątrz aż do całkowitego opróżnienia zbiornika. Proces ten może trwać do 90 sekund dla każdego całkowicie napełnionego zbiornika gazu ziemnego [3, s. 17]. Co ważne, bezpieczniki termiczne zbiorników na gaz ziemny mogą reagować z opóźnieniem. Czasu tego nie da się precyzyjnie określić.

<sup>1</sup> TPRD – termicznie aktywowane urządzenie uwalniające ciśnienie.



**Figure 3.** Natural gas cylinder: a) closed thermal fuse of natural gas cylinder valve; b) triggered thermal protection of natural gas cylinder valve

**Rycina 3.** Butla z gazem ziemnym: a) zamknięty bezpiecznik termiczny zaworu butli z gazem ziemnym; b) wyzwolone zabezpieczenie termiczne zaworu butli z gazem ziemnym

**Source / Źródło:** T. Hellmann, U. Cimolino, *Alternative Fahrzeugantriebe*, Ecomed Sicherheit, 2022 [8, p. 84–85].

### Manual shut-off valve

If there is a leak, it is still possible to close the valve with a manual shut-off valve, if this can be done safely. Each gas tank must be separately closed. It may be necessary to lift the vehicle and remove the covers to access the relevant valves. Their technical design varies from manufacturer to manufacturer, as the shut-off valve itself is not standardized. Therefore, other tools may be needed in this case. Necessary information on items and required tools can be found in the rescue datasheets. A handwheel can also be used.

### Ręczny zawór odcinający

Jeśli wystąpiła nieszczelność, istnieje jeszcze możliwość zamknięcia zaworu za pomocą ręcznego zaworu odcinającego, o ile da się to przeprowadzić bezpiecznie. Każdy zbiornik gazu musi być oddzielnie zamknięty. Konieczne może okazać się podniesienie pojazdu i zdjęcie osłon w celu uzyskania dostępu do odpowiednich zaworów. Ich konstrukcja techniczna różni się w zależności od producenta, ponieważ sam zawór odcinający nie jest znormalizowany. Dlatego w tym przypadku mogą być potrzebne inne narzędzia. Niezbędne informacje o pozycji i wymaganych narzędziach można znaleźć w kartach katalogowych ratownictwa. Można użyć również kółka ręcznego.

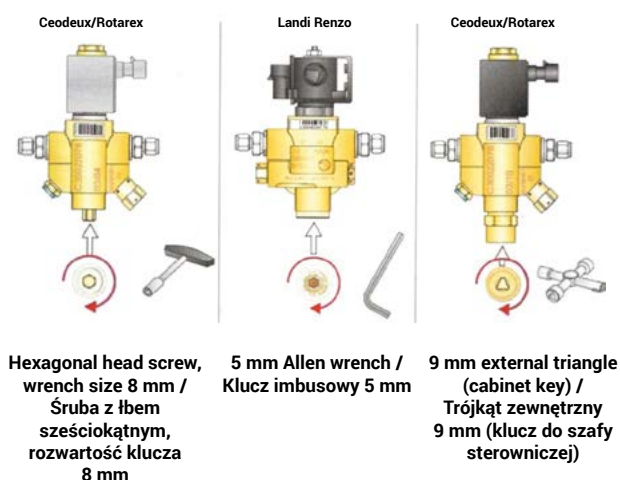


Figure 4. Possible key designs for various natural gas tank valves

Rycina 4. Możliwe wykonania kluczy do różnych zaworów zbiornikowych na gaz ziemny

Source / Źródło: J. Heck, *Alternative Fahrzeugantriebe im Feuerwehreinsatz*, Kohlhammer [3, p. 52].

### Physical and chemical properties of LNG [9]:

1. Liquefied natural gas (LNG) consists of 90% methane and is liquefied by cooling to  $-162^{\circ}\text{C}$ .
2. Cooling to  $-162^{\circ}\text{C}$  reduces the volume of LNG by a factor of 600, i.e. one litre of LNG corresponds to 600 litres of gas at  $0^{\circ}\text{C}$ .
3. Colourless and odourless (odour is not technically added).
4. It displaces oxygen and has a suffocating effect.
5. It does not dissolve in water and is lighter than water.
6. It is not toxic, caustic or corrosive.
7. Expansion factor of 600 (1 litre of LNG = 600 litres of natural gas at  $0^{\circ}\text{C}$ ).
8. Density  $0.42\text{--}0.52\text{ g/ml}$   $\rightarrow$  1 litre LNG = 0.5 kg LNG.
9. Flash point of  $595^{\circ}\text{C}$ .
10. Explosive limits: Vd – 4.1% by volume.; Vg – 16.5% by volume.
11. Burning LNG is faintly visible and can be identified at most by a flicker in the air (comparable to heat flicker). Further away, the flames become more yellow as the higher hydrocarbons begin to burn.

### Właściwości fizykochemiczne LNG [9]:

1. Skroplony gaz ziemny (LNG) składa się w 90% z metanu i jest skraplany poprzez schłodzenie do temperatury  $-162^{\circ}\text{C}$ .
2. Schłodzenie do temperatury  $-162^{\circ}\text{C}$  zmniejsza objętość LNG o współczynnik 600, tj. jeden litr LNG odpowiada 600 litrom gazu w temperaturze  $0^{\circ}\text{C}$ .
3. Bezbarwny i bezwonny (zapach nie jest dodawany technicznie).
4. Wypiera tlen i ma działanie duszące.
5. Nie rozpuszcza się w wodzie, jest lżejszy od wody.
6. Nie jest toksyczny, nie jest żrący ani nie powoduje korozji.
7. Współczynnik rozszerzalności 600 (1 litr LNG = 600 litrów gazu ziemnego w temperaturze  $0^{\circ}\text{C}$ ).
8. Gęstość  $0,42\text{--}0,52\text{ g/ml}$   $\rightarrow$  1 litr LNG = 0,5 kg LNG.
9. Temperatura zapłonu  $595^{\circ}\text{C}$ .
10. Granice wybuchowości: Vd – 4,1% objętości.; Vg – 16,5% objętości.
11. Palący się LNG jest słabo widoczny i można go rozpoznać co najwyżej po migotaniu w powietrzu (porównywalnym do migotania ciepła). W dalszej odległości płomienie

12. Burning methane is characterized by high thermal radiation (about 60% higher than that of diesel fuel).
13. LNG is highly flammable and explosive.
14. Hazardous areas result from the amount of LNG are gas leakage, threatening BLEVE or fire.

#### Identification features of LNG-fuelled vehicles

Natural gas vehicles can be recognized by the following characteristics, among others:

1. Marking of the vehicle in accordance with ISO 17840 – currently in Poland such marking is not required by law.
2. Fuel tank design (cylindrical tank made of stainless steel):
  - filling connection on the rear wall of the tank;
  - pressure indicator;
  - LNG marking.

stają się bardziej żółte, ponieważ zaczynają się palić wyższe węglowodory.

12. Spalany metan charakteryzuje się wysokim promieniowaniem cieplnym (ok. 60% wyższym niż w przypadku oleju napędowego).
13. LNG jest wysoce łatwopalny i wybuchowy.
14. Obszary niebezpieczne wynikają z ilości LNG to wyciek gazu, grożący BLEVE lub pożar.

#### Cechy identyfikacyjne pojazdów napędzanych LNG

Pojazdy zasilane gazem ziemnym można rozpoznać m.in. na podstawie następujących charakterystycznych cech:

1. Oznaczenie pojazdu zgodnie z normą ISO 17840 – aktualnie w Polsce takie oznakowanie nie jest wymagane przez prawo.
2. Konstrukcja zbiornika paliwa (zbiornik cylindryczny wykonany ze stali nierdzewnej):
  - przyłącze do napełniania na tylnej ścianie zbiornika;
  - wskaźnik ciśnienia;
  - oznaczenie znakiem LNG.

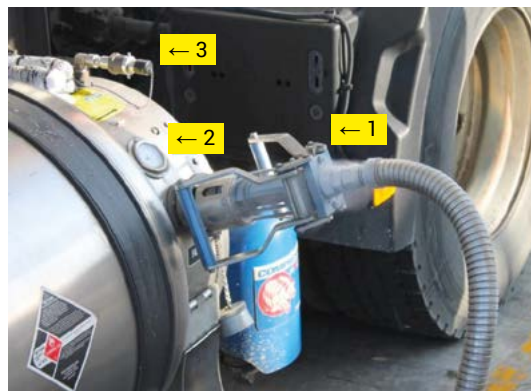


Figure 5. LNG refueling

Rycina 5. Tankowanie LNG

Source / Źródło: RETEX – Wymiana doświadczeń CTIF, Wypadek z udziałem samochodu ciężarowego napędzanego LNG [10, p. 18].

Refuelling is done by connecting the nozzle, which in the above figure is marked as 1. The connector must be very tight. This is because leaks can lead to icing. Depending on the type of dispenser, it may be necessary to lower the tank pressure before refuelling (sometimes below 10 bar). The pressure is indicated on the pressure gauge marked as 2 in the figure. The vent valve is marked as 3.

#### LNG tank

LNG is stored in double-walled insulated vehicle tanks at a pressure of about 3 to 16 bars. At filling stations, the pressure of stored LNG ranges from 1.5 to about 10 bar. There are two phases in an LNG tank: a liquid phase and a gas phase. The gas phase must be present for the liquid phase to expand with

Tankowanie odbywa się poprzez podłączenie dyszy, którą w powyższej rycinie oznaczono 1. Złącze musi być bardzo szczelne. Nieszczelności mogą bowiem prowadzić do oblodzenia. W zależności od rodzaju dystrybutora konieczne może być obniżenie ciśnienia w zbiorniku przed zatankowaniem (czasami poniżej 10 bar). Ciśnienie jest wskazywane na manometrze oznaczonym na rycinie jako 2. Zawór odpowietrzający oznaczono jako 3.

#### Zbiornik LNG

LNG jest przechowywany w dwupłaszczowych izolowanych zbiornikach samochodowych pod ciśnieniem od ok. 3 do 16 barów. Na stacjach napełniania ciśnienie przechowywanego LNG wynosi od 1,5 do ok. 10 barów. W zbiorniku LNG występują dwie fazy: ciekła i faza gazowa. Faza gazowa musi być obecna,



increasing temperature. When the temperature of the liquid phase rises, the volume increase is very limited and there is an increase in tank pressure.

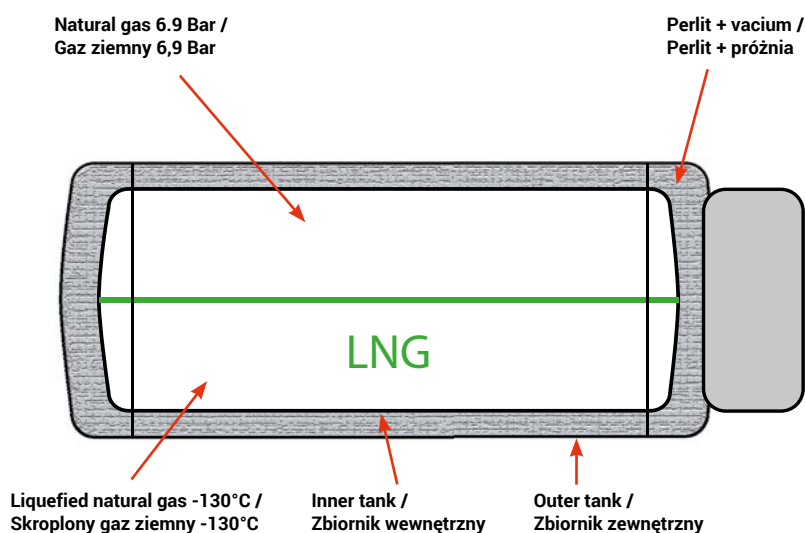
The vehicle's LNG tank also has a coolant circuit connected to it. If it is damaged, it can cause a large leak. The loss of the coolant is indicated on indicators in the driver's cabin. The pressure in the coolant circuit is about 1.5 bar.

LNG is stored in insulated double-walled containers. As a rule, a vacuum-insulated tank is used, in which the space between the inner and outer walls consists almost entirely of vacuum. In addition, the intermediate space is still filled with an insulating material – perlite, which limits the loss of insulation in case of vacuum loss. The inner tank as well as the pipes are made of stainless steel due to its resistance to cold. The external tank is often made of high-strength steel.

aby faza ciekła mogła się rozszerzać przy wzroście temperatury. Gdy temperatura fazy ciekłej wzrasta, wzrost objętości jest bardzo ograniczony i następuje wzrost ciśnienia w zbiorniku.

Zbiornik LNG w pojeździe posiada również połączony z nim obieg płynu chłodzącego. W przypadku jego uszkodzenia może spowodować duży wyciek. Utrata płynu chłodzącego jest sygnalizowana na wskaźnikach w kabinie kierowcy. Ciśnienie w obiegu płynu chłodzącego wynosi ok. 1,5 bara.

LNG jest przechowywany w izolowanych pojemnikach o podwójnych ścianach. Z reguły stosuje się zbiornik izolowany próżniowo, w którym przestrzeń między ścianą wewnętrzną a zewnętrzną składa się prawie w całości z próżni. Dodatkowo przestrzeń pośrednia jest jeszcze wypełniona materiałem izolacyjnym – perlitem, co ogranicza utratę izolacji w przypadku utraty próżni. Zbiornik wewnętrzny, jak i rury wykonane są ze stali nierdzewnej ze względu na jej odporność na zimno. Zbiornik zewnętrzny często wykonany jest ze stali o wysokiej wytrzymałości.



**Figure 6.** Cross-section of a double-walled LNG tank  
**Rycina 6.** Przekrój dwupłaszczowego zbiornika LNG

**Source/ Źródło:** RETEX – Wymiana doświadczeń CTIF, *Wypadek z udziałem samochodu ciężarowego napędzanego LNG* [10, p. 22].

The tank is filled to 90% of its volume. According to ADR guidelines, cryogenic tanks for liquefied, chilled and flammable gases are filled to such an extent that the compressible gas phase prevents the pressure increase and consequent rupture of the tank by the increase in volume of the liquid phase caused by the rising temperature. In addition, the incomplete filling of the tank with liquid phase prevents its release through the safety valve.

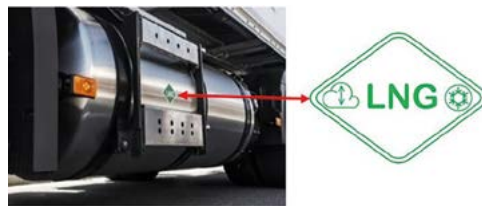
The tanks are protected from many external factors. One of them is the occurrence of a fire. Its source can be the installation itself, but also other equipment in the vehicle or fire sources outside the vehicle.

Zbiornik napełniany jest do 90% objętości. Zgodnie z wytycznymi ADR zbiorniki kriogeniczne dla gazów skroplonych, schłodzonych i palnych napełniane są w takim stopniu, że ściśliwa faza gazowa zapobiega wzrostowi ciśnienia, a w konsekwencji rozerwaniu zbiornika przez wzrost objętości fazy ciekłej, powodowany przez rosnącą temperaturę. Dodatkowo niecałkowite wypełnienie zbiornika fazą ciekłą zapobiega uwalnianiu jej przez zawór bezpieczeństwa.

Zbiorniki chronione są przed wieloma czynnikami zewnętrznymi. Jednym z nich jest wystąpienie pożaru. Jego źródło stanowić może sama instalacja, ale również inne urządzenia w pojeździe bądź źródła ognia znajdujące się poza nim.

“In the event of a fire in the engine compartment, insulation in the tank system should not allow the flames to directly affect the inner tank of LNG. As a result, it is likely that the vacuum insulation will unseal and the fuel will slowly start to heat up. The main safety valve will gradually vent excess pressure to the area above the roof of the bus, where combustion or the formation of a flammable methane-air mixture will occur. A similar situation occurred on 23 April 2010 during a test drive of a serial bus” [11]. Although the bus was completely burned during that accident and the tank lost its insulation, there was no explosion. The safety valve was not damaged and removed the evaporating gas from the tank.

„W przypadku wystąpienia pożaru w komorze silnika izolacja w układzie zbiorników nie powinna dopuścić do bezpośredniego oddziaływania płomieni na zbiornik wewnętrzny z LNG. W związku z tym prawdopodobnie rozszczelnieniu ulegnie izolacja próżniowa i paliwo zacznie się powoli ogrzewać. Główny zawór bezpieczeństwa będzie stopniowo upuszczał nadmiar ciśnienia do strefy nad dachem autobusu, gdzie nastąpi jego spalanie lub tworzenie palnej mieszaniny metanu z powietrzem. Do podobnej sytuacji doszło 23 kwietnia 2010 r. podczas jazdy testowej seryjnego autobusu” [11]. Choć podczas tamtej awarii autobus uległ całkowitemu spalaniu, a zbiornik utracił izolację, nie doszło do wybuchu. Zawór bezpieczeństwa nie został uszkodzony i usuwał parujący gaz ze zbiornika.



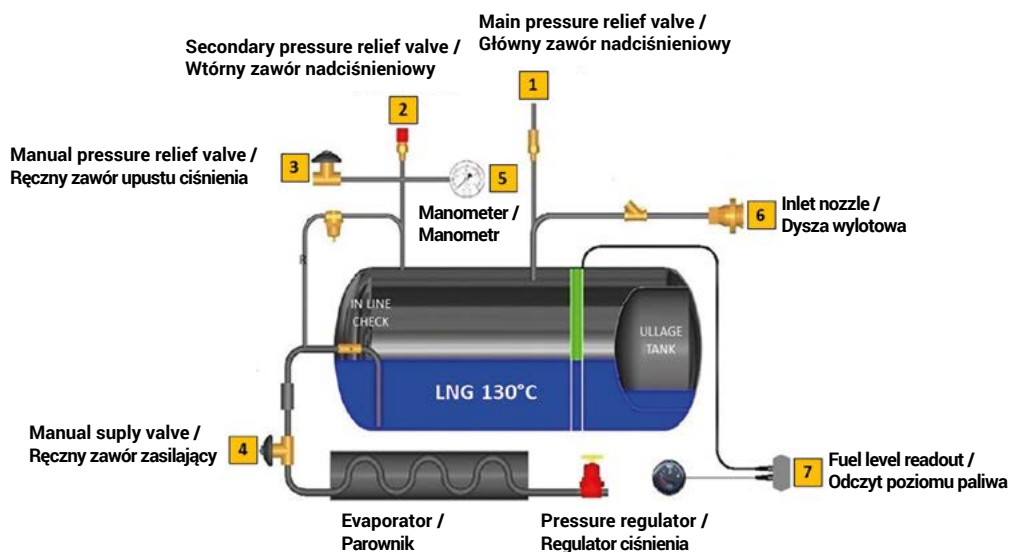
**Figure 7.** Cross-section of a double-walled LNG tank

**Rycina 7.** Zbiornik LNG w samochodzie ciężarowym i jego oznaczenie

**Source / Źródło:** Unfallhilfe & Bergen bei LNG-Fahrzeugen. Antworten auf häufig gestellte Fragen / FAQ (Frequently Asked Questions) [9].

Natural gas (CNG) tanks are more stable and heat-resistant than those dedicated to LNG. The figure below shows the components of the car's LNG system and the gas flow diagram.

Zbiorniki na gaz ziemny (CNG) są bardziej stabilne i odporne na działanie wysokich temperatur od tych dedykowanych LNG. Na poniższym rysunku przedstawiono elementy instalacji LNG w samochodzie i schemat przepływu gazu.



**Figure 8.** Components of LNG system in a car, gas flow diagram

**Rycina 8.** Elementy instalacji LNG w samochodzie, schemat przepływu gazu

**Source / Źródło:** RETEX – Wymiana doświadczeń CTIF, Wypadek z udziałem samochodu ciężarowego napędzanego LNG [10, p. 23].

### Proceedings during rescue and firefighting operations with LNG

In the event of a spill, LNG collects in the depressions in the area. The evaporating gas is colourless, but a mist sometimes appears at the site of evaporation caused by the cooling of water vapour in the air. Spilled LNG burns similarly to gasoline. In confined spaces and tunnels, evaporating natural gas collects near the ceiling. This can lead to an explosion if the gas reaches sufficient concentration and an ignition source appears. Depending on the location of the hole on the surface of the tank from which the LNG is leaking, some of the liquid phase may also escape, initially forming a liquid puddle that then evaporates.

Additional risks that do not arise with traditional fuels are the possibility of a jet fire if the tank is unsealed, and the occurrence of frostbite and cryogenic burns when liquefied gas comes into contact with the skin.

Since LNG increases in volume by as much as 600 times when it enters a gaseous state, damage to the tank's thermal shielding can lead to an explosion. However, this is a highly unlikely event due to the safety features and safety valves used.

Risks to the rescuers include:

1. Inhalation – the gas displaces oxygen from the air, so at too high a concentration it can cause suffocation, especially in confined spaces. Danger of lung damage from inhalation of very low temperature gas/air.
2. Skin contact – due to low temperatures, direct contact with LNG can cause frostbite.
3. Eye damage – contact with eyes may cause immediate serious injury.

When conducting reconnaissance of a hazardous materials incident involving a natural gas-powered vehicle, there should be used the information: obtained from the rescue card in the vehicle, taken from <https://kartyratownicze.pl>, or contained in applications available for smartphones, tablets or computers: Crash Recovery System, Euro RESCUE, Rescue Code and:

- turn off the engine/ignition (solenoid valve closes);
- check the battery disconnection (there is a risk of spark jumping);
- ensure that the firefighting current can be applied;
- keep potential sources of ignition (radios, cell phones, etc.) at a safe distance from the possible explosion cloud;
- in case of gas leakage and concentration in the explosive range of the gas-air mixture, the mixture (e.g. inside the vehicle) can be diluted with a fan;
- ventilate the interior of the vehicle – note: when opening the door, the light comes on (possible sparks)!
- carry out a measurement of the concentration of flammable gases (LEL – lower explosive limit) in the cavities in and around the vehicle;
- ventilate not only the interior of the vehicle, but also the recesses – fenders, engine compartment, as well as windows, drains, etc. in the place of operation. Gas can form an explosive mixture if it volatilizes (e.g. in cavities);
- do not extinguish the gas flame to prevent the appearance / spread of an explosive atmosphere, and also take into account that:
  - methane is lighter than air and burns completely;

### Postępowanie podczas działań ratowniczo-gaśniczych z LNG

W przypadku wycieku LNG zbiera się w zagłębieniach terenu. Parujący gaz jest bezbarwny, jednak w miejscu parowania pojawia się niekiedy mgła wywołana schłodzeniem pary wodnej znajdującej się w powietrzu. Rozlany LNG pali się podobnie jak benzyna. W pomieszczeniach zamkniętych i tunelach parujący gaz ziemny gromadzi się przy suficie. Może to doprowadzić do wybuchu, jeśli gaz osiągnie odpowiednie stężenie i pojawi się źródło zapłonu. W zależności od lokalizacji otworu na powierzchni zbiornika, z którego wycieka LNG, może wydostać się również część fazy ciekłej, z której początkowo tworzy się płynna kałuża, która następnie odparowuje.

Dodatkowe zagrożenia, które nie pojawiają się przy stosowaniu tradycyjnych paliw, to możliwość wystąpienia pożaru strumieniowego w przypadku rozszczelnienia zbiornika oraz występowanie odmrożeń i poparzeń kriogenicznych przy kontakcie skroplonego gazu ze skórą.

Ponieważ LNG, przechodząc w stan gazowy, zwiększa swoją objętość aż 600 razy, uszkodzenie termicznej osłony zbiornika może prowadzić do jego eksplozji. Jest to jednak zdarzenie bardzo mało prawdopodobne ze względu na stosowane zabezpieczenia i zawory bezpieczeństwa.

Zagrożenia dla ratowników obejmują:

1. Wdychanie – gaz wypiera tlen z powietrza, dlatego przy zbyt dużym stężeniu może spowodować uduszenie, zwłaszcza w zamkniętych pomieszczeniach. Niebezpieczeństwo uszkodzenia płuc w wyniku wdychania gazu/powietrza o bardzo niskiej temperaturze.
2. Kontakt ze skórą – ze względu na niskie temperatury, bezpośredni kontakt z LNG może powodować odmrożenia.
3. Uszkodzenie oczu – kontakt z oczami może spowodować natychmiastowe poważne obrażenia.

Podczas przeprowadzania rozpoznania zdarzenia z udziałem materiałów niebezpiecznych, w którym uczestniczy pojazd napędzany gazem ziemnym, należy wykorzystać informacje: pozyskane w oparciu o kartę ratowniczą znajdującą się w pojeździe, zaczerpnięte ze strony <https://kartyratownicze.pl>, lub zawarte w aplikacjach dostępnych na smartfony, tablety lub komputery: Crash Recovery System, Euro RESCUE, Rescue Code oraz:

- wyłączyć silnik/zapłon (zawór elektromagnetyczny zamyka się);
- sprawdzić odłączenie akumulatora (istnieje ryzyko przeskoczenia iskry);
- zapewnić możliwość podania prądu gaśniczego;
- potencjalne źródła zapłonu (radia, telefony komórkowe, itp.) utrzymywać w bezpiecznej odległości od możliwej chmury wybuchowej;
- w przypadku wycieku gazu i stężenia w zakresie wybuchowym mieszaniny gazowo-powietrznej, mieszaninę (np. wewnątrz pojazdu) można rozcieńczyć za pomocą wentylatora;
- przewietrzyć wnętrze pojazdu – uwaga: przy otwieraniu drzwi zapala się światło (możliwe iskry)!
- przeprowadzić pomiar stężenia gazów palnych (ang. *lower explosive limit*, LEL), dolny graniczny poziom wybuchowości) w zagłębieniach w pojeździe i wokół niego;
- przewietrzyć nie tylko wnętrze pojazdu, ale również

- compressed gas tanks are mounted in the chassis, on the roof (buses) or in the luggage compartment.

### Liquefied petroleum gas (LPG) propulsion systems

Vehicles powered by liquefied petroleum gas usually have bivalent propulsion. The engine can run on two types of fuel: gasoline on one side and liquefied petroleum gas (mixture of propane-butane) on the other.

Most LPG vehicles are retrofitted with LPG technology – but mass-produced vehicles are also available. Refuelling is done at the gas station using a special connection. Gas stations are supplied with LPG by tanker trucks adapted to carry LPG. In addition, liquefied petroleum gas is also transported by rail or ship.

### Identification features

1. Vehicle markings – not required.
2. Additional fuel filler spigot (e.g. on the bumper or in the fuel filler flap).
3. Additional fuel level indicator in the tank.
4. Control device for switching from LPG to gasoline.

### Properties of LPG

LPG is mainly known as autogas or LPG. It is refuelled and stored in liquid form at a pressure of 5–10 bar. LPG is heavier than air (LPG/air density ratio is about 1.55), so it should be expected to accumulate in shafts and pits. The lower explosive limit is 1.4%, the upper limit is 10.9%.

Originally liquefied gas is colourless and odourless, but it is odorized for distribution. The liquefied gas is stored in tanks that can be installed under the vehicle, but also in the spare wheel compartment. Due to the individual retrofitting of the vehicle with such an installation, the exact location of the tanks is not predictable.

LPG retrofitting is possible on vehicles with a variety of gasoline engines, which means that no reliable characteristics or salvage sheets are available.

LPG is a mixture of propane and butane. The mixing ratio is 40:60 in the summer and 60:40 in the winter.

Propane ( $C_3H_8$ ) – an organic chemical compound from the alkane group, a colourless and odourless gas. It has a higher density than air. Propane is insoluble in water and is soluble in ethanol and diethyl ether. It is found in small amounts in natural gas and in larger amounts in crude oil. The boiling point is  $-43^\circ C$ .

Butane ( $C_4H_{10}$ ) – an organic chemical compound from the group of saturated hydrocarbons. The boiling point is  $-1^\circ C$ . Evaporation of butane stops at ca.  $-0,5^\circ C$ . This gas does not freeze, but simply stops boiling. And when the gas does not evaporate

zagłębienia – błotniki, komorę silnika, jak również szyby, wpusty itp. w miejscu eksploatacji. Gaz może tworzyć mieszanke wybuchową, jeżeli się ulatnia (np. w pustych przestrzeniach);

- nie należy gasić płomienia gazu, aby zapobiec pojawieniu / rozprzestrzenianiu się atmosfery wybuchowej, a także uwzględnić, że:
  - metan jest lżejszy od powietrza i spala się całkowicie;
  - zbiorniki na sprężony gaz są montowane w podwoziu, na dachu (autobusy) lub w przestrzeni bagażowej.

### Napędy na gaz skroplony LPG

Pojazdy zasilane gazem płynnym mają zazwyczaj napęd bivalentny. Silnik może być zasilany dwoma rodzajami paliwa: z jednej strony benzyną, a z drugiej gazem płynnym (mieszaniną propan-butanu).

Większość pojazdów zasilanych LPG jest modernizowana z zastosowaniem technologii LPG – ale dostępne są też pojazdy produkowane seryjnie. Tankowanie odbywa się na stacji paliw za pomocą specjalnego przyłącza. Stacje paliw są zaopatrywane w gaz LPG przez samochody-cysterny przystosowane do przewozu gazu LPG. Ponadto gaz płynny jest również transportowany koleją lub statkami.

### Cechy identyfikacyjne

1. Oznaczenia pojazdów – nie jest wymagane.
2. Dodatkowy króciec wlewu paliwa (np. na zderzaku lub w klapce wlewu paliwa).
3. Dodatkowy wskaźnik poziomu paliwa w zbiorniku.
4. Urządzenie sterujące do przełączania z LPG na benzynę.

### Właściwości LPG

Gaz płynny znany jest głównie jako autogas lub LPG. Jest tankowany oraz przechowywany w postaci ciekłej pod ciśnieniem 5–10 barów. LPG jest cięższy od powietrza (stosunek gęstości LPG/powietrze wynosi ok. 1,55), dlatego należy spodziewać się jego nagromadzenia w szybach i wykopach. Dolna granica wybuchowości wynosi 1,4%, górna – 10,9%.

Pierwotnie gaz skroplony jest bezbarwny i bezwonny, ale do dystrybucji jest nawaniany. Skroplony gaz jest przechowywany w zbiornikach, które mogą być zainstalowane pod pojazdem, ale także w komorze koła zapasowego. Ze względu na indywidualne wyposażenie pojazdu w taką instalację, dokładna lokalizacja zbiorników nie jest przewidywalna.

Doposażenie w LPG jest możliwe w pojazdach z różnymi silnikami benzynowymi, co oznacza, że nie są dostępne wiarygodne charakterystyki ani karty ratunkowe.

LPG jest mieszaniną propanu i butanu. Proporcje mieszania wynoszą 40:60 w okresie letnim oraz 60:40 w okresie zimowym.

Propan ( $C_3H_8$ ) – organiczny związek chemiczny z grupy alkanów, bezbarwny i bezwonny gaz. Ma większą gęstość od powietrza. Propan jest nierozpuszczalny w wodzie, rozpuszcza się w etanolu i eterze dietylowym. Występuje w niewielkich ilościach w gazie ziemnym oraz w większych – w ropie naftowej. Temperatura wrzenia wynosi  $-43^\circ C$ .

Butan ( $C_4H_{10}$ ) – organiczny związek chemiczny z grupy węglowodorów nasyconych. Temperatura wrzenia to  $-1^\circ C$ . Parowanie butanu ustaje w temperaturze ok.  $-0,5^\circ C$ . Gaz ten nie zamarza,

– the gas system does not work. If we filled the LPG tank with pure butane, at  $-5^{\circ}\text{C}$ , the gas would be liquid. Winter temperatures drop as low as  $-30^{\circ}\text{C}$ , so LPG also includes propane, which stops boiling only at  $-43^{\circ}\text{C}$ . Therefore, winter gas contains about 60% propane and 40% butane – in this way the vapour pressure (volatility) of the gas is increased. The winter blend is refuelled at gas stations from December 1 to April 1, while the summer blend is refuelled from April 1 to December 1.

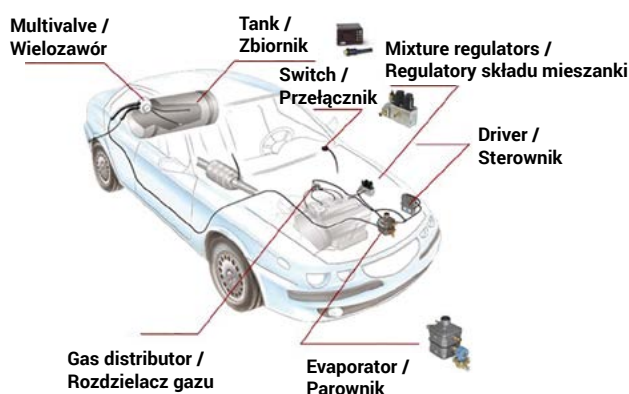
lecz po prostu przestaje wrzeć. A gdy gaz nie paruje – instalacja gazowa nie działa. Gdybyśmy zatankowali do zbiornika LPG czysty butan, to przy temperaturze  $-5^{\circ}\text{C}$ , gaz byłby płynny. Temperatury w zimie spadają nawet do  $-30^{\circ}\text{C}$ , dlatego w skład LPG wchodzi też propan, który przestaje wrzeć dopiero przy  $-43^{\circ}\text{C}$ . Dlatego gaz zimowy zawiera ok. 60% propanu, a butanu 40% – w ten sposób zostaje zwiększona prężność (lotność) par gazu.

Mieszanka zimowa jest tankowana na stacjach paliw w okresie od 1 grudnia do 1 kwietnia, letnia – od 1 kwietnia do 1 grudnia.

**Table 1.** Properties of LPG  
**Tabela 1.** Właściwości LPG

Parameter / Parametr	Gas in liquid state (liquefied) / Gaz w stanie ciekłym (skroplony)
Chemical formula / Formuła chemiczna	$\text{C}_3\text{H}_8 + \text{C}_4\text{H}_{10}$
Density [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] / Gęstość [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	2.0–2.7
Colour / Barwa	Colourless / Bezbarwny
Smell / Zapach	Odourless / Bez zapachu
State of concentration / Stan skupienia	Gas / Gaz
Explosive limits [% vol] / Granice wybuchowości [% obj.]	1.5–9.5
Temperature class / Klasa temperaturowa	T2
Ignition energy [mJ] / Energia zapłonu [mJ]	0.29

Source: Own elaboration.  
Źródło: Opracowanie własne.



**Figure 9.** Diagram of LPG system in a passenger car  
**Rycina 9.** Schemat instalacji LPG w samochodzie osobowym  
Source / Źródło: <https://artgaz.pl/instalacje-gazowe-lpg/> [12].

**LPG tank [8]**

There are two basic shapes of containers:

- torus – capacity from 60 to 95 litres;
- cylindrical shape – capacity up to 200 litres.

Liquid gas is stored in a tank in liquid form at a pressure of 8–10 bar.

Safety features of the tank according to ECE-R-67 regulation [13]:

- material of the tank: LPG-1 – metal (steel in accordance with EN 10120:2017-10 [14]); LPG-4 – fully composite design (acceptable if the tanks have the same safety features (e.g. fully composite design));
- working pressure: 8-10 bar (permissible working pressure is 30 bar);
- burst pressure: at least 2.25 times the working pressure: 67 bar;

Below is an example of a liquid gas tank structure.

**Safety devices**

1. Electromagnetic shut-off valve.  
When the ignition is turned on, the valve opens and LPG flows into the engine. If the ignition is turned off again or the airbag control computer detects an accident, the valve closes automatically.
2. Adjusting the tank volume.  
LPG tank valves have a “float” that only allows 80% refuelling. This allows the gas to expand when exposed to heat.
3. Protection against wire breakage.  
The overflow protection valve closes in case of leaks or accidents.
4. Protection against overpressure in the tank.  
Prevents the LPG tank from bursting due to a high increase in pressure, For example, as a result of a fire. The overpressure protection is installed in such a way that it is possible to blow LPG outside the passenger compartment. This protection opens at > 27 bar and closes at < 27 bar.

If the vehicle is lying on its side or roof, the resulting flames may affect rescuers when the pressure relief valve is activated, as it is normally drained under the tank. Overpressure protection, i.e. as soon as the pressure inside the LPG tank rises to the permissible value, the valve opens. When the pressure is then reduced, the valve closes again. This does not mean that the tank is completely emptied, as with CNG – some residual amount always remains in the tank.

**Zbiornik LPG [8]**

Istnieją dwa podstawowe kształty pojemników:

- torus – pojemność od 60 do 95 litrów;
- kształt cylindryczny – pojemność do 200 litrów.

Gaz płynny jest przechowywany w zbiorniku w postaci ciekłej pod ciśnieniem 8–10 barów.

Cechy bezpieczeństwa zbiornika zgodnie z regulacją ECE-R-67 [13]:

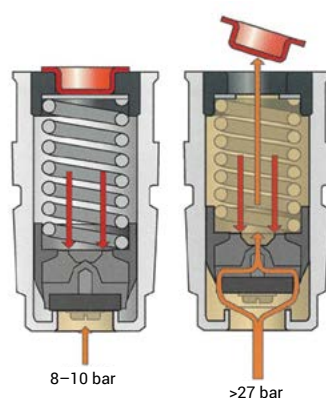
- materiał zbiornika: LPG-1 – metal (stal zgodnie z normą PN-EN 10120:2017-10 [14]); LPG-4 – konstrukcja całkowicie zespolona (dopuszczalne, jeśli zbiorniki mają takie same cechy bezpieczeństwa (np. konstrukcja całkowicie zespolona));
- ciśnienie robocze: 8–10 barów (dopuszczalne ciśnienie robocze wynosi 30 barów);
- ciśnienie rozrywające: co najmniej 2,25-krotność ciśnienia roboczego: 67 barów;

Poniżej przedstawiono przykładową strukturę zbiornika na gaz płynny.

**Urządzenia zabezpieczające**

1. Elektromagnetyczny zawór odcinający.  
Po włączeniu zapłonu zawór otwiera się i LPG płynie do silnika. Jeżeli zapłon zostanie ponownie wyłączony lub komputer kontrolujący poduszki powietrzne wykryje wypadek, zawór zamyka się automatycznie.
2. Regulacja objętości zbiornika.  
Zawory zbiorników LPG mają „pływak”, który pozwala na tankowanie tylko w 80%. Dzięki temu gaz może się rozszerzać pod wpływem ciepła.
3. Ochrona przed pęknięciem przewodu.  
Zawór zabezpieczający nadmierny wypływ zamyka się w przypadku wycieków lub wypadków.
4. Ochrona przed nadciśnieniem w zbiorniku.  
Zapobiega rozerwaniu zbiornika LPG na skutek wysokiego wzrostu ciśnienia, np. w wyniku pożaru. Zabezpieczenie przed nadciśnieniem jest zainstalowane w taki sposób, że możliwe jest wydmuchiwanie LPG poza przedział pasażerski. Zabezpieczenie to otwiera się przy > 27 barach a zamyka się przy < 27 barach.

Jeżeli pojazd leży na boku lub na dachu, powstające płomienie mogą przy uruchomieniu zaworu nadciśnieniowego oddziaływać na ratowników, ponieważ w normalnych warunkach jest on odprowadzany pod zbiornik. Zabezpieczenie przed nadciśnieniem, tzn. gdy tylko ciśnienie wewnątrz zbiornika LPG wzrosło do wartości dopuszczalnej, zawór otwiera się. Gdy ciśnienie zostanie następnie zredukowane, zawór ponownie się zamyka. Nie oznacza to, że zbiornik jest całkowicie opróżniany, jak w przypadku CNG – pewna ilość resztkowa zawsze pozostaje w zbiorniku.



**Figure 10.** Operation of the pressure relief valve  
**Rycina 10.** Działanie zaworu nadciśnieniowego

**Source / Źródło:** Volkswagen AG.

### Conducting firefighting and rescue operations

In the event of a leak, LPG will collect in depressions in the area because the mixture is nearly twice as heavy as air. In flat terrain, the gas will trickle down, creating an explosion hazard zone. The size of this zone may depend on the weather conditions. Strong winds reduce the risk of explosion. Propane-butane is colourless. To measure concentrations, use explosimeters or multi-gas meters that are equipment for firefighting units.

Moreover:

1. During the reconnaissance, it is important to remember to visually inspect the exterior of the car; visually inspect underneath the car – whether there is gas coming out.
2. When conducting reconnaissance of an incident involving dangerous goods, involving an LPG vehicle, the information obtained from the driver or the use of transport documents should be applied.
3. For vehicle design information, rescue cards and QR code systems and the Crash Recovery System – if we have access (the system is licensed) should be used.
4. Close valves and shut-off devices, if possible.
5. Turn off the engine/ignition (solenoid valve closes).
6. Disconnect the battery, as there is a risk of sparking.
7. Ensure that firefighting current can be administered.
8. Beware of the smell of gas and the concentration of gas, LPG is heavier than air, so measurements should be taken in cavities (ditches, sewers, basements, etc.).
9. Keep potential sources of ignition (radios, cell phones) away.
10. In the event of a gas leak and a concentration in the explosive range of the gas-air mixture, the mixture (e.g. inside the vehicle) can be removed with a fan.
11. Note: when opening the door, the light comes on (possible sparking!).
12. Do not extinguish a burning gas flame to prevent the spread/appearance of an explosive atmosphere.

### Postępowanie podczas działań gaśniczych i ratowniczych

W przypadku wycieku, LPG będzie zbierał się w zagłębieniach terenu, ponieważ mieszanina jest blisko dwukrotnie cięższa od powietrza. W płaskim terenie gaz będzie ścielił się, tworząc strefę zagrożenia wybuchem. Wielkość tej strefy może zależeć od warunków atmosferycznych. Silny wiatr powoduje zmniejszenie ryzyka wybuchu. Propan-butan jest bezbarwny. Do pomiaru stężenia należy używać eksplozometrów lub mierników wielogazowych stanowiących wyposażenie jednostek straży pożarnej.

Ponadto:

1. Podczas rozpoznania należy pamiętać o oględzinach zewnętrznych samochodu; oględzinach pod samochodem – czy nie wypływa gaz.
2. Przy przeprowadzaniu rozpoznania zdarzenia z udziałem towarów niebezpiecznych, w którym uczestniczy pojazd napędzany gazem LPG, należy wykorzystać informacje uzyskane od kierowcy lub skorzystać z dokumentów przewozowych.
3. W celu uzyskania informacji dotyczących konstrukcji pojazdów należy korzystać z kart ratowniczych i systemów kodów QR oraz systemu Crash Recovery System – jeśli mamy dostęp (system jest licencjonowany).
4. Zamknąć zawory i urządzenia odcinające, jeśli to możliwe.
5. Wyłączyć silnik/zapłon (zawór elektromagnetyczny zamyka się).
6. Odłączyć akumulator, ponieważ istnieje ryzyko iskrzenia.
7. Zapewnić możliwość podania prądu gaśniczego.
8. Uważać na zapach gazu i stężenie gazu, LPG jest cięższy od powietrza, dlatego pomiary należy wykonywać w zagłębieniach (rowach, kanałach, piwnicach itp.).
9. Trzymać z dala potencjalne źródła zapłonu (radio, telefony komórkowe).
10. W przypadku wycieku gazu i stężenia w zakresie wybuchowym mieszaniny gazowo-powietrznej, mieszaninę (np. wewnątrz pojazdu) można usunąć za pomocą wentylatora.
11. Uwaga: przy otwieraniu drzwi zapala się światło (możliwość iskrzenia!).
12. Nie należy gasić palącego się płomienia gazu, aby zapobiec rozprzestrzenianiu się/pojawieniu się atmosfery wybuchowej.

## Proceedings during firefighting of gas-powered alternative vehicles

The technical solutions and safeguards used in the vehicles are taken into account when developing procedures and instructions for conducting rescue and firefighting operations. Such solutions include, for example, triggering the airbags and shutting down the vehicle's engine by the control unit of the vehicle's active safety systems. In a conventionally driven vehicle, this usually happens by turning off the fuel pump and shutting off the fuel supply from the fuel tank through an automatically controlled shut-off valve. This prevents further leakage of flammable liquid – of course, only if the tank itself is not damaged. In addition, there is also often a so-called safe battery terminal, where the positive terminal to the starter is automatically disconnected by a pyrotechnic device. Disconnection prevents the starter wire from becoming trapped in electrically conductive parts of the body and causing a short circuit. All other receivers, as well as the airbags, are still supplied with voltage, so the presence of the safety battery terminal does not exempt the emergency services from disconnecting the 12-volt battery.

Disconnection should always take place before the vehicle is handed over to a towing service. It is important to remember to first disconnect the earthing, which in modern vehicles is usually the negative terminal, and then the second terminal, usually the positive one. Note: in older vehicles, such as old English or American vintage cars, the reverse may also be true.

Use personal protective equipment when disconnecting the positive terminal. The positive terminal also needs to be disconnected, as there is a possibility of a short circuit after a traffic accident if a metal object penetrates the battery.

In gas-powered vehicles, the tripping of the airbag results in the supply valves being closed and gas no longer flowing out. However, in electric, hybrid and fuel cell vehicles, the protective relays in the high-voltage battery open in such a situation. Therefore, the first important clue to the rescuer about the automatic shutdown of the vehicle's propulsion system may be the fact that the vehicle's safety cushion is deployed. During reconnaissance, those in charge of operations should look at the airbags as early as possible to ensure that the automatic safety measures indicated above have been initiated. If the airbags have not deployed, consider that the vehicle may not have them, or that it has not registered an accident, thus no automatic shutdown of the drive.

If the airbags have not deployed, approach the vehicle involved in the accident with extreme caution and turn off the ignition as soon as possible.

Hazards when the ignition is turned on:

- the vehicle may unintentionally start driving;
- airbags are still active, it is possible to deploy them later;
- fuel leakage (increased fire hazard).

Turning off the ignition causes the following:

- deactivation of the drive;

## Postępowanie podczas gaszenia pożaru pojazdów o gazowym napędzie alternatywnym

Stosowane w pojazdach rozwiązania i zabezpieczenia techniczne są uwzględniane podczas tworzenia procedur i instrukcji prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych. Do takich rozwiązań należy np. zadziałanie poduszek powietrznych i wyłączenie silnika pojazdu przez zespół sterujący aktywnymi systemami bezpieczeństwa w pojeździe. W konwencjonalnie napędzanym pojeździe dzieje się to najczęściej poprzez wyłączenie pompy paliwowej i zamknięcie dopływu paliwa ze zbiornika paliwa przez automatycznie sterowany zawór odcinający. Zapobiega to dalszemu wydostawaniu się łatwopalnej cieczy – oczywiście tylko wtedy, gdy sam zbiornik nie jest uszkodzony. Dodatkowo często występuje również tzw. bezpieczny zacisk akumulatora, gdzie dodatni zacisk do rozrusznika jest automatycznie odłączany przez urządzenie pirotechniczne. Rozłączenie zapobiega uwięzieniu przewodu rozrusznika w częściach nadwozia przewodzących prąd elektryczny i spowodowaniu zwarcia. Wszystkie pozostałe odbiorniki, a także poduszki powietrzne są nadal zasilane napięciem, dlatego obecność zacisku akumulatora bezpieczeństwa nie zwalnia służb ratowniczych z odłączenia akumulatora 12 V.

Odłączenie powinno nastąpić zawsze przed przekazaniem pojazdu do serwisu holowniczego. Należy pamiętać, aby najpierw odłączyć uziemienie, które w nowoczesnych pojazdach jest zwykle zaciskiem ujemnym, a następnie drugi zacisk, zwykle dodatni. Uwaga: w starszych pojazdach, np. w starych angielskich lub amerykańskich samochodach zabytkowych, może być również odwrotnie.

Podczas odłączania zacisku dodatniego należy stosować środki ochrony osobistej. Odłączenia wymaga także zacisk dodatni, ponieważ po wypadku drogowym istnieje możliwość wystąpienia zwarcia, jeśli metalowy przedmiot wbije się w akumulator.

W pojazdach zasilanych gazem zadziałanie poduszki powietrznej skutkuje tym, że zawory zasilające są zamknięte i gaz już nie wypływa. Natomiast w pojazdach elektrycznych, hybrydowych i z ogniwami paliwowymi w takiej sytuacji otwierają się przełączniki ochronne w akumulatorze wysokiego napięcia. Dlatego pierwszą ważną wskazówką dla ratownika o automatycznym wyłączeniu napędu pojazdu może być fakt uruchomienia poduszki bezpieczeństwa w pojeździe. Podczas rozpoznania kierujący działaniami powinni jak najwcześniej przyjrzeć się poduszkom powietrznym, aby upewnić się że zostały zainicjowane wskazane powyżej automatyczne środki bezpieczeństwa. Jeśli nie doszło do rozwinięcia poduszek powietrznych, należy wziąć pod uwagę, że pojazd może ich nie mieć lub że nie zarejestrował on wypadku, tym samym nie nastąpiło automatyczne wyłączenie napędu.

Jeśli nie doszło do rozwinięcia poduszek powietrznych, należy ze szczególną ostrożnością podejść do pojazdu uczestniczącego w wypadku i jak najszybciej wyłączyć zapłon.

Zagrożenia przy włączonym zapłonie:

- pojazd może w sposób niezamierzony rozpocząć jazdę;
- poduszki powietrzne są nadal aktywne, możliwe jest ich późniejsze rozwinięcie;



- interruption of voltage supply to the airbag control unit<sup>2</sup>;
- disconnection of energy storage (batteries) e.g., by solenoid shut-off valves<sup>3</sup>;
- opening of protective relays of high-voltage batteries.

These automatic shutdown processes after an accident do not relieve the emergency services from checking that the vehicle's ignition is still on!

First of all, always turn off the vehicle's ignition, even if the automatic shutdown process was initiated due to an airbag deployment. Emergency services should pay attention to this element when conducting rescue operations. However, it is important to remember that before turning off the ignition, the possibility of using all electrical receivers helpful in freeing the victims, such as seats, steering wheel or power windows, should be taken advantage of, and only then turn off the ignition. If your vehicle has a so-called memory function for seat and steering wheel adjustment, you should also remove the ignition key from the ignition to prevent the seats from unintentionally returning to a previously programmed position. Turning off the ignition usually also prevents the vehicle from unintentionally starting and moving, such as a fire, but does not completely rule it out! Therefore, vehicles must always be secured against rolling or driving away.

Energy storage batteries are mounted in the vehicle with as much protection as possible from the effects of a crash, usually in the rear axle region or in the chassis. These are the areas that are usually damaged allowing safety systems to act with a delay and are best protected in the event of a very severe frontal impact.

Furthermore, appropriate safety devices for alternative fuel storage systems are used to prevent the tank from bursting (e.g. due to excessive pressure).

Proper identification of the vehicle's propulsion by the emergency manager is crucial to the effectiveness of the operations, the safety of the injured and the rescuers. Therefore, an important duty of the commander is to determine the type of vehicle propulsion system and communicate this information to all the participants.

### Safe distance

Proper distances should be maintained:

- 350 meters in the event of a BLEVE threat;
- in case of visible gas/fog cloud at least 25 meters from the cloud.

<sup>2</sup> Preventing further airbag triggers. Note: Do not damage the airbag modules / components!

<sup>3</sup> Not for all vehicles (e.g. older models).

- wyciek paliw (zwiększone zagrożenie pożarowe).

Wyłączenie zapłonu powoduje:

- wyłączenie napędu;
- przerwanie dopływu napięcia do zespołu sterującego poduszek powietrznych<sup>2</sup>;
- odłączenie magazynu energii (baterii) np. przez elektromagnetyczne zawory odcinające<sup>3</sup>;
- otwarcie przekaźników ochronnych baterii wysokiego napięcia.

Te automatyczne procesy wyłączania po wypadku nie zwalniają służb ratowniczych od sprawdzenia, czy stacyjka pojazdu jest jeszcze włączona!

Przed wszystkim należy zawsze wyłączyć zapłon pojazdu, nawet jeśli proces automatycznego wyłączania został zainicjowany w związku z zadziałaniem poduszki powietrznej. Służby ratownicze powinny zwrócić uwagę na ten element podczas prowadzenia czynności ratowniczych. Trzeba jednak pamiętać, że przed wyłączeniem zapłonu należy wykorzystać możliwość użycia wszystkich odbiorników elektrycznych pomocnych przy uwalnianiu poszkodowanych, takich jak fotele, kierownica czy elektryczne szyby, a dopiero wówczas wyłączyć zapłon. Jeśli pojazd posiada tzw. funkcję pamięci regulacji foteli i kierownicy, należy również wyjąć kluczyk ze stacyjki, aby zapobiec niezamierzonemu powrotowi foteli do wcześniej zaprogramowanej pozycji. Wyłączenie zapłonu zazwyczaj zapobiega również niezamierzonemu uruchomieniu i przemieszczeniu się pojazdu, np. w wyniku pożaru, jednak nie wyklucza tego całkowicie! Dlatego też pojazdy muszą być zawsze zabezpieczone przed stoczeniem się lub odjechaniem.

Baterie magazynujące energię są montowane w pojeździe z zapewnieniem jak największej ochrony przed skutkami zderzenia, zwykle w rejonie tylnej osi lub w podwoziu. Są to obszary, które zazwyczaj ulegają uszkodzeniu z opóźnieniem pozwalającym zadziałać systemom bezpieczeństwa i w przypadku bardzo silnego uderzenia czołowego są najlepiej chronione.

Ponadto stosuje się odpowiednie urządzenia zabezpieczające dla układów magazynowania paliwa alternatywnego, które mają za zadanie zapobiegać rozerwaniu zbiornika (np. z powodu nadmiernie wysokiego ciśnienia).

Prawidłowa identyfikacja napędu pojazdu przez kierującego działaniami ratowniczymi ma kluczowe znaczenie dla skuteczności prowadzonych działań, bezpieczeństwa poszkodowanych i ratowników. Dlatego ważnym obowiązkiem dowódcy jest ustalenie rodzaju układu napędowego pojazdu i przekazanie tej informacji wszystkim uczestnikom.

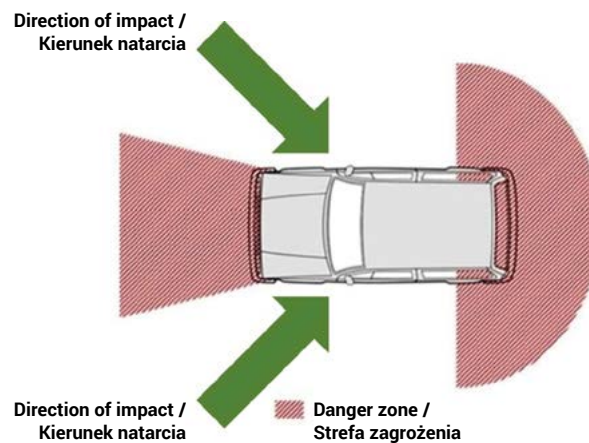
### Bezpieczna odległość

Należy zachować właściwe odległości:

- 350 metrów w przypadku zagrożenia wystąpieniem BLEVE;
- w przypadku widocznej chmury gazu/mgły co najmniej 25 metrów od chmury.

<sup>2</sup> Zapobieganie kolejnym wyzwoleniom poduszek powietrznych. Uwaga: Nie wolno uszkodzić modułów / komponentów poduszek powietrznych!

<sup>3</sup> Nie dla wszystkich pojazdów (np. starszych modeli).



**Figure 11.** Danger zones and impact paths during an alternative-powered car fire

**Rycina 11.** Strefy zagrożenia i drogi natarcia podczas pożaru samochodu z napędem alternatywnym

**Source / Źródło:** Österreichischer Bundesfeuerwehrverband, *Informationsblatt E 20 Einsatz mit alternativ angetriebenen Fahrzeugen und deren Peripherie* [15].

### Markings for alternative propulsion vehicles and their accessories introduced by ISO 17840-4

Detailed information in accordance with ISO 17840 should be developed and made available to emergency services on the vehicle brand's website:

- Rescue Card (Part 2);
- Emergency Response Guide: ERG (Part 3).

Always use the following 10 sections and symbols according to ISO 17840 Road vehicles – Information for first and second responders – Part 4: Propulsion energy identification [16]. Cards and guidelines should always be available in all necessary language versions.

### Oznakowania dotyczące pojazdów z napędami alternatywnymi i ich osprzętu wprowadzone normą ISO 17840-4

Szczegółowe informacje zgodnie z ISO 17840 powinny być opracowane i udostępnione służbom ratowniczym na stronie internetowej marki pojazdu:

- Karta Ratownicza (część 2);
- Przewodnik Działań Ratowniczych: ERG (część 3).

Zawsze należy stosować 10 poniższych rozdziałów oraz symbole zgodnie z ISO 17840 Road vehicles – Information for first and second responders – Part 4: Propulsion energy identification [16]. Karty i przewodniki powinny być zawsze dostępne we wszystkich niezbędnych wersjach językowych.

1. Identification/reconnaissance / Identyfikacja/rozpoznanie
2. Immobilization/stabilization/lifting / Unieruchomienie/stabilizacja/podnoszenie
3. Elimination of immediate danger/security requirements / Likwidacja bezpośredniego zagrożenia/wymogi bezpieczeństwa
4. Access to passengers / Dostęp do pasażerów
5. Energy sources/liquids/gases/solids / Źródła energii/ciecze/gazy/ciała stałe
6. Handling of a fire / Postępowanie w przypadku pożaru
7. Handling of immersion / Postępowanie w przypadku zanurzenia
8. Towing/transport/storage / Holowanie/transport/przechowywanie
9. Additional relevant information / Dodatkowe istotne informacje
10. Explanations of the used pictograms / Objaśnienia użytych piktogramów

**Figure 12.** Elements of the Rescue Card

**Rycina 12.** Elementy Karty Ratowniczej

**Source / Źródło:** RETEX – Wymiana doświadczeń CTIF, *Wypadek z udziałem samochodu ciężarowego napędzanego LNG* [10, p. 45].

In the event of an emergency, quick and correct identification of how the rescue team will power the vehicle's propulsion system is crucial to making correct decisions on rescue operations for the vehicle model. Information about the type of propulsion system and its risks should be up-to-date to the extent necessary and understandable. The following is an example scheme for identifying the power (energy) source of a vehicle's propulsion system.

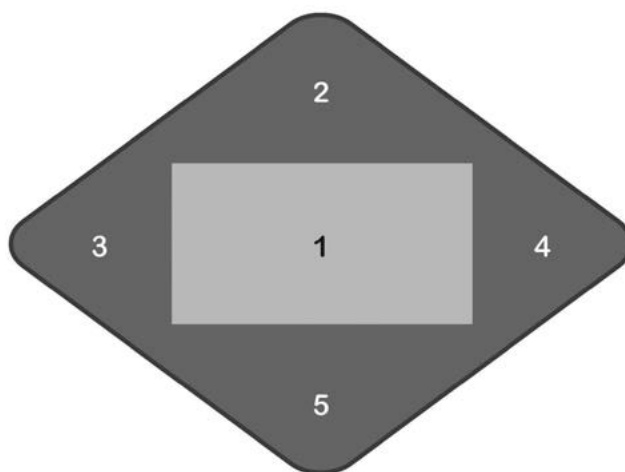
#### Layout and content of the identification label of type of drive energy

The label is in the shape of a rhombus with specific zones as shown in the figure below. All information on the label is presented in the form of a pictogram. The appearance of the label is identical throughout the world.

W przypadku zagrożenia szybka i prawidłowa identyfikacja sposobu zasilania napędu pojazdu przez zespół ratowniczy jest kluczowa dla podjęcia prawidłowych decyzji dotyczących działań ratowniczych w odniesieniu do modelu pojazdu. Informacje o rodzaju napędu i związanych z nią zagrożeniach powinny być aktualne w niezbędnym zakresie i zrozumiałe. Poniżej przedstawiony został przykładowy schemat identyfikacji źródła zasilania (energii) napędu pojazdu.

#### Układ i treść etykiety identyfikacyjnej rodzaju energii napędowej

Etykieta ma kształt rombu z określonymi strefami zgodnie z poniższym rysunkiem. Wszystkie informacje na etykiecie są przedstawione w formie piktogramu. Wygląd etykiety jest identyczny na całym świecie.



**Figure 13.** Label appearance and zones (1 – centre zone, 2 – upper zone, 3 – left zone, 4 – right zone, 5 – lower zone)

**Rycina 13.** Wygląd etykiety i podział na strefy (1 – strefa środkowa, 2 – strefa górna, 3 – strefa lewa, 4 – strefa prawa, 5 – strefa dolna)

**Source / Źródło:** ISO 17840-4:2018 Road vehicles – Information for first and second responders – Part 4: Propulsion energy identification [16].

The different zones on the label are reserved for the categories of information shown in Table 2.

Poszczególne strefy na etykiecie są zarezerwowane dla kategorii informacji przedstawionych w tabeli 2.

**Table 2.** Zones on the identification label

**Tabela 2.** Podział stref na etykiecie identyfikacyjnej

Zone / Strefa	Information category / Kategoria informacji
Centre / Środkowa	First energy source / Pierwsze źródło energii
Upper / Górna	Second energy source / Drugie źródło energii
Left / Lewa	Gas behaviour due to density / Zachowanie się gazu w zależności od gęstości
Right / Prawa	State of aggregation of stored gaseous fuel / Stan skupienia składowanego paliwa gazowego
Lower / Dolna	Reserved for future use / Zarezerwowane do przyszłego użytku

**Source:** Own elaboration based on [16].

**Źródło:** Opracowanie własne na podstawie [16].

Depending on the used drive, use the colour according to Table 3.

W zależności od zastosowanego napędu należy stosować kolor według tabeli 3.

**Table 3.** Use of colours for the identification label depending on the type of drive used

**Tabela 3.** Zastosowanie kolorów do oznaczenia etykiety identyfikacyjnej w zależności od zastosowanego rodzaju napędu

Colour / Kolor	Propulsion energy / Energia napędu
Grey / Szary	Liquid group 1 (diesel, bio diesel, ...) / Grupa płynów 1 (diesel, biodiesel, ...)
Dark red / Ciemnoczerwony	Liquid group 2 (petrol/gasoline, ethanol, ...) / Grupa płynów 2 (benzyna, etanol, ...)
Light blue / Jasnoniebieski	Hydrogen group (including fuel cell propulsion) / Wodór (w tym napęd na ogniwa paliwowe)
Green / Zielony	Compressed, Liquid Gas group (CNG, LPG, DME, ...) / Sprężony gaz ziemny (CNG, LPG, DME, ...)
White	Cryogen Gas Group (LNG, ...) / Skroplony gaz ziemny (LNG, ...)
Orange / Pomarańczowy	High voltage (class B voltage) / Wysokie napięcie (napięcie klasy B)

Source: Own elaboration based on [16].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [16].

The background of the label is the colour of the first energy source. In case of hybrid or alternative fuel vehicles, the following order of occurrence applies to the first energy source shown in the middle zone:

- gaseous fuel;
- electric energy;
- liquid fuel.

With reference to the above, the label uses pictograms and zone descriptions as below.

Tło etykiety jest w kolorze głównego źródła energii. W przypadku pojazdów z napędem hybrydowym lub na paliwo alternatywne, w odniesieniu do pierwszego źródła energii pokazanego w strefie środkowej stosuje się następującą kolejność występowania:

- paliwo gazowe;
- energia elektryczna;
- paliwo płynne.




W nawiązaniu do powyższego na etykiecie stosuje się piktoqramy i opisy stref jak poniżej.

**Table 4.** Pictograms placed in the centre zone of the label

**Tabela 4.** Piktogramy umieszczane w strefie środkowej etykiety

First energy source / Pierwsze źródło energii	Pictogram (middle zone) / Piktogram (strefa środkowa)	Order of appearance / Kolejność występowania
Liquefied Petroleum Gas / Skroplony gaz płynny	<b>LPG</b>	1
Compressed Natural Gas / Sprężony gaz ziemny	<b>CNG</b>	1
Liquefied Natural Gas / Skroplony gaz ziemny	<b>LNG</b>	1
Di-Methyl Ether (gas) / Eter dimetylowy	<b>DME</b>	1
Hydrogen / Wodór	<b>H<sub>2</sub></b>	1





Ciąg dalszy tabeli na następnej stronie

Electric High Voltage (class B) / Wysokie napięcie (napięcie klasy B)		2
Fuel of liquid group 1 (diesel, biodiesel, ...) / Grupa płynów 1 (diesel, biodiesel, ...)		3
Fuel of liquid group 2 (petrol/gasoline, ethanol, ...) / Grupa płynów 2 (benzyna, etanol, ...)		3

Source: Own elaboration based on [16].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [16].




**Table 5.** Pictograms placed in the upper zone of the label  
**Tabela 5.** Piktogramy umieszczane w strefie górnej etykiety

Second energy source / Drugie źródło energii	Pictogram (upper zone) / Piktogram (strefa górna)
Electric High Voltage (class B) / Wysokie napięcie (napięcie klasy B)	
Fuel of liquid group 1 (diesel, biodiesel, ...) / Grupa płynów 1 (diesel, biodiesel, ...)	
Fuel of liquid group 2 (petrol/gasoline, ethanol, ...) / Grupa płynów 2 (benzyna, etanol, ...)	
High pressure hydraulic oil accumulator (powered by compressed gas) / Wysokociśnieniowy akumulator oleju hydraulicznego (zasilany sprężonym gazem)	

Source: Own elaboration based on [16].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [16].




**Table 6.** Pictograms placed in the lower zone of the label  
**Tabela 6.** Piktogramy umieszczane w strefie lewej etykiety

Gas behaviour due to density / Zachowanie się gazu w zależności od gęstości	Pictogram (left zone) / Piktogram (strefa lewa)
Gas, lighter than air / Gaz lżejszy od powietrza	
Gas, heavier than air / Gaz cięższy od powietrza	
Gas, heavier or lighter than air e.g. LNG / Gaz cięższy lub lżejszy od powietrza np. LNG	

Source: Own elaboration based on [16].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [16].

**Table 7.** Pictograms placed in the right zone of the label  
**Tabela 7.** Piktogramy umieszczane w strefie prawej etykiety

State of aggregation of stored gaseous fuel / Stan skupienia magazynowanego paliwa gazowego	Pictogram (right zone) / Piktogram (strefa prawa)
Liquid / Ciecz	
Compressed / Sprężony	
Cryogenic / Kriogeniczny	

Source: Own elaboration based on [16].












Źródło: Opracowanie własne na podstawie [16].

In accordance with the principles outlined above, Table 8 shows examples of the label designs that vehicles with a given propulsion system should have.

Zgodnie z zasadami przedstawionymi powyżej, w tabeli 8 przedstawione zostały przykładowe wzory etykiet, które powinny posiadać pojazdy z danym napędem.

**Table 8.** Example of sample labelling

**Tabela 8.** Przykładowe oznakowanie etykiet identyfikacyjnych

Description / Opis	Label / Etykieta	Description / Opis	Label / Etykieta
Vehicle on CNG / Pojazd na CNG		Hybrid electric vehicle on fuel of liquid group 2 / Pojazd elektryczny hybrydowy na paliwo z grupy płynów 2	
Vehicle on LPG / Pojazd na LPG		Vehicle on hydrogen fuel cell electric vehicle / Pojazd na wodór Pojazd elektryczny na napęd na ogniwa paliwowe	
Vehicle on LNG / Pojazd na LNG		Vehicle on fuel of liquid group 1 / Pojazd na paliwo z grupy płynów 1	
Vehicle on DME / Pojazd na DME		Vehicle on fuel of liquid group 2 / Pojazd na paliwo z grupy płynów 2	
Dual fuel – CNG and diesel / Podwójne paliwo – CNG i diesel		Hybrid hydraulic oil vehicle on fuel of liquid group 1 / Hybrydowy pojazd z wysokociśnieniowym akumulatorem oleju hydraulicznego (zasilany sprężonym gazem) na paliwo z grupy płynów 1	
Electric vehicle / Pojazd elektryczny			

Source: Own elaboration based on [16].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [16].

## Conclusion

Gas propulsion systems – alternatives to the combustion ones (gasoline and diesel) - have been in use for more than a dozen years, to varying extents and scales. New technologies and fuels are being systematically implemented. The applied systems are being improved, including additional technical solutions and safeguards. This reality poses challenges that need to be adequately and systematically prepared for – through training, professional development, as well as the adaptation and implementation of new technologies, equipment and rescue facilities.

The authors also recognize the need to keep records of fires and local emergencies involving vehicles with different propulsion systems, as well as to collect data to develop accurate analyses and formulate conclusions about the hazards that occurred and the rescue and firefighting operations carried out, including their effectiveness. Further needs can be identified in the area of in-service training and education, including the development and updating of educational materials for training and improvement of rescuers and commanders of KSRG units. Such training should be conducted systematically using available effective methods in blended learning mode, for example, according to dedicated, customized and updated programs. It is also reasonable to urgently prepare and make available to the rescuers of fire protection units that are part of the KSRG a rescue database containing the information found in the rescue cards. Such a database should be created immediately and made available for ongoing in-service training, but especially for those directing rescue operations. Other needs that can be identified relate to general knowledge of today's alternative-propulsion vehicles. This is the information needed to conduct rescue operations and make the right decisions. The scope of this knowledge ranges from design, technical solutions and safety features to experience or tactics for conducting operations, as well as handling specific situations, with specific drives currently used in vehicles.

## List of abbreviations and definitions

**BLEVE (ang. boiling liquid xxpanding vapour explosion)** – an explosion caused by the release of energy associated with the rapid vaporization of a liquid, flammable or not, upon its sudden release from a container in which the liquid was at a pressure higher than atmospheric pressure and at a temperature exceeding its boiling point at atmospheric pressure. BLEVE is a phenomenon most often associated with the failure of pressure vent valves, tanks containing LNG with temperatures above its boiling point. The result can be an increase in the pressure and temperature of the gas cushion in the tank, followed by damage to the tank and a rapid discharge of gas. If a vessel containing superheated boiling pressurized liquid is suddenly damaged, the

## Podsumowanie

Napędy gazowe – alternatywne dla tych spalinowych (benzynowych i na olej napędowy) – są stosowane od kilkunastu lat w różnym zakresie i skali. Systematycznie wdrażane są nowe technologie i paliwa. Doskonalone są stosowane instalacje, m.in. w zakresie dodatkowych rozwiązań i zabezpieczeń technicznych. Rzeczywistość ta stawia wyzwania, do których należy się odpowiednio i systematycznie przygotowywać – poprzez szkolenia, doskonalenie zawodowe, a także dostosowywanie i wdrażanie nowych technologii, sprzętu oraz wyposażenia ratowniczego.

Autorzy dostrzegają również potrzebę prowadzenia ewidencji pożarów i miejscowych zagrożeń, w których uczestniczą pojazdy o różnych napędach oraz gromadzenia danych pozwalających na opracowywanie dokładnych analiz i formułowania wniosków dotyczących zaistniałych zagrożeń i prowadzonych działań ratowniczo-gaśniczych, w tym ich skuteczności. Kolejne potrzeby można wskazać w zakresie doskonalenia zawodowego i edukacji, w tym opracowywania i aktualizacji materiałów edukacyjnych na potrzeby szkolenia i doskonalenia ratowników oraz dowódców jednostek KSRG. Takie szkolenia powinny być systematycznie prowadzone z wykorzystaniem dostępnych efektywnych metod na przykład w trybie nauczania hybrydowego (ang. *blended learning*), według dedykowanych, dostosowywanych i aktualizowanych programów. Zasadne jest także pilne przygotowanie i udostępnienie ratownikom jednostek ochrony przeciwpożarowej wchodzących w skład KSRG bazy danych ratowniczych zawierających informacje znajdujące się w kartach ratowniczych. Baza taka powinna niezwłocznie powstać i być udostępniona na potrzeby bieżących szkoleń doskonalących, ale przede wszystkim kierującym działaniami ratowniczymi. Inne potrzeby, jakie można wskazać, dotyczą wiedzy ogólnej na temat współczesnych pojazdów z napędami alternatywnymi. To informacje niezbędne do prowadzenia działań ratowniczych i podejmowania właściwych decyzji. Zakres tej wiedzy dotyczy zarówno konstrukcji, rozwiązań technicznych i zabezpieczeń, jak i doświadczeń czy taktyki prowadzenia działań, a także postępowania w określonych sytuacjach, z konkretnymi napędami stosowanymi aktualnie w pojazdach.

## Wykaz skrótów i definicje

**BLEVE (ang. boiling liquid expanding vapour explosion)** – wybuch spowodowany wyzwoleniem energii związanym z gwałtownym odparowaniem cieczy, palnej lub nie, w momencie jej nagłego uwolnienia ze zbiornika, w którym ciecz ta znajdowała się pod ciśnieniem wyższym od atmosferycznego i w temperaturze przekraczającej jej temperaturę wrzenia pod ciśnieniem atmosferycznym. BLEVE jest zjawiskiem związanym najczęściej z niewydolnością ciśnieniowych zaworów odpowietrzających, zbiorników zawierających LNG o temperaturze przekraczającej jego temperaturę wrzenia. W wyniku tego może nastąpić wzrost ciśnienia i temperatury poduszki gazowej w zbiorniku, a następnie uszkodzenie zbiornika i gwałtowny wypływ gazu.

vaporized gas has several times the volume of the liquid. The resulting pressure increase leads to the generation of an explosive pressure wave (physical explosion) and comes solely from the adiabatic expansion of steam (gas). Thus, the main cause of a BLEVE is the rapid adiabatic evaporation of a liquid (in this case LNG).

A sample video illustration for this definition is available on YouTube [17].

**Lost energy (orphaned)** – any situation in which electricity remains in the battery without an effective way to remove it. If the battery is damaged and the circuit is broken, the stored energy cannot be removed, creating a hazard. Other than recycling, there is no approved way to remove lost energy [18].

**Secondary ignition** – secondary ignition is a new cell failure in a defective battery, resulting from the first failure. The term re-ignition is not an appropriate term for what happened, as it implies that the initial incident was not completed [18].

**Extreme behaviour of fire** – highly flammable gases released during thermal runaway quickly accumulate in compartments that reach upper explosive limits. When access is gained to these compartments, gases move with the air path and are lowered into the explosive compartment, where they can be ignited by arcing, short-circuiting or fire, resulting in extreme fire behaviour (EFB) [18].

**Thermal inspection** by the rescuers using a thermal imaging camera to determine the area of greatest heat on the battery's outer casing. Temperature checks should be carried out regularly during cooling operations after the cooling streams are turned off [18].

**Regenerative braking** – during braking, the electric engine acts as a generator, using the energy to charge the battery, thus recovering energy [18].

Jeżeli zbiornik zawierający przegrzaną wrzącą ciecz pod ciśnieniem zostaje nagle uszkodzony, odparowywany gaz ma kilka razy większą objętość niż objętość cieczy. Powstały wzrost ciśnienia prowadzi do generowania fali ciśnienia wybuchowego (wybuch fizyczny) i pochodzi wyłącznie z adiabaticznego rozprężania pary (gazu). Tak więc główną przyczyną BLEVE jest gwałtowne adiabaticzne odparowanie cieczy (w tym przypadku LNG).

Przykładowa filmowa ilustracja do tej definicji jest dostępna na YouTube [17].

**Energia utracona (osierocona)** – każda sytuacja, w której energia elektryczna pozostaje w akumulatorze bez skutecznego sposobu jej usunięcia. W przypadku uszkodzenia akumulatora i przerwania obwodu, zgromadzona energia nie może być usunięta, co stwarza zagrożenie. Poza recyklingiem nie ma zatwierdzonego sposobu na usunięcie energii osieroconej [18].

**Zapłon wtórny** – zapłon wtórny to nowe uszkodzenie ogniwa w zepsutym akumulatorze, powstałe w wyniku pierwszej awarii. Zapłon wtórny może wystąpić po godzinach, dniach lub tygodniach od pierwszej awarii i bez ostrzeżenia. Określenie ponowny zapłon nie jest właściwym określeniem tego, co się stało, ponieważ sugeruje, że początkowy incydent nie został zakończony [18].

**Ekstremalne zachowanie się ognia** (ang. *extreme fire behaviour*, EFB) – wysoce łatwopalne gazy uwalniane podczas ucieczki termicznej szybko gromadzą się w przedziałach osiagających górne granice wybuchowości. Gdy uzyskuje się dostęp do tych przedziałów, gazy przemieszczają się wraz z torem powietrznym i są obniżane do przedziału wybuchowego, gdzie mogą zostać zapalone przez łuk elektryczny, zwarcie lub pożar, co powoduje ekstremalne zachowanie się ognia [18].

**Kontrola termiczna** przeprowadzana przez ratowników za pomocą kamery termowizyjnej w celu ustalenia obszaru największego nagrzania na obudowie zewnętrznej akumulatora. Kontrole temperatury powinny być przeprowadzane regularnie podczas operacji chłodzenia po wyłączeniu strumieni chłodzenia [18].

**Hamowanie regeneracyjne** – podczas hamowania silnik elektryczny działa jak generator, wykorzystując energię do ładowania akumulatora, odzyskując w ten sposób energię [18].



## Literature / Literatura

- [1] Portal Obserwator Logistyczny, <https://obserwatorlogistyczny.pl/2022/05/03/ile-jest-aut-z-lpg-w-polsce-na-swiecie-wyprzedza-nas-tylko-turcja/> [dostęp: 02.02.2023].
- [2] Zboina J., Kielin J., Bugaj G., Zalech J., Bąk D, *Działania ratowniczo-gaśnicze podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z napędem alternatywnym cz.1 Pojazdy elektryczne*, „Safety & Fire Technology”, SFT vol. 60 Issue 2, 2022, pp. 8–40, <https://doi.org/10.12845/sft.60.2.2022.1>.
- [3] Heck J., *Alternative Fahrzeugantriebe im Feuerwehreinsatz*, Kohlhammer, 2018.
- [4] Landesschule und Technische Einrichtung für Brand- und Katastrophenschutz, *Alternative Antriebe für Kraftfahrzeuge. Eine Broschüre für die Feuerwehren Brandenburgs*, 2021.
- [5] <https://duon.pl/lepiejnagaz/schemat-stacji-tankowania-pojazdow-lng-i-lcng> [dostęp: 11.03.2023].
- [6] *Bezpieczeństwo CNG/LNG/BIOMETAN. Bezpieczeństwo użytkowania paliwa w pojazdach*, <https://cng.auto.pl/bezpieczenstwo-cng/> [dostęp: 10.03.2023].
- [7] Regulamin nr 110 Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych (EKG ONZ) – Jednolite przepisy dotyczące homologacji: I. Specjalnych elementów składowych pojazdów silnikowych wykorzystujących w swoim układzie napędowym sprężony gaz ziemny (CNG) lub skroplony gaz ziemny (LNG); II. Pojazdów w odniesieniu do montażu homologowanych specjalnych elementów składowych służących do wykorzystywania w ich układzie napędowym sprężonego gazu ziemnego (CNG) lub skroplonego gazu ziemnego (LNG) [2015/999], [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:42015X0630\(01\)&from=BG](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:42015X0630(01)&from=BG) [dostęp: 11.03.2023].
- [8] Hellmann T., Cimolino U., *Alternative Fahrzeugantriebe*, Eco-med Sicherheit, 2022.
- [9] *Unfallhilfe & Bergen bei LNG-Fahrzeugen. Antworten auf häufig gestellte Fragen / FAQ (Frequently Asked Questions)*, Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.), 2021.
- [10] RETEX – Wymiana doświadczeń CTIF, *Wypadek z udziałem samochodu ciężarowego napędzanego LNG*, 2018.
- [11] Leszczuk K., *Bezpieczne LNG*, „Przegląd Pożarniczy” 2014, 1, 32.
- [12] *Instalacje LPG w Polsce*, witryna internetowa firmy ARTGAZ J. Płotkowiak, <https://artgaz.pl/instalacje-gazowe-lpg/> [dostęp: 12.03.2023].
- [13] Regulamin nr 67 Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych (EKGONZ) – Jednolite przepisy dotyczące: I. Homologacji specjalnego wyposażenia pojazdów kategorii M i N wykorzystujących w układzie napędowym skroplony gaz ropopochodny (LPG); II. Homologacji pojazdów kategorii M i N wyposażonych w specjalny układ wykorzystujący w układach napędowych skroplony gaz ropopochodny w zakresie montażu tego wyposażenia [2016/1829], [dostęp: 12.03.2023].
- [14] PN-EN 10120:2017-10 Blachy i taśmy stalowe na spawane butle do gazów.
- [15] Österreichischer Bundesfeuerwehrverband, *Informationsblatt E 20 Einsatz mit alternativ angetriebenen Fahrzeugen und deren Peripherie*, 2021.
- [16] ISO 17840-4:2018 Road vehicles - Information for first and second responders – Part 4: Propulsion energy identification.
- [17] BLEVE, film demonstracyjny, [https://www.youtube.com/watch?v=UM0jtD\\_OWLU&list=PLp3CIPnuRs8AhYQYc-6tOXpqqpmgPjRx0](https://www.youtube.com/watch?v=UM0jtD_OWLU&list=PLp3CIPnuRs8AhYQYc-6tOXpqqpmgPjRx0) [1.10.2022].
- [18] Australasian Fire and Emergency Service Authorities Council, *Incidents Involving Electric Vehicles* (AFAC Publication No. 3096), AFAC, Melbourne 2022.
- [19] Bezpieczeństwo eksploatacji urządzeń, instalacji i sieci gazowych, [https://grupasilesia.com.pl/files/1714/1890/8208/Materialy\\_do\\_pobrania\\_-\\_g3.pdf](https://grupasilesia.com.pl/files/1714/1890/8208/Materialy_do_pobrania_-_g3.pdf) [dostęp: 10.03.2023].

**SEN. BRIG. JACEK ZBOINA, D.SC.** – Deputy Director for Certification and Acceptance at CNBOP-PIB. He graduated from the Main School of Fire Service, the Warsaw School of Economics and the Polish Naval Academy in Gdynia. In 2023 he obtained habilitation in the field of social sciences in the discipline of health sciences at the Faculty of Command and Naval Operations of the Naval Academy in Gdynia. He worked as Fire Risk Surveyor under the Chief Commandant of the State Fire Service. His research and professional interests include safety, fire protection, technical fire security systems, and compliance assessment. He is the author or co-author of several dozen scientific and specialist papers on safety, fire protection, technical security systems, product testing and certification, the practical use of new technologies, and the development of innovations. He has been involved in the implementation and management of research and research & development projects.

**ST. BRYG. DR HAB. INŻ. JACEK ZBOINA** – Z-ca Dyrektora ds. Certyfikacji i Dopuszczeń CNBOP-PIB. Absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej, Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie oraz Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni. W 2023 roku uzyskał stopień doktora habilitowanego w dziedzinie nauk społecznych w dyscyplinie nauk o bezpieczeństwie na Wydziale Dowodzenia i Operacji Morskich Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni. Rzeczoznawca Komendanta Głównego PSP ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych. Jego zainteresowania badawcze oraz praca zawodowa obejmują: bezpieczeństwo, ochronę przeciwpożarową, techniczne systemy zabezpieczeń przeciwpożarowych oraz ocenę zgodności. Autor i współautor kilkudziesięciu publikacji naukowych oraz branżowych w zakresie bezpieczeństwa, ochrony przeciwpożarowej, technicznych systemów zabezpieczeń, badań, testowania i certyfikacji wyrobów, a także wykorzystania w praktyce nowych technologii i tworzenia innowacji. W działalności badawczej i zawodowej uczestniczy w pracach w projektach badawczych i badawczo-rozwojowych – zarówno w roli wykonawcy, jak i kierownika.

**SEN. BRIG. (RETD.) JAN KIELIN, M.SC. ENG.** – he graduated from the School of Fire Service Officers in Warsaw and the Higher School of Fire Service Officers in Warsaw. In 1975 he became a licensed fire risk surveyor. He has authored many publications and translations on fire protection.

**SEN. BRIG. GRZEGORZ BUGAJ, M.SC. ENG.** – a graduate of the Main School of Fire Service, master's degree in firefighting engineering. He completed postgraduate studies in the areas of: Safety and Protection of Man in the Work Environment (Central Institute for Labour Protection in Warsaw), Emergency Medicine (Medical Academy in Poznan), Safety of Nuclear Energy (Main School of Fire Service), CBRN security manager (Faculty of Biology and Environmental Protection, University of Lodz). Long-time commander of the Specialized Chemical and Ecological Rescue Group and member of the "CBRNDet Module" of the European Civil Protection Mechanism. Former Vice-Chancellor-Deputy Commandant for Operations at the Main School of Fire Service.

**SEN. BRIG. JACEK ZALECH, M.SC. ENG.** – a graduate of the Main School of Fire Service in Warsaw, as well as postgraduate studies in emergency management. He also completed postgraduate Executive Master of Business Administration (MBA). He is an officer with 28 years of experience. He currently serves at the National Headquarters of the State Fire Service as Director of the Bureau of Operations Planning. Author or co-author of documents affecting the safe conduct of rescue operations. In particular, these are: standard rules for dealing with incidents involving acetylene cylinders, standard rules for dealing with incidents involving electric passenger vehicles, standard rules for dealing with incidents following a construction disaster.

**DAMIAN BAŁ, M.SC. ENG.** – a graduate of the Military University of Technology, Faculty of Electronics, field of study: electronics and telecommunication. An engineering and technical specialist at Certification Department at Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute (CNBOP-PIB).

**ST. BRYG. W ST. SP. MGR INŻ. JAN KIELIN** – absolwent Szkoły Oficerów Pożarnictwa w Warszawie oraz Wyższej Oficerskiej Szkoły Pożarniczej w Warszawie. W roku 1975 uzyskał uprawnienia rzeczoznawcy do spraw zabezpieczeń ppoż. Autor wielu publikacji oraz tłumaczeń z zakresu ochrony przeciwpożarowej.

**ST. BRYG. MGR INŻ. GRZEGORZ BUGAJ** – absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej, magister inżynier pożarnictwa. Ukończył studia podyplomowe na kierunkach: Bezpieczeństwo i ochrona człowieka w środowisku pracy (Centralny Instytut Ochrony Pracy w Warszawie), Medycyna ratunkowa (Akademia Medyczna w Poznaniu), Bezpieczeństwo energetyki jądrowej (Szkoła Główna Służby Pożarniczej), CBRN security manager (Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Łódzki). Wieloletni dowódca Specjalistycznej Grupy Ratownictwa Chemiczno-Ekologicznego oraz członek „Modułu CBRNDet” w ramach europejskiego mechanizmu ochrony ludności. Były Prorektor-Zastępca Komendanta ds. Operacyjnych Szkoły Głównej Służby Pożarniczej.

**ST. BRYG. MGR INŻ. JACEK ZALECH** – absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie, a także studiów podyplomowych z zakresu zarządzania w stanach zagrożenia. Ukończył również studia podyplomowe Executive Master of Business Administration (MBA). Jest oficerem z 28-letnim doświadczeniem. Obecnie pełni służbę w Komendzie Głównej Państwowej Straży Pożarnej na stanowisku Dyrektora Biura Planowania Operacyjnego. Autor lub współautor dokumentów mających wpływ na bezpieczeństwo prowadzenia działań ratowniczych. Są to w szczególności: standardowe zasady postępowania podczas zdarzeń z udziałem butli z acetylenem, standardowe zasady postępowania podczas zdarzeń z samochodami osobowymi z napędem elektrycznym, standardowe zasady postępowania po wystąpieniu katastrofy budowlanej.

**MGR INŻ. DAMIAN BAŁ** – absolwent Wojskowej Akademii Technicznej na wydziale Elektroniki na kierunku Elektronika i telekomunikacja. Specjalista inżynierjno-techniczny w Jednostce Certyfikującej Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowego Instytutu Badawczego.