

Jacek Zboina^{a)*}, Jan Kielin^{a)}, Grzegorz Bugaj^{b)}, Jacek Zalech^{c)}, Damian Bąk^{a)}

^{a)} *Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute / Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowy Instytut Badawczy*

^{b)} *Central Institute for Labour Protection – National Research Institute (CIOP-PIB) / Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy*

^{c)} *National Headquarters of the State Fire Service of Poland / Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej*

* *Corresponding author / Autor korespondencyjny: jzboina@cnbop.pl*

Rescue and Firefighting Operations During Incidents Involving Vehicles with Alternative Propulsion. Electric Vehicles

Działania ratowniczo-gaśnicze podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z napędem alternatywnym. Pojazdy elektryczne

ABSTRACT

Aim: The aim of the article is to review information about motor vehicles that use alternative propulsion systems (in this case, electric propulsion) and the risks associated with their use. The discussion of these issues is crucial for undertaking rescue and firefighting operations during incidents (fires, local emergencies) involving alternatively powered vehicles and the effectiveness of these operations. Knowledge in the areas of: hazard identification, improvement of rescue technologies, necessary devices and equipment for effective rescue and firefighting operations during traffic incidents, including fires, with the involvement of vehicles with alternative propulsion systems can be gained from both theoretical and empirical studies.

Introduction: Technical and technological advances in the area of drives used in vehicles and machinery pose new challenges for fire protection. They concern, among other things, the technology of rescue operations during fires and traffic accidents involving such vehicles, as well as ensuring fire safety when operating and storing them in buildings, garages and parking areas, and during charging.

Methodology: The article was prepared based on national and foreign sources, literature on the subject, research results and the authors' diverse experiences. It describes the current state of knowledge in terms of hazards and how to deal with them during rescue and firefighting operations against incidents involving alternatively powered vehicles.

Conclusions: The number of motor vehicles in Poland and other countries continues to grow, and together with it also the number of vehicles equipped with alternative drives to internal combustion engines (gasoline, diesel). An analysis of the literature on the subject, available research results, as well as individual incidents, lead to the reasonable conclusion that the risks during rescue and firefighting operations associated with the incidents involving electric and hybrid vehicles are no greater than for conventionally powered vehicles. They are different to some extent, which is due in particular to the used power system, which is based on energy storage devices – batteries.

Keywords: alternative propulsion, CNG, LNG, methane, LPG, ethane, propane, hybrid propulsion, electric vehicles, fuel cell, rescue, rescue and firefighting operations

Type of article: review article

Received: 08.11.2022; **Reviewed:** 27.11.2022; **Accepted:** 01.12.2022;

Authors' ORCID IDs: J. Zboina – 0000-0002-9436-5830; J. Kielin – 0000-0002-3506-5424; G. Bugaj – 0000-0003-1650-023X;

J. Zalech – 0000-0001-7948-2812; D. Bąk – 0000-0002-2549-3855

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

Please cite as: SFT Vol. 60 Issue 2, 2022, pp. 8–40, <https://doi.org/10.12845/sft.60.2.2022.1>;

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 artykułu jest przegląd informacji o pojazdach mechanicznych, w których wykorzystuje się alternatywne napędy (w tym przypadku napęd elektryczny) i związane z ich stosowaniem zagrożenia. Omówienie tych zagadnień jest kluczowe dla podejmowania działań ratowniczo-gaśniczych podczas zdarzeń (pożarów, miejscowych zagrożeń) z udziałem pojazdów z napędami alternatywnymi oraz skuteczności tych działań. Wiedzę w zakresie: identyfikacji zagrożeń, doskonalenia technologii ratowniczych, niezbędnego sprzętu i wyposażenia do prowadzenia skutecznych działań ratowniczo-gaśniczych podczas zdarzeń komunikacyjnych, w tym pożarów, z udziałem pojazdów z alternatywnymi źródłami napędu można zdobyć zarówno na podstawie badań teoretycznych, jak i empirycznych.

Wprowadzenie: Postęp techniczny i zaawansowane technologie w zakresie napędów stosowanych w pojazdach i maszynach stawiają przed ochroną przeciwpożarową nowe wyzwania. Dotyczą one między innymi technologii działań ratowniczych podczas pożarów i wypadków komunikacyjnych, w których uczestniczą takie pojazdy, oraz zapewnienia bezpieczeństwa pożarowego podczas eksploatacji i przechowywania ich w obiektach budowlanych, garażach i miejscach postojowych oraz podczas ładowania.

Metodologia: Opracowanie wykonano w oparciu o źródła krajowe i zagraniczne, literaturę przedmiotu, wyniki badań oraz różnorodne doświadczenia autorów. Artykuł opisuje obecny stan wiedzy w zakresie zagrożeń i radzenia sobie z nimi podczas prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych wobec zdarzeń z udziałem pojazdów z napędami alternatywnymi.

Wnioski: Liczba pojazdów silnikowych w Polsce i innych państwach wciąż rośnie, a razem z nią także liczba pojazdów wyposażonych w napędy alternatywne do napędów spalinowych (benzynowych, na olej napędowy). Analiza literatury przedmiotu, dostępnych wyników badań, jak i poszczególnych zdarzeń prowadzi do uzasadnionego wniosku, iż zagrożenia podczas prowadzenia działań ratowniczych i gaśniczych związanych ze zdarzeniami z udziałem pojazdów elektrycznych i hybrydowych nie są większe niż w przypadku pojazdów z napędami konwencjonalnymi. Są one w pewnym zakresie inne, co wynika w szczególności ze stosowanego systemu zasilania opartego na urządzeniach do magazynowania energii – akumulatorów.

Słowa kluczowe: napędy alternatywne, CNG, LNG, metan, LPG, etan, propan, napęd hybrydowy, pojazdy elektryczne, ogniwo paliwowe, ratownictwo, działania ratowniczo-gaśnicze

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 08.11.2022; **Zrecenzowany:** 27.11.2022; **Zaakceptowany:** 01.12.2022;

Identyfikatory ORCID autorów: J. Zboina – 0000-0002-9436-5830; J. Kielin – 0000-0002-3506-5424; G. Bugaj – 0000-0003-1650-023X;

J. Zalech – 0000-0001-7948-2812; D. Bąk – 0000-0002-2549-3855;

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

Proszę cytować: SFT Vol. 60 Issue 2, 2022, pp. 8–40, <https://doi.org/10.12845/sft.60.2.2022.1>;

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

Introduction

Technological progress and advanced technologies present fire protection with entirely new challenges. Alternative-drive vehicles are also increasing rapidly. The current trend shows an increasing number of registered vehicles with hybrid propulsion systems, but also fully electric vehicles. In turn, other possible types of vehicle propulsion, such as gas, have been on the market for some time. There are about four million CNG and LNG-powered vehicles in operation worldwide. In some countries, such as Argentina and Brazil, CNG-powered vehicles are very popular.

In recent years we have witnessed a significant increase in the number of hydrogen-powered vehicles. The growing use of unconventional propulsion systems in vehicles also increases the likelihood of possible accidents and fires involving them. This is a particular challenge for fire protection. Firefighters should know these risks and have knowledge how to deal with them. Only then can they be prevented effectively. Preparing rescuers for such operations is also important in terms of helping those involved in such incidents and increasing their chances of survival, but also ensuring the safety of the rescuers themselves.

This article is primarily aimed at presenting the current state of knowledge that can be used in practice – during rescue operations related with incidents (accidents and fires) involving vehicles using alternative propulsion systems. A major impediment to the analysis in this regard is the lack of an up-to-date set of detailed data showing the involvement of alternative-propulsion vehicles in accidents and fires in Poland (work on collecting such data in the SWD-PSP database is underway).

Wprowadzenie

Postęp techniczny i zaawansowane technologie stawiają przed ochroną przeciwpożarową całkowicie nowe wyzwania. Gwałtownie przybywa też pojazdów z napędami alternatywnymi. Obecny trend wskazuje na rosnącą liczbę rejestrowanych pojazdów z hybrydowymi systemami napędu, ale także pojazdów w pełni elektrycznych. Z kolei inne możliwe rodzaje napędów w pojazdach, np. gaz, są na rynku już od jakiegoś czasu. Na świecie funkcjonują ok. cztery miliony pojazdów zasilanych CNG i LNG. W niektórych państwach, jak Argentyna, Brazylia, pojazdy napędzane CNG są bardzo popularne.

W ostatnich latach widoczny jest znaczny wzrost liczby pojazdów napędzanych wodorem. Rosnące zastosowanie niekonwencjonalnych napędów w pojazdach zwiększa również prawdopodobieństwo wystąpienia ewentualnych wypadków i pożarów z ich udziałem. Jest to szczególne wyzwanie dla ochrony przeciwpożarowej. Strażacy powinni znać te zagrożenia i umieć sobie z nimi radzić. Tylko wtedy można skutecznie im zapobiegać. Przygotowanie ratowników do prowadzenia tego typu działań ma także istotne znaczenie w kontekście pomocy osobom uczestniczącym w takich zdarzeniach i zwiększenia ich szans na przeżycie, ale także zapewnienia bezpieczeństwa samych ratowników.

Niniejszy artykuł ma na celu przede wszystkim przedstawienie aktualnego stanu wiedzy możliwej do wykorzystania w praktyce – podczas zadań ratowniczych związanych ze zdarzeniami (wypadkami i pożarami) z udziałem pojazdów, w których używane są napędy alternatywne. Istotnym utrudnieniem w analizach w tym zakresie jest brak aktualnego zbioru szczegółowych danych obrazujących udział w wypadkach i pożarach pojazdów z napędami alternatywnymi na terenie Polski (prace dotyczące gromadzenia takich danych w bazie SWD-PSP są w toku).

Alternatively-powered vehicles can be divided into two groups:

Group I: electric, hybrid and fuel cell vehicles:

- electric vehicles with a battery as the only energy storage; equipped with one electric motor or several such motors (BEV);
- hybrid vehicles (drive system voltage above 48 volts);
- fuel cell electric vehicles (FCEVs).

Group II: gas vehicles that use the following as fuel:

- liquefied petroleum gas – LPG;
- compressed natural gas – CNG;
- liquefied natural gas – LNG;
- compressed gaseous hydrogen – CGH2;
- liquefied hydrogen – LH2;
- cryo-compressed hydrogen – CH2 (also CCH2) [1].

Electric-powered vehicles have been around in transportation for many years. The origins of this technology date back to the second half of the 19th century. M. Gustave Trouve was the first to design an “official” electric road vehicle in 1881. The range of this invention was a maximum of 26 km, with a top speed of 12 km/h [1].

Currently, we are seeing strong development of alternative propulsion and related infrastructure. It is certain that the share of vehicles with alternative propulsion technologies will change significantly in the near future. What we don't know is the timing of these changes and how dynamic this process will be in Poland.

As of the end of July 2022, 50,881 electrically powered vehicles (including passenger vehicles, vans and trucks) were registered in Poland. Compared to the previous year, there was an 80% increase in 2021. In turn, there were 419,222 hybrid cars and vans. There were 14,967 registered electric motorcycles and mopeds [4].

It should be pointed out that the increase in the total number of motor vehicles currently observed in Poland (see Table 1) directly affects the challenges the emergency services face.

Pojazdy z napędami alternatywnymi można podzielić na dwie grupy:

Grupa I: pojazdy elektryczne, hybrydowe i z ogniwami paliwowymi:

- pojazdy elektryczne z akumulatorem będącym jedynym magazynem energii; wyposażone w jeden silnik elektryczny lub kilka takich silników (BEV);
- pojazdy hybrydowe (napięcie w systemie napędowym powyżej 48 V);
- pojazdy napędzane prądem wytwarzanym przez ogniwa paliwowe (FCEV).

Grupa II: pojazdy gazowe, w których jako paliwo stosuje się:

- gaz skroplony – LPG (ang. *liquified petroleum gas*);
- sprężony gaz ziemny/biogaz – CNG (ang. *compressed natural gas*);
- skroplony gaz ziemny – LNG (ang. *liquified natural gas*);
- sprężony wodór – CGH2 (ang. *compressed gaseous hydrogen*);
- głęboko schłodzony wodór – LH2 (ang. *liquified hydrogen*);
- głęboko schłodzony, sprężony, skroplony wodór – CH2 (także CCH2) (ang. *cryo-compressed hydrogen*) [1].

Pojazdy z napędem elektrycznym w komunikacji funkcjonują od wielu lat. Początki tej technologii sięgają drugiej połowy XIX wieku. M. Gustave Trouve jako pierwszy zaprojektował w 1881 roku „oficjalny” elektryczny pojazd drogowy. Zasięg tego wynalazku wynosił maksymalnie 26 km, prędkość maksymalna 12 km/h [1].

Obecnie obserwujemy intensywny rozwój napędów alternatywnych i związanej z nimi infrastruktury. Pewne jest, że udział pojazdów z alternatywnymi technologiami napędowymi istotnie się zmieni w najbliższej przyszłości. Nie wiemy tylko, w jakim czasie te zmiany nastąpią i jak dynamicznie ten proces będzie przebiegał w Polsce.

Na koniec lipca 2022 roku zarejestrowanych było w Polsce 50 881 pojazdów z napędem elektrycznym (w tym pojazdy osobowe, samochody dostawcze i ciężarowe). W porównaniu z rokiem poprzedzającym w 2021 roku nastąpił wzrost o 80%. Natomiast hybrydowych samochodów osobowych i dostawczych było 419 222. Zarejestrowanych motocykli i motorowerów elektrycznych było 14 967 [4].

Należy zauważyć, że obserwowany obecnie w Polsce wzrost ogólnej liczby pojazdów silnikowych (zob. tabela 1) wpływa bezpośrednio na wyzwania stojące przed służbami ratowniczymi.

Table 1. Number of motor vehicles in Poland between 2012 and 2021
Tabela 1. Liczba pojazdów silnikowych w Polsce w latach 2012–2021

Years / Lata	Motor vehicles in total / Pojazdy silnikowe ogółem	Passenger vehicles / Pojazdy osobowe	Heavy-duty vehicles / Pojazdy ciężarowe	Motorcycles / Motocykle
2012	24 875 717	18 744 412	2 920 779	1 107 260
2015	27 409 106	20 723 423	3 098 376	1 272 333
2018	30 800 790	23 429 016	3 338 166	1 502 888
2021	34 030 267	25 869 804	3 634 196	1 749 697

Source: Own elaboration based on: Wypadki drogowe w Polsce w 2021 roku, Police Headquarters – Traffic Department, Warszawa 2022 [2].
Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Wypadki drogowe w Polsce w 2021 roku, Komenda Główna Policji – Biuro Ruchu Drogowego, Warszawa 2022 [2].

During a traffic accident or fire, new types of propulsion impact the hazard spectrum. They must be properly taken into account when dealing with the emergency services at the scene. For fire departments fires of electric vehicle are extremely difficult to extinguish. Firefighting operations require a lot of water – and not just in the initial phase. Once the flames are suppressed, the fire can reappear even hours after the accident. Services in Western countries, but also already in Poland, are opting for a radical solution, which involves submerging such a vehicle in a container filled with water.

The scale of this challenge for fire protection in the near future can be seen from the data presented below, based on an expert forecast of changes in the activity of the road transport sector.

Podczas wypadku drogowego lub pożaru nowe rodzaje napędu oddziałują na spektrum zagrożenia. Muszą one zostać odpowiednio uwzględnione w postępowaniu służb ratowniczych na miejscu zdarzenia. Pożary pojazdów elektrycznych są niezwykle trudne do ugaszenia przez straż pożarną. Działania gaśnicze wymagają dużej ilości wody – i to nie tylko w fazie początkowej. Po stłumieniu płomieni ogień może pojawić się ponownie nawet kilka godzin po wypadku. Służby w krajach zachodnich, ale także już w Polsce, decydują się na radykalne rozwiązanie, które polega na zanurzeniu takiego pojazdu w kontenerze wypełnionym wodą.

O skali tego wyzwania w najbliższym czasie dla ochrony przeciwpożarowej świadczyć mogą przedstawione poniżej dane, opracowane na podstawie prognozy eksperckiej dot. zmian aktywności sektora transportu drogowego.

Table 2. Structure of motor vehicles on the Polish market now and forecast until 2035 (passenger cars, other than passenger cars up to 3.5 t, trucks up to 3.5 t, buses up to 3.5 t, special cars up to 3.5 t, trucks over 3.5 t, buses over 3.5 t) – number of vehicles in thousands of items

Tabela 2. Struktura pojazdów mechanicznych na rynku polskim obecnie i prognoza do 2035 roku (samochody osobowe, inne niż osobowe do 3,5 t, ciężarowe do 3,5 t, autobusy do 3,5 t, samochody specjalne do 3,5 t, samochody ciężarowe pow. 3,5 t, autobusy pow. 3,5 t) – liczba pojazdów w tys. sztuk

Type of fuel / Rodzaj paliwa	Number of vehicles in thousands of items in years/ Liczba pojazdów w tysiącach sztuk w latach				
	2015	2020	2025	2030	2035
Petrol / Benzyna	12 570,5	14 530,2	14 805,9	13 653,8	12 367,6
Diesel / Olej napędowy	8901,6	10 997,6	12 073,1	11 497,3	10 358,4
LPG / LPG	2901,3	3192,7	3186,8	2971,2	2646,9
NG (CNG, LNG) / NG (CNG, LNG)	8,5	44,9	173	535,3	3395,4
Electric and hybrid / Elektryczne i hybrydowe	9,2	64,6	256,3	764,1	1557,3
Fuel cells (hydrogen) / Ogniwia paliwowe (wodór)	0	0	1,1	16,1	110,3
Total / Razem	24 393,1	28 832,0	30 498,2	29 423,7	30 437,9

Source: Own elaboration based on J. Waśkiewicz, P. Pawlak, *Prognozy eksperckie zmian aktywności sektora transportu drogowego (w kontekście ustawy o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji)*, Praca ITS nr 0701/ZBE/17, Warszawa 2017 [3].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie J. Waśkiewicz, P. Pawlak, *Prognozy eksperckie zmian aktywności sektora transportu drogowego (w kontekście ustawy o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji)*, Praca ITS nr 0701/ZBE/17, Warszawa 2017 [3].

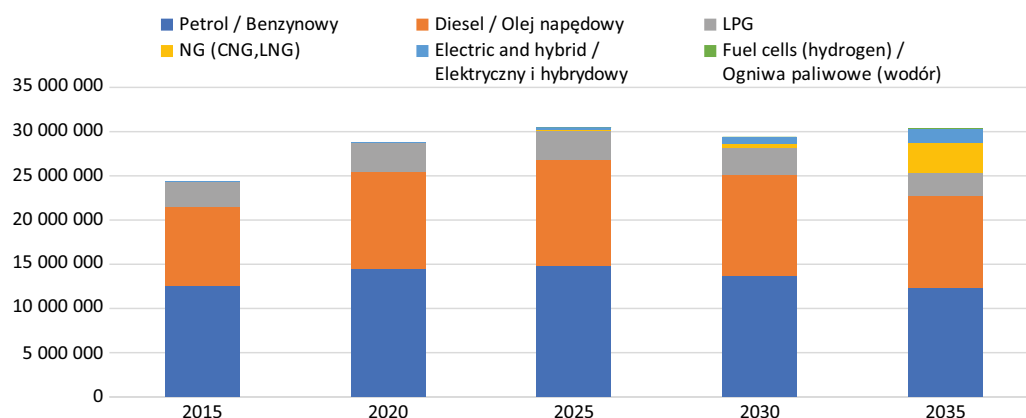


Figure 1. Structure of motor vehicles by fuel type: current status and forecast to 2035

Rycina 1. Struktura pojazdów według rodzaju paliwa: stan obecny i prognoza do 2035 roku

Source: Own elaboration based on J. Waśkiewicz, P. Pawlak, *Prognozy eksperckie zmian aktywności sektora transportu drogowego (w kontekście ustawy o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji)*, Praca ITS nr 0701/ZBE/17, Warszawa 2017 [3].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie J. Waśkiewicz, P. Pawlak, *Prognozy eksperckie zmian aktywności sektora transportu drogowego (w kontekście ustawy o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji)*, Praca ITS nr 0701/ZBE/17, Warszawa 2017 [3].

In vehicles with alternative propulsion systems, the energy storage system is the main feature that differentiates them from vehicles with conventional systems. While in vehicles with internal combustion engines the energy source is fluids (diesel, petrol, LPG, LNG, synthetic fuels) or gases (CNG, H₂) that are stored in a tank, in electric vehicles it is electricity stored in batteries.

Vehicles powered by natural gas (CNG) or liquefied petroleum gas/autogas (LPG) have long been in use and proven to work. The number of vehicles running on such fuels is not large compared to conventional vehicles. The potential risks associated with the use of such vehicles are already well known and generally relate to refuelling accidents and, in a few cases, explosive combustion processes in the event of accidents involving individual vehicles of this type.

In vehicles with fuel cell technology, the fuel storage – usually hydrogen – is gaseous and the electricity is generated in the fuel cell. The battery again serves as intermediate storage – among other things, to store recovered energy – but may have less capacity than a battery electric vehicle (BEV).

According to the authors, greater use of fuel cell electric vehicles (FCEVs) is currently unlikely in the coming years, primarily due to the lack of the refuelling infrastructure. At the end of July of this year, 124 hydrogen-powered vehicles were registered in Poland [4].

In light of these considerations and the needs indicated in the introduction above, in the remainder of the article the authors, relying on the presented literature and the research results, as well as their own experiences, present the most relevant information about motor vehicles using alternative propulsion and the risks associated with them. These issues are particularly relevant to the rescue and firefighting operations associated with these vehicles.

The article presents issues related to rescue and firefighting operations during fires and local emergencies classified as Group I (electric, hybrid and fuel cell vehicles). The second part of the article, which the authors intend to submit for publication in "Safety & Fire Technology", will focus on Group II (gas-powered vehicles) alternative propulsion vehicles. When used as fuel, gases are a primary hazard – both in terms of a fire and explosion.

Definitions and abbreviations

ADR (fr. *L'Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route*) – European agreement concerning the international carriage of dangerous goods by road.

Lithium batteries – batteries with substances containing lithium. There is a fundamental difference between lithium metal and lithium-ion batteries. Lithium metal batteries contain pure lithium in small quantities. Lithium-ion batteries usually contain lithium dissolved in other substances.

BEV (battery electric vehicle) – an electric vehicle with

W pojazdach z alternatywnymi układami napędowymi układ magazynowania energii jest główną cechą odróżniającą je od pojazdów z układami konwencjonalnymi. O ile w pojazdach z silnikami spalinowymi źródłem energii są płyny (olej napędowy, benzyna, LPG, LNG, paliwa syntetyczne) lub gazy (CNG, H₂), które są przechowywane w zbiorniku, o tyle w pojazdach elektrycznych jest to energia elektryczna gromadzona w akumulatorach.

Pojazdy napędzane gazem ziemnym (CNG) lub gazem płynnym/autogazem (LPG) są już od dawna użytkowane i sprawdzone w praktyce. Liczba pojazdów zasilanych takimi paliwami nie jest duża w porównaniu z pojazdami konwencjonalnymi. Potencjalne zagrożenia związane z użytkowaniem takich pojazdów są już dobrze znane i dotyczą na ogół wypadków podczas tankowania oraz, w nielicznych przypadkach, procesów spalania wybuchowego w razie wypadków z udziałem pojedynczych pojazdów tego typu.

W pojazdach z technologią ogniw paliwowych, magazyn paliwa – zwykle wodoru – jest gazowy, a energia elektryczna jest wytwarzana w ogniwie paliwowym. Akumulator ponownie służy jako magazyn pośredni – między innymi do przechowywania odzyskanej energii – ale może mieć mniejszą pojemność niż w przypadku pojazdu elektrycznego na baterie (BEV).

Większe wykorzystanie pojazdów elektrycznych z ogniwem paliwowym (FCEV) jest zdaniem autorów aktualnie mało prawdopodobne w najbliższych latach, przede wszystkim ze względu na brak infrastruktury do tankowania. Na koniec lipca br. w Polsce zarejestrowano 124 pojazdy z napędem wodorowym [4].

Wobec tych uwarunkowań i potrzeb wskazanych w powyższym wprowadzeniu, w dalszej części artykułu autorzy, opierając się na literaturze przedmiotu i przedstawionych wynikach badań, a także swoich doświadczeniach, zaprezentowali najistotniejsze informacje o pojazdach mechanicznych, w których stosuje się alternatywne napędy i związane z nimi zagrożenia. Zagadnienia te są szczególnie istotne z punktu widzenia działań ratowniczo-gaśniczych z udziałem tych pojazdów.

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z działaniami ratowniczo-gaśniczymi podczas pożarów i miejscowych zagrożeń zaliczonych do grupy I (pojazdy elektryczne, hybrydowe i z ogniwami paliwowymi). Druga część artykułu, którą autorzy zamierzają zgłosić do publikacji w „Safety & Fire Technology”, będzie poświęcona pojazdom z napędami alternatywnymi zaliczonymi do grupy II (pojazdy gazowe). Stosowane jako paliwo gazy stanowią podstawowe zagrożenie – zarówno pożarowe, jak i wybuchowe.

Definicje i skróty

ADR (fr. *L'Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route*) – umowa europejska dotycząca międzynarodowego przewozu drogowego towarów niebezpiecznych.

Baterie litowe – baterie z substancjami zawierającymi lit. Istnieje podstawowa różnica między bateriami litowo-metalowymi, a litowo-jonowymi. Baterie litowo-metalowe zawierają czysty lit w małych ilościach. Baterie litowo-jonowe zwykle zawierają lit rozpuszczony w innych substancjach.

a battery as the sole energy storage facility and equipped with one or more electric motors. Such vehicles have a connection for charging the battery from an external power source. In addition, one 'normal' battery or more such vehicle batteries can function to support the vehicle's 12-, 24- or 48-volt electrical system. In addition, the high-voltage battery can be partially recharged by recuperation while driving. In this case the electric motor acts as a generator.

BMS – battery management system.

CCS – combined charging system.

CTIF – The International Association of Fire & Rescue Services.

Elektrolit – a chemical compound found in batteries in solid or liquid form and containing mobile ions.

F-CELL (fuel cell) – fuel cell vehicles, in which energy for the engine and battery is generated by converting hydrogen into electricity. F-CELL vehicles (also known as Fuel-CELL).

FCEV (fuel cell electric vehicles) – fuel cell electric vehicle (these vehicle types will be discussed in part 2 of the article).

Power density – the power density indicates how much electrical energy (energy over time) can be extracted from a battery, again in relation to its mass. Power density is particularly important in electromobility, as lightweight batteries are needed that must be able to quickly release enough energy to properly accelerate the vehicle. Power density is given in W/kg [14].

HV (hybrid vehicle) – a vehicle with two combined drive modes. The electric drive is connected to the combustion engine.

HEV (hybrid electric vehicle) – a hybrid motor vehicle is a vehicle with an electric drive and an internal combustion engine. The high-voltage energy storage system is charged by the internal combustion engine [6]. According to the definition of the EU Directive (EU Directive 2007/46/EC), which regulates, among others, the framework conditions for the approval of motor vehicles, a hybrid motor vehicle is a vehicle that is equipped with at least two different energy converters (drive motors) and two different energy storage systems (on-board) for the purpose of vehicle propulsion.

ICE (internal combustion engine) – vehicles with petrol or diesel engines.

MSD (mass storage device) – manual service cut-off switch – used by workshop staff to disconnect the vehicle from the power supply for repair or service work. Often, these cut-off points are also referred to as 'service cut-off' or 'emergency cut-off' by car manufacturers in their emergency data sheets.

There are currently two different patterns of behaviour:

- low-voltage cut-off;
- high voltage cut-off.

However, both have the same effect on the HV system when they are activated: breaking the circuit between the individual modules in the HV battery, which means deactivating the HV system.

LNG (liquefied natural gas) – natural gas in a liquid state, i.e. at a temperature below -162°C . During condensation, the volume is reduced 630 times, so that the 'energy density' of the liquid natural gas increases.

LPG – liquefied petroleum gas.

BEV (ang. *battery electric vehicle*) – pojazd elektryczny z akumulatorem jako jedynym magazynem energii oraz wyposażony w jeden silnik elektryczny lub kilka takich silników. Pojazdy takie posiadają przyłącze do ładowania akumulatora z zewnętrznego źródła prądu. Dodatkowo może funkcjonować jeden „zwykły” akumulator lub więcej takich akumulatorów samochodowych do obsługi instalacji elektrycznej pojazdu w systemie 12, 24 lub 48 V. Ponadto akumulator wysokonapięciowy może być częściowo doładowywany poprzez rekuperację podczas jazdy. Silnik elektryczny pełni w tym przypadku rolę generatora.

BMS (ang. *battery management system*) – system zarządzania baterią.

CCS (ang. *combined charging system*) – połączony układ ładowania.

CTIF – Międzynarodowy Komitet Techniczny Prewencji i Zwalczania Pożarów.

Elektrolit – związek chemiczny występujący w akumulatorach w postaci stałej lub płynnej i zawierający ruchome jony.

F-CELL (ang. *fuel cell*) – pojazdy z ogniwem paliwowym, w którym energia dla silnika i akumulatora jest generowana na drodze przemiany wodoru w prąd elektryczny. Pojazdy w wersji F-CELL (nazywane także Fuel-CELL).

FCEV (ang. *fuel cell electric vehicles*) – pojazd elektryczny z ogniwem paliwowym (te rodzaje pojazdów będą omówione w 2 części opracowania).

Gęstość mocy – gęstość mocy wskazuje, ile energii elektrycznej (energii w czasie) można pobrać z akumulatora, ponownie w odniesieniu do jego masy. Gęstość mocy jest szczególnie ważna w elektromobilności, ponieważ potrzebne są lekkie akumulatory, które muszą być w stanie szybko uwolnić tyle energii, aby odpowiednio przyspieszyć pojazd. Gęstość mocy podaje się w W/kg [14].

HV (ang. *hybrid vehicle*) – pojazd hybrydowy – pojazd z dwoma kombinowanymi rodzajami napędu. Napęd elektryczny jest sprzężony z silnikiem spalinowym.

HEV (ang. *hybrid electric vehicle*) – hybrydowy pojazd silnikowy to pojazd z napędem elektrycznym i silnikiem spalinowym. Wysokonapięciowy system magazynowania energii jest ładowany przez silnik spalinowy [6]. Zgodnie z definicją Dyrektywy UE (Dyrektywa UE 2007/46/WE), która reguluje m.in. warunki ramowe homologacji pojazdów silnikowych, hybrydowy pojazd silnikowy to pojazd, który jest wyposażony w co najmniej dwa różne przetworniki energii (silniki napędowe) i dwa różne układy magazynowania energii (w pojeździe) do celów napędu pojazdu.

ICE (ang. *internal combustion engine*) – pojazdy z silnikami benzynowymi lub Diesla.

MSD (ang. *mass storage device*) – ręczny odłącznik serwisowy – służy pracownikom warsztatu do odłączania pojazdu od zasilania w celu przeprowadzenia naprawy lub prac serwisowych. Często te punkty odłączenia są również określane przez producentów samochodów w kartach danych ratunkowych jako „odłączenie serwisowe” lub „odłączenie awaryjne”. Obecnie istnieją dwa różne wzory zachowań:

- odłączenie niskiego napięcia;
- odłączenie wysokiego napięcia.

Jednak oba mają taki sam wpływ na system WN, gdy są uruchamiane: przerwanie obwodu pomiędzy poszczególnymi

NGD – natural gas drive.

PHEV (plug-in hybrid electric vehicle) – hybrid vehicle with electric drive and combustion engine. The high-voltage energy storage system can be charged either via the internal combustion engine or via a suitable charging connection with a charging cable (plug-in) [6].

Plug-in – a type of hybrid vehicle whose high-voltage batteries can be charged externally via a charging connector and charging plug.

Point of disconnection – is a high-voltage system cut-off device that can be used by the rescuers. These are described in the vehicle's rescue sheet and, if applicable, in the manufacturer's emergency instructions.

Rescuing – means the prevention of a life-threatening situation by means of life-saving measures and/or release of a person from a life or health-threatening situation (DIN 13050:2015-04).

REEV (range-extended electric vehicle) – is a special form of a hybrid vehicle in which the internal combustion engine drives a generator that powers the vehicle's high-voltage energy storage system. The main engine is an electric motor. In contrast to PHEVs, the additionally installed petrol engine does not serve as a source of propulsion, but 'only' as a power generator for the electric drive (main engine) and therefore only as a range extender [1]. In this type of vehicle, the internal combustion engine and the electric motor are not mechanically connected. In fact, there are two different ways of driving cars here, in which:

- the operation of the vehicle would indeed be possible continuously and without significant restrictions even with an empty drive battery, and
- the operation of the vehicle can only be practically prolonged, as the energy generated is not sufficient for full operation (i.e. there are significant limits to the speed that can still be reached or the acceleration, particularly on gradients) [1].

Recuperation – refers to the recovery of energy. Kinetic energy, which is normally converted into heat when braking or driving downhill, is now converted into electrical energy. During these phases, the electric motor acts as a generator and re-energises the high-voltage storage tank with electricity. In this way, the energy storage is recharged and the range is increased [31].

SOC (state of charge) – refers to the state of charge of the high-voltage battery. It is usually given in %. State of charge can be extremely important for risk assessment, especially for lithium-ion technology [1].

High voltage system – the vehicle's high-voltage system consists of several high-voltage components, including high-voltage energy storage and high-voltage cables [6].

Thermal runaway – is the burning of the battery or accumulator. This means that the electrical energy they contain is released in a short time. Thermal runaway can be caused by damage (e.g. fire or mechanical impact) or excessive or insufficient discharge (deep discharge) [14].

WN – high voltage.

modułami w baterii wysokiego napięcia, co oznacza dezaktywację systemu wysokiego napięcia.

LNG (ang. *liquefied natural gas*) – gaz ziemny w ciekłym stanie skupienia, tj. w temperaturze poniżej -162°C. Podczas skraplania objętość zmniejsza się 630 razy, dzięki czemu „gęstość energii” ciekłego gazu ziemnego wzrasta.

LPG (ang. *liquefied petroleum gas*) – gaz skroplony.

NGD (ang. *natural gas drive*) – silnik na gaz ziemny.

PHEV (ang. *plug-in hybrid electric vehicle*) – hybrydowy pojazd z napędem elektrycznym i silnikiem spalinowym. Wysokonapięciowy system magazynowania energii może być ładowany zarówno poprzez silnik spalinowy, jak i poprzez odpowiednie przyłącze ładowania z kablem ładującym (plug-in) [6].

Plug-in – typ pojazdów hybrydowych, których wysokonapięciowe akumulatory mogą być ładowane z zewnątrz poprzez złącze ładowania i wtyczkę ładującą.

Punkt rozdzielający (punkt rozłączania) – jest to urządzenie odcinające system wysokiego napięcia, które może być wykorzystane przez ratowników. Są one opisane w karcie ratowniczej pojazdu oraz jeśli dotyczy, w instrukcji ratowniczej producenta.

Ratowanie – oznacza zapobieganie zagrożenia życia poprzez działania ratujące życie i/lub uwolnienie osoby z sytuacji zagrożenia życia lub zdrowia (DIN 13050:2015-04).

REEV (ang. *range-extended electric vehicle*) – to specjalna forma pojazdu hybrydowego, w którym silnik spalinowy napędza generator zasilający system magazynowania energii o wysokim napięciu w pojeździe. Głównym silnikiem jest silnik elektryczny. W przeciwieństwie do pojazdów PHEV dodatkowo zamontowany silnik benzynowy nie służy jako źródło napędu, lecz „tylko” jako generator prądu dla napędu elektrycznego (silnika głównego), a więc wyłącznie jako przedłużacz zasięgu [1]. W tym typie pojazdu silnik spalinowy i silnik elektryczny nie są połączone mechanicznie. W rzeczywistości istnieją tu dwa różne sposoby napędu samochodów, w których:

- eksploatacja pojazdu byłaby rzeczywiście możliwa w sposób ciągły i bez istotnych ograniczeń nawet przy pustym akumulatorze napędowym, oraz
- eksploatacja pojazdu może być praktycznie tylko przedłużona, ponieważ wytworzona energia nie wystarcza do pełnej eksploatacji (tj. istnieją znaczne ograniczenia prędkości, jakie nadal można osiągnąć lub przyspieszenia, szczególnie na pochyłościach) [1].

Rekuperacja – odnosi się do odzyskiwania energii. Energia kinetyczna, która zwykle podczas hamowania lub jazdy z góry zamieniana jest na ciepło, teraz zamieniana jest na energię elektryczną. W tych fazach silnik elektryczny działa jako generator i ponownie zasila prądem elektrycznym zasobnik wysokiego napięcia. W ten sposób magazyn energii jest doładowywany, a zasięg się zwiększa [31].

SOC (ang. *state of charge*) – oznacza „stan naładowania” i odnosi się do stanu naładowania baterii wysokiego napięcia. Zwykle podaje się ją w %. Stan naładowania może być niezwykle istotny dla oceny ryzyka, zwłaszcza w przypadku technologii litowo-jonowej [1].

System wysokiego napięcia – system wysokiego napięcia w pojeździe składa się z kilku komponentów wysokiego napięcia,

High voltage (according to UN Regulation No. 100) – means the voltage for which an electrical component or circuit is designed with an operating voltage rms value of $> 60\text{ V}$ and $\leq 1500\text{ V}$ (direct current) or $> 30\text{ V}$ and $\leq 1000\text{ V}$ (alternating current) [6].

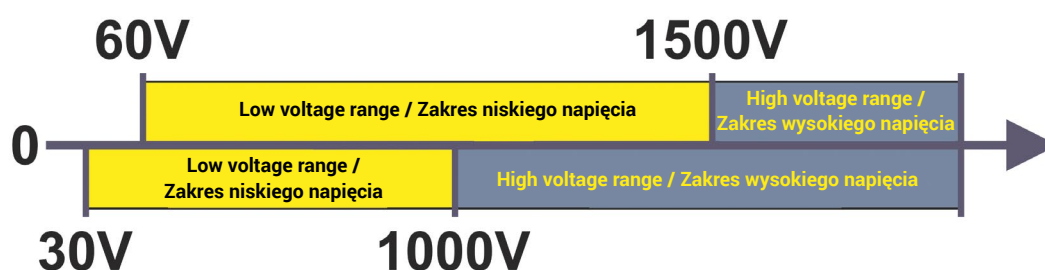
w tym z magazynu energii wysokiego napięcia i przewodów wysokiego napięcia [6].

Ucieczka termiczna – jest to spalanie baterii lub akumulatora. Oznacza, że zawarta w nich energia elektryczna jest uwalniana w krótkim czasie. Ucieczka termiczna może być wywołana przez uszkodzenie (np. pożar lub uderzenie mechaniczne) lub nadmierne lub niedostateczne rozładowanie (głębokie rozładowanie) [14].

WN – wysokie napięcie.

Wysokie napięcie (zgodnie z regulaminem 100 ONZ) – oznacza napięcie, dla którego zaprojektowany jest element lub obwód elektryczny i przy którym wartość skuteczna napięcia roboczego wynosi $> 60\text{ V}$ i $\leq 1500\text{ V}$ (prąd stały) lub $> 30\text{ V}$ i $\leq 1000\text{ V}$ (prąd zmienny) [6].

DC voltage / Napięcie stałe DC



AC voltage / Napięcie zmienne AC

Figure 2. DC and AC voltage classes

Rycina 2. Klasy napięciowe prądu stałego i zmiennego

Source / Źródło: U. Cimolino, *Alternative Fahrzeugantriebe Hellmann, Ecomed Sicherheit, Landsberg 2022* [1].

Types of used alternative propulsion systems, basic hazards arising from their use, physical and chemical properties, principles of action during firefighting and rescue operations

Hybrid and electric vehicles

The number of electric cars is increasing (see Table 2, Figure 1). Moreover, our road infrastructure is also used by vehicles with such a drive from the European countries, where the growth in the number of electric cars has so far been much faster than in Poland. Meanwhile, preliminary statistics from property insurers indicate that there are proportionately fewer incidents involving e-cars than conventionally powered cars. According to a study by the Helmholtz Institute in Münster, there are 90 vehicle fires for every billion kilometres travelled with a conventional internal combustion engine. In case of electric vehicles, it is currently two. Although these statistics may lead to very optimistic conclusions regarding e-cars, it is important to bear in mind that there is, however, still insufficient and reliable data in this area. The process of obtaining them and having confidence in the results of the analyses only seems to have begun. Many circumstances need to be taken into account, such as the number of e-vehicles, their age,

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

Pojazdy hybrydowe i elektryczne

Liczba samochodów z napędem elektrycznym wzrasta (zob. tabela 2, ryc. 1). Ponadto z naszej infrastruktury drogowej korzystają też pojazdy z takim napędem z krajów Europy, w których przyrost liczby samochodów elektrycznych następuje jak dotychczas znacznie szybciej niż w Polsce. Natomiast wstępne statystyki ubezpieczycieli majątkowych wskazują, że zdarzeń z udziałem e-samochodów jest proporcjonalnie mniej niż aut z konwencjonalnym napędem. Według badań przeprowadzonych przez Instytut Helmholtza w Münster na każdy miliard kilometrów przejechanych z konwencjonalnym silnikiem spalinowym przypada 90 pożarów pojazdów. W przypadku pojazdów elektrycznych są to aktualnie dwa. Mimo iż statystyki te mogą prowadzić do bardzo optymistycznych wniosków w odniesieniu do e-samochodów, to należy pamiętać, że wciąż nie ma jednak wystarczających i wiarygodnych danych w tym zakresie. Proces ich zdobywania i zaufania do wyników analiz wydaje się jedynie

the additional risks that arise from the design of the vehicle, its battery equipment and the cyclical charging process. Therefore, rescuers need to learn from each action involving such a vehicle and share the gained experience [5]. Polish rescuers do not yet have much experience in this area, so it is worth highlighting the experience already gathered and the results of analyses carried out in other European countries. The exchange of information, knowledge and sharing of their practice are very important issues, as the rescuers rarely have the opportunity to improve their skills during operations. Regardless of whether they are performing certain rescue tasks for the first time, they must perform them effectively and safely.

Electric hybrid drive

The combination of two propulsion technologies in one vehicle is most commonly referred to as a hybrid. In passenger cars, this is usually an internal combustion engine combined with an electric motor. In case of all-electric drives, the drive technology consists solely of an electric motor.

Although hybrid and electric vehicles have been in use for many years, it is not always obvious at first glance that it is an alternatively powered vehicle. Hybrid propulsion is associated with the combination of an internal combustion engine and an electric motor, but hybrid actually means the combination of two different propulsion systems. Energy storage in hybrid and electric vehicles can be found in many different places in the vehicle, sometimes in the boot, under the rear bench seat or even on the vehicle chassis. An example of the layout of the various components of the drive and energy storage system, with particular emphasis on the location of the high-voltage cables, is shown in the figure below.

zapoczątkowany. Uwzględnienia wymaga wiele okoliczności jak chociażby: liczba e-pojazdów, ich wiek, dodatkowe zagrożenia, jakie wynikają z konstrukcji pojazdu, wyposażenie go w baterie, cykliczny proces jej ładowania. Dlatego ratownicy muszą wyciągać wnioski z każdej akcji z udziałem takiego pojazdu i dzielić się zdobytym doświadczeniem [5]. Polscy ratownicy nie mają jeszcze zbyt bogatego doświadczenia w tym zakresie, dlatego warto przybliżyć zebrane już doświadczenia i wyniki analiz przeprowadzonych w innych krajach Europy. Wymiana informacji, wiedzy i dzielenie się swoją praktyką to bardzo ważne kwestie, gdyż ratownicy podczas działań mają rzadko okazję doskonalić swoje umiejętności. Niezależnie, czy wykonują określone zadania ratownicze po raz pierwszy, muszą je wykonać skutecznie i bezpiecznie.

Elektryczny napęd hybrydowy

Połączenie dwóch technologii napędowych w jednym pojeździe nazywane jest najczęściej hybrydą. W samochodach osobowych jest to zwykle silnik spalinowy połączony z silnikiem elektrycznym. W przypadku napędów całkowicie elektrycznych technika napędowa składa się wyłącznie z silnika elektrycznego.

Mimo iż pojazdy hybrydowe i elektryczne są użytkowane od wielu lat, nie zawsze jest oczywiste na pierwszy rzut oka, że jest to pojazd z napędem alternatywnym. Napęd hybrydowy kojarzy się z połączeniem silnika spalinowego i elektrycznego, ale hybryda oznacza tak naprawdę połączenie dwóch różnych systemów napędowych. Zasobniki energii w pojazdach hybrydowych i elektrycznych można znaleźć w wielu różnych miejscach w pojeździe, czasami w bagażniku, pod tylną kanapą lub nawet na podwoziu pojazdu. Przykładowe rozmieszczenie poszczególnych elementów układu napędowego i gromadzenia energii, ze szczególnym wyróżnieniem lokalizacji przewodów wysokiego napięcia, przedstawiono na poniższej rycinie.

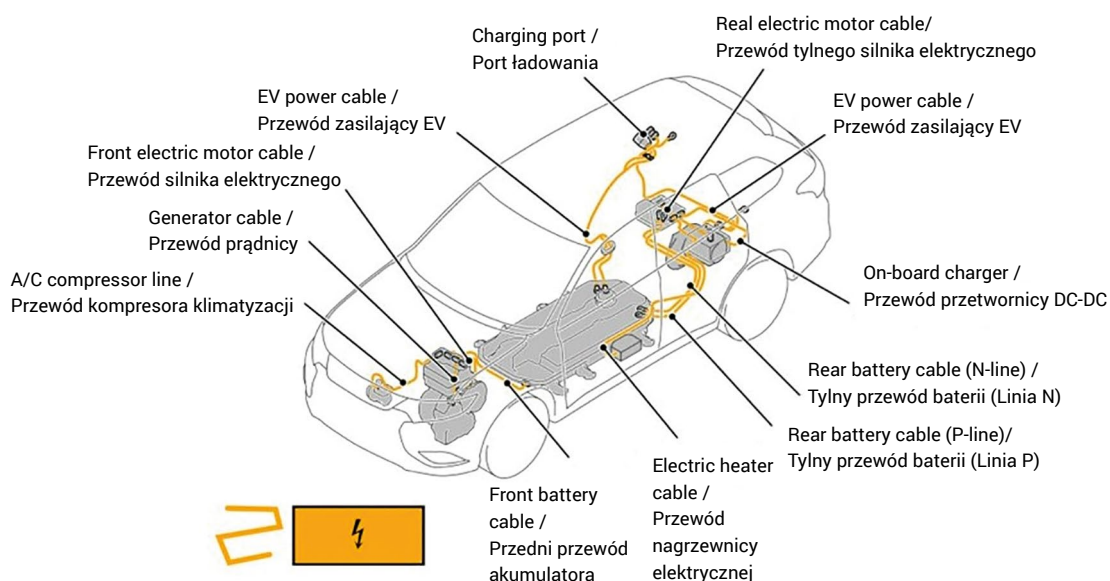


Figure 3. Layout of WN cables in an electric car

Rycina 3. Rozmieszczenie przewodów WN w samochodzie o napędzie elektrycznym

Source / Źródło: OUTLANDER PHEV – Emergency Response Guide, Information for first and second responders emergency response guide for vehicle, version: 1.1 [32].

The solutions for the electrical layout used by vehicle manufacturers demonstrate the diversity and complexity of design and technology. Therefore, up-to-date and reliable information and knowledge of the location of the WN wires in the vehicle is essential for effective rescue and firefighting operations. Among other things, a vehicle-specific rescue sheet is helpful in this respect, making it possible, for example, to ascertain the actual location of the batteries or their type [from Ni-MH (nickel metal hydride) or Li-Ion (lithium ion), filled with gel electrolyte].

The figure below shows a diagram of the secondary structure of a lithium-ion battery during the discharge process. The energy storage module – the so-called battery – consists of several cells.

Cathode – is an aluminum electrode coated with an active material (usually a mixed lithium metal oxide, e.g. cobalt, nickel, manganese, iron). At elevated temperatures, they tend to self-degrade to varying degrees, in which case they release oxygen, which can promote the formation of fires. Therefore, a sustained extinguishing effect cannot be expected by suffocating or displacing oxygen [7].

Anode – This is usually graphite-coated copper foil. Positively charged lithium ions are embedded in the layered structure of the graphite.

Rozwiązania w zakresie rozmieszczenia instalacji elektrycznej stosowane przez producentów pojazdów świadczą o różnorodności i złożoności konstrukcji i technologii. W związku z tym do prowadzenia skutecznych działań ratowniczo-gaśniczych niezbędna jest aktualna i pewna informacja oraz wiedza dotycząca rozmieszczenia w pojeździe przewodów WN. Pomocna w tym zakresie jest między innymi karta ratownicza dla danego pojazdu, która pozwala na przykład upewnić się co do rzeczywistej lokalizacji akumulatorów czy ich rodzaju [z Ni-MH (wodorku niklu) lub Li-Ion (litowo-jonowe), wypełnione elektrolitem żelowym].

Na poniższym rysunku przedstawiono schemat struktury wtórnej baterii litowo-jonowej podczas procesu rozładowania. Moduł magazynowania energii – tzw. bateria – składa się z kilku ogniw.

Katoda – jest to elektroda aluminiowa pokryta materiałem aktywnym (najczęściej tlenkiem mieszanym litowo-metalowym, np. kobaltem, niklem, manganem, żelazem). W podwyższonych temperaturach mają one tendencję do samorozpadu w różnym stopniu, wówczas uwalniają tlen, który może sprzyjać powstawaniu pożarów. Dlatego nie można oczekiwać trwałego efektu gaśniczego poprzez zduszenie lub wyparcie tlenu [7].

Anoda – zazwyczaj jest to folia miedziana pokryta grafitem. Dodatnio naładowane jony litu są osadzone w strukturze warstwowej grafitu.

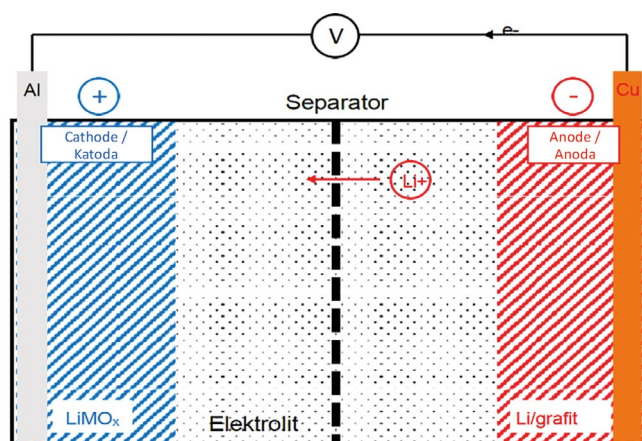


Figure 4. Structure of a secondary lithium-ion battery during the discharge process
Rycina 4. Struktura wtórnej baterii litowo-jonowej podczas procesu rozładowania

Source / Źródło: Merkblatt Empfehlung für den Feuerwehreinsatz bei Gefahr durch Lithium-Zellen, -Batterien und -Akkumulatoren, MB 10–17 Lithium-Batterien, vfdb, 2020 [7].

The separator is both the most complex and the most sensitive component of a secondary Li-ion battery. On one hand, the purpose of the separator is to keep the cathode and anode separate, or to isolate the two half-cells from each other. On the other hand, it must be permeable to lithium ions to allow ion exchange [7]. The separator consists of a semi-permeable membrane (plastic film). Poor quality, destruction by mechanical impact or application of external heat lead to separator failure and internal short-circuiting. The electrolyte is essential for the flow of ion mobility. It consists of an organic solvent (e.g. ethylene carbonate), a conductive salt dissolved in it and other additives. Organic solvents

Separator jest zarówno najbardziej złożonym, jak i najbardziej wrażliwym elementem wtórnego akumulatora Li-ion. Z jednej strony zadaniem separatora jest oddzielenie katody i anody lub odizolowanie od siebie dwóch półogniw. Z drugiej strony musi on być przepuszczalny dla jonów litu, aby umożliwić wymianę jonową [7]. Separator składa się z półprzepuszczalnej membrany (folii z tworzywa sztucznego). Zła jakość, zniszczenie przez uderzenie mechaniczne lub zastosowanie ciepła z zewnątrz prowadzą do awarii separatora i wewnętrznego zwarcia. Elektrolit jest niezbędny do przepływu ruchliwości jonów. Składa się z rozpuszczalnika organicznego (np. węglanu etylenu), rozpuszczonego

(i.e. hydrocarbons) are flammable. The conductive salt used is almost exclusively lithium hexafluorophosphate (LiPF₆), which is very sensitive to moisture.

At this point, it is reasonable to draw attention to the risks arising from the potential for the formation of C-hazardous substances in the event of damage to the vehicle and its battery. Lithium compounds decompose when exposed to heat. It is then also possible that there is a risk of an explosion of the discharged electrolytes. Due to the formation of hydrofluoric acid in a humid atmosphere, it is necessary to work in respiratory protection equipment in the vicinity of the accident vehicle.

The indicated risk associated with the potential for volatilisation of Type C hazardous substances still requires some comment. The lithium cells are sealed gas-tight in the battery casing so that no substances escape during regular operation.

If the enclosure is mechanically damaged, the contents may escape in gaseous or liquid form. The electrolyte can leak in liquid form. The emitted substances are flammable and highly irritating, with a flash point of more than 100°C, depending on the used mixture. The conductive salt combined with moisture and temperature forms hydrofluoric acid or hydrogen fluoride gas. These compounds are corrosive, highly toxic and irritating to the respiratory tract. Gaseous emissions are mainly vaporized electrolyte (explosion hazard) and electrolyte decomposition products, which can also be flammable and toxic. Heavy metal particles with small diameters are partially present, as well as a variety of toxic and irritating fire gases. During rescue operations, fire-fighting water (corrosive, partially contaminated with heavy metal salts) may become contaminated. It can also, for example, get into the sewage system [7].

Drives used in hybrid cars

In case of hybrid vehicles, a distinction can be made between plug-in hybrid – only electric driving is possible, and full hybrid – the battery is charged by the internal combustion engine while driving. Depending on the level of battery charging and expected torque, electric or internal combustion drive is allowed.



w nim soli przewodzącej oraz innych dodatków. Rozpuszczalniki organiczne (tj. węglowodory) są łatwopalne. Stosowana sól przewodząca to prawie wyłącznie heksafluorofosforan litu (LiPF₆), który jest bardzo wrażliwy na wilgoć.

W tym miejscu uzasadnione jest zwrócenie uwagi na zagrożenie wynikające z możliwości powstawania substancji niebezpiecznych typu C w przypadku uszkodzenia pojazdu i jego akumulatora. Związki litu ulegają rozkładowi pod wpływem ciepła. Wówczas możliwe jest również występowanie zagrożenia wybuchu wydzielających się elektrolitów. Ze względu na tworzenie się kwasu fluorowodorowego w wilgotnej atmosferze, w pobliżu pojazdu wypadkowego należy pracować w sprzęcie ochrony układu oddechowego.

Wskazane zagrożenie związane z możliwością ulatniania się substancji niebezpiecznych typu C wymaga jeszcze pewnego komentarza. Ogniwa litowe są zamknięte gazoszczelnie w obudowie akumulatora, dzięki czemu podczas regularnej pracy nie wydostają się żadne substancje. W przypadku mechanicznego uszkodzenia obudowy zawartość może wydostać się w postaci gazowej lub płynnej. W postaci ciekłej elektrolit może wyciekać. Wydzielające się substancje są palne i silnie drażniące, a ich temperatura zapłonu wynosi ponad 100°C, w zależności od użytej mieszanki. Sól przewodząca w połączeniu z wilgocią i temperaturą tworzy kwas fluorowodorowy lub gazowy fluorowodór. Związki te mają działanie żrące, są silnie toksyczne i działają drażniąco na drogi oddechowe. Emisja gazowa to głównie odparowany elektrolit (zagrożenie wybuchem) oraz produkty rozkładu elektrolitu, które mogą być również palne i toksyczne. Częściowo obecne są w nich cząstki metali ciężkich o małych średnicach, a także różnorodne toksyczne i drażniące gazy pożarowe. W trakcie prowadzenia działań ratowniczych zanieczyszczeniu ulec może woda gaśnicza (żrąca, częściowo zanieczyszczona solami metali ciężkich). Może ona także dostać się na przykład do kanalizacji [7].

Napędy stosowane w samochodach hybrydowych

W przypadku pojazdów hybrydowych można dokonać rozróżnienia hybryda typu plug-in – możliwa jest jazda wyłącznie elektryczna oraz pełna hybryda – akumulator jest ładowany przez silnik spalinowy podczas jazdy. W zależności od stanu naładowania akumulatora i oczekiwanego momentu obrotowego dopuszczalna jest jazda na napędzie elektrycznym lub spalinowym.



Figure 5. BMW's electric car and plug-in hybrid motor unit
Rycina 5. Samochód elektryczny i zespół silnikowy hybrydy plug-in BMW

Source / Źródło: Merkblatt für die Feuerwehren Bayerns. *Alternativ angetriebene Fahrzeuge*, Staatliche Feuerweherschulen, 2018 [8].

Moreover, hybrid vehicle solutions also include the so-called mild hybrid – driving on electric drive alone is not possible, most often the electric drive in these solutions is used to assist starting in order to reduce the consumption of fuel. Also indicated are solutions referred to as micro-hybrids – usually meaning the automatic start-stop system used in vehicles.

In conclusion, a hybrid-electric drive consists of 2 different engines – usually an electric engine and an internal combustion engine. A distinction is made between the following electric hybrid drives: series, parallel, other manufacturer-specific drives.

The voltage of this type of drive is usually 400–600 volts DC (depends on the supplier and model). Charging is done as illustrated in the following figures.

Ponadto w rozwiązaniach pojazdów hybrydowych wyróżnić można także tzw. łagodną hybrydę – jazda na samym napędzie elektrycznym nie jest możliwa, najczęściej napęd elektryczny w tych rozwiązaniach służy do wspomagania ruszania w celu zmniejszenia zużycia paliwa. Również wskazać można rozwiązania określane jako mikrohybryda – zwykle odnosi się to do automatycznego systemu start-stop stosowanego w pojazdach.

Podsumowując, napęd hybrydowo-elektryczny składa się z 2 różnych silników – zazwyczaj jest to silnik elektryczny i silnik spalinowy. Rozróżnia się następujące elektryczne napędy hybrydowe: szeregową, równoległą, inne napędy specyficzne dla poszczególnych producentów.

Napięcie w tego typu napędach to najczęściej 400–600 Volt DC (zależy od dostawcy i modelu). Ładowanie odbywa się w sposób zilustrowany na poniższych rycinach.

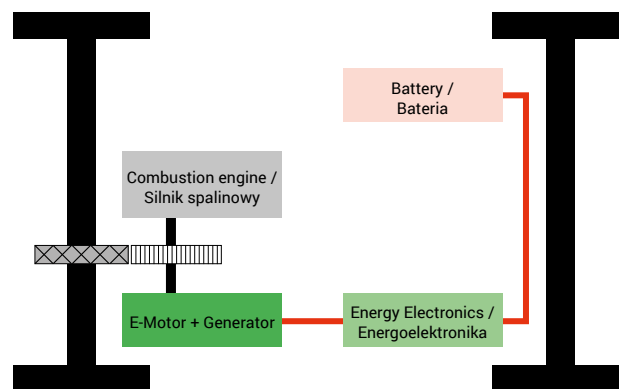


Figure 6. Electro-hybrid drive – serial hybrid
Rycina 6. Napęd elektro-hybrydowy – seryjna hybryda

Source / Źródło: T. Frese (red.), *Ausbildungsfolien Unfälle mit alternativ angetriebenen PKWs*, Ecomed Sicherheit, Landsberg 2016 [9].

In case of electro-hybrid propulsion (Figure 6), the vehicle is driven by an electric engine. The internal combustion engine drives an electric power generator. The produced excess electricity is stored in a battery. In turn, a vehicle equipped with an electric motor and an internal combustion engine can be powered by either or both engines (Figure 7). The operation of the battery can be seen in the video [15].

W przypadku napędu elektro-hybrydowego (ryc. 6) pojazd jest napędzany przez silnik elektryczny. Silnik spalinowy napędza generator energii elektrycznej. Nadwyżka wyprodukowanej energii elektrycznej jest przechowywana w akumulatorze. Natomiast pojazd wyposażony w silnik elektryczny i silnik spalinowy może być napędzany jednym z silników lub obydwooma (ryc. 7). Działanie akumulatora można zobaczyć na filmie [15].

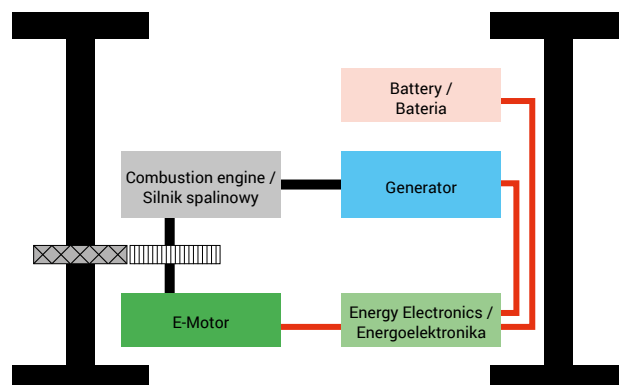


Figure 7. Electric-hybrid drive – parallel hybrid
Rycina 7. Napęd elektryczno-hybrydowy – równoległa hybryda

Source / Źródło: T. Frese (red.), *Ausbildungsfolien Unfälle mit alternativ angetriebenen PKWs*, Ecomed Sicherheit, Landsberg 2016 [9].

In contrast, the all-electric drive is 100% powered by electricity (Figure 8). There are the following types of all-electric drives: front or rear axle, tandem drive, all-wheel drive. The following figures show the wheel drive transmission in electric vehicles. The voltage is about 400–600 V DC (depending on the manufacturer and type of vehicle). The vehicle is charged from a charging station at home or the public one.

Dla odróżnienia napęd w pełni elektryczny jest w 100% zasilany energią elektryczną (ryc. 8). Wyróżnia się następujące rodzaje napędów całkowicie elektrycznych: oś przednia lub tylna, napęd tandemowy, napęd na wszystkie koła. Na poniższych rycinach przedstawiono przeniesienie napędu na koła w pojazdach elektrycznych. Napięcie wynosi ok. 400–600 V DC (w zależności od producenta i typu pojazdu). Pojazd jest ładowany ze stacji ładowania w domu lub tej publicznej.

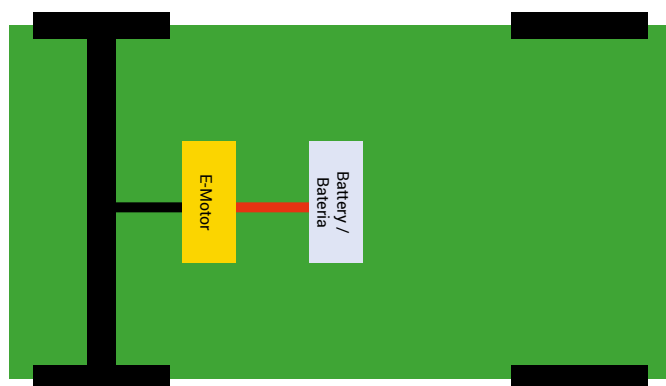


Figure 8. All-electric drive – front or rear drive

Rycina 8. Napęd w pełni elektryczny – napęd przedni lub tylny

Source / Źródło: T. Frese (red.), *Ausbildungsfolien Unfälle mit alternativ angetriebenen PKWs*, Ecomed Sicherheit, Landsberg 2016 [9].

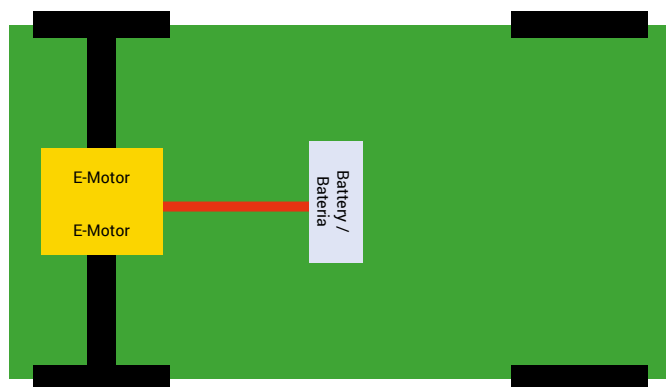


Figure 9. All-electric drive – tandem drive

Rycina 9. Napęd w pełni elektryczny – napęd tandemowy

Source / Źródło: T. Frese (red.), *Ausbildungsfolien Unfälle mit alternativ angetriebenen PKWs*, Ecomed Sicherheit, Landsberg 2016 [9].

With tandem drive, there is no need for a differential gearbox, which avoids power losses. One axle is driven by two engines. Meanwhile, when electric engines are mounted directly in the wheel hubs, the energy generated by the engine is transferred directly from the wheel to the road surface (see Figure 10).

Dzięki napędowi tandemowemu nie ma konieczności stosowania przekładni różnicowej, co pozwala uniknąć strat mocy. Jedna oś jest napędzana przez dwa silniki. Natomiast w przypadku, gdy silniki elektryczne są zamontowane bezpośrednio w piastach kół, energia generowana przez silnik przenoszona jest bezpośrednio z koła na nawierzchnie drogi (zob. ryc. 10).

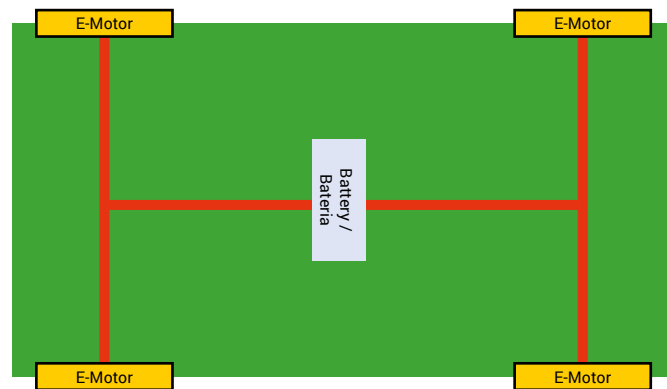


Figure 10. All-electric drive – in the wheel hub

Rycina 10. Napęd całkowicie elektryczny – w piaście koła

Source / Źródło: T. Frese (red.), *Ausbildungsfolien Unfälle mit alternativ angetriebenen PKWs*, Ecomed Sicherheit, Landsberg 2016 [9].

Electric vehicles currently have the following battery types: lead-acid battery – older vehicles, nickel-metal hydride battery – older vehicles, lithium-ion battery – modern vehicles.

Modern all-electric cars are equipped with WN batteries based on lithium-ion technology. The advantages of these batteries are high energy density [28], light weight, no memory effect [27], sufficient availability (battery performance at the expected level depending on its purpose). On the other hand, the disadvantages of WN batteries include: in the event of a vehicle fire and including the lithium-ion battery – the formation of highly toxic substances, as a result of water extinguishing – the development of hydrofluoric acid in contact with the extinguishing water, with high reactivity even after discharge [26].

Labelling of electric vehicles

Another important point to help identify propulsion during incidents is the identification features of electric vehicles, visible on the exterior, on the body, such as:

- vehicle labelling (e.g. stickers, advertisements),
- manufacturer's identification (e.g. Hybrid Synergy Drive, e-tron, z.e., ED).

Independently additional markings are used in the engine compartment. For example, there are additional warning signs with the words "Caution – high voltage" and pictograms (ISO 7010-W012 Safety warning sign Warning of electrical voltage) on live parts and WN batteries. Live wires and some other visible components of the WN system are finished in orange. The pictograms are located on the right and left sides of the driver's cab, as well as on the front and rear. As more and more activities are being recognized with drones, a fifth pictogram is also being placed by manufacturers on the roof of the vehicle. In case of passenger cars, pictograms are used on the fuel filler flap or on the rear window. Additional distinctive features of electric vehicles include E-type license plates, a flap of the socket for the vehicle's external power supply located in different places than in case of combustion vehicles, light blue or green applications, headlight elements, a battery charge indicator (an indicator of the level of

W pojazdach elektrycznych aktualnie wyróżnić można następujące typy baterii: akumulator kwasowo-ołowiowy – starsze pojazdy, akumulator wodorkowo-niklowy – pojazdy starszego typu, akumulator litowo-jonowy – nowoczesne pojazdy.

Nowoczesne samochody całkowicie elektryczne są wyposażone w akumulatory WN oparte na technologii litowo-jonowej. Zalety tych akumulatorów to wysoka gęstość energii [28], niewielki ciężar, brak efektu pamięci [27], wystarczająca dostępność (parametry akumulatora na oczekiwanym poziomie w zależności od jego przeznaczenia). Do wad akumulatorów WN należy natomiast zaliczyć: w przypadku pożaru pojazdu i objęcia nim również akumulatora litowo-jonowego – wytwarzanie wysoce toksycznych substancji, w wyniku gaszenia wodą powstawanie w kontakcie z wodą gaśniczą kwasu fluorowodorowego, o wysokiej reaktywności nawet po rozładowaniu [26].

Oznakowanie pojazdów elektrycznych

Kolejną istotną kwestią pomocną w rozpoznawaniu napędów podczas zdarzeń są cechy identyfikacyjne pojazdów z napędem elektrycznym, widoczne na zewnątrz, na karoserii, takie jak:

- oznakowanie pojazdów (np. naklejki, reklamy),
- oznaczenie producenta (np. Hybrid Synergy Drive, e-tron, z.e., ED).

Niezależnie oznaczenia dodatkowe stosowane są w komorze silnika. Przykładowo na częściach pod napięciem i na akumulatorach WN znajdują się dodatkowe tablice ostrzegawcze z napisem „Uwaga – wysokie napięcie” i piktogramami (znak ostrzegawczy bezpieczeństwa ISO 7010-W012 Ostrzeżenie przed napięciem elektrycznym). Przewody pod napięciem i niektóre inne widoczne elementy systemu WN są wykończone w kolorze pomarańczowym. Piktogramy są umieszczone po prawej i lewej stronie kabiny kierowcy, a także z przodu i z tyłu. Ze względu na to, że coraz więcej działań rozpoznaje się za pomocą dronów, piąty piktogram producenci umieszczają również na dachu pojazdu. W przypadku samochodów osobowych piktogramy są stosowane na klapce wlewu paliwa lub na tylnej szybie. Dodatkowe charakterystyczne cechy pojazdów elektrycznych to tablice rejestracyjne typu E, klapka gniazda do zewnętrznego zasilania pojazdu lokalizowana w innych miejscach niż w przypadku pojazdów

charging inside the vehicle), and a special design of the vehicle's body of the vehicle. Selected examples of markings, vehicle charging socket locations are provided below.

There is no uniform regulation on the issue of vehicle markings and their components in terms of risks to the rescuers. However, in order to increase the safety of this group of people, the International Association of Fire & Rescue Services (CTIF) has developed a standard for information through symbols and messages (for all types of alternative drives). ISO 17840 is voluntary and can be used worldwide by public transport operators, fire and emergency services, passenger vehicles and trucks. The standard includes, among other things:

- symbols indicating what propulsion power is used and where the tanks, batteries, etc. are located in the vehicle;
- rescue sheets (quick information on vehicle construction) used by the rescuers on the scene;
- Emergency Response Guidebook (ERG) with additional, relevant, detailed information.

This important information undoubtedly includes data on the used safety devices, such as the following:

- galvanic isolation, no direct connection between high-voltage components and the bodywork;
- touch protection, all high-voltage components designed to be touch resistant;
- orange insulation of WN cables with additional covers;
- short circuit detection systems;
- residual voltage discharge (when the airbag is triggered, the WN system is deactivated and the residual voltage is discharged). Deactivation lasting up to 5 minutes;
- turning off the ignition by default deactivates the WN system, but without a 100% guarantee, since various appliances also work without the ignition on (auxiliary heating, charging, air conditioning, etc.);
- deactivation of the WN system by conventional disconnection of the 12-volt battery (usually, however, the mere stopping of the WN system by various electronic components can still take place!);
- use of a plug disconnecting the WN, if the vehicle is very seriously damaged – use of a rescue sheet to locate it;
- pulling the fuse to turn off the WN, if getting into the plug of the charging point is not possible.

A diagram of how to conduct rescue operations during a fire of an electric car is shown in Figure 11.

spalinowych, jasnoniebieskie lub zielone aplikacje, elementy reflektorów, wskaźnik naładowania baterii (wskaźnik poziomu naładowania wewnątrz pojazdu), specjalna konstrukcja nadwozia pojazdu. Wybrane przykłady oznaczeń, lokalizacji gniazda ładowania pojazdu znajdują się poniżej.

W kwestii oznaczeń pojazdów i ich elementów w kontekście zagrożeń dla ratowników nie ma jednolitych uregulowań. Jednak w celu zwiększenia bezpieczeństwa tej grupy osób, Międzynarodowy Komitet Techniczny Prewencji i Zwalczania Pożarów (CTIF) opracował standard informacji poprzez symbole i komunikaty (dla wszystkich rodzajów napędów alternatywnych). Norma ISO 17840 jest dobrowolna i może być stosowana na całym świecie przez operatorów transportu publicznego, służby pożarnicze i ratunkowe, pojazdy osobowe i ciężarowe. Norma ta zawiera między innymi:

- symbole wskazujące, jaka energia napędowa jest wykorzystywana oraz gdzie w pojeździe znajdują się zbiorniki, akumulatory itp.;
- karty ratownicze (szybka informacja o budowie pojazdu) wykorzystywane przez ratowników na miejscu zdarzenia;
- poradnik prowadzenia działań (ERG) zawierający dodatkowe, istotne, szczegółowe informacje.

Do tych ważnych informacji bez wątpienia zaliczyć można dane o stosowanych urządzeniach zabezpieczających, takich jak:

- izolacja galwaniczna, niewystępowanie bezpośredniego połączenia pomiędzy komponentami wysokiego napięcia a karoserią;
- ochrona przed dotykiem, wszystkie komponenty pod wysokim napięciem zaprojektowane tak, aby były odporne na dotyk;
- pomarańczowa izolacja kabli WN z dodatkowymi osłonami;
- systemy wykrywania zwarć;
- rozładowanie napięcia szczątkowego (po wyzwoleniu poduszki powietrznej system WN zostaje dezaktywowany i napięcie szczątkowe zostaje rozładowane); dezaktywacja trwająca do 5 minut;
- wyłączenie zapłonu domyślnie dezaktywujące system WN jednak bez stuprocentowej gwarancji, ponieważ różne odbiorniki działają również bez włączonego zapłonu (ogrzewanie dodatkowe, ładowanie, klimatyzacja itd.);
- dezaktywacja systemu WN poprzez konwencjonalne odłączenie akumulatora 12 V (zazwyczaj jednak samo zatrzymanie systemu WN przez różne komponenty elektroniczne może nadal mieć miejsce!);
- użycie wtyczki odłączającej WN, jeżeli pojazd jest bardzo poważnie uszkodzony – skorzystanie z karty ratowniczej, aby ją zlokalizować;
- wyciągnięcie bezpiecznika do wyłączenia WN, jeżeli dostanie się do wtyczki punktu ładowania nie jest możliwe.

Schemat prowadzenia działań ratowniczych podczas pożaru samochodu o napędzie elektrycznym przedstawiony jest na rycinie 11.

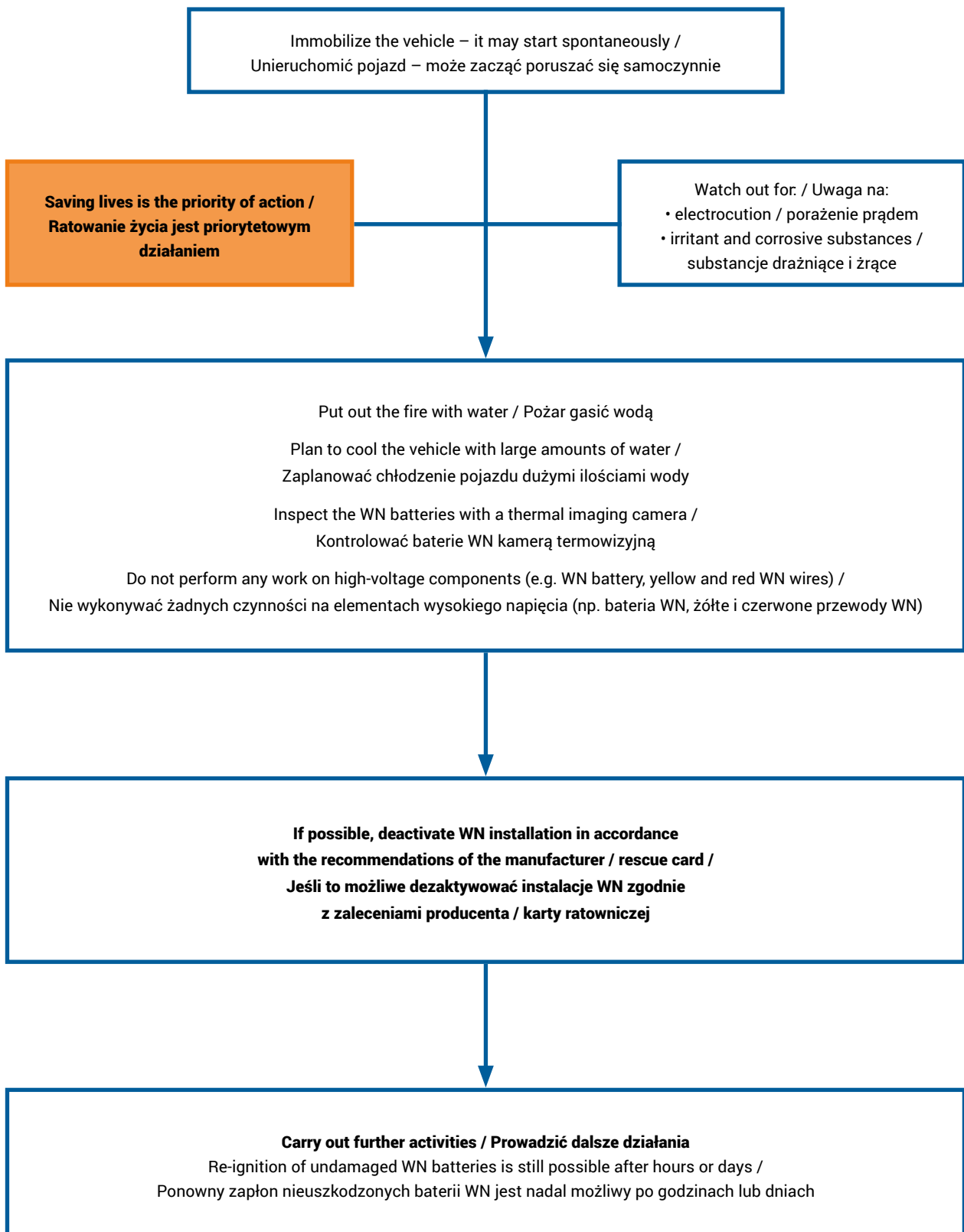


Figure 11. Diagram for conducting rescue operations during an electric car fire
Rycina 11. Schemat prowadzenia działań ratowniczych podczas pożaru samochodu o napędzie elektrycznym

Source: Own elaboration (G. Bugaj).

Źródło: Opracowanie własne (G. Bugaj).

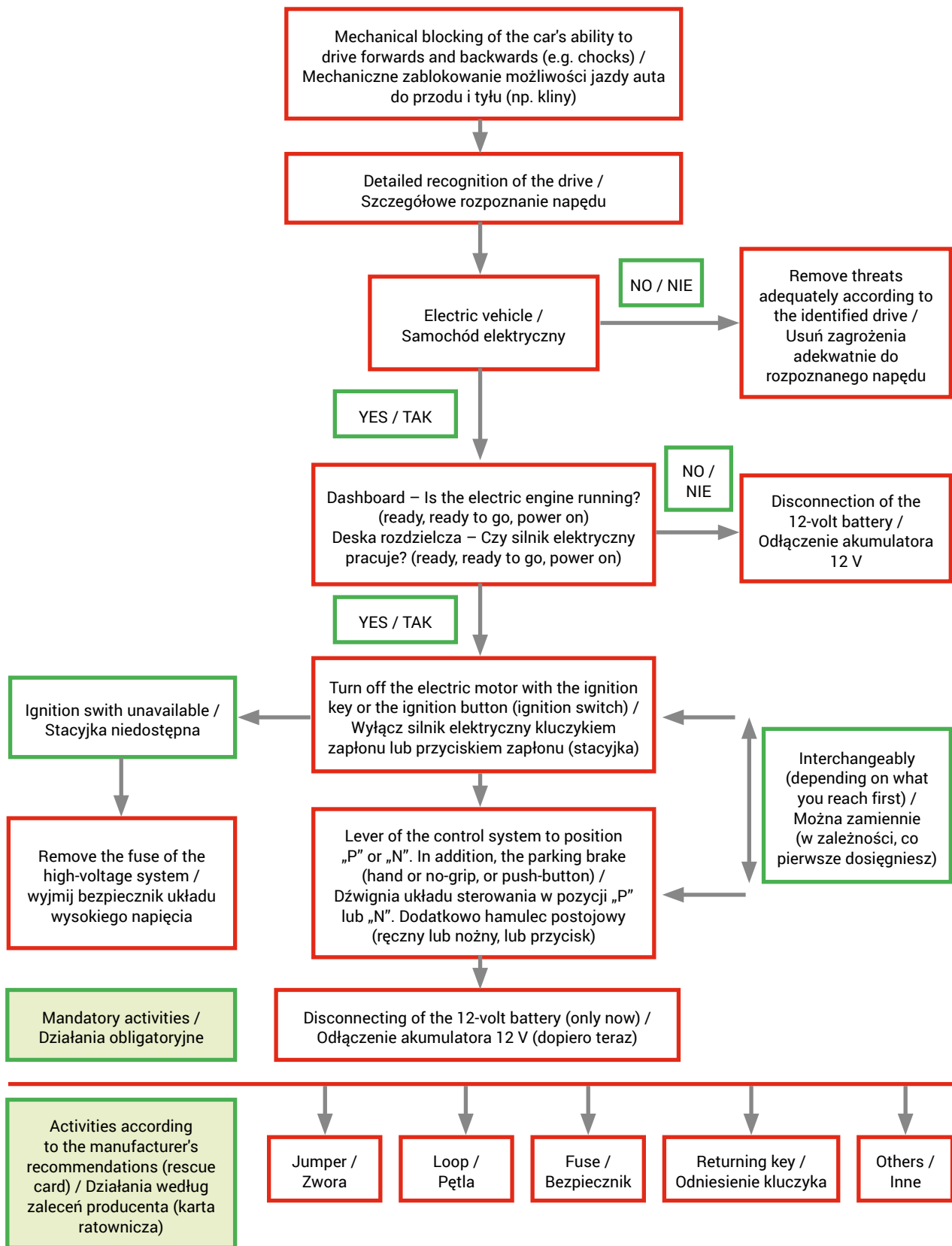


Figure 12. Algorithm for deactivating and securing the vehicle
Rycina 12. Algorytm dezaktywacji i zabezpieczenia samochodu

Source / Źródło: KG PSP, Standardowe zasady postępowania podczas zdarzeń z samochodami osobowymi z napędem elektrycznym, 2020 [11].

Guidelines for rescue operations

Currently, *Standardowe zasady postępowania podczas zdarzeń z samochodami osobowymi z napędem elektrycznym (Standard Rules of Conduct for Incidents with Electrically-Powered Passenger Vehicles)* issued by KG PSP [11] are in force in Poland. They cover almost all the information needed by the rescuers when conducting operations during incidents involving electric vehicles.

In the following section of the article, based on the analysis of selected sources and the authors' own experience, helpful recommendations and principles for conducting rescue operations, as well as the behaviour of users of these vehicles are presented. They supplement the aforementioned rules of conduct.

Independent extinguishing of a vehicle fire by the user is likely to be successful only in the first phase of the fire, assuming that he/she can identify the danger and effectively use the fire extinguishing device that is part of the vehicle's equipment. As in case of a combustion car, as well as in case of an electric vehicle, it is important to secure the accident scene and evacuate, assisting those injured from the vehicle, taking into account one's own safety. In incidents with an electric car, first it is essential to check whether it can be turned off or the key can be removed. If you are not sure whether the vehicle still works, it is recommended to pay attention to the airbag. Oliver Schweder of the Oldenburg Fire Department stressed in his official statement: "if you see that the airbags have been deployed in the car, you can be sure or almost sure that there is no more power outside the primary battery, even if the turn signals and hazard lights are still working." In this case, the drive battery shuts down automatically. Since electric vehicles have specialized electrical safety equipment, usually the risk of electrocution is not high, but it cannot be ruled out. Therefore, out of caution, do not touch high-voltage system components (such as orange wires or drive components).

When conducting rescue and firefighting operations involving an electric car, the danger of fire and/or explosion of the energy storage device (battery) must be taken into account. If the vehicle is not yet on fire, rescuers can carefully approach it. If the car has already caught fire, operations should always be carried out with respiratory protection equipment regardless of whether it is an alternatively powered or combustion-only vehicle. It should be noted that some of the materials used in lithium batteries are flammable, and some of the used cathode materials decompose spontaneously at high temperatures, releasing heat and oxygen. In addition, due to the exothermic nature of the reaction and the released oxygen in the cell, there can be a rapid temperature rise referred to as a very rapid thermal runaway.

Wskazania dotyczące działań ratowniczych

Obecnie w Polsce obowiązują wydane przez KG PSP *Standardowe zasady postępowania podczas zdarzeń z samochodami osobowymi z napędem elektrycznym* [11]. Obejmują one niemal wszystkie informacje potrzebne ratownikom podczas prowadzenia działań podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z napędem elektrycznym.

W poniższej części artykułu na podstawie analizy wybranych źródeł oraz doświadczeń własnych autorów przedstawiono pomocne rekomendacje i zasady dotyczące prowadzenia działań ratowniczych, a także zachowań użytkowników tych pojazdów. Stanowią one uzupełnienie wspomnianych zasad postępowania.

Samodzielne gaszenie pożaru pojazdu przez użytkownika ma szanse powodzenia tylko w pierwszej fazie rozwoju pożaru, przy założeniu, iż potrafi on zidentyfikować zagrożenie i użyć skutecznie urządzenia gaśniczego stanowiącego wyposażenie pojazdu. Podobnie jak w przypadku samochodu spalinowego, również w przypadku samochodu elektrycznego ważne jest zabezpieczenie miejsca wypadku i ewakuacja, udzielenie pomocy osobom poszkodowanym z pojazdu, z uwzględnieniem własnego bezpieczeństwa. W zdarzeniach z samochodem elektrycznym najpierw należy sprawdzić, czy można go wyłączyć lub wyjąć kluczyk. Jeśli nie ma się pewności, czy pojazd nadal działa, zaleca się zwrócenie uwagi na poduszkę powietrzną. Oliver Schweder ze Straży Pożarnej Oldenburg w swojej oficjalnej wypowiedzi podkreślił: „jeśli widzisz, że poduszki powietrzne zostały uruchomione w samochodzie, możesz być pewien lub prawie pewny, że poza akumulatorem podstawowym nie ma już energii, nawet jeśli kierunkowskazy i światła awaryjne nadal działają”. W tym przypadku akumulator napędowy wyłącza się automatycznie. Ponieważ pojazdy elektryczne posiadają specjalistyczne wyposażenie w zakresie bezpieczeństwa elektrycznego, zazwyczaj ryzyko porażenia prądem nie jest duże, ale nie można go wykluczyć. Dlatego z ostrożności nie należy dotykać elementów systemu wysokiego napięcia (takich jak pomarańczowe przewody lub elementy napędu).

Podczas prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych z udziałem samochodu elektrycznego uwzględnić należy niebezpieczeństwo związane z pożarem i/lub wybuchem urządzenia do magazynowania energii (akumulatora). Jeśli pojazd jeszcze nie płonie, ratownicy mogą ostrożnie do niego podejść. Jeśli samochód już się zapalił, działania powinny być zawsze prowadzone z użyciem sprzętu ochrony dróg oddechowych niezależnie od tego, czy jest to pojazd z napędem alternatywnym czy tylko spalinowym. Należy pamiętać, iż niektóre materiały stosowane w bateriach litowych są palne, a niektóre ze stosowanych materiałów katodowych rozkładają się samoistnie w wysokich temperaturach, uwalniając ciepło i tlen. Ponadto ze względu na egzotermiczny charakter reakcji i uwalniany tlen w ogniu może dojść do gwałtownego przyrostu temperatury określanego jako bardzo gwałtowna ucieczka termiczna (ang. *thermal runaway*).

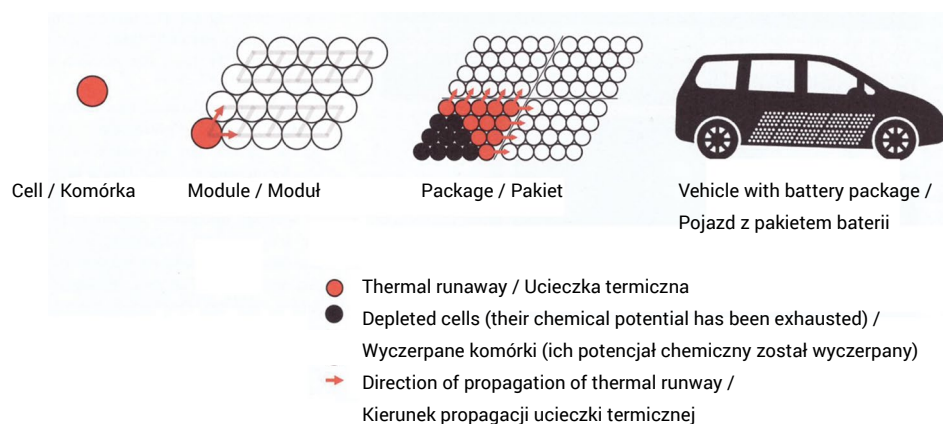


Figure 13. Thermal spread of fire from the cell to the rest of the vehicle
Rycina 13. Termiczne rozprzestrzenianie się ognia z ogniwa na resztę pojazdu

Source: Own elaboration based on: L. Fast, S. Klüh, A. Langstrof, *Brandschutz bei E-Autos in Tiefgaragen*, „Technische Sicherheit” 2021, 11–12 [30].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: L. Fast, S. Klüh, A. Langstrof, *Brandschutz bei E-Autos in Tiefgaragen*, „Technische Sicherheit” 2021, 11–12 [30].

This phenomenon is caused by excessive cell temperature, which can be caused by the following reasons, among others: excessive external heating (fire), external short circuit, internal short circuit caused by a fault in the cell or mechanical damage, overcharging of the cell. Under unfavourable circumstances – in case of lithium batteries, the risk of them exploding during a fire cannot be ruled out either. Attention should also be paid to the risk of explosion of the gas mixture coming out of the battery. This is especially true if these gases fill the cabin of the car or the garage where the vehicle is located.

General tactical recommendations for conducting rescue and firefighting operations

For the purpose of supporting the activities of the rescuers, as well as ensuring the highest possible level of safety, the following general guidelines and recommendations have been formulated for use in practice:

1. Position the firefighting vehicle outside the danger zone, so that the secured location of the operation takes into account the wind direction or its change.
2. Rescuing people and extinguishing the fire should be carried out using respiratory and body protection equipment. In case of necessary operations at the battery itself or in its immediate vicinity, it may be necessary to extend personal protective equipment.
3. Minimize the number of the rescuers staying in the danger zone, keep the distance as far as possible.
4. Define the zone of operation and remove any bystanders outside of it.
5. If possible, monitor the temperature with a thermal imaging camera or pyrometer; if a rapid rise in temperature is observed, a decomposition reaction (above 100°C) is expected.
6. The primary extinguishing agent is water, as it not only extinguishes the fire, but also cools the battery, preventing further decomposition. It also dissolves and dilutes

Zjawisko to jest wywoływane przez nadmierną temperaturę ogniwa, która może być spowodowana między innymi następującymi przyczynami: zbyt silne ogrzewanie zewnętrzne (pożar), zewnętrzne zwarcie, zwarcie wewnętrzne spowodowane błędem w ogniwie lub uszkodzeniem mechanicznym, przeładowanie ogniwa. W niekorzystnych okolicznościach – w przypadku baterii litowych, nie można wykluczyć także ryzyka ich wybuchów podczas pożaru. Zwrócić też należy uwagę na ryzyko wybuchu mieszaniny gazów wydobywających się z baterii. Szczególnie w sytuacji, gdy gazy te wypełnią kabinę samochodu lub garaż, w którym znajduje się pojazd.

Ogólne zalecenia taktyczne dotyczące prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych

Na potrzeby wsparcia działań ratowników, a także zapewnienia im możliwie najwyższego poziomu bezpieczeństwa, sformułowano poniższe ogólne zalecenia i rekomendacje do wykorzystania w praktyce:

1. Pojazd gaśniczy ustawić poza strefą zagrożenia, tak żeby zabezpieczone miejsce prowadzonych działań uwzględniło kierunek wiatru bądź jego zmianę.
2. Ratowanie ludzi i gaszenie pożaru należy prowadzić przy użyciu sprzętu ochrony układu oddechowego i ochrony ciała. W przypadku niezbędnych czynności przy samym akumulatorze lub w jego bezpośrednim sąsiedztwie może zaistnieć konieczność rozszerzenia środków ochrony indywidualnej.
3. Minimalizować liczbę ratowników przebywających w strefie zagrożenia, w miarę możliwości zachować odstęp.
4. Wydzielić strefę działania i wyprowadzić poza nią wszelkie osoby postronne.
5. Jeśli to możliwe, monitorować temperaturę za pomocą kamery termowizyjnej lub pirometru; jeśli obserwuje się szybki wzrost temperatury, należy spodziewać się reakcji rozkładu (powyżej 100°C).
6. Podstawowym środkiem gaśniczym jest woda, ponieważ nie tylko gasi pożar, ale również chłodzi akumulator,

some of the decomposition products. It should be taken into account that due to the structural arrangement of lithium-ion batteries in modules, complete penetration by firefighting water is often not possible. Therefore, most often, complete cooling cannot be achieved. It is also possible to use compressed foam or extinguishing powders depending on the development of the incident.

Consult a doctor if you suspect or have skin contact with hydrofluoric acid. In particular, it is important to remember that post-fire water can contain harmful chemicals. It is advisable to protect its infiltration into the sewage system, the ground. Conduct reconnaissance, keeping in mind:

- defining the danger zone;
- externally inspecting the vehicle, visually inspecting under the vehicle – whether there are no fluids flowing out;
- checking the readiness of the vehicle (ready, go, power on) in the instrument panel (it can inform about the operating status);
- not disassembling, opening, or touching any components of the WN installation;
- In case of a fire in the energy storage, extinguish the fire using sufficient water, while maintaining the extinguishing distance recommended by the standard DIN VDE [13] (maintaining the distance during application: short-circuit current 5 m, diffused current 1 m). The firefighting water must also reach the energy storage device;
- QR (alphanumeric code) [25] – access to information;
- checking all components for damage;
- providing all the rescuers with information about the identified hazards.

Usually during firefighting operations, hazards do not occur individually. Most may come from one type of fuel, but the others should not be ignored. During incidents, it is important to define the danger zone. This zone, in case of accidents involving alternatively powered vehicles, should be defined depending on the encountered situation and the identified risks. It is important to adjust the size of the hazardous area to the type and amount of substance that has already leaked.

Evacuation and assistance of people at risk should be carried out using respiratory protection equipment and personal protective equipment. If necessary, qualified personnel and appropriate resources required to safely carry out emergency operations at the site of the fire should be called (e.g. specialized personnel from a public transportation company in the event of a fire on an electrically powered bus). The operation of cars equipped with drives other than the ones we have known so far is associated with some concern among their users, as well as the rescuers. They concern their own safety and unprecedented, significant risks. These fears are only partially justified, as we are dealing with risks we haven't known so far (such as the risk of electrocution). Analysis of statistics from countries with the highest number of electric vehicles leads to the conclusion that in case of incidents involving electric vehicles, the number of fatalities and the number of injuries are not higher than for vehicles using traditional fuels (gasoline, diesel).

przeciwdziałając jego dalszemu rozkładowi. Rozpuszcza też i rozcieńcza niektóre produkty rozkładu. Należy wziąć pod uwagę, że ze względu na konstrukcyjne ułożenie akumulatorów litowo-jonowych w modułach, często nie jest możliwa całkowita penetracja wodą gaśniczą. Dlatego też, najczęściej, nie można osiągnąć całkowitego schłodzenia. Możliwe jest również stosowanie piany sprężonej lub proszków gaśniczych w zależności od rozwoju zdarzenia.

W przypadku podejrzenia lub kontaktu skóry z kwasem fluorowodorowym należy skonsultować się z lekarzem. Szczególnie trzeba pamiętać, że woda popożarowa może zawierać szkodliwe związki chemiczne. Wskazane jest, aby zabezpieczyć jej przenikanie do kanalizacji, gruntu. Rozpoznanie przeprowadzać, pamiętając o:

- wyznaczeniu strefy niebezpiecznej;
- oględzinach zewnętrznych samochodu, oględzinach pod samochodem – czy nie wypływają płyny;
- sprawdzeniu gotowości pojazdu (ready, go, power on) w zestawie wskaźników (może informować o stanie pracy);
- niedemontowaniu, nieotwieraniu, ani nie dotykananiu żadnych komponentów instalacji WN;
- w przypadku pożaru w zasobniku energii ugaszeniu pożaru przy użyciu wystarczającej ilości wody, z zachowaniem odległości gaszenia rekomendowanej przez normę DIN VDE [13] (zachowanie odległości podczas podawania: prąd zwarty 5 m, prąd rozproszony 1 m). Woda gaśnicza musi dotrzeć również do urządzenia magazynującego energię;
- QR (kodzie alfanumerycznym) [25] – dostęp do informacji;
- sprawdzeniu wszystkich elementów pod kątem uszkodzeń;
- przekazaniu wszystkim ratownikom informacji o rozpoznanych zagrożeniach.

Zwykle podczas działań gaśniczych zagrożenia nie występują pojedynczo. Większość może pochodzić od jednego rodzaju paliwa, jednak nie wolno ignorować pozostałych. Podczas zdarzeń ważne jest wyznaczenie strefy niebezpiecznej. Strefę tę, w przypadku wypadków z udziałem pojazdów z napędem alternatywnym, należy określić w zależności od napotkanej sytuacji i identyfikowanych zagrożeń. Istotne jest, aby wielkość strefy niebezpiecznej dostosować do rodzaju i ilości substancji, która już wyciekła.

Ewakuację i udzielanie pomocy osobom zagrożonym należy przeprowadzać przy użyciu sprzętu ochrony układu oddechowego oraz środków ochrony indywidualnej. W razie potrzeby, należy wezwać wykwalifikowany personel i odpowiednie środki wymagane do bezpiecznego przeprowadzenia działań w sytuacjach awaryjnych w miejscu pożaru (np. specjalistyczny personel z przedsiębiorstwa komunikacji miejskiej w przypadku pożaru autobusu zasilanego energią elektryczną).

Z eksploatacją samochodów wyposażonych w inne niż znane nam dotąd napędy wiąże się pewna obawa wśród ich użytkowników, jak i ratowników. Dotyczą one własnego bezpieczeństwa oraz niespotkanych dotąd, istotnych zagrożeń. Są to obawy tylko częściowo uzasadnione, bowiem mamy do czynienia z innymi nieznanymi dotychczas zagrożeniami (jak np. ryzyko porażenia prądem). Analiza danych statystycznych z państw, w których

Although technical rescue operations involving electric and hybrid vehicles and hybrid vehicles are not significantly different from those with traditional drives, the following additional activities can be identified, which should be immediately performed during such incidents:

- turn off the ignition (press the start-stop button);
- move the gearshift lever to the "P" position (may be on the steering wheel or in the centre console) or engage a gear;
- check that the electrical control systems are still operational (window lifters, seats, etc.);
- apply the parking brake (button or classic brake lever). Remove the key and keep it at a distance of several meters from the vehicle (at least 5 m or according to the manufacturer's instructions – information in the rescue sheet) to prevent automatic unlocking (keyless entry system);
- in case of sufficiently large damage, take the high-voltage installation out of service and protect it from reactivation (follow the manufacturer's instructions, recommendations in the rescue sheet).

Additional indications and recommendations for conducting rescue operations

1. Rescue operations during incidents involving vehicles with alternative propulsion systems are not fundamentally different from operations during incidents involving vehicles with traditional propulsion systems. The accompanying risks are due to the type of used propulsion and result in an increase in the duration of the rescue operations.
2. Fire departments must systematically familiarize themselves with the new risks of the drive.
3. The safety solutions and technologies used in such vehicles are designed to minimize these risks. The rescuers should know them in order to act faster and more effectively and, above all, more safely.
4. There are components in each vehicle that the rescuers should not damage. Therefore, basic knowledge of the construction and the components of the vehicles with different propulsion systems is so important.
5. Safe operation on an electric vehicle requires a complete power/drive shutdown. Successful deactivation requires accurate vehicle information (rescue sheet, data from the manufacturer).
6. Keep in mind that the batteries still contain voltage – despite the shutdown of the WN system. Self-discharge occurs only to a limited extent in case of water ingress.
7. Special fire suppressant additives are not necessary when fighting fires involving high-voltage batteries.
8. The spacing between the jet nozzles and the current

liczba pojazdów elektrycznych jest największa, prowadzi do wniosku, iż w przypadku zdarzeń z udziałem pojazdów elektrycznych liczba ofiar śmiertelnych oraz liczba rannych nie jest wyższa niż w odniesieniu do pojazdów z zastosowaniem paliw tradycyjnych (benzyna, olej napędowy).

Mimo iż działania ratownictwa technicznego z udziałem pojazdów elektrycznych i hybrydowych nie różnią się w sposób istotny od tych z napędami tradycyjnymi, to wskazać można poniższe czynności dodatkowe, które podczas takich zdarzeń powinny być niezwłocznie wykonane:

- wyłączyć zapłon (nacisnąć przycisk start-stop);
- przestawić dźwignię zmiany biegów w położenie „P” (może być na kierownicy lub w konsoli środkowej) lub włączyć bieg;
- sprawdzić, czy systemy sterowania elektrycznego są nadal sprawne (podnośniki szyb, fotele itp.);
- zaciągnąć hamulec postojowy (przycisk lub klasyczna dźwignia hamulca). Wyjąć kluczyk i trzymać go w odległości kilku metrów od pojazdu (min. 5 m lub zgodnie z wskazaniami producenta – informacja w karcie ratowniczej), aby zapobiec automatycznemu odblokowaniu (system bezkluczykowy);
- w przypadku odpowiednio dużych uszkodzeń wyłączyć instalację wysokiego napięcia z eksploatacji i zabezpieczyć ją przed ponownym włączeniem (przestrzegać wskazówek producenta, zaleceń zawartych w karcie ratowniczej).

Dodatkowe wskazania i rekomendacje dotyczące prowadzenia działań ratowniczych

1. Działania ratownicze podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z alternatywnymi napędami nie różnią się zasadniczo od działań podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z napędami tradycyjnymi. Towarzyszące im zagrożenia wynikają z rodzaju zastosowanego napędu i powodują wydłużenie czasu prowadzonych działań ratowniczych.
2. Straże pożarne muszą systematycznie zapoznawać się z nowymi zagrożeniami wynikającymi z zastosowanego napędu.
3. Stosowane rozwiązania i technologie bezpieczeństwa w takich pojazdach mają na celu minimalizowanie tych zagrożeń. Ratownicy powinni je znać, aby działać szybciej i skuteczniej, a przede wszystkim bezpieczniej.
4. W każdym pojeździe znajdują się elementy, których ratownicy nie powinni uszkodzić. Dlatego tak istotna jest podstawowa wiedza o budowie i podzespołach pojazdów o różnych napędach.
5. Bezpieczne prowadzenie działań przy pojeździe elektrycznym wymaga całkowitego wyłączenia zasilania/napędu. Skuteczna dezaktywacja wymaga dokładnych informacji o pojeździe (karta ratownicza, dane od producenta).
6. Pamiętaj, należy, iż akumulatory nadal zawierają napięcie – pomimo wyłączenia systemu WN. Samorozładowanie występuje tylko w ograniczonym stopniu w przypadku wniknięcia wody.
7. Specjalne dodatki do środków gaśniczych nie są konieczne

source (WN installation) in accordance with the recommendations of DIN VDE 0132 should be observed.

9. The voltage of the electrical system on new vehicles (such as the Audi A8) can be 48 volts.

For all rescue and firefighting operations to be effective, they require adequate preparation of the rescuers and their commanders. Preparation is not only adequate, risk-appropriate technical equipment, but also the physical fitness of the rescuers and the competence of the commanders. A wide variety of technical solutions used in vehicles, which affect the safety of the injured and the rescuers themselves, requires support for the KDR from the command posts. Often the information contained in the rescue sheet is not sufficient or there is simply no such sheet in the vehicle. This does not relieve the emergency manager of responsibility for the effectiveness of the operations. It is unacceptable for the rescuers to cease operations in the absence of the information. Often their quality and effectiveness are not always at the right level due to the shortage of information.

A big help is the rescue sheets mentioned above, which provide information about the most important safety systems on the vehicles in a standardized way. They are available in the form of sheets (usually in the form of pdf files) with graphical and descriptive information about the construction of the vehicle with particular emphasis on data on structural reinforcements, active and passive safety systems. It contains key information for the rescuers to carry out a smooth rescue operation with the highest possible safety for the rescued and the rescuers themselves.

Rescue sheets can be downloaded and printed from the website of the Polish Automobile Dealers Association [18] or the German automotive organization ADAC [19], among others. It is also possible to use apps available for smartphones, tablets or computers. The International Association of Fire & Rescue Services (CTIF) recommends Euro RESCUE [20] and Rescue Code [21] for use. Also noteworthy is a commercial application from Moditech [22].

The free Euro RESCUE application is being developed with the support of Euro NCAP [23]. It allows access to the rescue sheets online or offline after downloading it to a smartphone. It is also possible to scan QR codes of the rescue sheets. The application is being systematically developed and, according to the authors' assurances, in 2023 it will also be available in Polish.

Rescue Code is also a free app in French and some English with functionality similar to Euro RESCUE. Offline access to the rescue sheets and scanning of QR codes is possible. Android and iOS versions are available [33].

Crash Recovery System is a commercial application available for many hardware platforms. It contains information on most (more than 66,000) vehicles circulating in Europe and around the world: cars and vans, trucks, buses, special vehicles, unicycles, campers, agricultural vehicles, construction vehicles and boats. It is possible to scan QR codes. The software comes in several versions:

- for the rescuers,
- for roadside assistance,
- partially with interactive graphics (the interactive version allows to disable/enable the view of the roof, side, seats, description of how to deactivate systems, etc.),

przy zwalczaniu pożarów dotyczących akumulatorów wysokiego napięcia.

8. Należy przestrzegać odstępów między prądownicami strumieniowymi a źródłem prądu (instalacja WN) zgodnie z zaleceniami DIN VDE 0132.
9. Napięcie instalacji elektrycznej w nowych pojazdach (np. Audi A8) może wynosić 48 V.

Aby wszystkie działania ratowniczo-gaśnicze były skuteczne wymagają odpowiedniego przygotowania ratowników i ich dowódców. Przygotowanie to nie tylko właściwe, adekwatne do ryzyka wyposażenie techniczne, ale także sprawność fizyczna ratowników i kompetencja dowódców. Duża różnorodność stosowanych w pojazdach rozwiązań technicznych, które mają wpływ na bezpieczeństwo osób poszkodowanych i samych ratowników, wymaga wsparcia dla KDR ze strony stanowisk kierowania. Często informacje zawarte w karcie ratowniczej nie są wystarczające lub po prostu takiej karty nie ma w pojeździe. Nie zwalnia to kierującego działaniami ratowniczymi z odpowiedzialności za skuteczność działań. Niedopuszczalne jest zaprzestanie działań przez ratowników w przypadku braku informacji. Często ich jakość i skuteczność nie zawsze są na odpowiednim poziomie z powodu niedoboru informacji.

Dużą pomocą są wspomniane karty ratownicze, które w standardyzowany sposób przekazują informację o najważniejszych systemach bezpieczeństwa znajdujących się w pojazdach. Są dostępne w postaci arkuszy (najczęściej w formie plików pdf) z graficzną i opisową informacją o budowie pojazdu ze szczególnym uwzględnieniem danych dotyczących wzmocnień konstrukcji, aktywnych i biernych systemów bezpieczeństwa. Znajdują się tam kluczowe informacje dla ratowników do przeprowadzenia sprawnego ratowania przy zachowaniu możliwie najwyższego bezpieczeństwa osób ratowanych i samych ratowników.

Karty ratownicze można pobrać oraz wydrukować m.in. ze strony internetowej polskiego Związku Dealerów Samochodowych [18] lub niemieckiej organizacji motoryzacyjnej ADAC [19]. Możliwe jest też skorzystanie z aplikacji dostępnych na smartfony, tablety lub komputery. Międzynarodowy Komitet Techniczny Prewencji i Zwalczania Pożarów (CTIF) rekomenduje do wykorzystania Euro RESCUE [20] oraz Rescue Code [21]. Na uwagę zasługuje również komercyjna aplikacja firmy Moditech [22].

Darmowa aplikacja Euro RESCUE jest rozwijana przy wsparciu Euro NCAP [23]. Umożliwia ona dostęp do kart ratowniczych online lub offline po pobraniu na smartfon. Możliwe jest również skanowanie kodów QR kart ratowniczych. Aplikacja jest systematycznie rozwijana i według zapewnień autorów w 2023 roku będzie dostępna również w języku polskim.

Rescue Code to także darmowa aplikacja w języku francuskim i częściowo angielskim o funkcjonalności podobnej do Euro RESCUE. Możliwy jest dostęp offline do kart ratowniczych oraz skanowanie kodów QR. Dostępna są wersje na Androida i iOS [33].

Crash Recovery System to komercyjna aplikacja dostępna na wiele platform sprzętowych. Zawiera informacje o większości (ponad 66 tysięcy) pojazdów poruszających się w Europie i na świecie: samochody i furgonetki, ciężarówki, autobusy, pojazdy specjalne, jednoślady, kampery, pojazdy rolnicze, pojazdy budowlane oraz łodzie. Możliwe jest skanowanie kodów QR.

- with manual selection of vehicle models,
- with selection by license plate (only in selected countries),
- with selection by VIN number (only in selected countries).

General descriptive information about the vehicle, how to deactivate safety systems, what to do in case of a fire and after immersion in water is available. Compatibility with: Android, iOS, Win 7&10 [22].

A comparison of the data that can be extracted from the indicated applications for a specific vehicle model is shown below in table form. As can be noted, the detail and presentation of this data varies from one application to another, which may indicate their different practical usefulness during rescue operations.

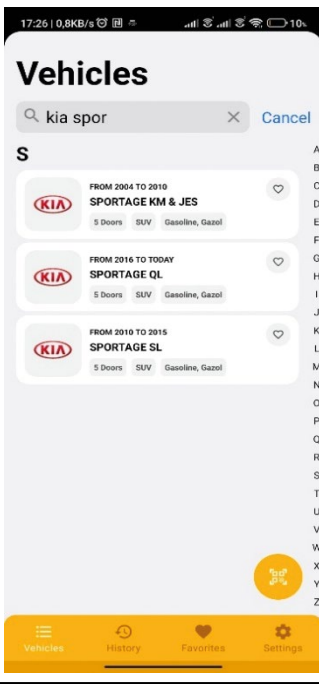
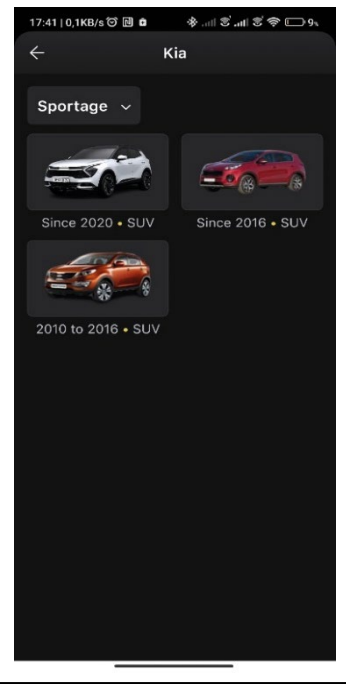
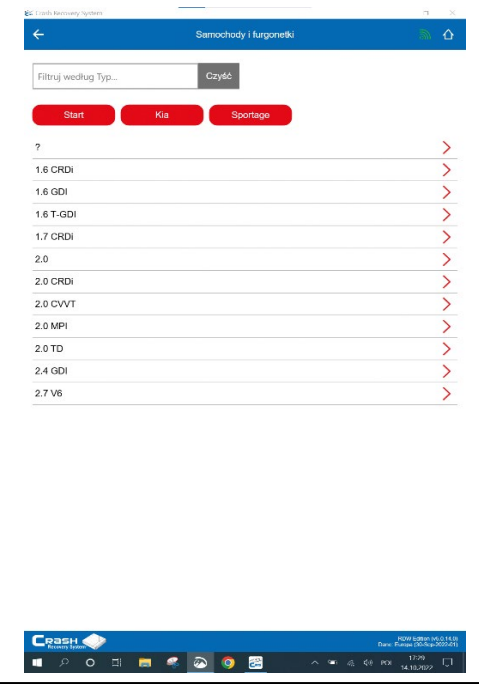
Oprogramowanie występuje w kilku wersjach:

- dla ratowników,
- dla pomocy drogowej,
- częściowo z interaktywną grafiką (wersja interaktywna umożliwia wyłączenie/włączenie widoku dachu, boku, siedzeń, opisu sposobu dezaktywacji systemów itd.),
- z ręcznym wyborem modeli pojazdów,
- z wyborem według tablic rejestracyjnych (tylko w wybranych krajach),
- z wyborem według numerów VIN (tylko w wybranych krajach).

Dostępne są ogólne opisowe informacje o pojeździe, sposobach dezaktywacji systemów bezpieczeństwa, postępowania w przypadku pożaru oraz po zanurzeniu w wodzie. Kompatybilność z: Android, iOS, Win 7&10 [22].

Poniżej przedstawiono w formie tabeli porównanie danych, jakie można pozyskać ze wskazanych aplikacji dla konkretnego modelu pojazdu. Jak widać szczegółowość i sposób prezentacji tych danych różnią się w poszczególnych aplikacjach, co może świadczyć o różnej ich przydatności w praktyce podczas prowadzenia działań ratowniczych.

Table 3. Comparison of application possibilities on the example of a Kia Sportage car
Tabela 3. Porównanie możliwości aplikacji na przykładzie samochodu Kia Sportage

Rescue code (Android, smartfon)	Euro Rescue (Android, smartfon)	Crash Recovery System (Windows, tablet)
		
<p>Total 3 rescue sheets for Kia Sportage / Razem 3 karty ratownicze dla Kia Sportage</p>	<p>Total 6 rescue sheets for Kia Sportage / Razem 6 kart ratowniczych dla Kia Sportage</p>	<p>Total 33 rescue sheets for Kia Sportage / Razem 33 karty ratownicze dla Kia Sportage</p>

Source: Own elaboration (G. Bugaj) based on data obtained from the indicated applications.
 Źródło: Opracowanie własne (G. Bugaj) na podstawie danych uzyskanych ze wskazanych aplikacji.

A good practice resulting from having access to rescue sheets is to use them for training and professional development, especially in raising awareness of the problems associated with rescue operations carried out with alternatively powered vehicles. Care should also be taken in this regard to support rescuers carrying out operations by transmitting information from the State Fire Service (PSP) command post directly to the scene of operations using the ICT techniques already available. In such a case, the cost of maintaining professional software is reduced to a single license. If the application is installed on tablets and used directly at the scene of the action, the cost increases by each device with the installed application (for example, in case of Crash Recovery System).

Rescue sheets are also available on the websites of vehicle manufacturers. Any smartphone or tablet user, after scanning the QR code (on stickers affixed to the B-pillars and fuel filler cap flaps), will access the website and read the rescue sheet for that particular vehicle. Some vehicle owners mark their vehicles with a yellow sticker informing about the rescue sheet in the vehicle. It should always be placed in the driver's sun visor. This will allow the rescuers to take advantage of it.

Dobłą praktyką wynikającą z posiadania dostępu do kart ratowniczych jest wykorzystanie ich do szkolenia i doskonalenia zawodowego, szczególnie w zakresie uświadamiania problemów związanych z działaniami ratowniczymi realizowanymi z udziałem pojazdów z napędem alternatywnym. Należy również zadbać o wsparcie dla ratowników prowadzących działania poprzez przekazywanie informacji ze stanowiska kierowania PSP bezpośrednio na miejsce działań z wykorzystaniem dostępnych już technik teleinformatycznych. Koszt utrzymania profesjonalnego oprogramowania organiczna się wtedy do jednej licencji. W przypadku instalowania aplikacji na tabletach i bezpośredniego jej użycia na miejscu akcji, koszty zwiększają się o każde urządzenie z zainstalowaną aplikacją (np. w przypadku Crash Recovery System).

Karty ratownicze są również dostępne na stronach internetowych producentów pojazdów. Każdy użytkownik smartfonu lub tabletu po zeskanowaniu kodu QR (na naklejkach umieszczonych na słupkach B i klapach osłonowych wlewów paliwa) uzyska dostęp do strony internetowej i odczyta kartę ratowniczą dotyczącą danego pojazdu. Część właścicieli pojazdów znakuje swoje pojazdy żółtą naklejką informacyjną o karcie ratowniczej w pojeździe. Powinna ona być zawsze umieszczona w osłonie przeciwslonecznej kierowcy. Pozwoli to ratownikom na skorzystanie z niej.



Figure 14. QR code on the fuel filler cover flap
Rycina 14. Kod QR na klapie osłonowej wlewu paliwa
Source: Own elaboration (photograph: G. Bugaj).
Źródło: Opracowanie własne (zdjęcie: G. Bugaj).

Guidelines for emergency services in terms of operations during incidents involving cells, batteries and lithium batteries

Based on the vfdb MB 10–17 guidelines [7], the authors have developed recommendations intended for emergency services for operations during incidents involving cells, batteries and lithium batteries.

Risk of electrocution when touching an accident vehicle or its parts

The risk of electrocution is not high, as vehicles are equipped with several different protective mechanisms. Such touch protection is provided by the electric vehicle's high-voltage system, plus it is completely electrically isolated from the vehicle body. In addition, in the event of an incident involving airbag activation

Wytyczne dla służb ratowniczych w zakresie działań podczas zdarzeń z udziałem ogniw, baterii i akumulatorów litowych

Na podstawie wytycznych vfdb MB 10–17 [7] autorzy opracowali rekomendacje przeznaczone dla służb ratowniczych dotyczące działań podczas zdarzeń z udziałem ogniw, baterii i akumulatorów litowych.

Ryzyko porażenia prądem przy dotykaniu pojazdu powypadkowego lub jego części

Zagrożenie porażeniem prądem nie jest duże, ponieważ pojazdy są wyposażone w kilka różnych mechanizmów ochronnych. Takie zabezpieczenie przed dotykiem posiada system wysokiego napięcia pojazdu elektrycznego, dodatkowo jest on całkowicie izolowany elektrycznie od nadwozia pojazdu. Co więcej, w przypadku

or the activation of the belt pretensioners, the high-voltage system is automatically deactivated in most vehicles. However, it is definitely more dangerous if the high-voltage components or wires are damaged as a result of an accident (e.g. open components, broken wires). Then the risk of electrocution increases significantly. This should always be taken into account and touching damaged areas should be avoided. If work in these areas is necessary, it is recommended to insulate the damaged parts by covering them with electrically insulating material (the implementation of this recommendation may prove difficult in practice). If possible, it seems more useful to try to manually shut down the vehicle's high-voltage system based on the vehicle manufacturer's data or rescue sheet.

Unambiguous confirmation of whether the high-voltage system is turned off in the electric/hybrid vehicle involved in the accident

A sure indication of no voltage after an accident of such a vehicle is not possible due to a wide variety of possible damage scenarios. Therefore, the vehicle's high-voltage system as described in the emergency data sheet for the vehicle should be turned off manually. In addition, it should be noted that the state of charging the WN battery or its individual cells remains unchanged when the high-voltage system is turned off, but is then electrically isolated from the rest of the high-voltage system or electrical system.

Hazard generated by a parked vehicle that has been struck/damaged by another vehicle

The vehicle's high-voltage system can also be active when stationary (e.g. stationary air conditioning). As a rule, in parked electric vehicles that have been hit by another vehicle, the airbags will not be triggered. In the event of such an incident, the vehicle's high-voltage system must be manually turned off (see the vehicle's rescue sheet). This applies to both vehicles at the electric charging station and parked vehicles that are not connected to the charging station. Regardless of the vehicle, additional danger may come from the charging station's power supply if it has been damaged in an accident.

Possibility to manually shut down the high-voltage system for emergency service operations

Electric/hybrid vehicles have various options for manually deactivating the high-voltage system. Most of the vehicles have an additional disconnecting device for the WN system, which can be used by the rescuers. These are the points of disconnection described in the rescue sheet of the vehicle in question. It should be remembered that this disconnection does not discharge the WN battery – but disconnects it electrically from the rest of the high-voltage system. The recommended procedure for manual deactivation is described in the emergency data sheet of every manufacturer.

Damage to high-voltage cables after an accident if the airbags have not been deployed

Damaged wires or high-voltage components can always be an electrical hazard. Such components should not be touched

zdarzenia z aktywacją poduszki powietrznej lub zadziałaniem napinaczy pasów, w większości pojazdów system wysokiego napięcia jest wyłączany automatycznie. Zdecydowanie bardziej niebezpieczna jest sytuacja, jeśli jednak podzespoły lub przewody wysokiego napięcia zostaną uszkodzone w wyniku wypadku (np. otwarte podzespoły, zerwane przewody). Wówczas ryzyko porażenia istotnie wzrasta. Należy zawsze to uwzględnić i unikać dotykania uszkodzonych miejsc. Jeśli praca w tych obszarach jest konieczna, zalecane jest izolowanie uszkodzonych części poprzez pokrycie ich materiałem elektrycznie izolującym (realizacja tego zalecenia może się okazać trudna w praktyce). Bardziej przydatne wydają się, jeśli to możliwe, próby wyłączenia ręcznie system wysokiego napięcia pojazdu w oparciu o dane producenta pojazdu lub kartę ratowniczą.

Jednoznaczne potwierdzenie, czy układ wysokiego napięcia jest wyłączony w pojeździe elektrycznym/hybradowym biorącym udział w wypadku

Pewne wskazanie braku napięcia po wypadku takiego pojazdu nie jest możliwe ze względu na dużą różnorodność możliwych scenariuszy uszkodzeń. Dlatego należy ręcznie wyłączyć system wysokiego napięcia w pojeździe zgodnie z opisem w karcie danych ratowniczych dla danego pojazdu. Dodatkowo należy pamiętać, iż stan naładowania akumulatora WN lub jego poszczególnych ogniw pozostaje niezmienny po wyłączeniu układu wysokiego napięcia, ale jest wówczas elektrycznie odizolowany od reszty układu wysokiego napięcia lub instalacji elektrycznej.

Zagrożenie generowane przez zaparkowany pojazd, który został uderzony/uszkodzony przez inny pojazd

Układ wysokiego napięcia w pojeździe może być aktywny również podczas postoju (np. klimatyzacja stacjonarna). Z reguły w zaparkowanych pojazdach elektrycznych, w które uderzył inny pojazd, poduszki powietrzne nie zostaną wyzwolone. W przypadku takiego zdarzenia należy ręcznie wyłączyć system wysokiego napięcia pojazdu (patrz karta ratownicza pojazdu). Dotyczy to zarówno pojazdów na stacji ładowania elektrycznego, jak i zaparkowanych pojazdów, które nie są podłączone do stacji ładowania. Niezależnie od pojazdu, dodatkowe zagrożenie może wynikać z zasilania stacji ładowania, jeśli zostało ono uszkodzone w wypadku.

Możliwość ręcznego wyłączenia systemu wysokiego napięcia na potrzeby działania służb ratowniczych

Pojazdy elektryczne/hybradowe mają różne opcje ręcznej dezaktywacji układu wysokiego napięcia. Większość pojazdów posiada dodatkowe urządzenie odłączające instalację WN, które może być wykorzystane przez ratowników. Są to punkty rozłączenia opisane w karcie ratowniczej danego pojazdu. Pamiętać należy, iż rozłączenie to nie powoduje rozładowania akumulatora WN – lecz odłącza je elektrycznie od reszty systemu wysokonapięciowego. Zalecana procedura ręcznej dezaktywacji jest opisana w karcie charakterystyki ratowniczej danego producenta.

Uszkodzenie przewodów wysokiego napięcia po wypadku, jeśli poduszki powietrzne nie zostały rozwinięte

Uszkodzone przewody lub elementy wysokiego napięcia zawsze mogą stanowić zagrożenie elektryczne. Nie wolno bez potrzeby

when not necessary. High-voltage cables outside the WN battery enclosures are always orange. High-voltage components are marked with warning stickers.

Attempt to manually discharge WN battery

Electrically discharging the WN battery or individual cells at the scene of an accident is not practical and is not recommended. Improper discharge of a high-voltage energy storage system can lead to damage or fire.

Defective and inoperable WN battery in the vehicle

The damaged WN battery in the vehicle should not be directly touched. The condition of the battery (e.g. smoke development, noise, sparks, rising heat) should be observed. It is recommended to prepare a firefighting line to cool with water. If the temperature of the WN battery rises and is much higher than the outside temperature, the enclosure should be water-cooled.

WN battery lying next to vehicle after accident

It should be assumed that a WN battery generates electrical, chemical, mechanical and thermal hazards. The rescuers' protective clothing must be properly adapted to such hazards. The battery should not be touched without a clear need. Torn elements of the WN battery can be lifted from the ground only with electrically insulating (dielectric) equipment. Further handling should be determined depending on the situation and location. The WN battery should be observed (e.g. smoke development, noise, sparks, heat release). Also in this case, it is recommended to prepare a firefighting line for cooling.

Entrapment of an injured person in a vehicle in which there has been separation or disconnection of the energy storage system or its parts during the accident

Always use personal protective equipment for the rescuers. Do not directly touch a high-voltage energy storage device. If high-voltage components or wires are damaged (e.g. open components, torn wires), avoid contact with these damaged elements. For necessary work in these areas, the damaged parts or high-voltage energy storage devices should be covered with electrically insulating material. Pay attention to the condition of the power storage device (such as smoke development, noise, sparks, heat development). Prepare a firefighting attack consisting of cooling the high-voltage energy storage tank with water.

Use of equipment tarp to isolate live parts

An equipment tarp (used as a storage area for rescue equipment) for firefighters is usually a sheet of polyethylene. Due to the regular use of the tarp and possible initial damage, it is not recommended to use it to insulate live parts.

dotykać takich elementów. Kable wysokiego napięcia poza obudowami akumulatorów WN są zawsze pomarańczowe. Elementy pod wysokim napięciem są oznaczone naklejkami ostrzegawczymi.

Próba ręcznego rozładowania akumulatora WN

Rozładowywanie elektryczne akumulatora WN lub poszczególnych ogniw na miejscu wypadku nie jest praktyczne i nie jest zalecane. Niewłaściwe rozładowanie wysokonapięciowego systemu magazynowania energii może doprowadzić do jego uszkodzenia lub pożaru.

Uszkodzony i niepalący się akumulator WN w pojeździe

Nie wolno bezpośrednio dotykać uszkodzonego akumulatora WN w pojeździe. Należy obserwować stan akumulatora (np. rozwój dymu, hałas, iskry, narastające ciepło). Zaleca się przygotować linię gaśniczą w celu schłodzenia wodą. Jeżeli rośnie temperatura akumulatora WN i jest ona znacznie wyższa od temperatury zewnętrznej, obudowa powinna być chłodzona wodą.

Akumulator WN leżący obok pojazdu po wypadku

Należy założyć, że akumulator WN generuje zagrożenia elektryczne, chemiczne, mechaniczne i termiczne. Odzież ochronna ratowników musi być do takich zagrożeń odpowiednio dostosowana. Nie wolno bez wyraźnej potrzeby dotykać akumulatora. Rozerwane elementy akumulatora WN mogą być podnoszone z ziemi tylko przy użyciu sprzętu izolującego elektrycznie (dielektrycznego). Dalsze postępowanie należy ustalić w zależności od sytuacji i miejsca. Należy obserwować akumulator WN (np. rozwój dymu, hałas, iskry, wydzielanie ciepła). Także w tym przypadku zalecane jest przygotowanie linii gaśniczej w celu schładzania.

Uwięzienie osoby poszkodowanej w pojeździe, w którym doszło do oddzielenia lub odłączenia systemu magazynowania energii lub jego części w czasie wypadku

Należy zawsze stosować środki ochrony indywidualnej ratowników. Nie wolno bezpośrednio dotykać urządzenia magazynującego energię pod wysokim napięciem. Jeśli komponenty lub przewody wysokiego napięcia są uszkodzone (np. otwarte komponenty, rozerwane przewody), należy unikać kontaktu z tymi uszkodzonymi elementami. W przypadku koniecznych prac w tych obszarach, uszkodzone części lub urządzenia magazynujące energię pod wysokim napięciem należy przykryć materiałem elektrycznie izolującym. Należy zwrócić uwagę na stan urządzenia magazynującego energię pod napięciem sieciowym (np. rozwój dymu, hałas, iskry, rozwój ciepła). Przygotować natarcie gaśnicze polegające na schłodzeniu wodą zasobnika energii wysokiego napięcia.

Wykorzystanie plandeki sprzętowej do izolowania części pod napięciem

Plandeka sprzętowa (wykorzystywana jako miejsce składowania sprzętu ratowniczego) dla straży pożarnej to najczęściej arkusz polietylenu. Ze względu na regularne używanie plandeki i możliwe wstępne uszkodzenia, nie zaleca się jej stosowania do izolowania części pod napięciem.

Electrolyte leakage from WN battery after accident

Electrolytes are usually irritating, flammable and potentially corrosive. Conventional binding agents should be used. Liquids leaking from high-voltage energy storage systems are usually coolants, not electrolytes. Electrolytes are present only in small quantities (millilitres) distributed throughout the cells. Avoid skin contact with electrolyte and inhalation of released gases due to chemical reactions of escaping electrolyte (note: personal protective equipment must be adapted to the situation). If you come into contact with damaged WN batteries or gases escaping from the battery, flush the affected skin areas with plenty of water. Remove and clean contaminated clothing. Then consult a doctor.

Hazards associated with vapours that can be emitted from a WN battery

Hazards associated with vapours that can be emitted from a WN battery. During incidents, there is a risk that irritating, flammable, potentially corrosive and toxic gases may be emitted from electric vehicle batteries. They can pose a danger to both the rescuers and the victims. It is recommended that the rescuers work with respiratory protection equipment. If necessary, evacuate casualties and cool energy storage devices with water.

Possible explosion of the WN battery during a vehicle fire

An explosion of an undamaged battery is unlikely due to proper manufacturing technology and safety features. Both the high-voltage energy storage unit and its individual cells have mechanical safety devices that open, for example, in the event of a fire-induced increase in temperature and pressure, thus leading to unsealing and pressure release. However, the rupture of damaged modules or cells due to the initiated exothermic reaction cannot be ruled out.

Unsealing of the WN battery in the event of a fire

Both the WN battery and its individual cells have mechanical safety devices that open, for example, in the event of a fire-induced increase in temperature and pressure, leading to a deliberate unsealing and release of pressure. The use of an air device is necessary. It is advisable to use fog currents to bind vapours and gases.

Toxic fumes in case of fire in electric/hybrid vehicle

In case of fires in electric/hybrid vehicles, as in the case of conventional vehicles, the burning materials, such as plastics, produce harmful smoke containing toxic products of combustion. The use of an air device is necessary. Vapours and gases should be bound with a dispersed stream of water.

Wyciek elektrolitu z akumulatora WN po wypadku

Elektrolity są zwykle drażniące, łatwopalne i potencjalnie żrące. Należy stosować konwencjonalne środki wiążące. Ciecze wydostające się z wysokonapięciowych systemów magazynowania energii to zazwyczaj chłodziwa, a nie elektrolity. Elektrolity występują tylko w niewielkich ilościach (mililitry) rozmieszczone w poszczególnych ogniwach. Należy unikać kontaktu skóry z elektrolitem oraz wdychania uwolnionych gazów w wyniku reakcji chemicznych ulatniającego się elektrolitu (uwaga: środki ochrony indywidualnej muszą być dostosowane do sytuacji). W przypadku kontaktu z uszkodzonymi akumulatorami WN lub gazami wydobywającymi się z akumulatora należy przemyć dotknięte obszary skóry dużą ilością wody. Zdjąć i oczyścić zanieczyszczoną odzież. Następnie skonsultować się z lekarzem.

Zagrożenia związane z oparami, które mogą się wydzielać z akumulatora WN

Podczas zdarzeń istnieje ryzyko wydzielania się z akumulatorów pojazdu elektrycznego drażniących, palnych, potencjalnie żrących i toksycznych gazów. Stanowią one mogą zagrożenie zarówno dla ratowników, jak i poszkodowanych. Zalecane jest, aby ratownicy pracowali z wykorzystaniem sprzętu ochrony układu oddechowego. W razie potrzeby należy ewakuować poszkodowanych i chłodzić wodą urządzenia magazynowania energii.

Możliwość wybuchu akumulatora WN podczas pożaru pojazdu

Wybuch nieuszkodzonego akumulatora jest raczej mało prawdopodobny dzięki odpowiedniej technologii wykonania i zabezpieczeniom. Zarówno wysokonapięciowy magazyn energii, jak i jego poszczególne ogniwa posiadają mechaniczne urządzenia zabezpieczające, które otwierają się np. w przypadku wywołanego pożarem wzrostu temperatury i ciśnienia, prowadząc w ten sposób do rozszczelnienia i uwolnienia ciśnienia. Nie można jednak wykluczyć rozerwania uszkodzonych modułów lub ogniw na skutek zainicjowanej reakcji egzotermicznej.

Rozszczelnienie akumulatora WN w przypadku pożaru

Zarówno akumulator WN, jak i jego poszczególne ogniwa posiadają mechaniczne urządzenia zabezpieczające, które otwierają się np. w przypadku wywołanego pożarem wzrostu temperatury i ciśnienia, co prowadzi do celowego rozszczelnienia i uwolnienia ciśnienia. Konieczne jest stosowanie aparatu powietrznego. Wskazane jest stosowanie prądów mgłowych w celu związania par i gazów.

Toksyczne opary w przypadku pożaru w pojeździe elektrycznym/hybradowym

W przypadku pożarów w pojazdach elektrycznych/hybradowych, podobnie jak w przypadku pojazdów konwencjonalnych, spalające się materiały, np. tworzywa sztuczne, wytwarzają szkodliwy dla zdrowia dym zawierający toksyczne produkty spalania. Konieczne jest stosowanie aparatu powietrznego. Pary i gazy należy wiązać rozproszonym strumieniem wody.

Possibility of secondary fire of WN batteries after an accident

As with conventional vehicles involved in an accident the risk of a delayed fire cannot be ruled out. This is especially true for WN batteries.

Extinguishing agents for electric/hybrid vehicles

The preferred extinguishing agent is water, since it also has a cooling effect. Vehicles should be extinguished or cooled with plenty of water (about 200 l/min).

Accident involving an electric/hybrid vehicle connected to a charging station

If possible, disconnect the charging cable from the charging station/plug or from the vehicle. Alternatively, the charging station/plug can be turned off. Before disconnecting, visually inspect the cable and plug for damage. Do not touch damaged areas. In the event of a serious accident, turn off the vehicle's high-voltage system (see rescue data sheet). Note that the vehicle's high-voltage system can also be active when the vehicle is stationary, independent of the charging station (e.g. stationary air conditioning).

Cutting or damaging the charging cable during the electric vehicle charging process at the charging station

The charging station's technical infrastructure is equipped with systems to protect against situations where the vehicle's charging cable is cut or damaged. Normally, the charging station is automatically turned off. Be careful, inform the operator of the charging station.

Risks of electric/hybrid vehicle in water

In principle, there is no increased risk of electrocution from a high-voltage system in a vehicle that is in water. The procedure for recovery (getting the vehicle out of the water) is identical to that for conventional vehicles. In this case, compared to vehicles powered by internal combustion engines, electric vehicles do not cause more pollution to the water environment.

Towing of an electric/hybrid vehicle

In cases justified by safety considerations, removing the vehicle from the zone of immediate danger – at a speed close to that of a pedestrian – is allowed. For additional information on towing, refer to the manufacturer's vehicle manual.

Loading an electric/hybrid vehicle for transport after an accident

Refer to your vehicle's manual or rescue sheet for guidance. Before loading, turn off the high-voltage system (e.g. turn off the ignition, use an existing disconnection point if necessary, disconnect the 12-volt battery). When handing over the vehicle, the type of vehicle drive and the taken measures (e.g. turning off the high-voltage system) should be communicated. In particular, attention should be paid to the possible danger from the damaged high-voltage components or high-voltage components that have come into contact with water (e.g. the danger of

Możliwość wtórnego pożaru akumulatorów WN po wypadku

Podobnie jak w przypadku konwencjonalnych pojazdów uczestniczących w wypadku nie można wykluczyć ryzyka późniejszego pożaru. Szczególnie dotyczy to akumulatorów WN.

Środki do gaszenia pojazdów elektrycznych/hybrydowych

Preferowanym środkiem gaśniczym jest woda, ponieważ działa również chłodząco. Pojazdy należy gasić lub chłodzić dużą ilością wody (ok. 200 l/min).

Wypadek z udziałem pojazdu elektrycznego/hybrydowego podłączonego do stacji ładowania

Jeśli to możliwe, należy odłączyć kabel ładowania od stacji/gniazda ładowania lub od pojazdu. Alternatywnie można wyłączyć stację/gniazdo ładowania. Przed odłączeniem należy wizualnie sprawdzić, czy kabel i wtyczka nie są uszkodzone. Nie wolno dotykać uszkodzonych miejsc. W razie poważnego wypadku wyłączyć system wysokiego napięcia pojazdu (patrz karta danych ratowniczych). Należy pamiętać, że system wysokiego napięcia pojazdu może być aktywny również podczas postoju pojazdu, niezależnie od stacji ładowania (np. klimatyzacja stacjonarna).

Przecięcie lub uszkodzenie kabla ładowania podczas procesu ładowania pojazdu elektrycznego w stacji ładowania

Infrastruktura techniczna stacji ładowania jest wyposażona w systemy zabezpieczające przed sytuacjami przecięcia lub uszkodzenia kabla ładującego pojazd. Zwykle stacja ładowania jest automatycznie wyłączana. Należy zachować ostrożność, poinformować operatora stacji ładowania.

Zagrożenia związane z pojazdem elektrycznym/hybrydowym w wodzie

W zasadzie nie ma zwiększonego ryzyka porażenia prądem od systemu wysokiego napięcia w samochodzie znajdującym się w wodzie. Procedura odzysku (wydobycia pojazdu z wody) jest identyczna jak w przypadku pojazdów konwencjonalnych. W takim wypadku, w porównaniu do pojazdów napędzanych silnikami spalinowymi, pojazdy elektryczne nie powodują większego zanieczyszczenia środowiska wodnego.

Holowanie pojazdu elektrycznego/hybrydowego

W przypadkach uzasadnionych względami bezpieczeństwa usuwanie pojazdu ze strefy bezpośredniego zagrożenia – z prędkością zbliżoną do pieszego – jest dopuszczalne. Dodatkowe informacje na temat holowania można znaleźć w instrukcji obsługi producenta pojazdu.

Ładunek pojazdu elektrycznego/hybrydowego do transportu po wypadku

Wskazówki na ten temat można znaleźć w instrukcji obsługi pojazdu lub w karcie ratowniczej. Przed ładunkiem należy wyłączyć system wysokiego napięcia (np. wyłączyć zapłon, w razie potrzeby skorzystać z istniejącego punktu odłączenia, odłączyć akumulator 12 V). Przy przekazywaniu pojazdu należy poinformować o rodzaju napędu pojazdu oraz podjętych działaniach (np. wyłączenie systemu wysokiego napięcia). W szczególności należy zwrócić uwagę na możliwe zagrożenie ze strony uszkodzonych

electrocution or fire, also of late, from the WN battery). When lifting with a crane/car lift, working with a winch, or loading, make sure that no high-voltage components were/will not be damaged.

Transport/towing of accident-damaged electric/hybrid vehicles

Vehicles should always be transported on an adapted vehicle, on a platform and in accordance with the manufacturer's recommendations. When towing in the tug's mounts, the electrical/hybrid system may be damaged if the drive axle(s) are left on the road. Vehicles with a damaged WN battery should be transported to the nearest suitable specialized workshop or, if possible, to a safe storage area.

Regulations that restrict tunnel crossings when the transport vehicle has a loaded damaged electric/hybrid vehicle

Battery and hybrid vehicles are not subject to ADR (fr. *Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route* – European Agreement concerning the carriage of dangerous goods by road). Taking into account previous measures and the degree of damage, the transport company ensures the road safety of the transport. Consider the possible danger from damaged high-voltage components (e.g. electrocution or risk of fire due to energy storage). Follow the tunnel regulations of your country and of the operator.

Parking and storage of accident-damaged electric/hybrid vehicles

For fire safety reasons, electric/hybrid vehicles damaged in an accident, like conventional vehicles, must be parked in a fenced area in an open space with sufficient distance from other vehicles, buildings, combustible objects and combustible surfaces. Parking an electric/hybrid vehicle with a faulty high-voltage system in a closed building is not recommended. Follow the vehicle manufacturer's instructions (e.g. rescue data sheet). As an alternative, accident-damaged electric/hybrid vehicles can be parked in designated areas with fire suppression systems. Accident-damaged electric/hybrid vehicles with high-voltage components exposed directly to the elements must be covered with a weatherproof tarp. The vehicle should be properly marked.

Examples of fires of alternative-propulsion vehicle and rescue and firefighting operations are available, among others, on various channels and social media (see [15–17]). The last video confirms that the problem of the dangers of lithium-ion batteries is not limited to electric vehicles, but also applies to other battery-powered devices.

elementów wysokiego napięcia lub elementów wysokiego napięcia, które weszły w kontakt z wodą (np. zagrożenie porażeniem prądem lub pożarem, również z opóźnieniem, ze strony akumulatora WN). Podczas podnoszenia za pomocą dźwigu/dźwigu samochodowego, pracy z wciągarką lub załadunku należy upewnić się, że nie zostały/nie zostaną uszkodzone żadne elementy będące pod wysokim napięciem.

Transport/holowanie uszkodzonych w wypadku pojazdów elektrycznych/hybrydowych

Pojazdy powinny być zawsze transportowane na przystosowanym do tego pojeździe, na platformie i zgodnie z zaleceniami producenta. Podczas holowania w uchwytach holownika może dojść do uszkodzenia układu elektrycznego/hybrydowego, jeśli oś (osie) napędowa pozostanie na drodze. Pojazdy z uszkodzonym akumulatorem WN powinny zostać przetransportowane do najbliższego odpowiedniego warsztatu specjalistycznego lub w miarę możliwości do bezpiecznego miejsca składowania.

Przepisy, które ograniczają przejazdy przez tunel, gdy pojazd transportujący ma załadowany uszkodzony pojazd elektryczny/hybrydowy

Pojazdy akumulatorowe i hybrydowe nie podlegają przepisom ADR (fr. *Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route* – Umowa europejska dotycząca drogowego przewozu towarów niebezpiecznych). Biorąc pod uwagę wcześniejsze środki i stopień uszkodzenia, firma transportowa zapewnia bezpieczeństwo drogowe transportu. Należy wziąć pod uwagę możliwe zagrożenie ze strony uszkodzonych komponentów wysokiego napięcia (np. porażenie prądem lub ryzyko pożaru ze względu na magazynowanie energii). Należy przestrzegać przepisów dotyczących tuneli obowiązujących w danym kraju i u danego operatora.

Parkowanie i przechowywanie uszkodzonych w wypadku pojazdów elektrycznych/hybrydowych

Ze względów bezpieczeństwa pożarowego uszkodzone w wypadku pojazdy elektryczne/hybrydowe, podobnie jak pojazdy konwencjonalne, muszą być zaparkowane w ogrodzonym miejscu na otwartej przestrzeni z zachowaniem odpowiedniej odległości od innych pojazdów, budynków, palnych przedmiotów i palnych powierzchni. Parkowanie pojazdu elektrycznego/hybrydowego z uszkodzonym układem wysokiego napięcia w zamkniętej hali nie jest zalecane. Należy przestrzegać wskazówek producenta pojazdu (np. karty danych ratowniczych). Alternatywnie, uszkodzone w wypadku pojazdy elektryczne/hybrydowe mogą być parkowane w przeznaczonych do tego celu miejscach z systemami przeciwpożarowymi. Uszkodzone w wypadku pojazdy elektryczne/hybrydowe z elementami pod wysokim napięciem wystawionymi bezpośrednio na działanie czynników atmosferycznych muszą być przykryte plandeką odporną na działanie tych czynników. Pojazd należy odpowiednio oznakować.

Przykłady pożarów pojazdów z napędem alternatywnym i prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych są dostępne między innymi na różnorodnych kanałach i mediach społecznościowych (zob. [15–17]). Ostatni z filmów potwierdza, że problem

Conclusion

The number of motor vehicles in Poland and other countries is still growing. There are also a growing number of vehicles equipped with alternatives to internal combustion drives. Alternative propulsion is a challenge for fire protection, both in terms of carrying out rescue operations involving these vehicles and parking them in construction objects, as well as charging them.

Analysis of the literature on the subject, available research results, as well as individual incidents leads to the reasonable conclusion that the risks during rescue and firefighting operations during incidents involving electric and hybrid vehicles are not greater than in case of conventionally powered vehicles, but are to some extent different, which is due in particular to the different power system in these vehicles – batteries. These hazards must be taken into account both when conducting rescue operations and in the requirements for built structures in terms of fire safety.

Energy storage in hybrid and electric vehicles can be found in many different places in the vehicle – sometimes in the trunk, under the rear bench seat or even on the vehicle's chassis. In the event of damage to the vehicle and its battery, it is important to keep in mind the risks associated with the possibility of the formation of C-hazardous substances, the explosion of emitted electrolytes, the formation of hydrofluoric acid in a humid atmosphere. Therefore, respiratory protection is necessary during rescue operations.

In case of rescue operations marking of the vehicle and its components in the context of risks to the rescuers is important. The unfavourable circumstance is that there are no uniform regulations in this regard. The International Association of Fire & Rescue Services (CTIF) has developed standards in the form of symbols and messages (for all types of alternative drives). The ISO 17840 standard is voluntary and can be used worldwide by public transport operators, fire and rescue services, passenger vehicles and trucks.

In addition to the labelling of alternative-propulsion vehicles, detailed information about the propulsion system and instructions on how to proceed are crucial for conducting rescue operations. Among other things, they can be obtained from the application for a specific vehicle model (see Table 3). As can be seen, the detail and presentation of this data varies from one application to another, which can result in different usefulness during the rescue operations.

The operation of vehicles equipped with drives other than the ones we have known so far is associated with numerous concerns, as mentioned in the article. Previously unknown risks include, but are not limited to: risk of electrocution, thermal runaway, charging a vehicle in a construction object. Identification of these risks will foster solutions and safeguards that minimize the risk of their occurrence and bring this risk to an acceptable level.

zagrożeń ze strony baterii litowo-jonowych nie ogranicza się tylko do pojazdów elektrycznych, ale dotyczy także innych urządzeń zasilanych z baterii.

Podsumowanie

Liczba pojazdów silnikowych w Polsce i innych państwach wciąż rośnie. Coraz więcej jest także pojazdów wyposażonych w napędy alternatywne do napędów spalinowych. Napędy alternatywne są wyzwaniem dla ochrony przeciwpożarowej zarówno w kontekście prowadzenia działań ratowniczych z udziałem tych pojazdów, jak i ich parkowania w obiektach budowlanych, a także ładowania.

Analiza literatury przedmiotu, dostępnych wyników badań, jak i poszczególny zdarzeń prowadzi do uzasadnionego wniosku, iż zagrożenia podczas prowadzenia działań ratowniczych i gaśniczych podczas zdarzeń z udziałem pojazdów elektrycznych i hybrydowych nie są większe niż w przypadku pojazdów z napędami konwencjonalnymi, lecz są w pewnym zakresie inne, co wynika w szczególności z odmiennego systemu zasilania w tych samochodach – akumulatorów. Zagrożenia te muszą być uwzględnione zarówno w zakresie prowadzenia działań ratowniczych, jak i w wymaganiach dla obiektów budowlanych w zakresie bezpieczeństwa pożarowego.

Zasobniki energii w pojazdach hybrydowych i elektrycznych można znaleźć w wielu różnych miejscach w pojeździe – czasami w bagażniku, pod tylną kanapą lub nawet na podwoziu pojazdu. W przypadku uszkodzenia pojazdu i jego akumulatora należy mieć na uwadze zagrożenie związane z możliwością powstawania substancji niebezpiecznych typu C, wybuchem wydzielających się elektrolitów, tworzeniem się kwasu fluorowodorowego w wilgotnej atmosferze. Konieczna podczas prowadzenia działań ratowniczych jest zatem ochrona dróg oddechowych

Istotne w przypadku prowadzenia działań ratowniczych jest oznaczenie pojazdu i jego elementów w kontekście zagrożeń dla ratowników. Niekorzystną okolicznością jest to, iż nie ma jednolitych uregulowań w tym zakresie. Międzynarodowy Komitet Techniczny Prewencji i Zwalczania Pożarów (CTIF) opracował standardy w postaci symbolów i komunikatów (dla wszystkich rodzajów napędów alternatywnych). Norma ISO 17840 jest dobrowolna i może być stosowana na całym świecie przez operatorów transportu publicznego, służby pożarnicze i ratownicze, w odniesieniu do pojazdów osobowych i ciężarowych.

Poza oznaczeniem pojazdów z napędami alternatywnymi dla prowadzenia działań ratowniczych kluczowe są szczegółowe informacje o napędzie i instrukcje postępowania. Można je pozyskać m.in. z aplikacji dla konkretnego modelu pojazdu (zob. tabela 3). Jak widać szczegółowość i sposób prezentacji tych danych różni się w poszczególnych aplikacjach, co może skutkować różną ich przydatnością podczas prowadzenia działań ratowniczych.

Eksploatacją samochodów wyposażonych w inne niż znane nam dotąd napędy związana jest z licznymi obawami, o których wspomniano w artykule. Nieznane dotychczas zagrożenia obejmują m.in.: ryzyko porażenia prądem, ucieczkę termiczną, ładowanie pojazdu w obiekcie budowlanym. Identyfikacja tych zagrożeń sprzyjać będzie powstawaniu rozwiązań i zabezpieczeń

The need for keeping records of fires and local emergencies involving alternative-propulsion vehicles can also be identified¹. Such data make it possible to develop analyses to formulate conclusions about the types of the carried out rescue and firefighting operations and their effectiveness. Which, in turn, contributes to the improvement and development of new educational materials that allow training and professional education of the rescuers, as well as of the commanders of fire protection units.

minimalizujących ryzyko ich zaistnienia oraz sprowadzających to ryzyko do poziomu akceptowalnego.

Zidentyfikować można także potrzeby w zakresie prowadzenia ewidencji pożarów i miejscowych zagrożeń, w których uczestniczą pojazdy z napędami alternatywnymi¹. Dane takie umożliwiają opracowywanie analiz pozwalających na formułowanie wniosków dotyczących rodzajów prowadzonych działań ratowniczo-gaśniczych i ich skuteczności. To z kolei przyczynia się do doskonalenia i opracowywania nowych materiałów edukacyjnych pozwalających na prowadzenie szkoleń i podnoszenie kompetencji zawodowych ratowników, a także dowódców jednostek ochrony przeciwpożarowej.

¹ It seems reasonable to collect this data in such a manner as to include as many details as possible, such as: a fire initiated by the vehicle battery, a fire due to another reason that, as a result of its development, also included the battery of the electric vehicle.

¹ Wydaje się uzasadnione zbieranie tych danych w taki sposób, aby możliwie uwzględnić najwięcej szczegółów takich jak: pożar zainicjowany przez baterię pojazdu, pożar z innego powodu, który w wyniku jego rozwoju objął również baterię pojazdu elektrycznego.

Literature / Literatura

- [1] Cimolino U., *Alternative Fahrzeugantriebe Hellmann*, Wyd. Ecomed Sicherheit, Landsberg 2022.
- [2] Komenda Główna Policji – Biuro Ruchu Drogowego, *Wypadki drogowe w Polsce w 2021 roku*, Warszawa 2022.
- [3] Waśkiewicz J., Pawlak P., *Prognozy eksperckie zmian aktywności sektora transportu drogowego (w kontekście ustawy o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji)*, ITS nr 0701/ZBE/17, Warszawa 2017.
- [4] Polskie Stowarzyszenie Paliw Alternatywnych, *Licznik Elektromobilności: samochody elektryczne coraz popularniejsze mimo spadków na rynku motoryzacyjnym*, <https://pspa.com.pl/2022/informacja/licznik-elektromobilnosci-samochody-elektryczne-coraz-popularniejsze-mimo-spadkow-na-rynku-motoryzacyjnym> [dostęp: 1.10.2022].
- [5] *Brände von E-Fahrzeugen. Grundlagen und Einsatztaktik*, „Feuerwehr - Retten - Löschen – Bergen”, numer specjalny, s.18–25.
- [6] *Unfallhilfe und Bergen bei Fahrzeugen mit Hochvolt-Systemen*, Merkblatt 06/04, vfdb [data aktualizacji: 01.11.2017].
- [7] *Merkblatt Empfehlung für den Feuerwehreinsatz bei Gefahr durch Lithium-Zellen, -Batterien und -Akkumulatoren*, MB 10–17 Lithium-Batterien, vfdb, 2020.
- [8] *Merkblatt für die Feuerwehren Bayerns. Alternativ angetriebene Fahrzeuge*, Staatliche Feuerweherschulen Würzburg, 02/2018.
- [9] Frese T. (red.), *Ausbildungsfolien Unfälle mit alternativ angetriebenen PKWs*, Wyd. Ecomed Sicherheit, Landsberg 2016.
- [10] *Taschenkarte alternative Antriebe für Führungskräfte*, Unfallkasse Rheinland-Pfalz.
- [11] KG PSP, *Standardowe zasady postępowania podczas zdarzeń z samochodami osobowymi z napędem elektrycznym*, wydanie 1, Warszawa 2020.
- [12] DIN 13050:2015-04 Terms and definitions for medical rescue service.
- [13] DIN VDE 0132:2018-07 Firefighting and technical assistance in or near electrical installations.
- [14] VdS 3856: 2019-06 (01) Sprinklerschutz von Lithium-Batterien.
- [15] Film przedstawiający działanie akumulatora, <https://www.youtube.com/watch?v=4objPEO3-k8> [dostęp: 16.10.2022].
- [16] Film z objaśnieniem mechanizmu powstawania pożaru baterii akumulatorowych oraz faktyczny pożar samochodu elektrycznego powstałego podczas ładowania, <https://www.youtube.com/watch?v=sGyLSfTQALs> [dostęp: 16.10.2022].
- [17] Film z pożaru skutera elektrycznego podczas ładowania w mieszkaniu, <https://www.youtube.com/watch?v=eTm50044sv4> [dostęp: 16.10.2022].
- [18] Związek Dealerów Samochodów, <https://kartyratownicze.pl> [dostęp: 16.10.2022].
- [19] Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V. (ADAC), <http://www.rescuesheet.info/> [dostęp: 16.10.2022].
- [20] CTIF – The International Association of Fire & Rescue Services, How to Use Euro Rescue App, <https://www.ctif.org/news/guide-how-use-euro-rescue-app> [dostęp: 16.10.2022].
- [21] CTIF – The International Association of Fire & Rescue Services, Rescue Code, <https://ctif.org/associate-member/rescue-code> [dostęp: 16.10.2022].
- [22] Moditech Rescue Solutions, <https://www.moditech.com> [dostęp: 16.10.2022].
- [23] Euro NCAP, <https://www.euroncap.com/> [dostęp: 16.10.2022].
- [24] https://pl.wikipedia.org/wiki/Akumulator_litowo-jonowy [dostęp: 24.10.2022].
- [25] https://pl.wikipedia.org/wiki/Kod_alfanumeryczny [dostęp: 24.10.2022].
- [26] https://pl.wikipedia.org/wiki/Reaktywność_chemiczna [dostęp: 24.10.2022].
- [27] <https://pl.wikipedia.org/w/index.php?search=efekt+pamięci&title=Specjalna:Szukaj&profile=advanced&fulltext=1&ns0=1> [dostęp: 24.10.2022].

- [28] https://pl.wikipedia.org/wiki/Gęstość_energii [dostęp: 24.10.2022].
- [29] https://efahrer.chip.de/news/gericht-musste-entscheiden-streit-um-tiefgaragen-verbot-fuer-elektroautos_104191 [dostęp: 24.10.2022].
- [30] Fast L., Klüh S., Langstrof A., *Brandschutz bei E-Autos in Tiefgaragen*, „Technische Sicherheit“ 2021, 11–12.
- [31] Encyklopedia PWN, <https://encyklopedia.pwn.pl/> [dostęp: 5.12.2022].
- [32] OUTLANDER PHEV – Emergency Response Guide, *Information for first and second responders emergency response guide for vehicle*, wersja: 1.1.
- [33] <https://www.rescuecode.fr/> [dostęp: 16.10.2022].

SEN. BRIG. JACEK ZBOINA, PH.D. ENG. – 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. 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.

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. (RETD.) 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 Poznań), Safety of Nuclear Energy (Main School of Fire Service), CBRN security manager (Faculty of Biology and Environmental Protection, University of Łódź). 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.

ST. BRYG. DR INŻ. JACEK ZBOINA – Z-ca Dyrektora ds. Certyfikacji i Dopuszczzeń CNBOP-PIB. Absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej, Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie oraz 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.

ST. BRYG. W ST. SPOCZ. 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. W ST. SPOCZ. 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.

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 BĄK, 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. 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 BĄK – 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.