

**Jan Kielin  
Tomasz Kołodziejczyk  
Ilona Majka  
Jarosław Tępiński  
Jacek Zboina**



# **PROWADZENIE DZIAŁAŃ RATOWNICZYCH podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z napędem elektrycznym**





**Jan Kielin  
Tomasz Kołodziejczyk  
Ilona Majka  
Jarosław Tępiński  
Jacek Zboina**

**PROWADZENIE  
DZIAŁAŃ RATOWNICZYCH  
podczas zdarzeń z udziałem  
pojazdów z napędem  
elektrycznym**

Józefów 2023

Publikacja powstała przy współpracy z przedstawicielami Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej, Polskiego Stowarzyszenia Paliw Alternatywnych i Instytucji Faradaya Uniwersytetu Newcastle w Wielkiej Brytanii.

### **Zespół autorski:**

st. bryg. w st. sp. mgr inż. Jan Kielin  
st. bryg. mgr inż. Tomasz Kołodziejczyk  
mgr inż. Ilona Majka  
dr inż. Jarosław Tępiński  
st. bryg. dr hab. inż. Jacek Zboina

### **Recenzja:**

bryg. mgr inż. Tomasz Jonio  
st. kpt mgr inż. Adrian Kowalik  
mgr inż. Maria Majewska  
mgr Maciej Mazur  
dr Wojciech Mrozik  
st. bryg. mgr inż. Jacek Zalech

### **Przygotowanie do wydania:**

Dział Wydawnictw i Promocji CNBOP-PIB

### **Skład i projekt okładki:**

Małgorzata Żurniewicz-Turno

ISBN: 978-83-958583-6-9

DOI: 10.17381/2023.2

© Copyright by Centrum Naukowo-Badawcze  
Ochrony Przeciwpóżarowej  
im. Józefa Tuliszkowskiego  
Państwowy Instytut Badawczy,  
Józefów 2023

Pewne prawa zastrzeżone.  
Publikacja jest udostępniona na licencji CC BY-SA 4.0.

### **Wydawca:**

Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpóżarowej  
im. Józefa Tuliszkowskiego  
Państwowy Instytut Badawczy  
05-420 Józefów k. Otwocka  
ul. Nadwiślańska 213  
www.cnbop.pl

# SPIS TREŚCI

<b>1. WPROWADZENIE</b> .....	<b>5</b>
<b>2. DEFINICJE, SKRÓTY I SYMBOLE</b> .....	<b>9</b>
<b>3. ELEKTRYCZNE NAPĘDY ALTERNATYWNE POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH – RODZAJE I CHARAKTERYSTYKA</b> .....	<b>13</b>
3.1. Wprowadzenie.....	13
3.2. Napędy elektryczne.....	14
3.3. Napędy hybrydowe.....	15
3.4. Napędy z wykorzystaniem ogniw paliwowych.....	18
3.5. System zarządzania baterią – BMS.....	19
<b>4. STACJE I PUNKTY ŁADOWANIA POJAZDÓW Z NAPĘDEM ELEKTRYCZNYM</b> .....	<b>21</b>
<b>5. ROZPOZNAWANIE ZAGROŻEŃ PODCZAS ZDARZEŃ Z UDZIAŁEM POJAZDÓW Z NAPĘDEM ELEKTRYCZNYM</b> .....	<b>26</b>
5.1. Wprowadzenie.....	26
5.2. Bateria trakcyjna.....	27
5.3. Układ wysokiego napięcia.....	30
5.4. Infrastruktura ładowania.....	32
5.5. Układ spalinowy oraz instalacja wodorowa.....	33
5.5. Zagrożenia i ich analiza.....	34
<b>6. PROWADZENIE DZIAŁAŃ RATOWNICZYCH</b> .....	<b>36</b>
6.1. Pożar.....	36
6.2. Zdarzenia wymagające działań z zakresu ratownictwa technicznego.....	54
6.3. Konieczność wydobywania pojazdu z wody.....	61
6.4. Retencja wody popożarowej.....	62
6.5. Przekazanie miejsca zdarzenia.....	62

<b>7. ZASADY BEZPIECZNEGO POSTĘPOWANIA RATOWNIKÓW</b> .....	<b>64</b>
<b>8. PODSUMOWANIE</b> .....	<b>71</b>
<b>ZAŁĄCZNIKI</b> .....	<b>77</b>
Załącznik nr 1. Budowa i zasada działania baterii litowo-jonowej.....	78
Załącznik nr 2. Niestabilność termiczna.....	81
Załącznik nr 3. Schemat prowadzenia działań ratowniczych podczas pożaru pojazdu z napędem elektrycznym.....	84
Załącznik nr 4. Schemat prowadzenia działań ratowniczych podczas wypadku z udziałem pojazdu z napędem elektrycznym.....	85
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>86</b>

---

## WPROWADZENIE

**D**okonujący się na świecie rozwój technologiczny dotyczy każdego obszaru działalności człowieka. Jest on znakiem naszych czasów. Napędzają go zakorzeniona w ludziach otwartość na naukę, chęć zdobywania wiedzy i nieustanne poszukiwanie nowych informacji, również w zakresie istniejących procesów technologicznych. Zmiany zachodzące na przestrzeni ostatnich dwóch stuleci można zaobserwować m.in. w sektorze transportu. Obejmują one zarówno systemy bezpieczeństwa pojazdów, jak i nowe napędy.

Niniejsza publikacja przybliży problematykę prowadzenia działań ratowniczych podczas zdarzeń z udziałem pojazdów o napędzie elektrycznym. Korzyści wynikające z zastosowania tego rozwiązania są powszechnie znane. Należą do nich: niższa emisja zanieczyszczeń do atmosfery, większa moc jednostek napędowych czy niższy poziom hałasu. Te wszystkie zalety uzasadniają kierunek zmian zachodzących w przemyśle samochodowym, m.in. w zakresie zastępowania jednostek spalinowych, wykorzystujących paliwa kopalne, na rzecz paliw alternatywnych, w tym elektrycznych.

Wymienione powyżej zalety takich rozwiązań znalazły również odzwierciedlenie w postępowaniu Komisji Europejskiej w celu ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> – transport drogowy stanowi bowiem jej znaczną część. Jednym z elementów działania w tym zakresie jest planowany zakaz sprzedaży samochodów osobowych z silnikami spalinowymi od 2035 r. (z wyjątkiem tych napędzanych bezemisyjnymi paliwami syntetycznymi). Oczekuje się, że do ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> przyczyni się bardziej powszechne stosowanie pojazdów elektrycznych.

Należy jednak spojrzeć na to zagadnienie wieloaspektowo – z jednej strony ważna jest ekologia i dbałość o standardy funkcjonowania człowieka w świecie, natomiast z drugiej istotne jest zagwarantowanie bezpieczeństwa użytkownikom omawianych pojazdów oraz pozostałym użytkownikom dróg, parkingów i budynków mieszkalnych. Nie można też w tym miejscu pominąć służb ratowniczych prowadzących działania podczas możliwych zdarzeń z udziałem pojazdów z napędem elektrycznym. Wzrost liczby rejestracji takich pojazdów skłania do rozważań, zwłaszcza w kręgach

straży pożarnej, na temat potencjalnej zmiany taktyki gaszenia pożarów. Artykuły w prasie branżowej, w których podawane są doniesienia o pożarach z udziałem pojazdów elektrycznych, podsycają obawy związane z tą technologią napędową<sup>1</sup>.

Europejski Plan Poprawy Bezpieczeństwa Pożarowego w priorytecie 3 pt. *Transformacja energetyczna* wskazuje na zagrożenia wynikające z rosnącego zapotrzebowania na dostarczanie większych ilości energii elektrycznej – zarówno dla sektora przemysłu, budynków użyteczności publicznej, mieszkalnych, jak i pojazdów elektrycznych. Postęp technologiczny, który nastąpił w tych dziedzinach, niejako wyprzedził wiedzę i kompetencje w zakresie zapobiegania skutkom związanym z ich stosowaniem w poszczególnych krajach. Działaniem władz państwowych powinno być dlatego uzupełnianie wiedzy i kwalifikacji odpowiednich podmiotów bezpieczeństwa w zakresie dokonującej się transformacji energetycznej, tak aby można było uniknąć wzrostu liczby osób poszkodowanych w zdarzeniach związanych z ww. rozwiązaniami technicznymi<sup>2</sup>.

Każda innowacyjna technologia stwarza nowe możliwości, ale jest jednocześnie pewnym wyzwaniem. Nie inaczej jest z elektromobilnością. Dlatego tak ważne jest i w tym przypadku zidentyfikowanie kluczowych zagrożeń oraz wskazanie odpowiednich środków ochrony.

Niniejsza publikacja jest poświęcona jakże ważnej i aktualnej tematyce w kontekście przywołanych wyżej tez skuteczności i bezpieczeństwa prowadzenia działań ratowniczych podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z napędem elektrycznym. Przedstawione wnioski i rekomendacje powstały na podstawie analizy literatury przedmiotu oraz własnych obserwacji i doświadczeń autorów, a także – przede wszystkim – wyników badań i doświadczeń prowadzonych przez Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowy Instytut Badawczy we współpracy z innymi podmiotami. Najistotniejsze – w ocenie autorów – i najbardziej wartościowe w kontekście podejmowanej tematyki wyniki badań i pozycje literatury przedmiotu przywołano w wykazie literatury na końcu publikacji.

W niniejszym materiale, poza literaturą, wykazem najważniejszych stosowanych definicji, skrótów i symboli, w kolejnych pięciu rozdziałach zawarto najważniejsze zagadnienia dotyczące:

- rodzajów i charakterystyki elektrycznych napędów pojazdów samochodowych,
- stacji i punktów ładowania tych pojazdów,
- zagrożeń podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z napędem elektrycznym,
- prowadzenia działań ratowniczych oraz
- zasad bezpiecznego postępowania ratowników.

---

<sup>1</sup> T. Hellmann, U. Cimolino, *Alternative Fahrzeugantriebe*, Ecomed Sicherheit, Landsberg am Lech 2022.

<sup>2</sup> <https://www.europeanfiresafetyalliance.org/wp-content/uploads/2020/04/European-Fire-Safety-Action-Plan.pdf> [dostęp: 01.06.2023].



Podsumowanie zawiera również krótki opis literatury prezentującej wyniki prac naukowych oraz testów pożarowych przeprowadzonych z udziałem baterii litowo-jonowych i pojazdów z napędem elektrycznym w różnych państwach, m.in. w Austrii, Niemczech, Norwegii, Szwajcarii, Wielkiej Brytanii i Stanach Zjednoczonych, jak również opis badań prowadzonych przez CNBOP-PIB w zakresie gaszenia pożarów pojazdów elektrycznych i baterii litowo-jonowych.

Celem głównym, jaki przyświecał autorom tego poradnika, było przedstawienie w sposób przystępny niezbędnej, podstawowej wiedzy, której zastosowanie w praktyce działań ratowniczych pozwoli na bezpieczne i skuteczne wykonywanie zadań ratowniczych podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z napędem elektrycznym. Pozwalamy sobie w tym miejscu przypomnieć zasadę sformułowaną już na początku ubiegłego wieku przez Komendanta Zawodowej Straży Pożarnej z miasta Phoenix (USA), iż w działaniach ratowniczych najważniejsze jest życie ratowników oraz, że zadania z narażeniem życia można wykonywać tylko w przypadku ratowania osób zagrożonych. Żadne mienie nie jest warte życia ratownika<sup>3</sup>.

Publikację wzbogacono ponadto o ryciny, przedstawiające m.in. kody QR, których zeskanowanie pozwala na dostęp do dodatkowych ciekawych materiałów multimedialnych.

Niniejsza publikacja została opracowana przez pracowników CNBOP-PIB przy współpracy z przedstawicielami Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej, Polskiego Stowarzyszenia Paliw Alternatywnych i Instytucji Faradaya Uniwersytetu Newcastle w Wielkiej Brytanii, którym w imieniu kierownictwa CNBOP-PIB i autorów publikacji składamy podziękowania za uzyskane wsparcie i pomoc.

---

<sup>3</sup> J. Südmersen, U. Cimolino, *Brandbekämpfung im Innenangriff*, Ecomed Sicherheit, Landsberg am Lech 2014.



## 2

---

## DEFINICJE, SKRÓTY I SYMBOLE

**Autobus** – pojazd samochodowy przeznaczony konstrukcyjnie do przewozu więcej niż 9 osób łącznie z kierowcą<sup>4</sup>.

**Bateria, akumulator** – źródło energii elektrycznej wytwarzanej przez bezpośrednie przetwarzanie energii chemicznej, które składa się z jednego albo kilku:

- pierwotnych ogniw baterii nienadających się do powtórnego naładowania, albo
- wtórnych ogniw baterii nadających się do powtórnego naładowania<sup>5</sup>.

**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<sup>6</sup>.

**Elektrolit** – związek chemiczny występujący w bateriach w postaci stałej lub płynnej, umożliwiający przemieszczanie się jonów elektrodami (katodą i anodą)<sup>7</sup>.

**Niestabilność termiczna** (ang. *thermal runaway*) – zjawisko prowadzące do niekontrolowanego rozkładu akumulatora (baterii) na skutek wydzielania dużej ilości ciepła oraz gazów powstałych w wyniku reakcji chemicznych zachodzących w ogniwie baterii. Do zjawiska może dojść w wyniku uszkodzenia (np. pożar lub uderzenie mechaniczne), nadmiernego lub niedostatecznego rozładowania oraz przegrzania<sup>8</sup>. W rezultacie bateria może ulec spaleniowi lub wybuchnąć.

**Paliwa alternatywne** – energia elektryczna lub paliwa wykorzystywane do napędu silników:

- pojazdów silnikowych w rozumieniu art. 2 pkt 32 ustawy z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym,
- pojazdów szynowych,
- jednostek pływających

---

<sup>4</sup> Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym (Dz.U. 2023 poz. 1047).

<sup>5</sup> Ustawa z dnia 24 kwietnia 2009 r. o bateriach i akumulatorach (Dz.U. 2022 poz. 1113).

<sup>6</sup> J. Zboina, J. Kielin, G. Bugaj, J. Zalech, D. Bąk, *Działania ratowniczo-gaśnicze podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z napędem alternatywnym. Pojazdy elektryczne*, SFT Vol 60 Issue 2, 2022, pp. 8–40.

<sup>7</sup> Tamże.

<sup>8</sup> Tamże.

stanowiące substytut dla paliw pochodzących z ropy naftowej lub otrzymywanych w procesach jej przetwórstwa, w szczególności wodór, biopaliwa ciekłe, paliwa syntetyczne i parafinowe, sprężony gaz ziemny (CNG), w tym pochodzący z biometanu, skroplony gaz ziemny (LNG), w tym pochodzący z biometanu, lub gaz płynny (LPG)<sup>9</sup>.

**Pojazd elektryczny** – pojazd samochodowy w rozumieniu art. 2 pkt 33 ustawy z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym, wykorzystujący do napędu wyłącznie energię elektryczną akumulowaną przez podłączenie do zewnętrznego źródła zasilania<sup>10</sup>.

**Pojazd hybrydowy** – pojazd samochodowy z napędem spalinowo-elektrycznym w rozumieniu art. 2 pkt 33 ustawy z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym, w którym energia elektryczna jest akumulowana wyłącznie podczas jazdy, poprzez odzyskiwanie energii przy hamowaniu i zwalnianiu<sup>11</sup>.

**Pojazd hybrydowy plug-in** – pojazd samochodowy o napędzie spalinowo-elektrycznym w rozumieniu art. 2 pkt 33 ustawy z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym, w którym energia elektryczna jest akumulowana przez podłączenie do zewnętrznego źródła zasilania. Ponadto, podczas jazdy następuje również proces odzyskiwania energii.

**Pojazd napędzany wodorem** – pojazd silnikowy w rozumieniu art. 2 pkt 32 ustawy z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym, pojazd szynowy lub jednostkę pływającą, wykorzystujące do napędu energię elektryczną wytworzoną z wodoru w zainstalowanych w nich ogniwach paliwowych<sup>12</sup>.

**Pojazd samochodowy** – pojazd wyposażony w silnik, którego konstrukcja umożliwia jazdę z prędkością przekraczającą 25 km/h; określenie to nie obejmuje ciągnika rolniczego<sup>13</sup>.

**Punkt ładowania** – urządzenie umożliwiające ładowanie pojedynczego pojazdu elektrycznego, pojazdu hybrydowego plug-in i autobusu zeroemisyjnego oraz miejsce w którym wymienia się lub ładuje baterię służącą do napędu tego pojazdu<sup>14</sup>.

**Rekuperacja** – odnosi się do odzyskiwania energii. Energia kinetyczna, która zwykle podczas hamowania lub jazdy z góry zamieniana jest na ciepło, w tym przypadku 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<sup>15</sup>.

---

<sup>9</sup> Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. 2023 poz. 875).

<sup>10</sup> Tamże.

<sup>11</sup> Tamże.

<sup>12</sup> Tamże.

<sup>13</sup> Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym (Dz.U. 2023 poz. 1047).

<sup>14</sup> Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz.U. 2023 poz. 875).

<sup>15</sup> J. Zboina, J. Kielin, G. Bugaj, J. Zalech, D. Bąk, *Działania ratowniczo-gaśnicze...*, dz. cyt.

### Stacja ładowania:

- urządzenie budowlane obejmujące co najmniej jeden punkt ładowania o normalnej mocy lub punkt ładowania o dużej mocy, związane z obiektem budowlanym, lub
- wolnostojący obiekt budowlany z zainstalowanym co najmniej jednym punktem ładowania o normalnej mocy lub punktem ładowania o dużej mocy

wyposażone w oprogramowanie wykorzystywane do świadczenia usługi ładowania wraz ze stanowiskami postojowymi, których liczba odpowiada liczbie punktów ładowania umożliwiających jednoczesne świadczenie tej usługi oraz, w przypadku gdy stacja ładowania jest podłączona do sieci dystrybucyjnej w rozumieniu ustawy z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne, instalacją prowadzącą od punktu ładowania do przyłącza elektroenergetycznego<sup>16</sup>.

**Samochód osobowy** – pojazd samochodowy przeznaczony konstrukcyjnie do przewozu nie więcej niż 9 osób łącznie z kierowcą oraz ich bagażu<sup>17</sup>.

**Samochód ciężarowy** – pojazd samochodowy przeznaczony konstrukcyjnie do przewozu ładunków; określenie to obejmuje również samochód ciężarowo-osobowy przeznaczony konstrukcyjnie do przewozu ładunków i osób w liczbie od 4 do 9 łącznie z kierowcą<sup>18</sup>.

**System wysokiego napięcia** – system wysokiego napięcia w pojeździe składa się z kilku komponentów wysokiego napięcia, w tym z magazynu energii wysokiego napięcia i przewodów wysokiego napięcia<sup>19</sup>.

**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  $> 60$  V DC i  $\leq 1500$  V DC (napięcie stałe) lub  $> 30$  V AC i  $\leq 1000$  V AC (napięcie przemiennie)<sup>20</sup>.

W publikacji stosuje się podane poniżej skróty i symbole:

AC – prąd przemienny (ang. *alternating current*).

BEV – pojazd elektryczny (ang. *battery electric vehicle*).

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

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

CTIF – Międzynarodowy Komitet Techniczny Prewencji i Zwalczania Pożarów.

CNG – sprężony gaz ziemny (ang. *compressed natural gas*).

---

<sup>16</sup> Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. 2023 poz. 875).

<sup>17</sup> Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym (Dz.U. 2023 poz. 1047).

<sup>18</sup> Tamże.

<sup>19</sup> J. Zboina, J. Kielin, G. Bugaj, J. Zalech, D. Bąk, *Działania ratowniczo-gaśnicze...*, dz. cyt.

<sup>20</sup> Tamże.

DC	– prąd stały (ang. <i>direct current</i> ).
F-CELL	– pojazdy z ogniwem paliwowym, w którym energia dla silnika i baterii jest generowana na drodze przemiany wodoru w prąd elektryczny (ang. <i>fuel cell</i> ). Pojazdy w wersji F-CELL, nazywane są także Fuel-CELL <sup>21</sup> .
FCEV	– pojazd elektryczny z ogniwem paliwowym (ang. <i>fuel cell electric vehicle</i> ).
HEV	– pojazd hybrydowy (ang. <i>hybrid electric vehicle</i> ).
ISG	– rozrusznik zintegrowany z alternatorem (ang. <i>integrated system generator</i> ).
ICEV	– pojazd spalinowy (ang. <i>internal combustion engine vehicle</i> ).
KDR	– kierujący działaniami ratowniczymi.
LIB	– bateria litowo-jonowa (ang. <i>lithium-ion battery</i> ).
LNG	– skroplony gaz ziemny (ang. <i>liquefied natural gas</i> ).
LPG	– gaz skroplony (ang. <i>liquified petroleum gas</i> ).
NN	– niskie napięcie.
ONZ	– Organizacja Narodów Zjednoczonych.
PHEV	– pojazd hybrydowy plug-in (ang. <i>plug-in hybrid electric vehicle</i> ).
RSG	– rozrusznik z napędem pasowym (ang. <i>riemen starter generator</i> ).
SGRChem	– Specjalistyczna Grupa Ratownictwa Chemicznego.
SOC	– stan naładowania baterii (ang. <i>state of charge</i> ).
TR	– niestabilność termiczna (ang. <i>thermal runaway</i> ).
UAC	– napięcie przemiennie.
UDC	– napięcie stałe.
WN	– wysokie napięcie.

---

<sup>21</sup> Tamże.

# 3

---

## ELEKTRYCZNE NAPĘDY ALTERNATYWNE POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH – RODZAJE I CHARAKTERYSTYKA

### 3.1. Wprowadzenie

Silniki elektryczne są przetwornikami elektromechanicznymi, które przekształcają energię elektryczną w energię mechaniczną. Energia elektryczna może być przechowywana w bateriach pojazdów lub wytwarzana na przykład za pomocą ogniw paliwowych<sup>22</sup>.

Sprawność silników elektrycznych jest znacznie większa od sprawności silników spalinowych, a moment obrotowy jest dostępny w pełnym zakresie prędkości obrotowej tego silnika. Jest to niewątpliwie zaletą, biorąc pod uwagę dostępne wartości przyspieszenia i elastyczności jednostki napędowej w pojeździe, a także krótszy czas reakcji niż w przypadku silników doładowanych turbosprężarką w konwencjonalnym silniku spalinowym oraz brak emisji spalin. Do grupy pojazdów z elektrycznymi napędami alternatywnymi zalicza się:

- pojazdy elektryczne (BEV) – z baterią będącą jedynym magazynem energii, wyposażone w jeden silnik elektryczny lub kilka takich silników;
- pojazdy hybrydowe (HEV, PHEV) – w których do napędu pojazdu wykorzystywane są dwa różne silniki; w pojazdach osobowych jest to zazwyczaj silnik spalinowy połączony z silnikiem elektrycznym;
- pojazdy napędzane prądem wytwarzanym przez ogniwa paliwowe (FCEV)<sup>23</sup>.

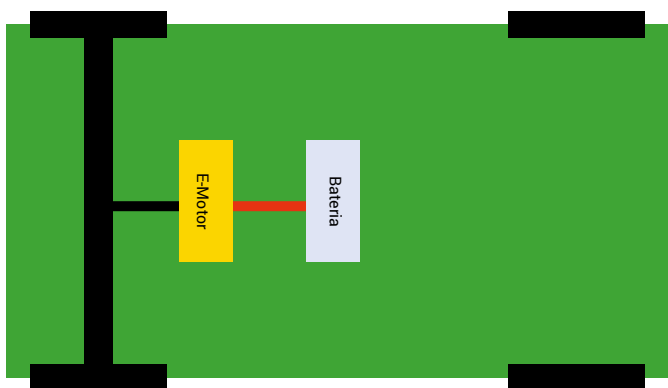
---

<sup>22</sup> J. Heck, *Alternative Fahrzeugantriebe im Feuerwehreinsatz*, 2. Aktuerte Aufgabe, Kohlhammer, Stuttgart 2022.

<sup>23</sup> J. Zboina, J. Kielin, G. Bugaj, J. Zalech, D. Bąk, *Działania ratowniczo-gaśnicze...*, dz. cyt.

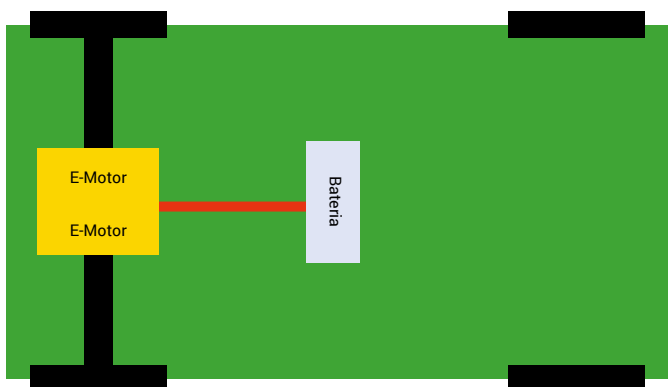
### 3.2. Napędy elektryczne

Pojazd elektryczny zasilany jest w 100% energią elektryczną. Wyróżnia się następujące typy napędów całkowicie elektrycznych: oś przednia lub tylna, napęd tandemowy, napęd na wszystkie koła<sup>24</sup>. Napięcie w układzie samochodu elektrycznego wynosi ok. 400–950 V DC (w zależności od producenta i typu pojazdu). Rodzaje napędów pojazdów elektrycznych przedstawiono na rycinach 1–3.



Ryc. 1. Napęd w pełni elektryczny – przedni lub tylny

Źródło: J. Zboina, J. Kielin, G. Bugaj, J. Zalech, D. Bąk, *Działania ratowniczo-gaśnicze...*, dz. cyt., 20.



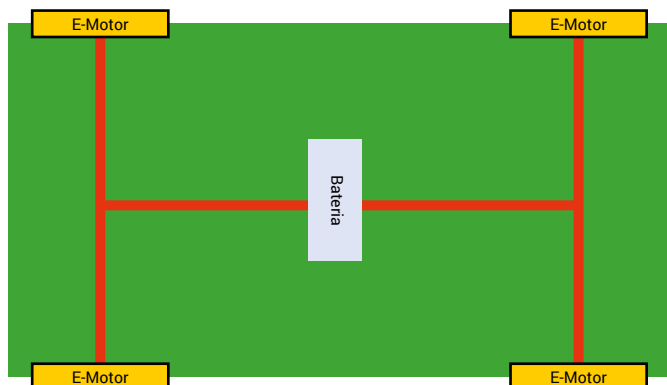
Ryc. 2. Napęd w pełni elektryczny – tandemowy

Źródło: J. Zboina, J. Kielin, G. Bugaj, J. Zalech, D. Bąk, *Działania ratowniczo-gaśnicze...*, dz. cyt., 20.

---

<sup>24</sup> Tamże.





Ryc. 3. Napęd w pełni elektryczny – w piastach kół

Źródło: J. Zboina, J. Kielin, G. Bugaj, J. Zalech, D. Bąk, *Działania ratowniczo-gaśnicze...*, dz. cyt., 21.

W przypadku napędu tandemowego nie zachodzi konieczność stosowania przekładni różnicowej, co pozwala na uniknięcie strat mocy. Jedna oś jest napędzana przez dwa silniki. Z kolei w przypadku zamontowania silników elektrycznych bezpośrednio w piastach kół energia generowana przez silnik przenoszona jest bezpośrednio z koła na nawierzchnię drogi<sup>25</sup>.

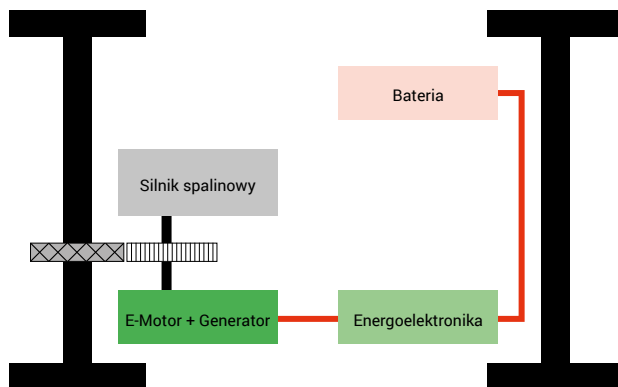
Ponadto występują konstrukcje wykorzystujące napęd o przedłużonym zasięgu (ang. *range extender*). Głównym źródłem tego napędu jest silnik elektryczny, zasilany z baterii o zwiększonej pojemności.

### 3.3. Napędy hybrydowe

Zasadnicze różnice budowy pojazdu elektrycznego i hybrydowego dotyczą sposobu zasilania samego silnika elektrycznego. Pojazd hybrydowy to pojazd, który oprócz napędu elektrycznego posiada silnik spalinowy i związany z nim układ zasilania paliwem. Dostępne są różne rodzaje pojazdów hybrydowych. Z punktu widzenia prowadzonych działań ratowniczych nie ma większego znaczenia, jaki rodzaj hybrydy jest w rozpatrywanym pojeździe, ponieważ w każdym rozwiązaniu występuje układ wysokiego napięcia oraz odpowiednia bateria wchodząca w skład tego układu. Rozróżnia się elektryczne napędy hybrydowe szeregowy, równoległy i inne, specyficzne dla poszczególnych producentów. Napięcie w tego typu napędach to najczęściej

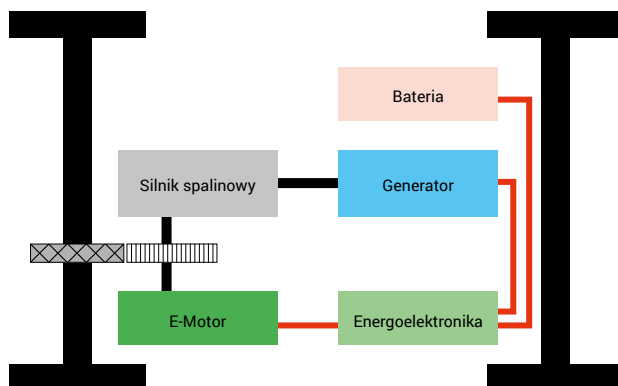
<sup>25</sup> J. Zboina, J. Kielin, G. Bugaj, J. Zalech, D. Bąk, *Działania ratowniczo-gaśnicze...*, dz. cyt.

400–950 V DC (w zależności od producenta i modelu). Wybrane rodzaje napędów hybrydowych przedstawiono na poniższych rycinach.



**Ryc. 4.** Napęd hybrydowy – szeregowo-hybryda

**Źródło:** J. Zboina, J. Kielin, G. Bugaj, J. Zalech, D. Bąk, *Działania ratowniczo-gaśnicze...* dz. cyt., 19.



**Ryc. 5.** Napęd hybrydowy – równoległa hybryda

**Źródło:** J. Zboina, J. Kielin, G. Bugaj, J. Zalech, D. Bąk, *Działania ratowniczo-gaśnicze...* dz. cyt., 19.

Ze względu na konstrukcję, napięcie oraz pojemność baterii rozróżniamy następujące rodzaje napędów hybrydowych:

- mikro hybryda (ang. *micro hybrid*);
- miękka hybryda (ang. *mild hybrid*) – system o napięciu 48V;
- pełna hybryda;
- hybryda typu plug-in.

### **Mikro hybryda**

Mikro hybrydy znalazły zastosowanie w samochodach osobowych już w latach 90. XX wieku. Początkowo były one wyposażone tylko w funkcję start-stop, celem zaoszczędzenia paliwa podczas postoju, np. na skrzyżowaniu ulic. Taka bateria posiadała wystarczającą ilość energii do zasilania systemów w pojeździe przez kilkadziesiąt sekund. Obecnie takie pojazdy mają również większe baterie i systemy rekuperacyjne do odzyskiwania energii podczas hamowania. Zamiast wzmocnionego rozrusznika stosuje się rozrusznik zintegrowany z alternatorem (ISG). Jest to rodzaj małego, elektrycznego silniczka, który służy do uruchamiania jednostki spalinowej, a także do odzyskiwania energii podczas hamowania<sup>26</sup>.

### **Miękka hybryda**

Silnik spalinowy jest wspomagany elektrycznie przez silnik elektryczny zaraz po uruchomieniu pojazdu. System ten może już wspomagać silnik spalinowy krótkotrwałym przyrostem mocy. W tym celu stosuje się rozruszniki z napędem pasowym (RSG) lub zintegrowane rozruszniki (ISG). W celu pokrycia zwiększonego zapotrzebowania na prąd pojazdy te posiadają oprócz klasycznej baterii 12 V, także dodatkową baterię 48 V. Zarówno w przypadku mikro hybrydy, jak i miękkiej hybrydy nie możemy mówić o pojeździe hybrydowym wg przytoczonej w rozdziale 2 definicji, ponieważ silnik elektryczny ma zbyt małą moc, aby samodzielnie napędzać ten pojazd<sup>27</sup>.

### **Pełna hybryda**

Większość obecnych na rynku pojazdów hybrydowych to hybrydy równoległe. Jeden z pionierów hybrydyzacji, koncern motoryzacyjny Toyota, nazywa ten typ „hybrydami samoladującymi”. W układzie równoległym część energii wytworzonej przez silnik spalinowy służy do napędzania pojazdu, część zaś – do ładowania baterii. Silniki mogą jednak pracować razem. Obie jednostki są zatem trakcyjne, a moc wykorzystywana jest zależna od sposobu jazdy i warunków na drodze. Ładowanie baterii

---

<sup>26</sup> J. Heck, *Alternative Fahrzeugantriebe...*, dz. cyt.

<sup>27</sup> AFAC, *Incidents Involving Electric Vehicles, Guideline, version 1.0*, Melbourne 2022.

odbywa się głównie wówczas, gdy silnik elektryczny może zmienić tryb pracy z silnikowego na prądnicowy, czyli stać się jednocześnie generatorem. Zatem prąd do baterii popłynie zawsze podczas hamowania silnikiem<sup>28</sup>. Ten typ pojazdów hybrydowych nie posiada jednak złącza zewnętrznego, umożliwiającego ładowanie pojazdu z zewnątrz. W przypadku niedostatecznej rekuperacji baterie są doładowywane z energii pochodzącej z silnika spalinowego. Dzieje się tak za każdym razem, gdy silnik elektryczny nie jest już w stanie zapewnić odpowiedniej mocy (np. podczas manewru przyśpieszania) lub gdy bateria wysokiego napięcia jest bliska rozładowania.

### Hybryda typu plug-in

Rozwiązanie to daje możliwość ładowania baterii przy użyciu złącza zewnętrznego typu plug-in. Pojazd wyposażony w taki system posiada również większą baterię tzw. magazyn energii, który pozwala na pokonanie aktualnie kilkudziesięciu kilometrów wyłącznie na silniku elektrycznym. W przypadku rozładowania baterii pojazd może kontynuować jazdę, wykorzystując do tego celu silnik spalinowy<sup>29</sup>.

## 3.4. Napędy z wykorzystaniem ogniw paliwowych

Oprócz pojazdów elektrycznych i hybrydowych wyróżniamy również napędy elektryczne z wykorzystaniem ogniw paliwowych. Zestaw ogniw paliwowych np. w pojeździe Toyota Mirai to generator prądu, wytwarzanego w reakcji wodoru i tlenu, w obecności katalizatora. Energia elektryczna powstaje w nim na zasadzie odwróconej elektrolizy wody – procesu znanego od początku XIX wieku.

Ogniwo paliwowe (zwane inaczej przetwornikiem paliwowym) składa się z anody (elektrody ujemnej), katody (elektrody dodatniej) i membrany polimerowej. Wodór jest dostarczany do ogniwa po stronie anody, gdzie zostają od niego oddzielone elektrony. W ten sposób powstają jony wodoru, które przedostają się przez membranę polimerową do katody i tam łączą się z tlenem, tworząc cząsteczki wody. Przepływ elektronów uwolnionych w tej reakcji staje się energią elektryczną, która napędza silnik<sup>30</sup>.

---

<sup>28</sup> T. Hellmann, U. Cimolino, *Alternative Fahrzeugantriebe*, dz. cyt.

<sup>29</sup> Tamże.

<sup>30</sup> DSB, *Risk assessment and handling of fire in lithium-ion batteries – Guidelines for fire and rescue services*, version 1, Tønsberg 2021.



Ryc. 6. Toyota Mirai

Źródło: <https://www.toyota.pl/nowe-samochody/mirai>.

### 3.5. System zarządzania baterią – BMS

Cechą wspólną pojazdów hybrydowych i w pełni elektrycznych jest posiadanie baterii o odpowiedniej pojemności, w których można zmagazynować energię wykorzystywaną do poruszania pojazdu. Pojemności baterii różnią się zależnie od modelu pojazdu i mogą mieć aktualnie nawet powyżej 100 kWh. W dziedzinie budowy baterii również zaszły istotne zmiany i dzisiejsze pojazdy wykorzystują w większości przypadków baterie litowo-jonowe, podczas gdy wcześniej stosowane były rozwiązania oparte na bateriach kwasowo-ołowiowych czy wodorkowo-niklowych. Za tym rozwiązaniem przemawiają niewątpliwe zalety baterii litowo-jonowych, takie jak: duża gęstość energii, stosunkowo niska masa oraz brak efektu tzw. „pamięci”, czyli rzeczywistej lub pozornej utraty pojemności w wyniku niepełnego rozładowania lub nadmiernego ładowania. Bateria taka składa się z ogniw, modułów i zestawów. Opis budowy i zasady działania baterii litowo-jonowej przedstawiono w załączniku nr 1.

Baterie mogą być wyposażone w system zarządzania baterią – BMS (ang. *battery management system*), który monitoruje podstawowe parametry pracy baterii podczas ładowania i rozładowywania oraz pilnuje, żeby nie przekroczyły one określonych wartości uznanych za bezpieczne<sup>31</sup>. W bardziej rozbudowanych systemach bateryjnych BMS może monitorować więcej parametrów, takich jak:

---

<sup>31</sup> Tamże.

- temperatura baterii i płynu chłodzącego;
- napięcie w poszczególnych ogniwach i całkowite napięcie baterii;
- poziom naładowania baterii;
- parametry ładowania baterii;
- pobór prądu;
- przepływ płynu chłodzącego (wyrażony w l/min);
- dostępna moc na podstawie napięcia, poboru prądu i temperatury baterii;
- nadzór nad równomiernym ładowaniem ogniw w baterii;
- szacowanie sprawności baterii na podstawie parametrów wyjściowych.

Powyższy system monitoruje stan pracy baterii i zapobiega:

- przepięciom wywołanym nadmiernym napięciem ładowania;
- przepięciom wywołanym nadmiernym poborem prądu;
- gwałtownym spadkiem napięcia baterii;
- przeładowaniu baterii – na skutek kontynuacji ładowania nawet po naładowaniu baterii do maksimum;
- głębokiemu rozładowaniu;
- przekraczaniu dopuszczalnych temperatur;
- nieosiąganiu minimalnych temperatur pracy;
- w niektórych przypadkach nawet awariom związanym z poprawnym działaniem uziemienia<sup>32</sup>.

---

<sup>32</sup> Tamże.

---

## STACJE I PUNKTY ŁADOWANIA POJAZDÓW Z NAPĘDEM ELEKTRYCZNYM

Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych wprowadza definicje dotyczące stacji i punktów ładowania pojazdów elektrycznych, które przywołano już w rozdziale 2 niniejszego poradnika. Zgodnie z definicjami przedstawionymi w ww. ustawie, powyższe pojęcia w skrócie należy rozumieć jako:

- 1) punkt ładowania to urządzenie służące do ładowania pojedynczego pojazdu z napędem elektrycznym, natomiast
- 2) stacja ładowania to urządzenie budowlane lub wolnostojący obiekt budowlany z zainstalowanym co najmniej jednym punktem ładowania, wyposażone w oprogramowanie umożliwiające świadczenie usługi ładowania, wraz ze stanowiskiem postojowym oraz instalacją prowadzącą od punktu ładowania do przyłącza elektroenergetycznego.

Zgodnie z przytoczoną powyżej definicją, stacja ładowania musi być wyposażona w co najmniej jeden punkt ładowania. Jeśli jednak dane urządzenie budowlane lub obiekt budowlany nie są wyposażone w oprogramowanie wykorzystywane do świadczenia usługi ładowania, mowa jest wówczas jedynie o punkcie ładowania, a nie stacji ładowania. Mając na uwadze powyższe, stacje i punkty ładowania mogą w określonych okolicznościach być rozumiane jako pojęcia tożsame. Faktycznie jednak zasadne jest ich rozróżnianie zgodnie z definicjami cytowanej wyżej ustawy.

Proces ładowania pojazdu z napędem elektrycznym to zespół czynności służący docelowo przekazaniu i akumulowaniu w pojeździe energii elektrycznej potrzebnej

do napędu tego pojazdu<sup>33</sup>. Z uwagi na wielość rozwiązań technicznych proces ten może być realizowany na co najmniej kilka sposobów. Do najpopularniejszych z nich należą np. ładowanie za pomocą złącza wtykowego, połączenia bezprzewodowego (przez indukcję elektromagnetyczną) i pantografu (głównie wykorzystywane do ładowania autobusów). W niniejszej publikacji brany pod uwagę jest najpopularniejszy sposób ładowania pojazdów z napędem elektrycznym – za pomocą złącza wtykowego, tzw. ładowanie plug-in. Polega ono na fizycznym połączeniu pojazdu z punktem ładowania za pomocą giętkiego przewodu. Wewnętrzne układy elektroniczne punktu ładowania, przed podaniem napięcia na zaciski, dokonują weryfikacji poprawności podłączenia z pojazdem, w tym poprawności działania elementów składowych układu ładowania pojazdu i punktu ładowania. Proces ładowania rozpoczyna się w przypadku poprawnie nawiązanej komunikacji, a energia ładowania (napięcie i prąd ładowania) dostosowywana jest do żądania wysłanego przez komputer pokładowy pojazdu. Pod względem konstrukcyjnym przewodu ładowania można rozróżnić dwa podstawowe rozwiązania: pierwsze – w którym przewód stanowi integralną część punktu ładowania, drugie – w którym punkt ładowania składa się z gniazda, a przewód jest na wyposażeniu pojazdu<sup>34</sup>. Pierwsze rozwiązanie stosowane jest przede wszystkim w punktach ładowania wyższych mocy.

Punkty ładowania pojazdów z napędem elektrycznym występują w różnych typach, w zależności od mocy jaką oferują. Ustawa z 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych wskazuje dwa rodzaje takich punktów:

- o mocy normalnej, w których moc jest mniejsza lub równa 22 kW, z wyłączeniem urządzeń o mocy mniejszej lub równej 3,7 kW zainstalowanych w miejscach innych niż ogólnodostępne stacje ładowania, w szczególności w budynkach mieszkalnych;
- o dużej mocy, w których moc jest większa niż 22 kW.

Punkty ładowania o mocy normalnej to najczęściej ładowarki ściennie tzw. wall-boxy działające na prądzie przemiennym AC i dysponujące zazwyczaj mocami maksymalnymi rzędu 3,7 kW, 7,4 kW, 11 kW oraz 22 kW. Punkty ładowania o mocach 3,7 kW i 7,4 kW funkcjonują w układzie jednofazowym, natomiast punkty o mocach 11 kW i 22 kW – w instalacjach trójfazowych. Proces ładowania przy wykorzystaniu punktu ładowania na prąd przemienny AC odbywa się z wykorzystaniem przekształtnika zainstalowanego w pojeździe BEV lub PHEV (ryc. 7), który przekształca napięcie przemiennie na napięcie stałe, wymagane przez baterię trakcyjną. Oznacza to, że moc, a co za tym idzie również czas, w którym bateria trakcyjna pojazdu zostanie

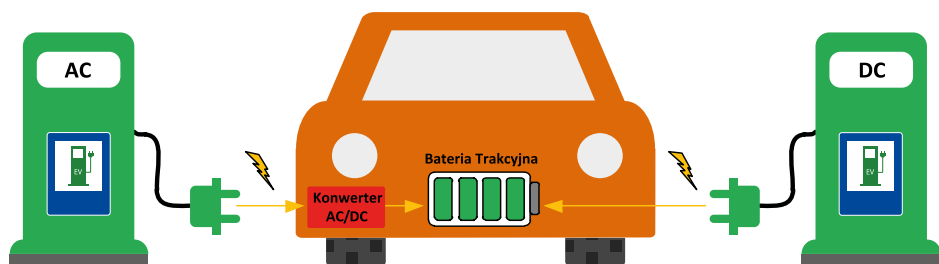
---

<sup>33</sup> Urząd Dozoru Technicznego, *Stacje i punkty ładowania pojazdów elektrycznych. Przewodnik UDT dla operatorów i użytkowników – zalecane praktyki*, Warszawa 2022.

<sup>34</sup> Tamże.



naładowana, determinowane są nie tylko przez moc stacji AC, ale także przez możliwości zainstalowanego w samochodzie przekształtnika.



**Ryc. 7.** Ładowanie pojazdu z napędem elektrycznym za pomocą punktu ładowania

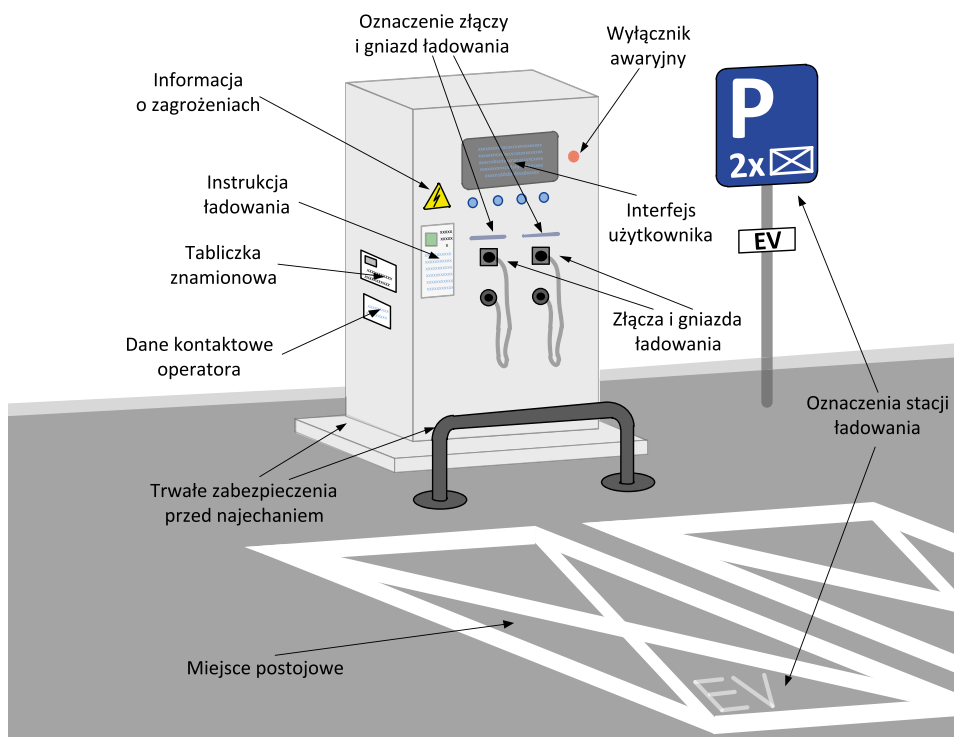
**Źródło:** opracowanie własne J. Tępiński, CNBOP-PIB.

Punkty ładowania o dużej mocy, działające na prądzie stałym DC, nie wymagają w procesie ładowania wykorzystania przekształtnika zainstalowanego na pokładzie pojazdu (ryc. 7). Należy przy tym pamiętać, że nie każdy pojazd BEV i PHEV posiada możliwość ładowania bezpośrednio prądem stałym DC. Proces ładowania za pomocą punktu ładowania DC charakteryzuje się zdecydowanie krótszym czasem ładowania i większą mocą ładowania, niż w przypadku wykorzystania punktu ładowania AC. Czas ładowania pojazdu za pomocą punktu ładowania DC ogranicza praktycznie tylko zdolność baterii trakcyjnej do przyjmowania energii w czasie. Pojazdy z napędem elektrycznym mogą być także ładowane za pomocą niewielkich przenośnych ładowarek o mocy mniejszej niż 3,7 kW (najczęściej ok. 2 kW), dostarczanych jako wyposażenie do pojazdów zasilanych napięciem przemiennym z jednofazowych gniazdek 230 V.

Stacje i punkty ładowania pojazdów z napędem elektrycznym muszą spełniać wymagania określone w ustawie o elektromobilności i paliwach alternatywnych<sup>35</sup>, która wdrożyła do polskiego prawa Dyrektywę 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych. Zgodnie z art. 13 ww. ustawy, stacje i punkty ładowania stanowiące elementy infrastruktury ładowania drogowego transportu publicznego muszą spełniać wymagania techniczne i eksploatacyjne określone w szczególności w Polskich Normach, zapewniające ich bezpieczne użytkowanie, w tym bezpieczeństwo pożarowe, bezpieczne funkcjonowanie sieci elektroenergetycznych

<sup>35</sup> Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz.U. 2023 poz. 875).

oraz dostęp do stacji ładowania dla osób niepełnosprawnych. Ważnym dla poruszanej tematyki aktem wykonawczym tej ustawy jest rozporządzenie Ministra Energii z dnia 26 czerwca 2019 r. w sprawie wymagań technicznych dla stacji ładowania i punktów ładowania stanowiących element infrastruktury ładowania drogowego transportu publicznego. W odniesieniu do przedstawionych wyżej aktów normatywnych można wskazać podstawowe elementy i zabezpieczenia, w jakie powinny być wyposażone stacje i punkty ładowania pojazdów z napędem elektrycznym. Na rycinie 8 przedstawiono stację ładowania wraz z oznakowanym terenem z miejscami parkingowymi i urządzeniem technicznym do ładowania, które wyposażone jest w dwa punkty ładowania. Szczegółowe rozwiązania i wymagania techniczne zależą od sposobu wykorzystania ładowarki. Wymagania dla prywatnych ładowarek niskiego napięcia w gospodarstwach domowych są znacznie mniejsze niż dla publicznie dostępnych stacji i punktów, w tym szybkiego ładowania.



**Ryc. 8.** Przykładowa stacja ładowania pojazdów z napędem elektrycznym

**Źródło:** opracowanie własne J. Tępiński, CNBOP-PIB na podstawie: Urząd Dozoru Technicznego, *Stacje i punkty ładowania pojazdów elektrycznych...*, dz. cyt., s. 9.

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Energii z dnia 26 czerwca 2019 r. do podstawowych elementów i zabezpieczeń stacji oraz punktów ładowania pojazdów z napędem elektrycznym należą:

1. Tabliczka znamionowa producenta lub eksploatującego umieszczona w sposób trwały na urządzeniach, która dodatkowo powinna zawierać następujące informacje:
  - nazwę producenta;
  - typ urządzenia;
  - numer seryjny;
  - napięcia znamionowe;
  - częstotliwość znamionową;
  - prądy znamionowe.
2. Zabezpieczenia elektryczne istotne również z punktu widzenia zapewnienia ochrony przeciwporażeniowej, takie jak:
  - wyłącznik główny, odcinający zasilanie wszystkich obwodów urządzenia;
  - wyłącznik różnicowoprądowy, w przypadku zasilania z sieci prądu przemianowego;
  - zabezpieczenia nadmiarowo-prądowe.
3. Selektowność zabezpieczeń.
4. Informacja na obudowie w widocznym miejscu urządzenia dotycząca występujących zagrożeń związanych z pracą urządzenia, w szczególności o ryzyku porażenia prądem elektrycznym oraz numer telefonu eksploatującego.
5. Ochrona przed uszkodzeniami mechanicznymi przez zapewnienie:
  - usytuowania urządzenia w sposób pozwalający uniknąć jego uszkodzenia w wyniku najechania pojazdu, lub
  - dodatkowych środków ochrony mechanicznej, takich jak odboje, słupki lub bariery.
6. Instrukcja ładowania umieszczona w widocznym miejscu. Wymaganie uznaje się za spełnione w przypadku wyposażenia stacji ładowania w interfejs użytkownika z wyświetlaczem zawierającym instrukcję ładowania.
7. Systemy i rozwiązania dedykowane bezpieczeństwu pożarowemu, takie jak bierne i czynne zabezpieczenia przeciwpożarowe, a także dedykowane systemy miejscowej detekcji i gaszenia.

# 5

---

## ROZPOZNAWANIE ZAGROŻEŃ PODCZAS ZDARZEŃ Z UDZIAŁEM POJAZDÓW Z NAPĘDEM ELEKTRYCZNYM

### 5.1. Wprowadzenie

Zastosowanie napędu elektrycznego w pojazdach niesie ze sobą nie tylko aspekt pozytywny, jakim jest postęp, ale wprowadza także nowe wyzwania i zagrożenia, w głównej mierze związane z układem zasilania silnika elektrycznego, w szczególności instalacji wysokiego napięcia i magazynu energii elektrycznej (baterii). Pojazdy z napędem elektrycznym, tj. pojazdy: elektryczne (BEV), hybrydowe (HEV), hybrydowe plug-in (PHEV) oraz z ogniwem paliwowym (FCEV) do magazynowania energii elektrycznej wykorzystują baterie trakcyjne, najczęściej litowo-jonowe (Li-ion) lub niklowo-wodorkowe (Ni-MH)<sup>36</sup>. Stosowane przede wszystkim w pojazdach elektrycznych baterie litowo-jonowe mają znacznie większą pojemność niż baterie niklowo-wodorkowe, przy tej samej wielkości oraz wadze. Baterie wysokiego napięcia z wodorkiem niklu nie mają łatwopalnego elektrolitu, dlatego ich potencjał zagrożenia jest znacznie niższy od baterii litowo-jonowych. Nie osiągają one jednak mocy wymaganych dla pojazdów z napędem wyłącznie elektrycznym i dlatego są wykorzystywane w pojazdach hybrydowych<sup>37</sup>.

Stwarzające największe zagrożenia elementy składowe napędu/napędów pojazdów, takie jak: baterie trakcyjne, zbiorniki na paliwo lub wodór, są najczęściej projektowane w rejonie tylnej osi lub w podwoziu pojazdu, czyli w miejscach zapewniających jak największą ich ochronę przed skutkami wypadków drogowych<sup>38</sup>. W celu zapewnienia odpowiednio wysokich parametrów elektrycznych, takich jak napięcie i prąd, moduły

---

<sup>36</sup> T. Hellmann, U. Cimolino U., *Alternative Fahrzeugantriebe*, dz. cyt.; J. Heck, *Alternative Fahrzeugantriebe im Feuerwehreinsatz*, dz. cyt.

<sup>37</sup> J. Heck, *Alternative Fahrzeugantriebe im Feuerwehreinsatz*, dz. cyt.

<sup>38</sup> T. Hellmann, U. Cimolino, *Alternative Fahrzeugantriebe*, dz. cyt.; J. Heck, *Alternative Fahrzeugantriebe im Feuerwehreinsatz*, dz. cyt.; M. Król, A. Król, *Identyfikacja zagrożeń związanych z użytkowaniem samochodów z napędem elektrycznym w kontekście ich parkowania w budynkach*, „Rynek Instalacyjny” 2021, 1–2.

baterii trakcyjnych składają się z dużej liczby połączonych szeregowo i/lub równolegle ogniw. Moduły takich baterii montuje się (wraz z pętlami chłodzącymi, okablowaniem, układami elektronicznymi zarządzającymi mocą, ładowaniem i rozładowaniem) w ramie, która gwarantuje ich ochronę przed uszkodzeniami, wibracjami i ciepłem<sup>39</sup>. Kable wysokiego napięcia, łączące baterię w pojeździe z innymi komponentami wysokiego napięcia i silnikiem elektrycznym, prowadzone są zazwyczaj wzdłuż podwozia pojazdu, w kanałach kablowych lub przykrywane osłonami.

## 5.2. Bateria trakcyjna

Bezpieczne korzystanie z baterii pojazdu z napędem elektrycznym wymaga utrzymania jej ogniw w określonym przedziale napięcia i temperatury. Do awarii baterii trakcyjnej<sup>40</sup> najczęściej mogą doprowadzić następujące przyczyny<sup>41</sup>:

1. Uszkodzenia mechaniczne baterii.
2. Termiczne:
  - oddziaływanie wysokich temperatur;
  - ekspozycja na płomień.
3. Elektryczne:
  - przetężenie (zwarcie, przeciążenie);
  - przepięcie;
  - przeładowanie;
  - nadmierne rozładowanie.
4. Wewnętrzne wady produkcyjne:
  - materiałowe;
  - konstrukcyjne;
  - montażowe.
5. Zmiany właściwości użytkowych materiałów konstrukcyjnych pod wpływem czasu.

Oddziaływanie powyższych czynników może doprowadzić do podwyższenia temperatury w pojedynczym ogniwie lub w obszarze baterii trakcyjnej. Po przegrzaniu baterii dochodzi do jej uszkodzenia. Powstawanie awarii baterii trakcyjnej można podzielić na etapy: przegrzania, odgazowania, wydzielenia dymu i pożaru (ryc. 9). Zależności przyczynowo-skutkowe prowadzące do awarii ogniwa baterii trakcyjnej przedstawiono na rycinie 10.

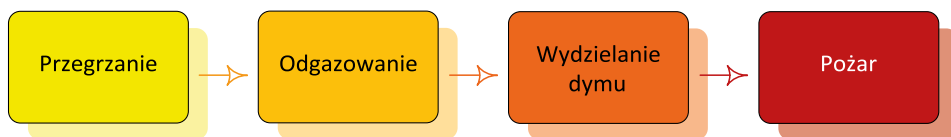
---

<sup>39</sup> M. Król, A. Król, *Identyfikacja zagrożeń*, dz. cyt.

<sup>40</sup> Najczęściej litowo-jonowej (Li-ion) lub niklowo-wodorkowej (Ni-MH).

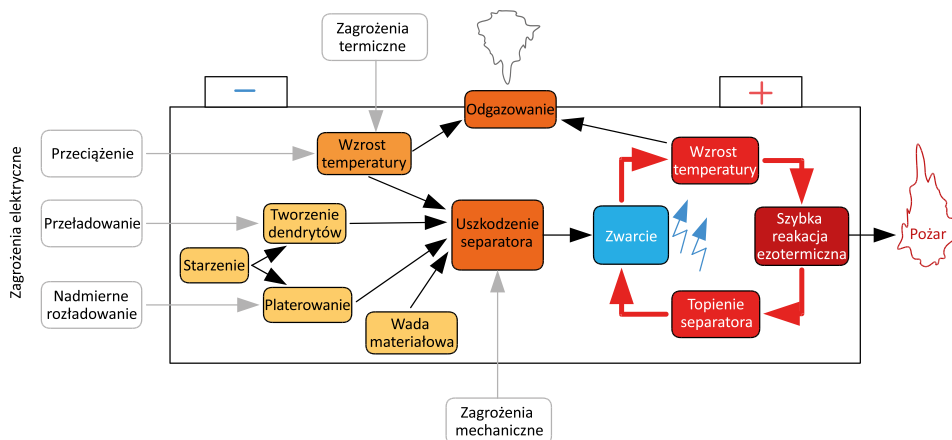
<sup>41</sup> Euralarm, *Guidance on Integrated fire protection solutions for Lithium-Ion batteries*, dz. cyt.

## Rozpoznawanie zagrożeń podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z napędem elektrycznym



**Ryc. 9.** Rozwój awarii baterii pojazdu z napędem elektrycznym

**Źródło:** opracowanie własne J. Tępiński, CNBOP-PIB na podstawie: Euralarm, *Guidance on...*, dz. cyt., s. 9.



**Ryc. 10.** Zależności przyczynowo-skutkowe prowadzące do awarii ogniwa baterii trakcyjnej

**Źródło:** opracowanie własne J. Tępiński, CNBOP-PIB na podstawie: Euralarm, *Guidance on...*, dz. cyt., s. 10.

Separator jest jednym z kluczowych elementów składowych ogniwa baterii, który jest istotny ze względów bezpieczeństwa. Zadaniem separatora jest zapewnienie elektrycznego odizolowania od siebie elektrod – katody i anody. W wyniku oddziaływania wysokich temperatur wewnątrz ogniwa separator odkształca się lub topi, tworząc fizyczną barierę blokującą zachodzące w ogniwie reakcje i tym samym zapobiega dalszemu wzrostowi temperatury<sup>42</sup>. Do uszkodzenia separatora i w konsekwencji

<sup>42</sup> W. Mroziak, *Zabezpieczenia przeciwpożarowe na poziomie ogniwa*, w: *Bezpieczeństwo przeciwpożarowe pojazdów elektrycznych i systemów bateryjnych*, White Paper on battery fires. Raport, PSPA, Warszawa 2022.

wewnętrznego zwarcia ogniwa baterii mogą doprowadzić wady materiałowe lub uszkodzenia mechaniczne, do których dochodzi w wyniku zdarzeń komunikacyjnych pojazdu, jak również przez tworzenie dendrytów lub platerowanie (ryc. 10)<sup>43</sup>. Oddziaływanie na baterię trakcyjną czynników, takich jak: przeładowanie, głębokie rozładowanie, przeciążenie, uszkodzenie mechaniczne lub udar termiczny, może doprowadzić do zwarc w jej ogniwach (ryc. 10), czyli skrajnie szybkiego i niekontrolowanego ich rozładowania, w wyniku którego następuje w nich gwałtowny wzrost temperatur wewnętrznych. Może to skutkować odparowaniem łatwopalnego elektrolitu. W takiej sytuacji nagromadzony pod ciśnieniem gaz znajduje ujście z baterii poprzez konstrukcyjne zawory nadmiarowe lub część obudowy o specjalnie obniżonej odporności mechanicznej<sup>44</sup>. W razie wystąpienia niekorzystnych warunków taka obudowa pęka, tworząc otwór. Konstrukcyjne rozwiązania mające umożliwić odprowadzenie nagromadzonego pod ciśnieniem gazu są stosowane w celu zapobiegania rozerwaniu baterii. Gdy temperatura wewnątrz baterii przekroczy granice wytrzymałości termicznej jej materiałów konstrukcyjnych, następuje ich rozkład powodujący wytwarzanie dymu, a czasami także iskrzenie. Wysokie temperatury wewnątrz baterii, wydobywające się chmury łatwopalnego gazu oraz iskrzenie, są ostatecznie w stanie doprowadzić do zapłonu i w konsekwencji pożaru. Powstałe produkty spalania mogą zawierać substancje toksyczne i rakotwórcze, metale ciężkie, fluorowodór i kwas fosforowy<sup>45</sup>. Zachodzi także prawdopodobieństwo, że pożar lub wysokie temperatury rozprzestrzenia się w reakcji łańcuchowej na sąsiednie ogniwa. Niestabilność termiczna (ang. *thermal runaway*) jest procesem silnie egzotermicznym i samopodtrzymującym się – podczas pożaru może być emitowany także tlen<sup>46</sup>.

Oznakami świadczącymi o uszkodzeniu baterii trakcyjnej w pojeździe z napędem elektrycznym są<sup>47</sup>:

- komunikaty o uszkodzeniu baterii wyświetlane na tablicy rozdzielczej pojazdu;
- deformacja obudowy baterii;
- wzrost temperatury na powierzchni baterii;
- otwarcie konstrukcyjnych zaworów nadmiarowych;
- wydobywające się z baterii opary gazu o białym lub biało-szarym zabarwieniu;

---

<sup>43</sup> Euralarm, *Guidance on Integrated...*, dz. cyt.

<sup>44</sup> Tamże.

<sup>45</sup> J. Heck, *Alternative Fahrzeugantriebe im Feuerwehreinsatz*, dz. cyt.

<sup>46</sup> M. Kwiatkowski, M. Majewska, *Zabezpieczenia przeciwpożarowe na poziomie baterii*, w: *Bezpieczeństwo przeciwpożarowe pojazdów elektrycznych i systemów bateryjnych, White Paper on battery fires. Raport*, PSPA, Warszawa 2022.

<sup>47</sup> J. Heck, *Alternative Fahrzeugantriebe im Feuerwehreinsatz*, dz. cyt.; AFAC, *Incidents Involving Electric Vehicles, Guideline, version 1.0*, Melbourne 2022.

- iskrzenie;
- wydobywające się z baterii dźwięki (w postaci trzasków, syczenia, bulgotania, popiskiwania);
- zapach spalenizny;
- wydobywający się z baterii dym o zabarwieniu ciemnym lub czarnym;
- płomienie, w tym strumieniowe (ang. *jet flames*) wydobywające się z baterii lub ze spodu pojazdu.

### 5.3. Układ wysokiego napięcia

W skład układu wysokiego napięcia pojazdu z napędem elektrycznym wchodzi wszystkie jego komponenty, które są zasilane wysokim napięciem (tzn. napięciem stałym  $U_{DC} > 60 \text{ V}$  i  $\leq 1500$  lub napięciem przemiennym  $U_{AC} > 30 \text{ V}$  i  $\leq 1000$ ) wraz z kablami, sterownikami i baterią trakcyjną<sup>48</sup>. W celu zmniejszenia potencjalnych zagrożeń powodowanych przez układ wysokiego napięcia pojazdów z napędem elektrycznym stosuje się szereg środków bezpieczeństwa, m.in.:

1. Galwaniczne oddzielenie instalacji wysokiego napięcia od pokładowej instalacji elektrycznej 12 V/24 V/48 V, a tym samym od masy pojazdu.
2. Ochrona przed dotykaniem bezpośrednim i pośrednim.
3. Przewody wysokiego napięcia prowadzone poza strefami cięcia nadwozia przez strażaków, najczęściej wzdłuż podwozia pojazdu (w kanałach kablowych lub przykryte osłonami).
4. Elementy układu wysokiego napięcia specjalne oznakowanie umożliwiające łatwą identyfikację:
  - urządzenia wchodzące w skład układu wysokiego napięcia posiadają na obudowie naklejki ostrzegawcze informujące o wysokim napięciu i ewentualnym ryzyku porażenia prądem;
  - przewody wysokiego napięcia są wyposażone w widoczną pomarańczową izolację;
5. Obwody rozładowcze, mające za zadanie rozładowanie kondensatorów i cewek wchodzących w skład układu wysokiego napięcia w czasie od kilku sekund do kilku minut od awarii.
6. Monitoring izolacji, mający za zadanie wykrycie napięć dotykowych i prądów upływu.
7. System blokady wysokiego napięcia, wyłączający napięcie w przypadku odłączenia

---

<sup>48</sup> J. Zboina, J. Kielin, G. Bugaj, J. Zalech, D. Bąk, *Działania ratowniczo-gaśnicze...*, dz. cyt.

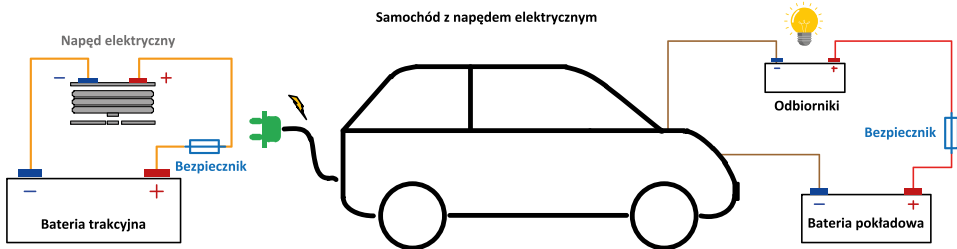


jednego z komponentów instalacji, w tym także i obudów urządzeń znajdujących się pod wysokim napięciem.

8. Odłącznik serwisowy.

9. Automatyczne wyłączenie układu wysokiego napięcia – wykrycie przez czujniki uszkodzenia pojazdu powoduje odłączenie baterii trakcyjnej<sup>49</sup>.

Układ wysokiego napięcia pojazdu z napędem elektrycznym jest galwanicznie odizolowany od pokładowej instalacji elektrycznej 12 V/24 V/48 V. Zapewnia to także odizolowanie od ziemi i masy pojazdu, do której z kolei podłączona jest pokładowa instalacja elektryczna (ryc. 11)<sup>50</sup>. Do porażenia elektrycznego wywołanego przez układ wysokiego napięcia może doprowadzić jedynie jednoczesne dotknięcie obu biegunów instalacji wysokiego napięcia. Aby temu zapobiec, instalacja wysokiego napięcia jest zabezpieczana przez monitoring izolacji, system blokady wysokiego napięcia i/lub automatyczne wyłączenie w przypadku wykrycia awarii<sup>51</sup>.



**Ryc. 11.** Galwaniczne odizolowanie układu wysokiego napięcia od pokładowej instalacji elektrycznej, a tym samym masy pojazdu

**Źródło:** opracowanie własne J. Tępiński, CNBOP-PIB na podstawie: T. Hellmann, U. Cimolino, *Alternative Fahrzeugantriebe*, dz. cyt.

Dzięki zastosowanym w pojazdach z napędem elektrycznym zabezpieczeniom (pkt 1–9), w tym głównie galwanicznemu odizolowaniu układu wysokiego napięcia, niebezpieczeństwo związane z porażeniem prądem elektrycznym jest niewielkie<sup>52</sup>. Sytuacja ta ulega jednak zmianie, jeżeli obudowa baterii trakcyjnej została rozerwana

<sup>49</sup> T. Hellmann, U. Cimolino, *Alternative Fahrzeugantriebe*, dz. cyt.; J. Heck, *Alternative Fahrzeugantriebe im Feuerwehreinsatz*, dz. cyt.

<sup>50</sup> Tamże.

<sup>51</sup> T. Hellmann, U. Cimolino, *Alternative Fahrzeugantriebe*, dz. cyt.

<sup>52</sup> J. Heck, *Alternative Fahrzeugantriebe im Feuerwehreinsatz*, dz. cyt.

lub uszkodzona w wyniku oddziaływań mechanicznych<sup>53</sup>. W takim przypadku odsłonięte elementy baterii stanowią zagrożenie elektryczne.

O uszkodzeniu układu wysokiego napięcia pojazdów z napędem elektrycznym (bez uwzględniania baterii trakcyjnej, która została omówiona powyżej) świadczy:

- uszkodzenie osłon i obudów urządzeń wchodzących w skład układu wysokiego napięcia, zapewniających ochronę przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim;
- uszkodzenie przewodów instalacji wysokiego napięcia;
- uszkodzenie komponentów układu wysokiego napięcia;
- odłączone wysokie napięcie w pojeździe, dzięki zadziałaniu co najmniej jednego z systemów bezpieczeństwa np. systemu blokady wysokiego napięcia, automatycznego wyłączenia w przypadku wykrycia awarii, monitoringu izolacji;
- zwarcie w układzie wysokiego napięcia;
- dym lub płomień wydobywające się z układu wysokiego napięcia.

## 5.4. Infrastruktura ładowania

Pod względem bezpieczeństwa jednym z kluczowych etapów użytkowania pojazdów elektrycznych i hybrydowych plug-in jest proces ładowania ich baterii trakcyjnych. Do ładowania takich baterii w pojazdach BEV i PHEV wykorzystywana jest infrastruktura ładowania, w skład której wchodzi punkty ładowania i zasilające je instalacje elektryczne. Do awarii infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych i hybrydowych plug-in mogą doprowadzić następujące przyczyny:

1. Uszkodzenie mechaniczne, powstałe w wyniku zdarzeń komunikacyjnych, nieprawidłowego użytkowania lub na skutek wandalizmu.
2. Uszkodzenie elektryczne:
  - od sieci elektroenergetycznej (np. przepięcia, zwarcia);
  - na skutek podłączenia do ładowania uszkodzonego pojazdu;
  - w wyniku wykorzystania uszkodzonego lub nieprawidłowego przewodu do ładowania;
  - od stanów nieustalonych, powstałych w procesach łączeniowych pojazdu z punktem ładowania.
3. Oddziaływanie temperatur (np. w wyniku pobliskiego pożaru).
4. Wyładowania atmosferyczne (bezpośrednie lub pobliskie).
5. Zmiana właściwości użytkowych materiałów konstrukcyjnych pod wpływem czasu.
6. Wnikanie ciał obcych, w tym cieczy.

---

<sup>53</sup> Tamże.

Oddziaływanie bezpośrednie lub pośrednie powyższych czynników może przyczynić się do powstania przepięć, przeciążeń i/lub zwarcień elektrycznych w infrastrukturze ładowania pojazdów BEV i PHEV, a to w konsekwencji do przeciążenia, przeładowania lub nadmiernego rozładowania baterii pojazdu. Negatywne oddziaływanie infrastruktury ładowania na baterię BEV lub PHEV może doprowadzić do jej niestabilności termicznej, a ta do kolejnych zagrożeń.

### 5.5. Układ spalinowy oraz instalacja wodorowa

Pojazdy elektryczne (BEV), hybrydowe (HEV), hybrydowe plug-in (PHEV) i z ogniwami paliwowymi (FCEV) posiadają wspólną cechę, jaką jest napęd elektryczny, który wyposażony jest w zasobnik energii elektrycznej w postaci baterii trakcyjnej. Konstrukcja powyższych typów pojazdów z napędem elektrycznym jest jednak różna, dlatego wymaga dodatkowego komentarza w zakresie związanych z tym zagrożeń. Pojazdy hybrydowe (HEV) i hybrydowe plug-in (PHEV) posiadają dodatkowo napęd spalinowy, którego podzespoły rozgrzewają się do bardzo wysokich temperatur (m.in. turbosprężarka, katalizator) oraz wymagają obecności paliwa i środków smarnych, które w kontakcie z wysoką temperaturą mogą ulec zapłonowi. Ze względu na niewielkie wolne przestrzenie w komorze silnika spalinowego trudno jest zapewnić bezpieczną odległość pomiędzy źródłami ciepła a nośnikami łatwopalnych substancji. Pojazdy z ogniwami paliwowymi (FCEV) wyposażone są dodatkowo w zbiornik paliwa – zwykle wodór, a energia elektryczna jest wytwarzana w ogniwie paliwowym<sup>54</sup>. Właściwości fizyczne wodoru, takie jak bezbarwność i bezwonność, utrudniają wykrycie jego wycieku. Palący się wodór jest trudny do identyfikacji ze względu na spalanie bez dymu i płomienia. Wodór w pojeździe FCEV przechowywany jest w zbiorniku pod wysokim ciśnieniem, wynoszącym ok. 700 bar, z kolei w przypadku autobusów ciśnienie to wynosi ok. 350 bar. Zbiorniki na wodór pojazdów FCEV są zabezpieczane podobnie jak zbiorniki pojazdów na gaz ziemny. W przypadku oddziaływania wysokiej temperatury lub zbyt wysokiego ciśnienia wodór jest upuszczany ze zbiorników w kontrolowany sposób przez zawory nadmiarowe. Pojazdy FCEV wyposażone są w systemy do ostrzegania przed gromadzącym się wodorem. W przypadku wykrycia awarii dopływ wodoru do ogniwa paliwowego zostaje wstrzymany<sup>55</sup>.

---

<sup>54</sup> J. Zboina, J. Kielin, G. Bugaj, J. Zalech, D. Bąk, *Działania ratowniczo-gaśnicze...*, dz. cyt.

<sup>55</sup> T. Hellmann, U. Cimolino, *Alternative Fahrzeugantriebe*, dz. cyt.; J. Heck, *Alternative Fahrzeugantriebe im Feuerwehreinsatz*, dz. cyt.

## 5.6. Zagrożenia i ich analiza

Do zagrożeń powodowanych przez pojazdy z napędem elektrycznym (BEV, HEV, PHEV, FCEV) należy zaliczyć:

1. Pożar.
2. Porażenie prądem elektrycznym.
3. Wnikanie przez drogi oddechowe toksycznych produktów spalania oraz związków wydzielanych w stanach awaryjnych baterii trakcyjnej.
4. Kontakt skóry ze środkami chemicznymi wydzielanymi podczas awarii baterii.
5. Wybuch:
  - związków chemicznych powstałych w wyniku reakcji zachodzących podczas awarii baterii trakcyjnej;
  - zbiornika paliwowego (dotyczy pojazdów hybrydowych – HEV);
  - zbiornika na wodór (dotyczy samochodów z ogniwami paliwowymi – FCEV).

Analiza statystyk pożarów z udziałem pojazdów wskazuje, że prawdopodobieństwo pożaru w przypadku pojazdów z napędem elektrycznym jest podobne do pożarów pojazdów spalinowych. Obecnie dane te mogą być różnie oceniane w kontekście liczby pojazdów elektrycznych poruszających się po drogach i ich wieku. Zgodnie z wynikami przeprowadzonych badań, podczas pożarów samochodów osobowych z napędem elektrycznym (BEV, HEV, PHEV i FCEV) i spalinowym (ICEV), osiągane są podobne wartości średnich mocy pożarów, najczęściej w przedziale od 5 MW do 7 MW. Pożary różnych typów pojazdów elektrycznych mogą wykazywać inną specyfikę ich przebiegu i dynamikę rozwoju pożaru. Pożar pojazdu elektrycznego BEV, ze względu na możliwość uwalniania z jego baterii trakcyjnej dużych ilości gazów łatwopalnych, charakteryzuje się większą dynamiką rozwoju niż w przypadku pojazdów HEV i PHEV (posiadających mniejsze baterie trakcyjne) i – tym bardziej – pojazdów ICEV. Pożary pojazdów z napędem elektrycznym, w szczególności te mające miejsce w zamkniętych pomieszczeniach, charakteryzują określone trudności w ich ugaszeniu. Wynika to w szczególności z tego, że bateria jest zlokalizowana najczęściej w dolnej części podwozia pojazdu oraz dodatkowo hermetycznie zabezpieczona w ramie, co sprawia, że skuteczne skierowanie środka gaśniczego bezpośrednio do źródła pożaru jest bardzo trudne<sup>56</sup>. Po ugaszeniu zewnętrznego pożaru baterii konieczne może być jej dodatkowe schładzanie, ze względu na możliwość ponownego zapalenia się w wyniku samozapłonu rozgrzanych ogniw, mogącego wystąpić nawet po kilkudziesięciu godzinach. W przypadku objęcia pożarem baterii pojazdu z napędem elektrycznym jego dynamika jest bardzo duża. Możliwe jest wydzielanie

---

<sup>56</sup> M. Król, A. Król, *Identyfikacja zagrożeń...*, dz. cyt.

dużej ilości dymu, który może istotnie utrudniać lub wręcz uniemożliwiać ewakuację z garażu oraz bezpośredni dostęp ekip ratowniczych. W konsekwencji może doprowadzić to do istotnego wzrostu temperatury i dalszego rozwoju pożaru, w tym na sąsiednie pojazdy, co może spowodować nawet uszkodzenie konstrukcji budynku. Dodatkowe niebezpieczeństwo stanowią toksyczne i żrące związki chemiczne, które są uwalniane w trakcie fazy odgazowania TR, bez powstania ognia lub ponownie, gdy pojazd częściowo został ugaszony, jednak nie wszystkie ogniwa uległy rozpadowi. Związki (głównie gazy) stają się szczególnie groźne, gdy dopuści się do ich gromadzenia w zamkniętych przestrzeniach. Związki te, wraz z sadzą, mogą osiadać na powierzchniach wewnętrznych garażu dlatego należy oczyścić je po zdarzeniu<sup>57</sup>. Również woda wykorzystana do gaszenia pojazdów z napędem elektrycznym może zawierać szkodliwe substancje chemiczne i dlatego – w miarę możliwości – nie powinna być odprowadzana bezpośrednio do kanalizacji, a separowana i zbierana.

---

<sup>57</sup> Tamże.

# 6

---

## PROWADZENIE DZIAŁAŃ RATOWNICZYCH

### 6.1. Pożar

Pożary środków transportu – w tym pojazdów drogowych – występowały od początku ich wynalezienia i użytkowania przez człowieka. Aktualnie straże pożarne corocznie odnotowują tysiące pożarów pojazdów na całym świecie. Obecnie wśród tych zdarzeń wyróżnić można ich nowy rodzaj – pożary pojazdów z napędem elektrycznym. Każdy przypadek takiego pożaru wzbudza zainteresowanie, a nawet pewne emocje (obawy, niepokój). Oczekiwania społeczne odnośnie do bezpieczeństwa nowoczesnych rozwiązań w tym zakresie sprowadzają się z jednej strony do spełnienia coraz surowszych norm dotyczących emisji spalin oraz CO<sub>2</sub> do atmosfery, z drugiej zaś do wymagań w zakresie niezawodności i bezpieczeństwa, aby napędy alternatywne – w tym elektryczne – miały przewagę nad rozwiązaniami dotychczasowymi, wykorzystującymi silniki spalinowe. Dane statystyczne w zakresie liczby, przyczyn i skutków pożarów pojazdów elektrycznych nadal nie są miarodajne, a udział procentowy tych pojazdów na tle wszystkich innych nadal jeszcze nie jest na tyle znaczący, aby móc na tej podstawie wyciągać wiarygodne wnioski dotyczące bezpieczeństwa pożarowego napędów elektrycznych. Dodatkowym zagadnieniem, będącym przedmiotem badań, doświadczeń i analiz, jest rozwój pożarów pojazdów z napędem elektrycznych w obiektach budowlanych. W 2022 roku PSP odnotowała 8605 pożarów pojazdów drogowych w Polsce, w tym 7 samochodów w pełni elektrycznych i 13 samochodów hybrydowych. To ok. 0,4 promila wszystkich zarejestrowanych pojazdów (nie licząc tzw. pojazdów niezarejestrowanych). Pamiętać należy jednak, że na koniec 2022 r. w Polsce zarejestrowanych było 26 675 000 samochodów osobowych<sup>58</sup>, przy czym samochodów osobowych z napędem elektrycznym BEV, PHEV było 61 570 (co stanowi 0,23% ogółu)<sup>59</sup>. Liczba samochodów z napędem

---

<sup>58</sup> <https://motofakty.pl/czy-wiesz-ile-jest-w-polsce-samochodow-i-jaki-jest-ich-wiek/ar/c4-17395227> [dostęp: 30.05.2023].

<sup>59</sup> <https://pspa.com.pl/2023/informacja/licznik-elektromobilnosci-kolejny-rekordowy-rok-na-polskim-rynku-e-mobility/> [dostęp: 30.05.2023].

elektrycznym jednak rośnie. Na koniec marca 2023 roku zarejestrowanych było w Polsce 70 715 takich pojazdów (w tym samochody osobowe, dostawcze i ciężarowe), z czego 36 826 stanowiły pojazdy w pełni elektryczne (BEV), a pozostałą część – hybrydowe typu plug-in (PHEV). W porównaniu z rokiem poprzednim liczba samochodów w pełni elektrycznych wzrosła o 84%. Na koniec marca 2023 roku zarejestrowano również 842 autobusy elektryczne oraz 16 503 elektryczne motorowery i motocykle. Liczba<sup>60</sup> samochodów hybrydowych (osobowe i dostawcze) wynosiła 508 861, natomiast wodorowych samochodów osobowych – 177. Dla wiarygodnego wnioskowania nie bez znaczenia jest również uwzględnienie w tym porównaniu wieku pojazdów, stanu technicznego, historii i zakresu ich użytkowania.

Obserwowany obecnie w Polsce wzrost ogólnej liczby pojazdów z napędem elektrycznym wpływa bezpośrednio na wyzwania stojące przed służbami ratowniczymi. Prowadzenie działań ratowniczych i gaśniczych podczas pożarów tego rodzaju pojazdów wymaga od służb ratowniczych nowego podejścia, uwzględnienia zagrożeń już znanych i stosowanych w przypadku pojazdów z napędami spalinowymi i tych całkowicie nowych, wynikających z konstrukcji i sposobu działania napędu elektrycznego (np. uszkodzenie instalacji wysokiego napięcia i ryzyko porażenia prądem, rozwój i sposób postępowania podczas pożaru baterii pojazdu z napędem elektrycznym). Strażacy powinni znać te zagrożenia i umieć sobie z nimi radzić. Odpowiednie przygotowanie służb ratowniczych do prowadzenia tego typu działań ma istotne znaczenie także w kontekście udzielania pomocy osobom uczestniczącym w takich zdarzeniach i zwiększenia ich szans na przeżycie, jak również zapewniania bezpieczeństwa samych ratowników<sup>61</sup>. Rozwój pożaru pojazdu z napędem elektrycznym zależy od przyczyny, która go wywołała. Może nią być:

- oddziaływanie pożaru pojazdu zaparkowanego obok rozpatrywanego pojazdu;
- umyślne podpalenie;
- udział w wypadku drogowym i mechaniczne uszkodzenie jego podzespołów.

Ponadto należy wziąć pod uwagę szereg zmiennych, takich jak: warunki atmosferyczne, miejsce, w którym doszło do zapalenia, położenie pojazdu (tzn. czy znajduje się w normalnym położeniu – na czterech kołach, na dachu czy na boku) i wiele innych, które w zasadzie uniemożliwiają nam dokładne porównanie pożarów z uwagi na ich niepowtarzalność. Jak już wspomniano, dostępne wyniki badań upoważniają do stwierdzenia, iż średnia moc rozwiniętego pożaru pojazdu elektrycznego jest porównywalna ze średnią mocą pożaru pojazdu o napędzie spalinowym (ok. 5 MW)<sup>62</sup>.

---

<sup>60</sup> Tamże.

<sup>61</sup> J. Zboina, J. Kielin, G. Bugaj, J. Zalech, D. Bąk, *Działania ratowniczo-gaśnicze...*, dz. cyt.

<sup>62</sup> J. Heck, *Alternative Fahrzeugantriebe im Feuerwehreinsatz*, dz. cyt.

Ważne informacje dla ratowników dotyczące przyjęcia odpowiedniego zamiaru taktycznego znajdują się na kartach ratowniczych pojazdów. Producenci umieszczają tam informacje kluczowe z punktu widzenia działań ratowniczych, m.in.: sposób zasilania, wyposażenie pojazdu w elementy i systemy bezpieczeństwa, w tym rozmieszczenie poduszek i kurtyn powietrznych, pirotechniczne napinacze pasów, wzmocnienia karoserii, rozmieszczenie elementów składowych systemu i baterii wysokiego napięcia, przebieg instalacji wysokiego napięcia. Z takiej karty można dowiedzieć się, jak rozlokowane są ewentualne specjalne otwory, tzw. *fireman access*, umożliwiające:

- 1) wprowadzenie środka gaśniczego (zwykle wody) do baterii w celu jej schłodzenia oraz
- 2) odprowadzenie gazów powstałych w wyniku zachodzącego rozkładu termicznego.

### Identyfikacja pojazdów elektrycznych

Z uwagi na różnice występujące w napędach i konstrukcji pojazdów, bardzo istotnym wyzwaniem podczas działań ratowniczych jest identyfikacja pojazdu. W ramach prowadzonego rozpoznania należy zebrać podstawowe informacje dotyczące rodzaju napędu pojazdu. Służą temu różne metody, np.:

- rozmowa z właścicielem/użytkownikiem pojazdu;
- odczytanie emblematów marki pojazdu (niebieski odcień wokół loga producenta – zob. ryc. 16);
- w Polsce zielony kolor tablicy rejestracyjnej samochodu elektrycznego (zob. ryc. 17);
- oznaczenia lub naklejka na zagranicznej tablicy rejestracyjnej;
- oznaczenia pojazdu, takie jak: hybrid, electric, zero emission, plug-in na dolnym progu pojazdu, tylnej klapie bagażnika;
- brak występowania rury wydechowej i kratki chłodnicy w pojazdach w pełni elektrycznych;
- brak wskaźnika poziomu paliwa (w pojazdach w pełni elektrycznych);
- informacja na stronie internetowej producenta lub w wykazie kart ratowniczych (<https://kartyratownicze.pl/>), bądź fizyczne odnalezienie karty w pojeździe;



**Ryc. 12.** Kod QR do karty ratowniczej pojazdu

**Źródło:** Związek Dealerów Samochodów, <https://kartyratownicze.pl>.



- aplikacja, dzięki której można pobrać kartę ratowniczą np. Euro NCAP, Rescue Code, Euro Rescue, Crash Recovery System;



**Ryc. 13.** Kod QR z aplikacji Euro NCAP do karty ratowniczej pojazdu

**Źródło:** Euro NCAP, <https://www.euroncap.com>.



**Ryc. 14.** Kod QR z aplikacji Rescue Code do karty ratowniczej pojazdu

**Źródło:** <https://www.rescuecode.fr/>.

- kody QR na bocznych lusterkach, na przednim słupku drzwi kierowcy, naklejce na szybie, podszyciu, umożliwiające pobranie karty ratowniczej.

Poniżej zamieszczono kod QR odsyłający bezpośrednio do karty Renault Megane E-tech – warunkiem odesłania bezpośrednio do karty jest czytanie kodu QR poprzez aplikację Rescue Code, Euro Rescue. W przypadku standardowych czytników kodów QR, kod odsyła do strony z aplikacją Rescue Code.



**Ryc. 15.** Kod QR do karty ratowniczej pojazdu Renault Megane E-tech

**Źródło:** <https://www.rescuecode.fr/>.

W przypadku identyfikacji pojazdów elektrycznych pomocny może okazać się również opis pojazdów z napędem elektrycznym (w tym pojazdów BEV, PHEV i FVEC) zawarty w Katalogu Pojazdów Elektrycznych 2023 wydawnictwa PSPA we współpracy z Garo Polska Sp. z o.o. oraz portalem elektromobilni.pl<sup>63</sup>. Publikacja ta zawiera informacje dotyczące m.in. podstawowych parametrów technicznych różnych modeli pojazdów z napędem elektrycznym, typów i mocy silników zastosowanych w tych pojazdach, mocy i czasów ładowania, pojemności baterii, zasięgu, maksymalnych prędkości, itp. Trzeba pamiętać, że w przypadku kolizji oznaczenia i emblematy mogą ulec zniszczeniu.



**Ryc. 16.** Przykładowe oznaczenia pojazdów z napędem elektrycznym, w tym hybrydowym

**Źródło:** Tomasz Kołodziejczyk, CNBOP-PIB.



**Ryc. 17.** Zielony kolor tablic rejestracyjnych samochodów elektrycznych

**Źródło:** Tomasz Kołodziejczyk, CNBOP-PIB.

<sup>63</sup> PSPA, Katalog Pojazdów Elektrycznych 2023, Warszawa 2022, [https://pspa.com.pl/wp-content/uploads/2023/02/PSPA\\_Katalog\\_EV\\_2023.pdf](https://pspa.com.pl/wp-content/uploads/2023/02/PSPA_Katalog_EV_2023.pdf).



**Ryc. 18.** Brak kratki wlotu powietrza do chłodnicy pojazdu w samochodach elektrycznych

**Źródło:** Tomasz Kołodziejczyk, CNBOP-PIB.



**Ryc. 19.** Ładowanie pojazdu w punkcie ładowania

**Źródło:** Tomasz Kołodziejczyk, CNBOP-PIB.



**Ryc. 20.** Wyposażenie pojazdu w gniazda elektryczne do ładowania pojazdu

**Źródło:** Tomasz Kołodziejczyk, CNBOP-PIB.





**Ryc. 21.** Umieszczenie gniazd ładowania po obydwu stronach pojazdu elektrycznego

**Źródło:** Tomasz Kołodziejczyk, CNBOP-PIB.



**Ryc. 22.** Samochód ciężarowy z napędem elektrycznym

**Źródło:** Tomasz Kołodziejczyk, CNBOP-PIB.

Komenda Główna PSP publikuje i na bieżąco aktualizuje zasady postępowania podczas zdarzeń z pojazdami elektrycznymi. Wśród nich dostępne są *Standardowe zasady postępowania podczas zdarzeń z samochodami z napędem elektrycznym i hybrydowym*<sup>64</sup>. Dokument ten został zatwierdzony 25 maja 2023 r. i zastąpił

<sup>64</sup> KG PSP, *Standardowe zasady postępowania podczas zdarzeń z samochodami z napędem elektrycznym oraz hybrydowym*, Warszawa 2023.

obowiązujące od 2020 r. standardowe zasady postępowania w tym zakresie. Przywołany powyżej dokument zawiera opis m.in. charakterystycznych cech identyfikujących pojazdy elektryczne i hybrydowe, możliwych do wystąpienia zagrożeń, a także działań, jakie powinni podjąć ratownicy na etapie rozpoznania, prowadzenia działań zabezpieczających oraz ratowniczych – w przypadku wypadku komunikacyjnego, pożaru z udziałem samochodu z napędem elektrycznym oraz zatopienia pojazdu z napędem elektrycznym w wodzie, a także podczas przekazywania miejsca zdarzenia.

Zasady te stanowią wytyczne i rekomendacje w zakresie postępowania podczas zdarzeń z udziałem pojazdów elektrycznych i hybrydowych. Poniżej przedstawiono dodatkowe informacje, które w ocenie autorów poradnika mogą być użyteczne w praktyce prowadzenia działań ratowniczych, stanowiące uszczegółowienie i pewne uzupełnienie tych informacji, które mogą być zawarte w dokumentach ogólnych, jakimi są standardowe zasady postępowania podczas zdarzeń.

### **Pożar pojazdu bez rozkładu termicznego baterii wysokiego napięcia**

W przypadku pożaru pojazdu mechanicznego pierwszą czynnością jest jego ugaszenie. Zarówno w odniesieniu do pożaru pojazdów z napędem elektrycznym, jak i spalinowym, nie różni się ona zasadniczo – możliwe jest użycie tego samego sprzętu i środków gaśniczych. W większości przypadków strażacy będą mieli do czynienia z pożarem pojazdu, w którym nie doszło jeszcze do niestabilności termicznej baterii (pod warunkiem, że nie została ona uszkodzona mechanicznie lub pożar nie spowodował wzrostu temperatury w jej wnętrzu). Sprawne podanie prądów wody lub innego środka gaśniczego pozwoli uniknąć objęcia przez płomień baterii WN. Świadczyć będzie o tym brak jakichkolwiek oznak postępującej reakcji chemicznej w baterii, tj. brak efektów dźwiękowych (głośnych trzasków, syczenia) czy wydzielania białego lub szarego dymu. Instalacja wysokonapięciowa jest izolowana od konstrukcji pojazdu, nie jest uziemiona, stąd prąd gaśniczy nie przeniesie napięcia na elementy armatury oraz na strażaka. Stosowane przez strażaka ochrony osobiste (kompletne ubranie specjalne, kominiarka, rękawice specjalne, hełm, buty strażackie oraz sprzęt ochrony układu oddechowego) są wystarczające, jednakże należy uważać, aby bez potrzeby nie dotykać elementów instalacji WN – może to doprowadzić do porażenia prądem. Istotną kwestią jest zabezpieczenie większej ilości wody do gaszenia na wypadek objęcia pożarem również baterii. Strażacy obowiązkowo muszą być wyposażeni w sprzęt ochrony dróg oddechowych, gdyż podczas pożaru wydziela się szereg toksycznych produktów spalania. Po ugaszeniu pożaru należy kontynuować podawanie prądu wody na baterię. Następnym ważnym krokiem jest przeprowadzenie oceny, czy bateria pojazdu została uszkodzona i rozpoczęło się w niej zjawisko „niestabilności termicznej”. Jeśli nie wystąpiły opisane wcześniej symptomy wskazujące na

pożar baterii, należy dokonać pomiarów na powierzchni obudowy z wykorzystaniem kamery termowizyjnej bądź pirometru. Jeśli temperatura przekracza 50°C, należy wykonać kolejne 3 pomiary co 10 minut. Jeśli te nie wykażą tendencji wzrostowej, kolejny pomiar należy przeprowadzić po 30 minutach. Brak tendencji wzrostowej temperatury to niezbędny warunek do zakończenia działań i przekazania pojazdu właścicielowi lub firmie zajmującej się transportem pojazdu<sup>65</sup>.

Po zakończeniu działań gaśniczych od razu należy przystąpić do stabilizacji pojazdu – jeżeli wymaga tego sytuacja lub w przypadku, gdy ze względu na powstały pożar nie można było wykonać tej czynności wcześniej. Dobrym sposobem jest umiejscowienie klinów pod kołami tak, aby pojazd nie ruszył w żadną stronę, np. pod wpływem ukształtowania terenu lub w przypadku, gdy nie został on wprowadzony w tryb „P” (parking) i doszło do aktywacji czynnego układu napędowego. Drugim sposobem unieruchomienia pojazdu jest zastosowanie specjalnej wtyczki (ang. *emergency plug*), symulującej ładowanie pojazdu i automatycznie wymuszającej unieruchomienie go, poprzez ustawienie skrzyni automatycznej w pozycji „P” – oczywiście wówczas, gdy pojazd nie został znacznie uszkodzony wskutek zaistniałego pożaru. Bazując na doświadczeniach służb ratowniczych stosujących tę metodę, nigdy nie można mieć 100% pewności, że układ po zdarzeniu zadziała prawidłowo. Dlatego dodatkowo należy zastosować kliny pod kołami<sup>66</sup>. Informacja ta nie jest jednak zamieszczana w kartach ratowniczych pojazdów, stąd można wnioskować, że nie jest to raczej metoda rekomendowana przez producentów pojazdów. W *Standardowych zasadach postępowania podczas zdarzeń z samochodami z napędem elektrycznym oraz hybrydowym* opracowanych przez zespół KG PSP zamieszczono informację o zabezpieczeniu pojazdu przed przypadkowym uruchomieniem poprzez umieszczenie w gnieździe ładowania pojazdu przewodu do ładowania – przewód ten może znajdować się w bagażniku pojazdu. Dodatkowo, jeżeli jest to możliwe, należy aktywować hamulec ręczny, który obecnie jest najczęściej uruchamiany elektrycznie poprzez wciśnięcie przycisku „P”, znajdującego się zazwyczaj w konsoli środkowej pojazdu (pomiędzy fotelem kierowcy i pasażera).

---

<sup>65</sup> PSPA, *Katalog Pojazdów Elektrycznych 2023*, dz. cyt.

<sup>66</sup> T. Hellmann, U. Cimolino, *Alternative Fahrzeugantriebe*, dz. cyt.



**Ryc. 23.** Przycisk „P” znajdujący się w konsoli środkowej pojazdu

**Źródło:** Tomasz Kołodziejczyk, CNBOP-PIB.



**Ryc. 24.** Dźwignia do uruchamiania hamulca ręcznego w starszych pojazdach

**Źródło:** Tomasz Kołodziejczyk, CNBOP-PIB.



**Ryc. 25.** Hamulec ręczny uruchamiany za pomocą nogi

**Źródło:** Tomasz Kołodziejczyk, CNBOP-PIB.

Po ugaszeniu pożaru pojazd powinien zostać przetransportowany na miejsce „kwarantanny” (odizolowania). Miejsce to powinno znajdować się w bezpiecznej odległości od budynków, pojazdów czy innych obiektów, dla których ten pojazd – w przypadku ponownego zapalenia się – mógłby stanowić zagrożenie. Formalne wymagania dla takich miejsc nie zostały jeszcze określone w przepisach. Gaszeniem pożaru pojazdu zajmują się dwie rotы, podając dwa prądy wody na palący się pojazd. Dodatkowo, po ugaszeniu pożaru druga rota sprawdza dostępnym eksplozometrem

zawartość gazów niebezpiecznych wewnątrz pojazdu, celem zweryfikowania, czy nie doszło do przekroczenia stężenia par lub gazów palnych w powietrzu. Pozwala to również na wyeliminowanie zagrożenia wybuchem w strefie działań.

Bateria samochodu elektrycznego jest zabezpieczona w sposób szczególnie zewnętrzzną obudową, zarówno przed oddziaływaniem termicznym, jak i uszkodzeniami mechanicznymi. Znane są przypadki pożarów pojazdów, w tym elektrycznych samochodów osobowych i autobusów, które spłonęły doszczętnie, a ich baterie litowo-jonowe nie zostały uszkodzone<sup>67</sup>. Podczas działań ratowniczych nie należy:

- uszkadzać przewodów wysokiego napięcia, a więc zginać ich, ciąć, próbować rozciągać, przewiercać;
- oddziaływać siłą na baterię WN, gdyż może dojść do jej uszkodzenia;
- wprowadzać armatury gaśniczej przez otwory chłodzące w baterii.

Kiedy jednak ratownik np. przetnie przewód WN (koloru pomarańczowego), to ze względu na strukturę układu elektrycznego nie powinno dojść do porażenia prądem. Może natomiast wystąpić napięcie szczytkowe w układzie WN, w efekcie którego dojdzie do zwarcia w obrębie zasilanego elektrycznie narzędzia ratowniczego, a także do wyrzutu iskier, które mogą spowodować zapalenie znajdujących się w pobliżu materiałów łatwo zapalnych. Ponadto uszkodzeniu może ulec samo narzędzie. Przede wszystkim nie wolno dopuścić do uszkodzenia baterii WN, gdyż może to doprowadzić do zapoczątkowania reakcji gwałtownego wydzielania ciepła z jej ogniw, dalszego ich rozkładu i wzrostu zagrożenia pożarowego, a nawet wybuchowego<sup>68</sup>.

Poniżej znajduje się kod QR do filmu z objaśnieniem mechanizmu powstawania pożaru baterii w pojeździe z napędem elektrycznym, prezentujący rzeczywisty pożar samochodu elektrycznego, do którego doszło podczas ładowania.



**Ryc. 26.** Kod QR do filmu nt. pożaru samochodu elektrycznego i jego gaszenia

**Źródło:** <https://www.youtube.com/watch?v=sGyLSfTQALs>.

---

<sup>67</sup> T. Hellmann, U. Cimolino, *Alternative Fahrzeugantriebe*, dz. cyt.

<sup>68</sup> Tamże.



### Pożar baterii litowo-jonowej

Ogniwa baterii litowo-jonowych są wrażliwe na następujące czynniki:

- naprężenia mechaniczne (odkształcenia, uszkodzenia wskutek wypadku drogowego);
- naprężenia termiczne (przekroczenie określonej temperatury na skutek pożaru, przeładowania baterii);
- naprężenia elektryczne (przekroczenie dopuszczalnego napięcia baterii wskutek wadliwego działania systemu zarządzania baterią – BMS).

Do powyższych czynników należy doliczyć również wadliwy proces produkcji, w efekcie którego wewnątrz ogniwa mogą znajdować się metalowe wióry, starzenie się baterii oraz jej zużycie na skutek częstego procesu ładowania i rozładowania. Oznakami takiego stanu będą:

- otwarcie zaworów nadciśnieniowych i wydostanie się gazów (biało-szara mgła, która przechodzi następnie w ciemny, docelowo czarny dym);
- wyraźny, głośny, syczący dźwięk (jak przy wycieku gazu), odgłosy strzelania lub trzaski;
- przekroczenie temperatury 50°C na powierzchni baterii;
- ewentualny komunikat ukazujący się na tablicy rozdzielczej kierowcy.

Na skutek występującego ciepła poszczególne ogniwa baterii będą ulegały rozkładowi powyżej 70–80°C. Dochodzi wówczas do parowania elektrolitu i wzrostu ciśnienia w ogniwie. W przypadku dalszego wzrostu temperatury materiał, z którego zbudowane są katoda i anoda, zaczyna reagować z rozpuszczalnikiem. Jest to czas zwłoki pomiędzy wystąpieniem czynnika termicznego, np. w postaci powstałego pożaru, a gwałtownym wydzielaniem ciepła przez baterię.

Podczas spalania baterii litowo-jonowych uwalnia się wiele toksycznych i łatwopalnych par oraz gazów, m.in.: chlorowodór, cyjanowodór, fluorowodór, wodór, tlenek węgla. Ich właściwości toksyczne wywierają silnie negatywny wpływ na zdrowie człowieka. Ponadto w wyniku rozkładu ogniwa baterii może dojść do wydzielania dużej ilości par i gazów o właściwościach palnych, a tym samym wybuchowych. Jeżeli określona objętość palnego aerozolu wystąpi w pobliżu źródła ognia i osiągnie stężenie stechiometryczne pomiędzy dolną i górną granicą wybuchowości, może dojść do eksplozji, która będzie stanowiła duże zagrożenie dla ratowników lub osób znajdujących się w pojeździe. Kierujący działaniem ratowniczym musi być świadomy, że może dojść do takiego zagrożenia, które spowoduje wyrzut płomieni (przypominający pożar strumieniowy) z boku, z tyłu lub spod spodu pojazdu. Ponadto zagrożenie wybuchem będzie występowało w każdej sytuacji, w której dojdzie do awarii baterii i dodatkowo pojazd będzie znajdował się w zamkniętym pomieszczeniu. Ratownicy przystępujący do działań powinni za pomocą eksplozometrów zmierzyć, czy takie zagrożenie występuje.

W przypadku, gdy doszło do rozkładu termicznego baterii WN, potrzebne będą duże ilości wody do jej ugaszenia, a także do schłodzenia obudowy, jak i samej baterii. Jeżeli podczas pożaru powstaną rozszczelnienia w obudowie baterii, wówczas środek gaśniczy (woda) będzie mógł łatwiej dotrzeć do źródła ognia w jej wnętrzu. Szacuje się, że do ugaszenia pożaru pojazdu oraz chłodzenia baterii może być potrzebne od 4 do 30 tys. litrów wody<sup>69</sup> (inne źródła podają zużycie wody w przedziale od ok. 1 do 6,7 tys. litrów<sup>70</sup>). Stąd należy zapewnić odpowiednie zapotrzebowanie w wodę.

Niektórzy producenci samochodów (np. Renault, Dacia) zaprojektowali w obudowie baterii WN otwór, tzw. *fireman access*, przez który służby ratownicze mogą podawać prądy wody. Jest to tzw. zaślepka w górnej obudowie baterii, która na skutek oddziaływania wysokiej temperatury ulega stopieniu i umożliwia wprowadzenie wody do wnętrza baterii<sup>71</sup>.

Użycie gaśnic z CO<sub>2</sub> lub z proszkami gaśniczymi do gaszenia pożaru baterii w pojeździe z napędem elektrycznym nie będzie skuteczne z uwagi na brak właściwości chłodzących. Nie należy również stosować klasycznej piany ciężkiej, średniej lub lekkiej. Po ugaszeniu pożaru pojazdu należy użyć kamery termowizyjnej w celu sprawdzenia temperatur występujących na obudowie baterii WN. Należy podawać prądy wody na zidentyfikowane gorące miejsca na obudowie baterii. Chłodzenie przez obudowę może okazać się czasochłonne<sup>72</sup>.

### Taktyka działań

Przy dojeździe na miejsce zdarzenia należy pamiętać, aby pojazd ratowniczo-gaśniczy ustawić od strony nawietrznej. Ta sama zasada dotyczy rot pożarniczych – jeżeli pozwalają na to warunki. Roty powinny być ustawione pod kątem 45° względem pojazdu celem uniknięcia zagrożenia ze strony możliwych wyrzutów płomieni bądź gorących dymów, które będą wydobywać się prostopadle do boków pojazdu, z jego tyłu lub spod podłogi.

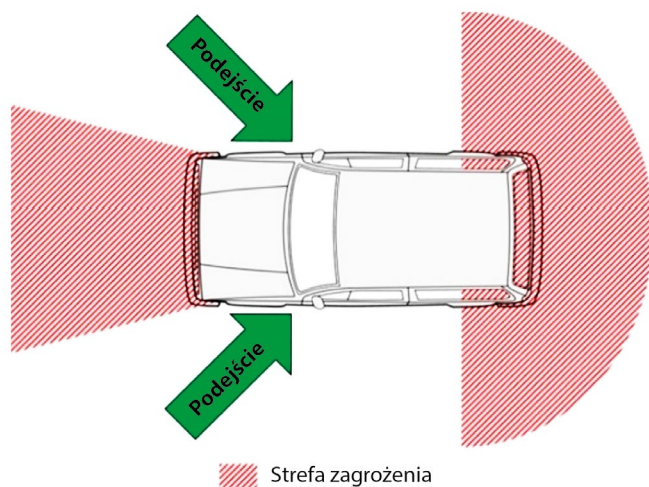
---

<sup>69</sup> DSB, *Risk assessment...*, dz. cyt.,

<sup>70</sup> M. Neske, J. Kaufmann, D. Butscher, Ch. Vogel, *Neue Erkenntnisse für die Brandbekämpfung an E-Fahrzeugen*, vfdB 2-2023, s. 88–91.

<sup>71</sup> T. Hellmann, U. Cimolino, *Alternative Fahrzeugantriebe*, dz. cyt.

<sup>72</sup> DSB, *Risk assessment...*, dz. cyt.



**Ryc. 27.** Schemat podejścia ratowników do objętego pożarem pojazdu z napędem elektrycznym

**Źródło:** P. J. Sturm, P. Föbleitner, D. Fruhwirt, S. Heindl, B. Kohl, O. Heger, R. Galler, R. Wenighofer, S. Krausbar, *BRAFA Brandauswirkungen von Fahrzeugen mit alternativen Antriebssystemen*, Technische Universität Graz, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, Graz 2021, s. 44.

Etapy działań ratowniczych podczas pożaru samochodu elektrycznego:

1. Należy wyznaczyć strefę niebezpieczną.
2. Zawsze należy stosować sprzęt ochrony układu oddechowego oraz kompletne ubranie specjalne, kominarkę, rękawice specjalne, hełm oraz buty strażackie.
3. Ważnym elementem jest przeprowadzenie ewakuacji osób ze strefy zagrożenia – w przypadku bezpośredniego zagrożenia życia.
4. W celu zminimalizowania oddziaływania gazów pożarowych na ratowników warto zastosować wentylator osiowy i zacząć podejście do pojazdu od jego strony.
5. W ramach rozpoznania należy upewnić się, że mamy do czynienia z pojazdem z napędem elektrycznym<sup>73</sup>.
6. Należy ustawić dźwignię automatycznej skrzyni biegów w pozycji „P” lub nacisnąć odpowiedni przycisk na desce rozdzielczej. Dodatkowo z uwagi na fakt, że hamulec postojowy jest zwykle sterowany elektronicznie, należy go włączyć przed odłączeniem baterii 12 V. Trzeba pamiętać też, że przesuwanie fotela elektrycznego, otwieranie szyn czy kłapy bagażnika również odbywa się przy pomocy zasilania z tej baterii. Równoległe, w przypadku awarii systemu, należy podłożyć kliny pod koła pojazdu.

<sup>73</sup> KG PSP, *Standardowe zasady...*, dz. cyt.

7. Ważne jest ustalenie kierującego pojazdem, zabezpieczenie kluczyków w celu zapobiegnięcia przypadkowemu uruchomieniu pojazdu. Kluczyki należy przechowywać w bezpiecznej odległości od pojazdu (min. 5 m). Należy jednak pamiętać, że może to spowodować zamknięcie drzwi, szyb oraz bagażnika w pojeździe. W niektórych modelach pojazdów samochodowych funkcje kluczyków zastępuje często telefon komórkowy. W takim przypadku należy zabezpieczyć telefony pasażerów pojazdu.
8. Następnie należy wyłączyć pojazd zgodnie z instrukcją postępowania podaną przez producenta, najczęściej poprzez aktywację przycisku START/STOP.
9. Uwaga: należy pamiętać, że przy naciśnięciu przycisku START/STOP nie wolno naciskać pedału hamulca, gdyż system wykryje taką czynność jako polecenie startu. Jeżeli pojazd jest już wyłączony, można go ponownie aktywować poprzez jednorazowe naciśnięcie przycisku START/STOP. W tym celu trzeba sprawdzić, czy zapłon jest nadal włączony, co sygnalizowane jest za pomocą zapalonych lampek kontrolnych lub zestawu wskaźników na panelu przednim kierowcy<sup>74</sup>.
10. W przypadku stosowania rozproszonych prądów wody, proszku gaśniczego, należy zachować minimalną odległość 1 m (rekomenduje się 2 m) pomiędzy pożarem i wylotem strumienia środka gaśniczego, a w przypadku zwartych prądów wody – minimalną odległość 5 m pomiędzy pożarem i wylotem strumienia środka gaśniczego (przy użyciu prądownic o wydajności powyżej 250 l/min rekomendowana odległość to 10 m). Podczas podawania środków gaśniczych należy zachować szczególną ostrożność<sup>75</sup>.
11. Należy nawiązać kontakt z administratorem dróg, autostrad oraz nadzorem ruchu, celem poinformowania o możliwości wystąpienia długotrwałej akcji ratowniczej. Jest to informacja istotna z punktu widzenia planowania ruchu.
12. W przypadku wycieku elektrolitu z uszkodzonej baterii (słodki lub ostry zapach) należy ewakuować osoby znajdujące się w pobliżu. W przypadku pomieszczeń zamkniętych należy również zapewnić wietrzenie przestrzeni.
13. Podczas prowadzenia działań nie należy dopuszczać do powstania atmosfery wybuchowej. Dlatego zasadne jest profilaktyczne przewietrzanie kabiny pojazdu, celem uniknięcia wytworzenia odpowiedniego stężenia gazów pomiędzy dolną i górną granicą wybuchowości. Należy monitorować stężenie gazów przy pomocy odpowiedniego sprzętu.
14. Trzeba wziąć pod uwagę, że istniejące urządzenia wykrywające napięcie prądu przemiennego mogą nie wykryć obecności napięcia prądu stałego.

---

<sup>74</sup> J. Heck, *Alternative Fahrzeugantriebe im Feuerwehreinsatz*, dz. cyt.

<sup>75</sup> KG PSP, *Standardowe zasady...*, dz. cyt.



**Ryc. 28.** Umiejscowienie przycisku POWER, w tym przypadku po prawej stronie kierownicy

**Źródło:** Tomasz Kołodziejczyk, CNBOP-PIB.

Badania przeprowadzone w niemieckim Instytucie Ochrony Przeciwożarowej i Katastrof (niem. *Institut für Brand-und Katastrophenschutz*) w Heyrothsberge mogą stanowić odpowiedź na pytania, która z metod gaśniczych jest najskuteczniejsza podczas pożaru pojazdów z napędem elektrycznym. Odpowiedź ta nie jest oczywista, gdyż – jak pokazały badania – istnieje potrzeba przeprowadzenia większej liczby testów, żeby zaobserwować różnice podczas gaszenia pożaru w pełni rozwiniętego i znajdującego się we wstępnej fazie rozwoju. Podczas prowadzonych badań w obu przypadkach pożar był inicjowany na skutek mechanicznego uszkodzenia baterii – w wyniku przebicia jej metalowym prętem. Jak podkreślają autorzy publikacji *Evaluierung von technischen Verfahren zur Löschmitteleinbringung in Hochvoltspeicher*<sup>76</sup> jest to najbardziej niebezpieczna forma uszkodzenia baterii, ponieważ prowadzi do powstania natychmiastowego niekontrolowanego rozkładu termicznego ogniwi, a tym samym ich pożaru. Doświadczenia zakładały przystąpienie z natarciem prądów wody po upływie 15 minut, który to czas był potrzebny na powstanie pożaru w pełni rozwiniętego. Na dziesięć przeprowadzonych prób tylko w trzech przypadkach odstąpiono od tej zasady, ponieważ pożar nie zdążył się rozwinąć. Jak pokazały badania, natarcie dwóch rot z dwoma zwartymi prądami wody doprowadziło co prawda do

---

<sup>76</sup> M. Neske, J. Kaufmann, D. Butscher, Ch. Vogel, *Evaluierung von technischen Verfahren zur Löschmitteleinbringung in Hochvoltspeicher*, Forschungsbericht Nr. 210, Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge, 2022.

ugaszenia pożaru karoserii i wnętrza pojazdu, natomiast znaczna jej część służyła po powierzchni pojazdu, nie mając wpływu (lub mając wpływ marginalny) na chłodzenie baterii. Prądownice nastawione zostały na wydatek rzędu 135 l/min, co w efekcie końcowym doprowadziło do zużycia 6 tys. litrów wody po 35 minutach trwania gaszenia. W kolejnych dwóch próbach zmniejszono wydatek do 60 l/min i okazało się, że taka intensywność podawania wody w zupełności wystarcza do kontrolowania procesu spalania oraz nieprzemieszczania się nadmiernej ilości ciepła na otoczenie. Zużycie wody wyniosło odpowiednio 1550 l i 960 l. Warto podkreślić, że w jednym doświadczeniu przystąpiono do gaszenia pożaru nierozwiniętego w pełni, co wydłużyło jego ugaszenie i skutkowało zużyciem wody na poziomie 6700 litrów, a więc większym niż w przypadku zainicjowanego pożaru w pełni rozwiniętego.

Przedmiotowe badania wykazały również niską skuteczność gaszenia pożaru przez dwie rotacje, przy jednoczesnym chłodzeniu baterii od spodu, z uwagi na brak możliwości przeniknięcia wody przez obudowę baterii. A więc taktyka mająca na celu tylko i wyłącznie chłodzenie baterii od spodu po ugaszeniu pożaru nie doprowadziła do obniżenia temperatury w znaczny sposób i nie zapobiegła pożarowi baterii<sup>77</sup>.

Obecnie dostępnych jest wiele rodzajów kontenerów lub zbiorników na podwoziu przyczep ciężarowych, w których można umieścić ugaszony pojazd z napędem elektrycznym i poprzez zanurzenie go w wodzie zapobiec ponownemu zapaleniu się baterii. Przy wykorzystaniu tego rodzaju sprzętu, gaszenie baterii pojazdu z napędem elektrycznym należy prowadzić do momentu uzyskania pewności, że dalszy jego transport będzie bezpieczny. Wykorzystanie kontenera w celu zatopienia samochodu elektrycznego może być stosowane tylko w uzasadnionych przypadkach (gdy opisane powyżej techniki okażą się nieskuteczne). Nie należy napełniać kontenera wodą wyżej niż jest to konieczne, tj. do górnej krawędzi akumulatora. Prewencyjne zatopianie pojazdu nie jest zalecane. Przyczyną tego są m.in.: znaczny wysiłek logistyczny, duże koszty utylizacji zanieczyszczonej wody jako odpadu specjalnego/niebezpiecznego i nieuniknione zwiększenie szkód ogólnych. Wykorzystanie kontenera do gaszenia pojazdów elektrycznych zaleca się tylko w przypadku, gdy jest rozpoznany sposób postępowania z wodą popożarową, tj. zapewniono możliwość przekazania jej odpowiedniemu podmiotowi. W innym przypadku należy rozważyć wykorzystanie suchej kwarantanny pojazdu w kontenerze. Problem ten nie dotyczy pojazdów o napędzie hybrydowym, wyposażonych w baterie nikielowo-metalowo-worokowe (Ni-MH). Z tego względu, że baterie te są bezpieczniejsze niż ich odpowiedniki litowo-jonowe, nie należy w ogóle rozpatrywać takiego sposobu postępowania dla pojazdów z baterią Ni-MH. Prowadzić to może do niepotrzebnego podniesienia kosztów działań ratowniczych, a także tych związanych z utylizacją wody popożarowej.

---

<sup>77</sup> Tamże.



Oprócz wyżej omówionych kontenerów i zbiorników na rynku są także oferowane specjalne płachty z tworzywa sztucznego, na których można ściśle spiąć pasami uszkodzony pojazd i go przetransportować. Rozwiązanie to pozwala na podanie wody w ilości umożliwiającej zalanie górnej powierzchni baterii i tym samym przyspieszenie chłodzenia uszkodzonej baterii lub zabezpieczenie jej przed powstaniem niestabilności termicznej. Przykład takiego rozwiązania został zobrazowany na rycinie 29.



**Ryc. 29.** Specjalna płachta wraz z systemem pasów do transportu uszkodzonych pojazdów elektrycznych

**Źródło:** Tomasz Kołodziejczyk, CNBOP-PIB.

### **Gaszenie baterii poprzez całkowite spalenie pojazdu**

Kontrolowane spalanie pojazdu może być rozpatrywane w dwóch przypadkach:

- 1) kiedy pojazd jest zaparkowany na terenie niezabudowanym, w bezpiecznej odległości od lasu, parku i łąk, zabudowań;
- 2) kiedy pojazd został ugaszony, natomiast gaszenie baterii WN nie przyniosło spodziewanego efektu.

Badania prowadzone przez naukowców wskazują, że kolejnym parametrem, jaki należy wziąć pod uwagę, jest stopień naładowania baterii – SOC. Intensywność pożaru baterii będzie większa przy stopniu naładowania wynoszącym 50–100%. Pożar przebiegać będzie mniej gwałtownie przy współczynniku SOC poniżej 30%. Ponadto znaczenie ma czas, jaki upłynął od ładowania baterii. Im jest on krótszy, tym pożar

jest intensywniejszy, zatem pojazd podłączony do ładowarki będzie spalał się z większą intensywnością. Podczas prowadzenia rozpoznania należy zebrać informacje (jeśli to możliwe), jaki czas upłynął od ładowania baterii<sup>78</sup>.

### 6.4. Zdarzenia wymagające działań z zakresu ratownictwa technicznego

Usuwanie skutków wypadków drogowych musi być poprzedzone prawidłowym rozpoznaniem sytuacji. Należy zatem zebrać informacje m.in. na temat rodzaju zdarzenia, liczby i lokalizacji pojazdów uczestniczących w wypadku, liczby osób poszkodowanych, uwięzionych w pojazdach i wymagających hospitalizacji, warunków panujących podczas zdarzenia, występujących zagrożeń, miejsca i ukształtowania terenu. Priorytetem jest zabezpieczenie miejsca zdarzenia i przystąpienie do dalszych czynności mających na celu wydobycie i ewakuację osób poszkodowanych. Ważnym elementem jest ustalenie, jaki rodzaj pojazdów – pod kątem rozwiązań konstrukcyjnych i funkcjonalnych – brał udział w zdarzeniu, i czy rozwiązania te mogą generować zagrożenia dla ratowników. W tym przypadku należy zwrócić uwagę na to, jaki rodzaj napędu był używany i czy pojazd nie posiadał żadnych przeróbek mogących przyczynić się do błędnej oceny kierującego działaniem ratowniczym.

W następnej kolejności należy dokonać stabilizacji pojazdu poprzez ustawienie dźwigni automatycznej skrzyni biegów w pozycji „P” lub naciśnięcie odpowiedniego przycisku na desce rozdzielczej. Ponadto należy uruchomić hamulec elektryczny i jednocześnie podłożyć kliny pod koła na wypadek, gdyby system uległ awarii. Trzeba mieć na uwadze, że pojazd wyposażony w baterię WN posiada niżej umiejscowiony środek ciężkości, co może w sposób znaczny wpływać na zmianę położenia przy „stawianiu” pojazdu z powrotem na koła po wypadku. Odwrotnie sprawa będzie się miała w przypadku autobusów, które zazwyczaj mają baterie umiejscowione na dachu.

Kolejnym istotnym krokiem jest dezaktywacja systemów bezpieczeństwa i układu WN. Odpalone poduszki powietrzne świadczą, że układ napędowy został odłączony. To samo dotyczy układu WN, gdyż czujniki powinny wykryć wstrząs podczas wypadku i wyłączyć układ. Niemniej jednak zawsze trzeba podchodzić z rezerwą do automatycznej dezaktywacji systemów bezpieczeństwa i próbować wyłączyć WN na podstawie posiadanej wiedzy lub informacji producenta zawartych w karcie informacyjnej. Niedozwolone jest przecinanie w tym celu przewodów WN, wtyczki serwisowej czy przebijanie baterii WN, z uwagi na wysokie ryzyko porażenia prądem elektrycznym. W niektórych

---

<sup>78</sup> DSB, *Risk assessment...*, dz. cyt.

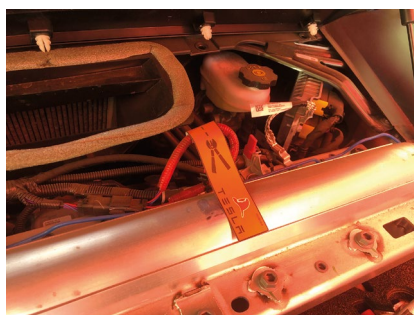


modelach samochodów (np. Tesla model „S”) producent dopuszcza przecięcie kabla WN w przedniej prawej stronie podszycia pojazdu (widoczne po otwarciu przedniej pokrywy silnika, zob. ryc. 30), celem rozłączenia układu WN od baterii. Pętlę należy przeciąć w dwóch miejscach (wyciąć kawałek przewodu pętli) oraz zabezpieczyć przewody (i ewentualne metalowe obiekty w pobliżu) tak, aby nie nastąpiło samoczynne zwarcie. Miejsce takie oznaczone jest pomarańczową etykietą, z narysowanymi nożycami oraz hełmem strażackim<sup>79</sup>.



**Ryc. 30.** Etykieta oznaczająca miejsce cięcia przewodów w samochodzie z napędem elektrycznym

**Źródło:** KG PSP, *Standardowe zasady...*, dz. cyt.



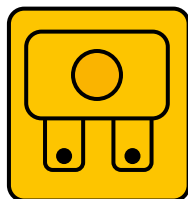
**Ryc. 31.** Oznaczenie kabla WN w pojeździe marki TESLA w miejscu jego ewentualnego przecięcia

**Źródło:** Tomasz Kołodziejczyk, CNBOP-PIB.

---

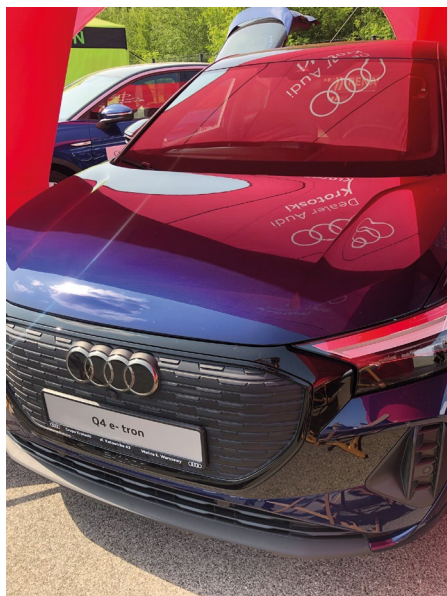
<sup>79</sup> T. Hellmann, U. Cimolino, *Alternative Fahrzeugantriebe*, dz. cyt.

Niektórzy producenci w kartach ratowniczych pojazdów umieszczają informację o możliwości dezaktywacji układu WN za pomocą wyjęcia bezpiecznika ze skrzynki bezpieczników. Bezpiecznik ten jest specjalnie oznakowany.



**Ryc. 32.** Oznaczenie bezpiecznika układu WN, za pomocą którego można dezaktywować układ wysokiego napięcia

**Źródło:** KG PSP, *Standardowe zasady...*, dz. cyt.



**Ryc. 33.** Oznaczenie wyłącznika awaryjnego układu WN w Audi Q4 e-tron, znajdującego się pod pokrywą silnika

**Źródło:** Tomasz Kołodziejczyk, CNBOP-PIB.



**Ryc. 34.** Oznaczenie wyłącznika awaryjnego układu WN w VW ID.5, umieszczonego pod pokrywą silnika, w przedniej części pojazdu

**Źródło:** Tomasz Kołodziejczyk, CNBOP-PIB.



**Ryc. 35.** Oznaczenie wyłącznika awaryjnego wysokiego napięcia (tzw. zwory)

**Źródło:** KG PSP, *Standardowe zasady...*, dz. cyt.



**Ryc. 36.** Pokrywa zabezpieczająca dostęp do miejsca dezaktywacji układu WN w Nissanie Ariya

**Źródło:** Tomasz Kołodziejczyk, CNBOP-PIB.

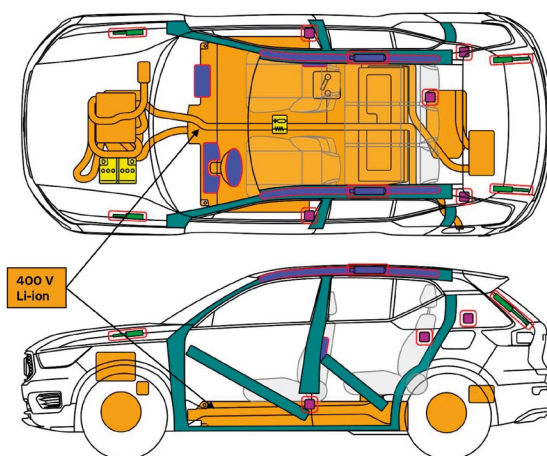
W niektórych pojazdach urządzenie do dezaktywacji układu WN zlokalizowane jest pod tylną kanapą, w części środkowej (zob. powyżej – ryc. 36). Z kolei w pojeździe np. marki Volvo model XC40 Recharge Pure Electric oraz Nissan Leaf układ WN zostanie wyłączony po wyjęciu specjalnej wtyczki zlokalizowanej w podłodze pomiędzy fotelem pasażera a tylnym siedzeniem po prawej stronie (zob. ryc. 37).



**Ryc. 37.** Oznaczenie i lokalizacja specjalnej wtyczki, dezaktywującej układ WN w samochodzie Volvo XC 40 Recharge Pure Electric

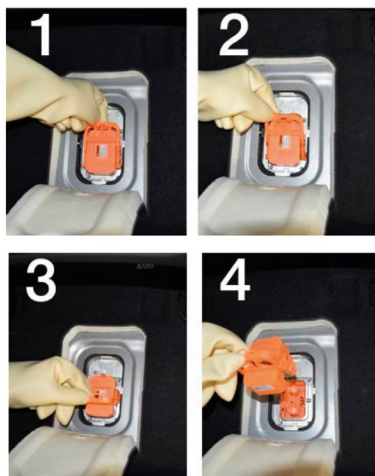
**Źródło:** [https://pspapafa-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/biuro\\_pspa\\_com\\_pl/EID2t-QZuBpHkPa9blvp6ccBYIK646y8TnMvteAvcs6EQQ?e=CGKRrk](https://pspapafa-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/biuro_pspa_com_pl/EID2t-QZuBpHkPa9blvp6ccBYIK646y8TnMvteAvcs6EQQ?e=CGKRrk).

Dokładna lokalizacja tej wtyczki została pokazana na rycinie 38, znajdującym się w karcie ratowniczej danego modelu pojazdu. Natomiast sposób wyjęcia wtyczki dezaktywacyjnej został pokazany na rycinie 39.



**Ryc. 38.** Schemat rozmieszczenia elementów systemów bezpieczeństwa oraz instalacji NN i WN w Volvo XC 40 Recharge Pure Electric

**Źródło:** [https://pspapafa-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/biuro\\_pspa\\_com\\_pl/EID2t-QZuBpHkPa9blvp6ccBYIK646y8TnMvteAvcs6EQQ?e=CGKRrk](https://pspapafa-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/biuro_pspa_com_pl/EID2t-QZuBpHkPa9blvp6ccBYIK646y8TnMvteAvcs6EQQ?e=CGKRrk).



**Ryc. 39.** Sposób wyjęcia wtyczki dezaktywacyjnej

**Źródło:** [https://pspapafa-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/biuro\\_pspa\\_com\\_pl/EID2t-QZuBpHkPa9blv-p6ccBYIK646y8TnMvteAvcs6EQQ?e=CGKRrk](https://pspapafa-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/biuro_pspa_com_pl/EID2t-QZuBpHkPa9blv-p6ccBYIK646y8TnMvteAvcs6EQQ?e=CGKRrk).

Podsumowując, nie wszyscy producenci pojazdów umożliwiają dostęp do miejsc dezaktywacji układu WN. Ci, którzy przewidują taki dostęp, umieszczają je w różnych miejscach pojazdu, a szczegółowe informacje na ten temat znajdują się w kartach ratowniczych pojazdów. Ratownicy mogą ułatwić sobie działania poprzez zasięgnięcie tych informacji z aplikacji ratowniczych, co znacznie przyczynia się do skrócenia czasu interwencji.

### Zasady postępowania

1. Przy dojeździe na miejsce zdarzenia należy ustawić pojazd w bezpiecznej odległości od strony nawietrznej – taka sama zasada jak przy gaszeniu pożaru pojazdu z napędem spalinowym.
2. Należy wyznaczyć strefę niebezpieczną.
3. W przypadku bezpośredniego zagrożenia życia osób poszkodowanych należy przeprowadzić ich natychmiastową ewakuację.
4. Dokonać stabilizacji pojazdu, zgodnie z zasadami opisanymi w niniejszym podrozdziale.
5. Zasadne jest przeprowadzenie każdorazowo szczegółowego rozpoznania pod kątem występowania napędu elektrycznego. W tym celu trzeba uzyskać informację co do modelu pojazdu. Zawsze należy się wspomagać wszelkimi dostępnymi źródłami informacji: karta ratownicza pojazdu, aplikacje ratownicze, pomoc stanowiska kierowania, itp.



6. Nie wolno dotykać wtyczki serwisowej celem odłączenia zasilania układu WN od baterii WN, ze względu na ryzyko porażenia prądem elektrycznym. Gdy producent danego pojazdu dopuści w karcie ratowniczej wyjęcie wtyczki serwisowej lub sytuacja będzie wymagała mechanicznego rozłączenia układu WN od baterii WN, to czynność tę należy wykonać wyłącznie w rękawicach elektroizolacyjnych (dielektrycznych) oraz z nasuniętą przyłbicą hełmu strażackiego.
7. Podczas prowadzenia działań należy mieć przygotowaną gaśnicę do ewentualnego gaszenia pożaru pojazdu i/lub linię gaśniczą do gaszenia pożaru pojazdu i chłodzenia baterii<sup>80</sup>.
8. W przypadku konieczności podniesienia pojazdu należy wyznaczyć bezpieczne punkty podparcia dla sprzętu, tak by zagwarantować brak ingerencji mechanicznej w baterię bądź elementy wysokiego napięcia. Część producentów wskazuje je w karcie ratowniczej<sup>81</sup>.
9. Po ewakuacji osób poszkodowanych należy rozważyć rozłączenie baterii 12 V, z uwagi na zasilanie z układu elektrycznego (NN) fotela kierowcy lub pasażera.
10. Trzeba pamiętać, że uszkodzone baterie WN mogą dalej zawierać znaczną energię tzw. rozproszoną, która może stanowić duże zagrożenie dla życia i zdrowia ratowników (brak możliwości zmniejszenia rozładowania w warunkach działań ratowniczych).
11. Nigdy nie wolno przecinać przewodów WN, wtyczki serwisowej czy przebiejać baterii WN z uwagi na wysokie ryzyko porażenia prądem elektrycznym (o ile informacje danego producenta w karcie ratowniczej pojazdu nie stanowią inaczej).
12. Przy pomocy kamery termowizyjnej należy sprawdzać poziom temperatur występujących na powierzchni baterii. Gdy pomiar wykaże temperaturę otoczenia, należy przypuszczać, że nie doszło do jej wewnętrznego uszkodzenia i niestabilności termicznej, a nagłe uwolnienie ciepła jest mało prawdopodobne. Jeśli temperatura wyniesie  $\geq 50^{\circ}\text{C}$  należy kontrolować jej przebieg (za pomocą kamery termowizyjnej) i przystąpić do chłodzenia baterii wodą, celem zapobieżenia powstania zjawiska niestabilności termicznej ogniwi. Pomiar należy wykonywać co 10 minut. W przypadku, gdy reakcja nie wykazuje tendencji wzrostowej, można przerwać chłodzenie i zakończyć działania. Niemniej jednak należy obserwować baterię przez pewien czas w celu upewnienia się, czy działania przyniosły oczekiwany skutek i czy nie ma symptomów powstania zagrożenia<sup>82</sup>.

---

<sup>80</sup> KG PSP, *Standardowe zasady...*, dz. cyt.

<sup>81</sup> Tamże.

<sup>82</sup> Tamże.

13. W przypadku wycieku płynów z baterii i jej okolic, do usuwania rozlewiska cieczy należy wykorzystać dostępny sorbent.
14. Przy przekazywaniu pojazdu jego właścicielowi należy w protokole zaznaczyć potrzebę monitoringu baterii WN pod kątem wystąpienia ewentualnych negatywnych oznak, które mogły/mogły powstać wskutek jej uszkodzenia podczas wypadku.

### 6.5. Konieczność wydobywania pojazdu z wody

W odniesieniu do pojazdów całkowicie lub częściowo zanurzonych w wodzie obowiązują te same procedury, co w przypadku ich pożaru lub prowadzenia działań z zakresu ratownictwa technicznego. Wyjątkiem może być brak dezaktywacji systemu WN, który w tych warunkach może nie funkcjonować. Producenci pojazdów z napędem elektrycznym niejednokrotnie wskazują na skuteczny sposób rozładowania baterii WN poprzez zanurzenie pojazdu w wodzie słonej. W wodzie słodkiej może dojść do elektrolizy, wybuchu lub nie wystąpić żadne zjawisko. W przypadku pojazdów z napędem elektrycznym dotknięcie karoserii pojazdu nie wiąże się z ryzykiem porażenia prądem. Niewielka odległość między biegunami decyduje o pierwotnym przepływie prądu, co nie powoduje zwiększonego ryzyka porażenia prądem w przypadku instalacji WN, która jest zanurzona w wodzie.

#### Zasady postępowania

1. Należy postępować jak w przypadku pojazdu z napędem spalinowym.
2. W sytuacji bezpośredniego zagrożenia życia osób poszkodowanych należy bezzwłocznie przeprowadzić ich ewakuację.
3. W przypadku kiedy nie ma możliwości ewakuacji, a istnieje możliwość uratowania życia ludzkiego, należy wyciągnąć pojazd z osobami poszkodowanymi.
4. W celu ograniczenia skażenia środowiska naturalnego, zasadne jest zabezpieczenie wycieków płynów eksploatacyjnych przed rozprzestrzenieniem się ich na powierzchnię wody.
5. Gdy po przeprowadzeniu rozpoznania wiadomo, że mamy do czynienia z sytuacją działań humanitarnych, można przystąpić do wydobywania pojazdu z wody z osobami poszkodowanymi.
6. W przypadku działań związanych z ewakuacją pojazdu należy wyznaczyć bezpieczne punkty mocowania dla sprzętu, które gwarantują brak ingerencji mechanicznej w baterię bądź elementy wysokiego napięcia, celem obniżenia ryzyka porażenia prądem.

7. Jeżeli od momentu znalezienia się osób poszkodowanych pod wodą mija 120 minut przyjmuje się, że są to działania humanitarne. W przypadku braku informacji na temat czasu zatopienia pojazdu, za początek wpływającego czasu należy przyjąć czas zgłoszenia<sup>83</sup>.
8. Należy przeprowadzić dezaktywację i zabezpieczenie pojazdu zgodnie z zasadami określonymi w rozdziałach 6.1, 6.2, 6.3.

### 6.6. Retencja wody popożarowej

W przypadku pożaru pojedynczego pojazdu z baterią litowo-jonową, rozcieńczenie substancji niebezpiecznych w wodzie popożarowej jest dość duże, z uwagi na długi czas gaszenia oraz ciągłe podawanie prądów wody. Z tego względu nadaje się ona najczęściej do odprowadzenia przez system kanalizacji drogowej. Sytuacja może być zgoła odmienna w przypadku gaszenia pojazdu przy wykorzystaniu kontenera z wodą. Zalanie pojazdu do wysokości podłogi oraz pozostawienie go w nim przez wiele godzin powoduje silne zanieczyszczenie wody, co może przyczynić się do podniesienia kosztów utylizacji wody użytej do gaszenia baterii. Po kilkudziesięciu godzinach od momentu ugaszenia pojazdu, wodę można przepompować do oddzielnego zbiornika, dokonać badania poziomu zanieczyszczeń i na tej podstawie podjąć decyzję w sprawie dalszej jej utylizacji<sup>84</sup>.

### 6.7. Przekazanie miejsca zdarzenia

Należy rozpatrywać dwa przypadki:

- bez uszkodzenia lub zapalenia się baterii,
- z uszkodzeniem lub zapaleniem się baterii.

W obu sytuacjach należy przekazać miejsce zdarzenia właścielowi lub użytkownikowi zgodnie z obowiązującymi zasadami, sporządzając właściwy dokument przekazania, tj. *Potwierdzenie przekazania terenu, obiektu lub mienia objętego działaniem ratowniczym*.

W pierwszym przypadku działania powinny skupić się na przekazaniu osobie przejmującej miejsce zdarzenia informacji o fakcie prowadzenia działań ratowniczych z pojazdem o napędzie elektrycznym. Dodatkowo trzeba poinformować ją o potencjalnych zagrożeniach i sposobie postępowania, w tym o konieczności:

---

<sup>83</sup> Tamże.

<sup>84</sup> T. Hellmann, U. Cimolino, *Alternative Fahrzeugantriebe*, dz. cyt.



- dozoru pojazdu ze względu na ryzyko wystąpienia samozapalenia baterii;
- umieszczenia pojazdu na otwartej przestrzeni, w odległości co najmniej 5 m od innych pojazdów i palnych materiałów lub budowli;
- pozyskania informacji o bezpiecznych sposobach holowania lub transportu danego modelu pojazdu, ze względu na odzyskiwanie energii podczas obrotu kół<sup>85</sup>.

W drugim przypadku również należy przekazać osobie przejmującej miejsce zdarzenia informację o fakcie prowadzenia działań z pojazdem o napędzie elektrycznym oraz dodatkowo należy poinformować ją o potencjalnych zagrożeniach i sposobie postępowania, w tym o:

- konieczności dozoru pojazdu ze względu na duże ryzyko wystąpienia nawrotu pożaru lub samozapalenia baterii;
- konieczności umieszczenia pojazdu na otwartej przestrzeni, w odległości co najmniej 5 m od innych pojazdów i palnych materiałów lub budowli i zapewnienia wentylacji kubatury pojazdu;
- konieczności pozyskania informacji o bezpiecznych sposobach holowania lub transportu danego modelu pojazdu, ze względu na odzyskiwanie energii podczas obrotu kół;
- potrzebie zabezpieczenia terenu przechowywania pojazdu przed przedostaniem się do środowiska zawartości baterii (elektrolitu);
- potrzebie korzystania z indywidualnych środków ochrony osobistej chroniących przed bezpośrednim kontaktem z wyciekającymi z pojazdu płynami, zwłaszcza elektrolitem z baterii;
- potrzebie utylizacji zanieczyszczonej lub uszkodzonej baterii przez wyspecjalizowaną firmę<sup>86</sup>.

Powyższe działania są istotne z punktu bezpieczeństwa pożarowego, ponieważ zanotowano przypadki powstania pożaru w pojazdach z napędem elektrycznym po kilkudziesięciu godzinach od czasu wypadku.

---

<sup>85</sup> KG PSP, *Standardowe zasady...*, dz. cyt.

<sup>86</sup> Tamże.

---

## ZASADY BEZPIECZNEGO POSTĘPOWANIA RATOWNIKÓW

Wydane przez Komendę Główną PSP *Standardowe zasady postępowania podczas zdarzeń z samochodami z napędem elektrycznym oraz hybrydowym*<sup>87</sup> definiują zasady postępowania podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z napędem elektrycznym i hybrydowym oraz stanowią tzw. kompendium wiedzy dla ratowników. W niniejszym rozdziale zawarte zostały informacje dotyczące prowadzenia działań ratowniczych, a także zachowań użytkowników pojazdów elektrycznych i hybrydowych. Stanowią one uzupełnienie wspomnianych powyżej zasad postępowania. Trzeba zaznaczyć, że 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 sprzętu gaśniczego, stanowiącego wyposażenie pojazdu. Zasady postępowania są zbieżne z działaniami w przypadku pojazdu spalinowego i w tym przypadku również ważne jest zabezpieczenie miejsca wypadku oraz ewakuacja, udzielenie pomocy osobom poszkodowanym, z uwzględnieniem własnego bezpieczeństwa. W zdarzeniach z udziałem pojazdu z napędem elektrycznym należy przede wszystkim sprawdzić, czy można go wyłączyć lub wyjąć kluczyk. W przypadku braku pewności, czy pojazd nadal działa, zaleca się zwrócenie uwagi na to, czy doszło do aktywacji poduszki powietrznej. Przedstawiciel Straży Pożarnej Oldenburg w swojej oficjalnej wypowiedzi podkreślił: „jeśli widzisz, że poduszki powietrzne zostały uruchomione w samochodzie, możesz być pewien lub prawie pewien, że poza akumulatorem podstawowym nie ma już energii, nawet jeśli kierunkowskazy i światła awaryjne nadal działają”<sup>88</sup>. W tym przypadku akumulator napędowy wyłączy się automatycznie.

---

<sup>87</sup> KG PSP, *Standardowe zasady...*, dz. cyt.

<sup>88</sup> J. Zboina, J. Kielin, G. Bugaj, J. Zalech, D. Bąk, *Działania ratowniczo-gaśnicze...*, dz. cyt.

Mimo że pojazdy elektryczne posiadają specjalistyczne wyposażenie w zakresie bezpieczeństwa elektrycznego, które obniża ryzyko porażenia prądem, to jednak nie można go w stu procentach wykluczyć. Dlatego dla zasady nie należy dotykać elementów systemu wysokiego napięcia (takich jak pomarańczowe przewody lub elementy napędu). Ponadto podczas prowadzenia działań ratowniczych uwzględnić należy niebezpieczeństwo związane z powstaniem pożaru i/lub wybuchem baterii WN. Jeżeli pojazd jeszcze nie płonie, ratownicy mogą ostrożnie do niego podejść, natomiast jeśli pojazd już się zapalił, działania powinny być zawsze prowadzone z użyciem sprzętu ochrony dróg oddechowych i w pełnym umundurowaniu specjalnym – niezależnie od tego, czy jest to pojazd z napędem alternatywnym, czy spalinowym. Należy pamiętać, iż niektóre materiały znajdujące się w bateriach litowo-jonowych 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, prowadzącego do zjawiska niestabilności termicznej<sup>89</sup>.

### **Ogólne zalecenia taktyczne dotyczące prowadzenia działań ratowniczych**

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 należy ustawić poza strefą zagrożenia, tak aby zabezpieczone miejsce prowadzonych działań uwzględniało kierunek wiatru bądź jego zmianę (od strony nawietrznej).
2. Ratowanie ludzi i gaszenie pożaru należy prowadzić z użyciem sprzętu ochrony układu oddechowego i ubrania specjalnego. W przypadku konieczności prowadzenia działań przy samej baterii lub w jej bezpośrednim sąsiedztwie, może zaistnieć konieczność rozszerzenia środków ochrony indywidualnej.
3. Należy minimalizować liczbę ratowników przebywających w strefie zagrożenia, w miarę możliwości zachować bezpieczny odstęp.
4. Należy wydzielić strefę działania i wyprowadzić poza nią wszelkie osoby postronne.
5. W miarę możliwości należy monitorować temperaturę za pomocą kamery termowizyjnej lub pirometru; jeśli obserwuje się szybki wzrost temperatury, należy spodziewać się zjawiska niestabilności termicznej (powyżej 50°C).
6. Podstawowym środkiem gaśniczym jest woda, ponieważ nie tylko gasi pożar, ale również chłodzi baterię, przeciwdziałając jej dalszemu rozkładowi. Rozpuszcza też i rozcieńcza niektóre produkty rozkładu termicznego. Należy wziąć

---

<sup>89</sup> Tamże.

pod uwagę, że ze względu na konstrukcyjne ułożenie baterii litowo-jonowych w modułach, często nie jest możliwa całkowita penetracja wody gaśniczej do ich wnętrza. Dlatego też najczęściej nie można osiągnąć całkowitego schłodzenia baterii. W przypadku proszków gaśniczych nie można mówić o ich dużej skuteczności ze względu na brak możliwości penetracji wewnątrz samej baterii, jak również brak właściwości chłodzących, kluczowych w tego typu działaniach. W razie podejrzenia wystąpienia kontaktu skóry z kwasem fluorowodorowym należy skonsultować się z lekarzem. Szczególnie należy pamiętać, że woda popożarowa może zawierać szkodliwe związki chemiczne. Wskazane jest, aby zabezpieczyć jej przenikanie do kanalizacji, gruntu<sup>90</sup>.

Rozpoznanie należy przeprowadzać, pamiętając o:

- wyznaczeniu strefy niebezpiecznej;
- dokonaniu oględzin zewnętrznych pojazdu, oględzin pod pojazdem – czy nie wpływają płyny;
- sprawdzeniu gotowości pojazdu (ang. *ready, go, power on*) w zestawie wskaźników (może informować o stanie pracy);
- niedemontowaniu, nieotwieraniu, ani niedotykiwaniu żadnych komponentów instalacji WN;
- w przypadku pożaru w zasobniku energii – ugaszaniu pożaru przy użyciu wystarczającej ilości wody, z zachowaniem odległości gaszenia rekomendowanej przez normę DIN VDE 0132 (tj. podczas podawania prądu zwartego z odległości 5 m, przy prądzie rozproszonym zachowanie odległości 1 m – rekomenduje się 2 m). Woda gaśnicza musi dotrzeć również do urządzenia magazynującego energię (baterii WN);
- kodzie QR (kodzie alfanumerycznym) – dostępie do informacji<sup>91</sup>;
- sprawdzeniu wszystkich elementów pod kątem uszkodzeń;
- przekazaniu wszystkim ratownikom informacji o rozpoznanych zagrożeniach<sup>92</sup>.

Podczas każdego zdarzenia 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

---

<sup>90</sup> Tamże.

<sup>91</sup> [https://pl.wikipedia.org/wiki/Kod\\_alfanumeryczny](https://pl.wikipedia.org/wiki/Kod_alfanumeryczny) [dostęp: 23.05.2023].

<sup>92</sup> Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 26 czerwca 2019 r.

środki wymagane do bezpiecznego przeprowadzenia działań w sytuacjach awaryjnych w miejscu pożaru (np. specjalistyczny personel z przedsiębiorstwa komunikacji miejskiej – gdy pali się autobus zasilany energią elektryczną). W przypadku wykorzystania kontenera oraz zalania pojazdu wodą, należy zadysponować na miejsce SGRChem (poziom gotowości B) w celu pobrania próbek wody. Próbkę wody muszą następnie zostać przekazane do siedziby SGRChem w Warszawie lub Poznaniu, w celu przeprowadzenia analizy składu powstałego odpadu<sup>93</sup>.

Z eksploatacją pojazdów wyposażonych w inne niż znane nam dotąd napędy wiążą się pewne obawy wśród ich użytkowników, jak i ratowników. Dotyczą one własnego bezpieczeństwa oraz niespotkanych dotąd, istotnych zagrożeń (jak np. ryzyko porażenia prądem). Obawy te są tylko częściowo uzasadnione. Analiza danych statystycznych z państw, w których 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 w odniesieniu do zdarzeń z udziałem pojazdów z zastosowaniem paliw tradycyjnych (benzyna, olej napędowy).

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 w takich pojazdach rozwiązania i technologie bezpieczeństwa mają na celu minimalizowanie 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. Pamiętać należy, iż baterie nadal zawierają napięcie – pomimo wyłączenia systemu wysokiego napięcia. Samorozładowanie występuje tylko w ograniczonym stopniu w przypadku wniknięcia wody.

---

<sup>93</sup> KG PSP, *Standardowe zasady...*, dz. cyt.

7. Specjalne dodatki do środków gaśniczych nie są konieczne przy zwalczaniu pożarów baterii wysokiego napięcia.
8. Należy przestrzegać odstępów między prądownicami strumieniowymi a źródłem prądu (instalacja WN) zgodnie z zaleceniami normy DIN VDE 0132<sup>94</sup>.
9. Napięcie instalacji elektrycznej w nowych pojazdach (np. Audi A8) może wynosić 48 V.

Aby działania ratownicze były skuteczne, należy zapewnić odpowiednie przygotowanie ratowników i ich dowódców. Rozumie się przez to nie tylko właściwe, adekwatne do ryzyka wyposażenie techniczne, ale również sprawność fizyczną ratowników i kompetencje dowódców. Duża różnorodność stosowanych w pojazdach rozwiązań technicznych, które mają wpływ na bezpieczeństwo osób poszkodowanych i samych ratowników, wymaga wsparcia dla kierującego działaniami ratowniczymi 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 jednak KDR z odpowiedzialności za skuteczność działań. Niedopuszczalne jest również zaprzestanie działań przez ratowników w przypadku braku odpowiednich informacji, choć ich jakość i skuteczność nie zawsze są na odpowiednim poziomie z powodu niedoboru informacji. Dlatego też wskazówki zawarte w niniejszym podręczniku są wsparciem dla osób kierujących działaniami ratowniczymi, nie stanowią natomiast wykładni ich działania.

Z uwagi na duży postęp technologiczny w dziedzinie elektromobilności funkcjonariusze PSP oraz druhowie OSP muszą uczestniczyć we wszelkich szkoleniach, które przyczynią się do formułowania poprawnych zamiarów taktycznych, wzrostu bezpieczeństwa ich działań czy zwiększenia skuteczności prowadzonych działań.

Dużą pomocą są wspomniane powyżej karty ratownicze, które w ustandaryzowany sposób dostarczają informacji o najważniejszych systemach bezpieczeństwa znajdujących się w pojazdach. Są one 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. W kartach tych znajdują się również kluczowe dla ratowników informacje na temat przeprowadzenia sprawnej akcji ratowniczej, 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<sup>95</sup> lub niemieckiej organizacji motoryzacyjnej ADAC<sup>96</sup>.

---

<sup>94</sup> DIN VDE 0132:2018-07 Firefighting and technical assistance in or near electrical installations.

<sup>95</sup> <https://kartyratownicze.pl> [dostęp: 23.05.2023].

<sup>96</sup> Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V. (ADAC), <http://www.rescuesheet.info/> [dostęp: 23.05.2023].

Możliwe jest też skorzystanie z aplikacji dostępnych na smartfony, tablety lub komputery. Międzynarodowy Komitet Techniczny Prewencji i Zwalczania Pożarów (CTIF) rekomenduje również wykorzystanie Euro Rescue<sup>97</sup> oraz Rescue Code<sup>98</sup>.



**Ryc. 40.** Kod QR do instrukcji korzystania z aplikacji Euro Rescue

**Źródło:** CTIF – The International Association of Fire & Rescue Services <https://www.ctif.org/news/guide-how-use-euro-rescue-app>.

Na uwagę zasługuje również komercyjna aplikacja firmy Moditech<sup>99</sup>. Darmowa aplikacja Euro Rescue jest rozwijana przy wsparciu Euro NCAP<sup>100</sup>. Oferuje 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 jej 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. Dostępne są wersje na Androida i iOS<sup>101</sup>.

Z kolei 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: samochodach i furgonetkach, ciężarówkach, autobusach, pojazdach specjalnych, jednośladach, kamperach, pojazdach rolniczych, pojazdach budowlanych oraz łodziach. Możliwe jest również skanowanie kodów QR. Oprogramowanie występuje w kilku wersjach:

- dla ratowników;
- dla pomocy drogowej;

---

<sup>97</sup> 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: 23.05.2023].

<sup>98</sup> CTIF – The International Association of Fire & Rescue Services, Rescue Code, <https://ctif.org/associate-member/rescue-code> [dostęp: 23.05.2023].

<sup>99</sup> Moditech Rescue Solutions, <https://www.moditech.com> [dostęp: 23.05.2023].

<sup>100</sup> Euro NCAP, <https://www.euroncap.com/> [dostęp: 23.05.2023].

<sup>101</sup> <https://www.rescuecode.fr/> [dostęp: 23.05.2023].

- 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).

Zawiera ona ogólne opisowe informacje o pojeździe, sposobach dezaktywacji systemów bezpieczeństwa, postępowania w przypadku pożaru oraz po zanurzeniu pojazdu w wodzie. Jest kompatybilna z: Android, iOS, Win 7&10<sup>102</sup>.



**Ryc. 41.** Kod QR do strony Moditech Rescue Solutions, z której można pobrać aplikację Crash Recovery System

**Źródło:** Moditech Rescue Solutions <https://www.moditech.com/support/software-downloads/>.

---

<sup>102</sup> CTIF – The International Association of Fire & Rescue Services, Rescue Code, <https://ctif.org/associate-member/rescue-code> [dostęp: 23.05.2023].



---

## PODSUMOWANIE

Rosnąca liczba pojazdów z elektrycznymi napędami alternatywnymi stanowi wyzwanie dla ochrony przeciwpożarowej, zarówno w kontekście prowadzenia działań ratowniczych z udziałem tych pojazdów, jak i ich parkowania oraz ładowania w obiektach budowlanych. Przeprowadzona analiza literatury przedmiotu, dostępnych wyników badań naukowych i testów pożarowych z udziałem baterii litowo-jonowych i pojazdów z napędem elektrycznym, wykonanych m.in. w Austrii, Niemczech, Norwegii, Szwajcarii, Wielkiej Brytanii i Stanach Zjednoczonych, a także badań i obserwacji prowadzonych przez Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowym Instytucie Badawczym oraz inne podmioty, upoważnia do sformułowania wniosku, iż zagrożenia podczas prowadzenia działań ratowniczych przy zdarzeniach z udziałem pojazdów z napędami elektrycznymi nie są większe niż w przypadku pojazdów z napędem spalinowym. Są one jednak w pewnym zakresie inne, co wynika z odmiennego systemu zasilania zastosowanego w tych pojazdach. Zagrożenia te należy mieć na uwadze zarówno podczas prowadzenia działań ratowniczych, jak i przy określaniu wymagań dla obiektów budowlanych przeznaczonych do parkowania i ładowania pojazdów z napędem elektrycznym.

Dokonana przez CNBOP-PIB analiza literatury przedmiotu wykazała, że w przypadku pożarów pojazdów elektrycznych szybkość wydzielania ciepła – w porównaniu do pożarów podobnej wielkości pojazdów zasilanych paliwem płynnym lub gazowym – wzrasta nieznacznie. Jeżeli jednak dojdzie do pożaru całego zespołu baterii, to przez pewien czas można spodziewać się zauważalnie większej szybkości wydzielania

ciepła<sup>103</sup> i gęstego dymu<sup>104</sup>. Pożary pojazdów z napędem elektrycznym powodują jednak większą niż pożary pojazdów z silnikiem spalinowym emisję fluorowodoru<sup>105</sup>. Wyniki badań prowadzonych w 2019 roku m.in. w ramach projektu badawczego AGT 2018/006 Grupy Roboczej ds. Badań Tuneli (niem. *Arbeitsgruppe Tunnelforschung*, AGT) we współpracy ze szwajcarskimi Federalnymi Laboratoriami Materiałoznawstwa i Technologii (Empa) oraz Versuchsstollen Hagerbach AG (VSH) dowiodły również, że pożary samochodów elektrycznych z udziałem baterii litowo-jonowych typu NMC (baterie litowo-niklowo-manganowo-kobaltowe) prowadzą do nowych form emisji zanieczyszczeń i zmieniają ryzyko toksykologiczne w podziemnej infrastrukturze. Przedmiotowe badania wykazały, że podczas pożaru pojazdu elektrycznego mogą wydzielać się dodatkowe substancje toksyczne i częściowo rakotwórcze, np. sole fosforanu fluoru w elektrolicie, które są niepalne i niebezpieczne dla zdrowia, oraz że ubrania ochronne strażaków biorących udział w działaniach gaśniczych z udziałem pojazdów z napędem elektrycznym mogą zostać silnie zabrudzone przez zanieczyszczenia emitowane z objętych pożarem baterii<sup>106</sup>. Substancje wydzielające się podczas pożarów pojazdów z napędem elektrycznym rozpuszczają się również w wodzie wykorzystywanej do gaszenia i chłodzenia baterii tych pojazdów (przewodzone badania potwierdzały wysokie stężenia litu oraz metali ciężkich: kobaltu, niklu i manganu), dlatego zalecana jest jej retencja<sup>107</sup>.

<sup>103</sup> P. J. Sturm, P. Föbleitner, D. Fruhwirt, i in., *BRAFA...*, dz. cyt.; S. Klüh, *Brandbekämpfung von Elektrofahrzeugen in Garagen*, "Feuerwehr Fachjournal" Dezember, 2021; H. R. Boehmer, M. S. Klassen, S. M. Olenick, *Fire Hazard Analysis of Modern Vehicles in Parking Facilities*, "Fire Technology" 2021, 57, 2097–2127; A. Dorsz, M. Lewandowski, *Analysis of Fire Hazards Associated with the Operation of Electric Vehicles in Enclosed Structures*, "Energies" 2022, 15, 11; H. Boehmer, M. Klassen, S. Olenick, *Modern Vehicle Hazards in Parking Structures and Vehicle Carriers*, Fire Protection Research Foundation, Maryland 2020.

<sup>104</sup> Ingenieure für angewandte Brandschutzforschung GmbH, Brandschutzleitfaden für Parkgaragen, Version: 1.0, Januar, Berlin 2023; Ingenieure für angewandte Brandschutzforschung GmbH, Fire Protection Guideline for Car Parks, Version: 2.0, February, Berlin 2023.

<sup>105</sup> P. J. Sturm, P. Fleitner, D. Fruhwirt i in., *BRAFA...*, dz. cyt.; I. Paper, *A Review of Battery Fires in Electric Vehicles*, "Fire Technology" 2020, 56, 1361–1410; J. Hynynen, O. Willstrand, *Environmental Impact of Combustion Gases and Water Run-offs from Electric Vehicle Fires Full-scale fire tests of electric-and internal-combustion engine vehicles*, w: *Book of abstracts Nordic Fire & Safety Days*, A. Dederichs (red.), Nordic Fire and Safety Days 2022 – Book of Abstracts, RISE Research Institutes of Sweden, Goteborg 2022, s. 44; J. Wedel Jensen, F. Markert, *Charging stations for electric vehicles in sub terrain carparks. A study on the extent of emission of hydrogen fluoride gasses from fires in lithium-ion batteries* w: *Book of abstracts Nordic Fire & Safety Days*, A. Dederichs (red.), Nordic Fire and Safety Days 2022 – Book of Abstracts, RISE Research Institutes of Sweden, Goteborg 2022, s. 75–76; A. Lecocq, M. Bertana, B. Truchot, G. Marlair, *Comparison of the Fire Consequences of an Electric Vehicle and an Internal Combustion Engine Vehicle* w: *Proceedings from 2nd International Conference on Fires in Vehicles – FIVE 2012*, P. Andersson, B. Sundström (red.), SP Technical Research Institute of Sweden, Borås 2012, s. 183–193.

<sup>106</sup> L. D. Mellert, U. Welte, M. Tuchschnid, M. Held, M. Hermann, M. Kompatscher, M. Tesson, L. Nacheff, *Risk minimisation of electric vehicle fires in underground traffic infrastructures*, Federal Department of the Environment, Transport, Energy and Communications DETEC, Bern 2020.

<sup>107</sup> M. Held, M. Tuchschnid, M. Zennegg, i in., *Thermal runaway and fire of electric vehicle lithium-ion battery and contamination of infrastructure facility*, "Renewable and Sustainable Energy Reviews: 2022, 165, 112474;

W wyniku badań przeprowadzonych w Austrii w latach 2019–2021, w ramach projektu badawczego BRAFA, wykazano także, iż w odniesieniu do konstrukcji i materiałów budynku, w którym może dojść do pożaru pojazdu elektrycznego – pomimo nieco większego jego obciążenia ogniowego – nie ma istotnej różnicy pomiędzy pożarem pojazdu elektrycznego a pożarem pojazdu spalinowego. Przeprowadzone badania dowiodły również, że woda jest sprawdzonym środkiem gaśniczym ze względu na jej efekt chłodzący, jednak ugaszenie pożaru pojazdu elektrycznego wymaga jej dużej ilości (potrzeba podawania wody przez dłuższy czas, celem chłodzenia baterii)<sup>108</sup>.

W ramach prowadzonych w różnych państwach badań naukowych i testów pożarowych ocenie poddawano skuteczność gaszenia baterii litowo-jonowych i samochodów z napędem elektrycznym różnymi metodami i systemami. Efektywność technologii wysokociśnieniowej mgły wodnej w gaszeniu baterii litowo-jonowych oraz pojazdów z napędem elektrycznym potwierdzono m.in. badaniami prowadzonymi w ramach realizowanego w Niemczech projektu badawczego SUVEREN – Erhöhung der Sicherheit in unterirdischen urbanen Räumen bei Einsatz neuer Energieträger. Wykazały one, że system wysokociśnieniowej mgły wodnej chroni nie tylko sąsiednie pojazdy, ale również konstrukcję stropu<sup>109</sup>. Przeprowadzone w ramach projektu SUVEREN testy pożarowe wykazały również, że skuteczność gaśnicza może zostać osiągnięta także przy użyciu innych środków gaśniczych, np. niektórych gazów obojętnych<sup>110</sup>. Z kolei przeprowadzone w Austrii badania z użyciem lanc gaśniczych (do bezpośredniego chłodzenia modułów w obudowie baterii samochodu elektrycznego) dowiodły, że zastosowanie tego narzędzia stanowi skuteczną metodę gaszenia pożarów pojazdów elektrycznych, ale wymaga odpowiedniego przygotowania i wyszkolenia strażaków (niewłaściwa obsługa lancy gaśniczej może spowodować porażenie strażaka prądem elektrycznym). W ramach przedmiotowych badań zaobserwowano również, że zastosowanie koca gaśniczego dedykowanego do gaszenia pożaru pojazdu z napędem elektrycznym nie wnosi istotnej wartości, gdy bateria samochodu jest już objęta pożarem. Przy nakładaniu koca istotne jest bowiem jak najszczelniejsze jego nałożenie (bez poduszki powietrznej pomiędzy kocem a pojazdem), a w przypadku pożaru baterii jest to bardzo trudne ze względu na dynamikę pożaru (silne płomienie przy ziemi) oraz samowystarczalność tlenową baterii<sup>111</sup>.

---

L.D. Mellert i in., *Risk minimization...*, dz. cyt.; *Brandschutzleitfaden für Parkgaragen*, Ingenieure für angewandte Brandschutzforschung GmbH, *Brandschutzleitfaden für Parkgaragen*, Version: 1.0, Januar, Berlin 2023; Ingenieure für angewandte Brandschutzforschung GmbH, *Fire Protection Guideline for Car Parks*, Version: 2.0, February, Berlin 2023.

<sup>108</sup> P.J. Sturm i in., *BRAFA...*, dz. cyt.; I. Paper, *A Review of Battery Fires in Electric Vehicles...*, dz. cyt.

<sup>109</sup> P.J. Sturm i in., *BRAFA...*, dz. cyt.; S. Klüh; Leismann F., *Brandschutz...*, dz. cyt.

<sup>110</sup> S. Klüh, *Brandbekämpfung...*, dz. cyt.

<sup>111</sup> P.J. Sturm i in., *BRAFA...*, dz. cyt.

Z kolei badania przeprowadzone w Niemczech w ramach projektu realizowanego przez Instytut Ochrony Przeciwpożarowej i Katastrof (niem. *Institut für Brand- und Katastrophenschutz*) w Heyrothsberge wykazały, że istnieje potrzeba przeprowadzenia większej liczby testów, aby pokazać różnice podczas gaszenia pożaru pojazdu z napędem elektrycznym w pełni rozwiniętego i we wstępnej jego fazie rozwoju. Na podstawie wykonanych 12 testów gaśniczych z pojazdami elektrycznymi przedstawiono ogólny wniosek, że przybywający na miejsce zdarzenia ratownicy każdorazowo muszą być przygotowani na nowy scenariusz działań, gdyż nawet w warunkach ćwiczebnych nie udało się odtworzyć tych samych warunków pożarowych we wszystkich przypadkach (zob. rozdział 6.1)<sup>112</sup>.

Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowy Instytut Badawczy również prowadziło badania w zakresie gaszenia pożarów pojazdów elektrycznych i baterii litowo-jonowych. Ich celem była ocena skuteczności zastosowanych metod i środków gaśniczych w gaszeniu pożarów różnych typów baterii litowo-jonowych. Badania przeprowadzono na modułach wykonanych w technologii NMC (baterie litowo-niklowo-manganowo-kobaltowe) i LTO (baterie litowo-tytanowe), przy użyciu różnych technik gaszenia (np. jeden lub wiele punktów podawania środka gaśniczego, prądy zwarte i rozproszone) oraz różnych systemów gaśniczych, wykorzystujących jako środek gaśniczy wodę, mieszaniny specjalne (np. na bazie wody i wermikulitu) oraz koce gaśnicze wykonane z włókna szklanego i płachty gaśnicze dedykowane do pożarów baterii litowo-jonowych. Przeprowadzone badania dowiodły, że moduły wykonane w technologii NMC palą się gwałtowniej – w porównaniu z modułami LTO – i są trudniejsze do ugaszenia, a najefektywniejszym środkiem tłumienia pożaru okazała się woda. Badania ujawniły również, że w trakcie rozkładu termicznego ogniwi wydzielają się gwałtownie znaczne objętości toksycznego dymu, który ze względu na skład wykazuje także właściwości palne. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono także, że w przypadku wystąpienia symptomów mogących spowodować pożar ogniwi, należy przeprowadzić bezwzględną ewakuację osób do odrębnej strefy pożarowej lub na zewnątrz budynku oraz że należy rozważyć zbieranie wody wykorzystywanej do gaszenia i chłodzenia baterii litowo-jonowych z uwagi na występujące w niej zanieczyszczenia.

Kolejne badania prowadzone przez CNBOP-PIB miały na celu akwizycję wybranych parametrów pożarowych w zakresie: temperatur, strumieni promieniowania cieplnego oraz zebrania materiału filmowego i zdjęciowego (w paśmie widzialnym i promieniowania podczerwonego IR). Badania przeprowadzono dla dwóch scenariuszy pożarów pojazdów symulujących pojazd elektryczny, zlokalizowanych w trzystanowiskowym

---

<sup>112</sup> M. Neske i in., *Evaluierung...*, dz. cyt.

obiekcie odwzorowującym pomieszczenie garażu. Pierwszy scenariusz przewidywał pożar pojazdu elektrycznego z udziałem automatycznie uruchomionego miejscowego systemu gaśniczego, składającego się z rurociągów rozprowadzających wodę, systemu sterowania, zasilania w wodę, detekcji pożaru oraz zraszaczy, natomiast drugi dotyczył pożaru pojazdu elektrycznego bez udziału systemu gaśniczego. Wyniki przeprowadzonych testów upoważniają do wniosku, że efektem działania systemu gaśniczego było znaczne obniżenie wartości mierzonych parametrów (tj. temperatury i strumienia cieplnego wraz z obrazem w paśmie widzialnym oraz IR) względem pożaru odniesienia. Dzięki temu pożar rozwinął się w sposób kontrolowany i nie rozprzestrzenił się na zaparkowane obok pojazdy.

CNBOP-PIB prowadziło także dedykowane badania i testowanie płacht gaśniczych. Wyniki testowania dostępne są na stronie internetowej Instytutu w zakładce: testowanie wyrobów innowacyjnych. Specjalne badania płacht objęły trzy różne wyroby – płachty samochodowe jednorazowego i wielorazowego użytku oraz płachtę gaśniczą z włókna szklanego. Badania prowadzono według opracowanej w CNBOP-PIB indywidualnej metodyki, która polegała na przykrywaniu płachtą źródła ognia (palącej się baterii litowo-jonowej i innych materiałów palnych) oraz na pomiarach temperatury (pod i nad płachtą), promieniowania cieplnego i gazów pożarowych. Na podstawie tych badań można stwierdzić, że badane płachty ograniczają promieniowanie cieplne oraz temperaturę, co pozwala na kontrolowanie pożaru i zabezpieczenie przed jego rozprzestrzenianiem się. Badane płachty wykazały właściwości tłumiące – nie gasiły pożaru, lecz tłumily źródło ognia.

Analizowana literatura zawierała również opis zagrożeń związanych z użytkowaniem pojazdów elektrycznych oraz wyniki badań przeprowadzonych na pojazdach elektrycznych, w których doszło do pożarów. Jako główne czynniki ryzyka zagrażające bezpiecznej eksploatacji pojazdów elektrycznych wskazano:

- przeciążenie termiczne – mogące pojawić się w przypadku wystąpienia niestandardowych warunków termicznych podczas pracy baterii (standardowa i optymalna temperatura pracy baterii litowo-jonowych to 20–30°C), w wyniku czego w baterii mogą zachodzić niepożądane reakcje chemiczne, które prowadzą do jej przegrzania. Efekt ten może spowodować wystąpienie zjawiska niestabilności cieplnej baterii (ang. *thermal runaway*), i – co za tym idzie – wystąpienie pożaru;
- przeciążenie elektryczne – na skutek coraz szybszego ładowania oraz rozładowywania, w wyniku nadmiernej eksploatacji (dynamiczna jazda z nadmierną prędkością), co zwiększa prawdopodobieństwo samozapłonu ogniwa – efekt Joule’a generujący dodatkowe ciepło i niepożądane reakcje chemiczne, które mogą prowadzić do wewnętrznego zwarcia;

- uszkodzenia mechaniczne – pomimo zabezpieczenia baterii w pojeździe (w postaci obudowy) podczas wypadku możliwe jest jej uszkodzenie oraz pożar<sup>113</sup>.

Eksploatacja pojazdów wyposażonych w inne niż znane nam dotąd napędy wiąże się z licznymi obawami, o których wspomniano już w niniejszej publikacji. Nieznane dotychczas zagrożenia obejmują m.in. ryzyko: porażenia prądem, pożaru i wybuchu jego baterii. Identyfikacja tych zagrożeń sprzyja powstawaniu rozwiązań i zabezpieczeń, które minimalizują ryzyko ich zaistnienia.

Przedkładając powyższą publikację jej autorzy mają nadzieje, iż będzie ona przydatna w praktyce oceny i neutralizacji zagrożeń podczas działań ratowniczych z udziałem pojazdów elektrycznych i hybrydowych.

Jednocześnie dziękujemy w szczególności wskazanym poniżej przedstawicielom Komendy Głównej PSP, Polskiego Stowarzyszenia Paliw Alternatywnych i Instytutu Faradaya Uniwersytetu w Newcastle w Wielkiej Brytanii za współpracę, pomoc w redakcji oraz udostępnienie informacji i materiałów: st. bryg. mgr. inż. Jackowi Zalechowi, bryg. mgr. inż. Tomaszowi Jonio, st. kpt. mgr. inż. Adrianowi Kowalikowi, a także dr. Wojciechowi Mrozikowi, mgr. Maciejowi Mazurowi oraz mgr inż. Marii Majewskiej.

---

<sup>113</sup> A. Dorsz, M. Lewandowski, *Analysis...*, dz. cyt.

# ZAŁĄCZNIKI

---

Załącznik nr 1.

Budowa i zasada działania baterii litowo-jonowej

Załącznik nr 2.

Niestabilność termiczna

Załącznik nr 3.

Schemat prowadzenia działań ratowniczych podczas pożaru pojazdu z napędem elektrycznym

Załącznik nr 4.

Schemat prowadzenia działań ratowniczych podczas wypadku z udziałem pojazdu z napędem elektrycznym



Bateria litowo-jonowa składa się z ogniw, modułów i zestawów. W ogniwach, jako podstawowych elementach składowych baterii, występuje anoda i katoda, oddzielona specjalną przegradą. Całość zanurzona jest w ciekłym, łatwopalnym elektrolicie składającym się z rozpuszczalnika organicznego (np. węglańu etylenu) i rozpuszczonej w nim soli przewodzącej oraz innych substancji. Sól przewodząca to heksfluorofosforan litu (LiPF<sub>6</sub>). Wyróżniamy wiele kształtów ogniw, w tym: owalny (przypominający istniejące baterie AA, AAA), płaskie ogniwa w metalowej obudowie oraz w formie elastycznej torebki, z zewnętrzną folią aluminiową. Następnie moduł baterii składa się z określonej liczby ogniw, połączonych szeregowo i/lub równoległe, które są zamknięte w szczelnej obudowie. Celem takiego połączenia jest osiągnięcie wymaganego napięcia, wartości prądu i energii. Moduł baterii może być wyposażony w autonomiczny system chłodzenia oraz monitorowania temperatury i bezpieczeństwa. Zestaw baterii z kolei składa się z kilkunastu i więcej połączonych ze sobą szeregowo lub równoległe modułów baterii, zamkniętych w strukturze obudowy. Dodatkowo, praca baterii jest nadzorowana przez system zarządzania baterią (BMS).

Producenci pojazdów z napędem elektrycznym najczęściej korzystają z baterii litowo-jonowych, ze względu na stosunkowo niewielkie rozmiary, a zarazem dużą pojemność. Jest to rodzaj baterii, w którym jony litu podczas rozładowywania przemieszczają się z elektrody ujemnej (anody) do elektrody dodatniej (katody). Cykl jest odwrrotny w przypadku procesu ładowania baterii. Ruch jonów jest możliwy dzięki elektrolitowi<sup>14</sup>.

Rodzaje ogniw występujących w modułach baterii:

- cylindryczny – wyglądem przypominają popularne baterie AA (LR6) lub AAA (LR03);
- pryzmatyczny – posiadają kształt małego prostopadłościanu i wykorzystywane są w telefonach komórkowych, aparatach fotograficznych itp.;
- woreczkowy – kształt saszetki, zamknięty w folii lub powłoce z folii aluminiowej. Znajdują zastosowanie w bateriach samochodowych ze względu na możliwość maksymalnego wykorzystania przestrzeni w obudowie.

Elementy składowe baterii litowo-jonowej to:

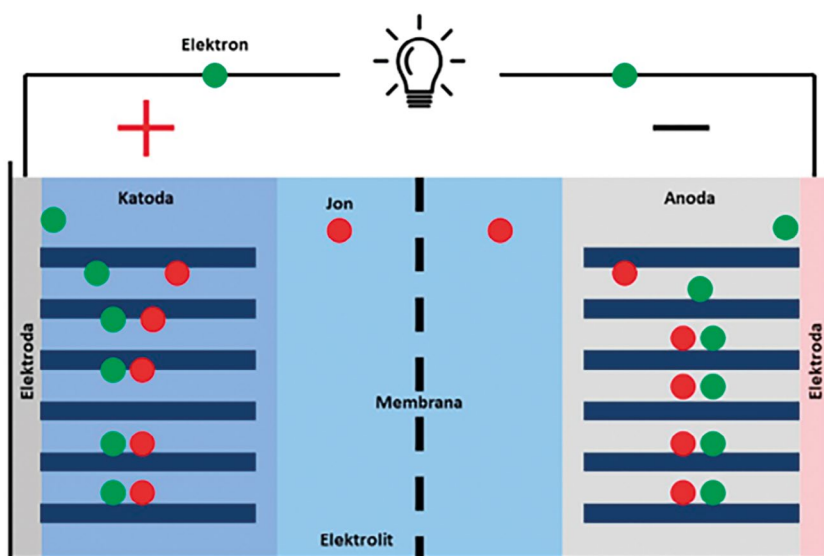
- anoda – elektroda ujemna, wykonana z grafitu lub krzemu. Pełni różną funkcję w zależności od cyklu ładowania/rozładowania;
- katoda – elektroda dodatnia, wykonana z tlenku metalu. Podobnie jak anoda pełni różną funkcję w zależności od cyklu ładowania/rozładowania;
- separator – zwykle cienka membrana, folia o strukturze porowatej umiesz-

---

<sup>14</sup> DSB, *Risk assessment...*, dz. cyt.

czona pomiędzy elektrodami, zabezpieczająca przed transportem jonów, lecz umożliwiającą przepływ elektronów. Ponadto pełni bardzo ważną funkcję tzn. zabezpiecza przed kontaktem samych elektrod (w przypadku ich styku mogłoby dojść do zwarcia elektrycznego);

- elektrolit – skład chemiczny jest różny i zależy od producenta. Zadaniem elektrolitu jest umożliwienie przemieszczania jonów pomiędzy katodą i anodą<sup>115</sup>.



**Ryc. 42.** Schemat przedstawiający budowę pojedynczego ogniwa w baterii litowo-jonowej

**Źródło:** opracowanie własne Damian Bąk, CNBOP-PIB na podstawie: DSB, *Risk assessment...*, dz. cyt., s. 41.

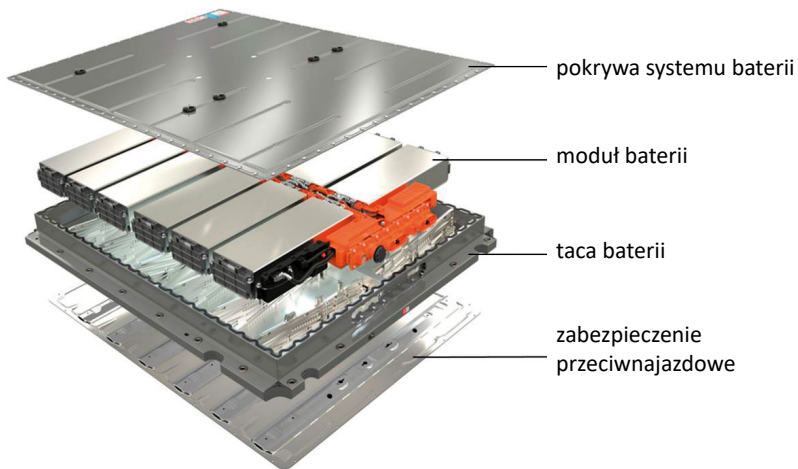
Na rynku dostępnych jest wiele rodzajów baterii litowo-jonowych. Wśród nich można wymienić:

- **LCO** – baterie litowo-kobaltowe ( $\text{LiCoO}_2$ ) – mają one zastosowanie w telefonach komórkowych, laptopach, kamerach, tabletach;
- **LMO** – baterie litowo-manganowe ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ) – wykorzystywane w sprzęcie medycznym, elektrycznych rowerach i narzędziach elektrycznych;
- **LFP** – baterie litowo-żelazowo-fosforanowe ( $\text{LiFePO}_4$ ) – występują w samochodach elektrycznych;

<sup>115</sup> Tamże.

- **NMC** – baterie litowo-niklowo-manganowo-kobaltowe – znajdują zastosowanie w elektrycznych: promach, samochodach i narzędziach;
- **LTO** – baterie litowo-tytanowe ( $\text{Li}_2\text{TiO}_3$ ) – wykorzystywane w astronautyce, bankach energii, samochodach elektrycznych, systemach podtrzymujących zasilanie typu UPS<sup>116</sup>.

W celu ochrony wrażliwych komponentów systemu baterii przed wpływami środowiska, takimi jak kurz i woda, jest on umieszczony w obudowie, która zwykle ma system chłodzenia dla wszystkich modułów baterii. W górnej części obudowy przykręcona i przyklejona jest pokrywa obudowy. Obszar krawędzi jest zabezpieczony za pomocą materiału uszczelniającego w takim stopniu, że zapobiega przenikaniu substancji zakłócających, takich jak woda lub kurz. Ze względu na umiejscowienie pod pojazdem, dolna część obudowy, zwana korytem baterii, projektowana jest tak, aby była mechanicznie bardziej odporna na uszkodzenia, albo – jak widać na rycinie 43 – wyposażona w obudowę ochronną.



**Ryc. 43.** System baterii z obudową

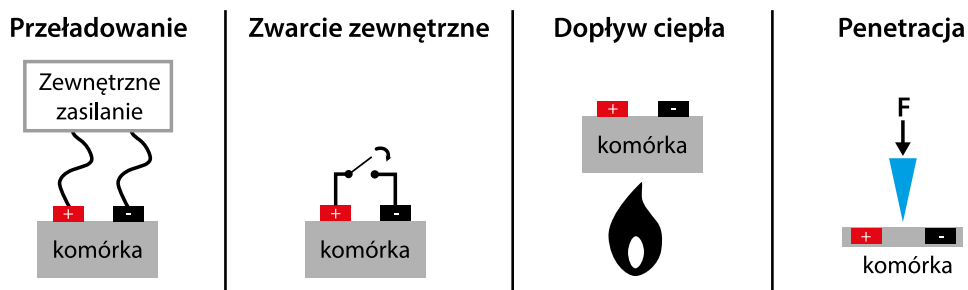
**Źródło:** M. Neske, J. Kaufmann, D. Butscher, Ch. Vogel, *Evaluierung...*, dz. cyt., s. 12.

---

<sup>116</sup> Tamże.

Ogólnie można założyć, że stabilne warunki dla baterii litowo-jonowych istnieją w temperaturze do 50°C<sup>117</sup>. Natomiast powyżej tej wartości, składniki chemiczne reagują ze sobą lub ulegają rozkładowi, uwalniając ciepło. Po tym procesie następuje wzrost temperatury wraz z towarzyszącym mu wzrostem objętości i ciśnienia. Redukcja ciśnienia odbywa się przy określonym ciśnieniu granicznym za pomocą zaworów bezpieczeństwa<sup>118</sup> z tarczami rozrywającymi. Uwolnienie ciśnienia może również nastąpić poprzez pęknięcia w obudowie komory. W niektórych przypadkach wydostają się duże ilości toksycznych i łatwopalnych gazów lub oparów. Głównymi ich składnikami są: tlenek węgla, dwutlenek węgla, wodór i krótkołańcuchowe węglowodory. Ponadto uwalniane są związki organiczne i fluoroorganiczne, a także nieorganiczne związki fosforu i fluoru.

Ta samoprzyspieszająca się reakcja z egzotermicznym rozkładem składników ogniwa nazywana jest niestabilnością termiczną – TR (ang. *thermal runaway*). Przyczyny powstania niestabilności termicznej pokazane zostały na poniższej rycinie. Zjawisko płomienia wystąpi w sytuacji pojawienia się utleniacza i źródła zapłonu. W pewnych okolicznościach czynnik utleniający może być wytwarzany przez wewnętrzne procesy rozpadu komórki już podczas TR. Tlen może być uwalniany w wyniku rozpadu materiałów katodowych zawierających tlen. W przypadku gdy uwolniona zostanie wystarczająca ilość tlenu, produkty reakcji mogą zapalić się bezpośrednio po opuszczeniu ogniwa, nawet przy braku dostępu powietrza.



**Ryc. 44.** Przyczyny niestabilności termicznej

**Źródło:** P.J. Sturm i in., *BRAFA...*, dz. cyt., s. 44.

<sup>117</sup> Różnice występują w przypadku różnych składów chemicznych komórek.

<sup>118</sup> Komórki woreczkowe zwykle nie mają tarcz rozrywających. Po zwiększeniu objętości, ciśnienie jest uwalniane przez punkty uszczelniające na krawędzi komórki.

Czynniki decydujące o przebiegu niestabilności termicznej obejmują zastosowaną w baterii chemię ogniw oraz zabezpieczenia, takie jak dodatki do elektrolitu. Udowodniono również, że stabilność termiczna ogniw litowo-jonowych, a tym samym czas do wystąpienia TR, zmniejsza się wraz ze wzrostem stanu naładowania baterii (SOC). Natomiast potencjał wystąpienia TR odpowiednio wzrasta. Ogniwa o wysokim SOC wykazują krótsze, ale bardziej gwałtowne reakcje. W tym przypadku zwiększa się również objętość uwolnionych gazów lub oparów.

W trakcie niestabilności termicznej gazy, opary lub produkty rozkładu wydostają się z ogniwa wraz z uwalnianym ciepłem. Składają się one z łatwopalnych produktów ubocznych, takich jak aerozole, opary i toksyczne gazy. Towarzyszą temu syczące i gwizdzące odgłosy oraz – w przypadku obecności otworów wentylacyjnych/nadciśnieniowych – słyszalne odgłosy „trzaskania”. Substancje te mogą zapalić się, gdy obecne jest źródło zapłonu i utleniacz.

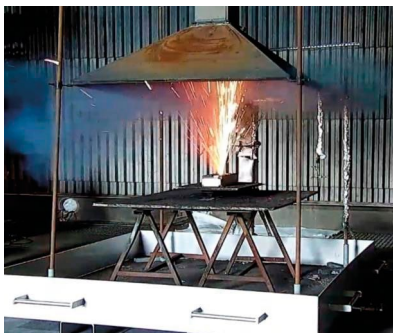


**Ryc. 45.** Wyciek gazów/oparów podczas niestabilności termicznej ogniwa cylindrycznego

**Źródło:** M. Neske, J. Kaufmann, D. Butscher, Ch. Vogel, *Evaluierung...*, dz. cyt., s. 15.

Podczas bardzo impulsywnego cyklicznego odgazowywania ulatniające się gazy i opary mogą zapalić się przy udziale zewnętrznych źródeł zapłonu, np. płomień, iskry, gorące powierzchnie. Zainicjowane przez wewnętrzne źródła zapłonu baterii, takie jak łuki elektryczne, tryskające płomień mogą wydostawać się z ogniwa, nawet bez opisanego powyżej odgazowywania.

W trakcie niestabilności termicznej żarzące się elementy baterii mogą zostać wyrzucone po zakończeniu odgazowywania z lub bez powstających płomieni. Generowany hałas przypomina wybuch fajerwerku. Poniższa rycina przedstawia wylot iskieł, który pojawił się kilka sekund po wygaśnięciu (żgących) płomieni.



**Ryc. 46.** Wylot iskier po ugaszeniu płomienia ostrogi po penetracji ogniwa pryzmatycznego (SOC > 90%) modułu baterii za pomocą pistoletu do gwoździ

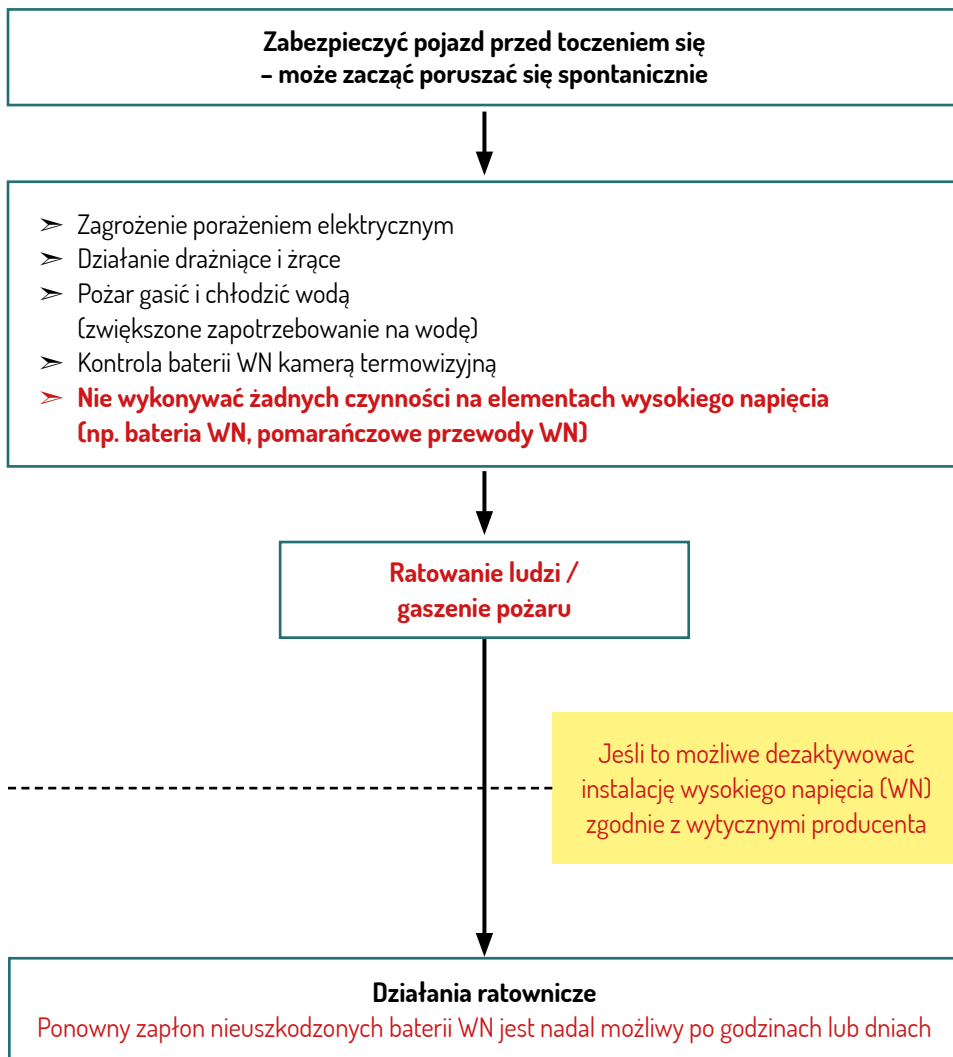
**Źródło:** M. Neske, J. Kaufmann, D. Butscher, Ch. Vogel, *Evaluierung...*, dz. cyt., s. 15.

W przypadku pożaru w nieuszkodzonym zewnątrznie układzie baterii ukryta pod kabiną pasażerską instalacja utrudnia wprowadzenie wody gaśniczej/chłodzącej. System baterii jest chroniony z boku przez progi pojazdu, a od dołu przez osłonę przeciwnajzdową lub odporną rynnę baterii. Zazwyczaj nie ma do niego dostępu z kabiny pasażerskiej. Wyjątki można znaleźć w wielu pojazdach producentów Renault i Dacia. W obecnych modelach pojazdów PHEV i BEV stosują one tzw. „dostęp strażacki”. Jest to otwór z bezpośrednim dostępem do układu baterii, w celu wprowadzenia wody gaśniczej lub chłodzącej. Otwory te stają się dostępne dla ukierunkowanego strumienia wody, jednak dopiero po wypaleniu się wnętrza pojazdu (zestawu siedzeń).

Symptomy wskazujące na objęcie systemu baterii pożarem to:

- cykliczne wydzielanie się dymu (jasno- lub ciemnoszarego) w obszarze akumulatora wysokiego napięcia;
- nietypowy zapach aromatyczny;
- syczenie, gwizdanie i grzechotanie;
- latające iskry i cykliczne płomienie;
- wykrywalny wzrost temperatury baterii (pomiar za pomocą kamery na podczerwień).

## Działania ratownicze podczas pożaru pojazdu z napędem elektrycznym

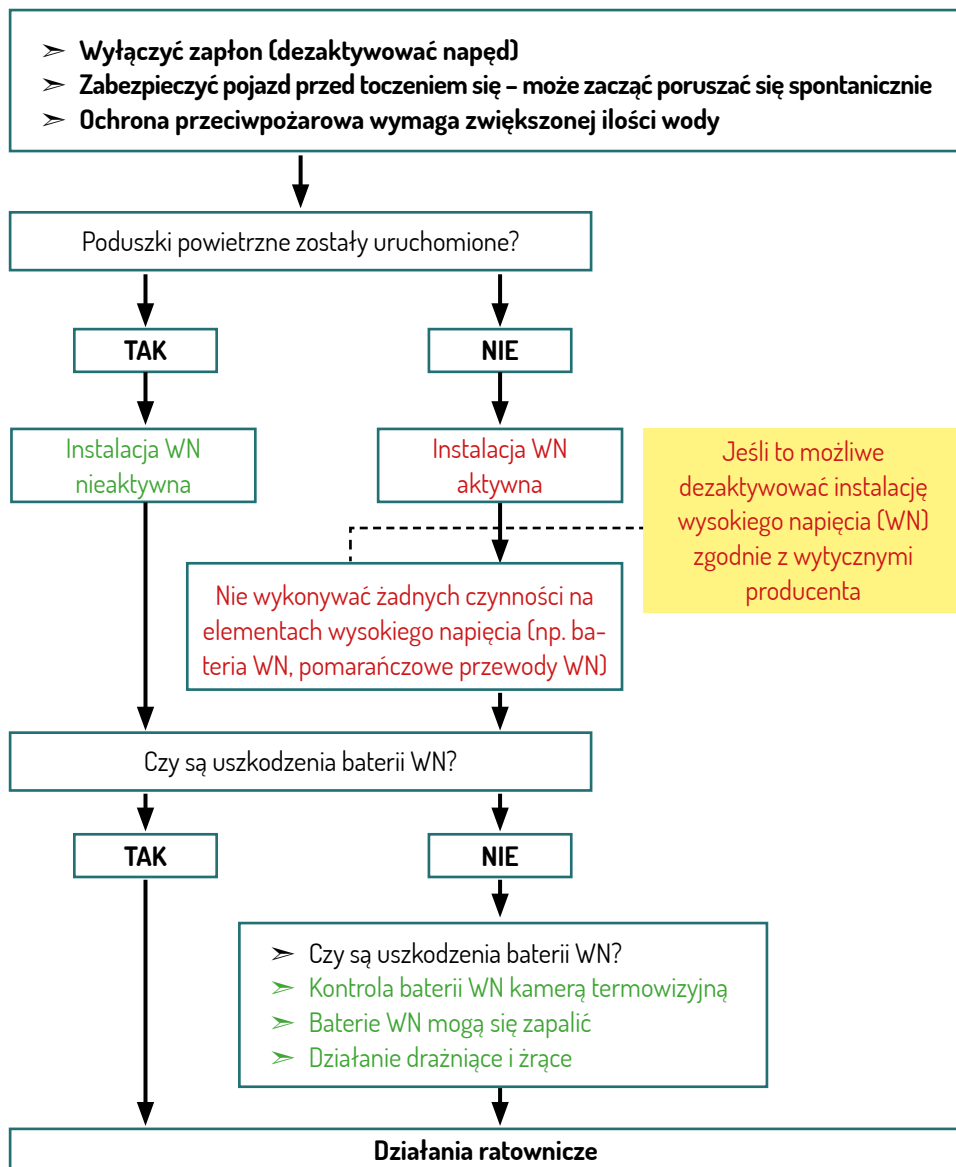


**Ryc. 47.** Schemat prowadzenia działań ratowniczych podczas pożaru pojazdu z napędem elektrycznym

**Źródło:** opracowanie Damian Bąk, CNBOP-PIB na podstawie: [https://lfks.rlp.de/fileadmin/LFKS/NewsDateien/Taschenkarte\\_alternative\\_Antriebskraefte.pdf](https://lfks.rlp.de/fileadmin/LFKS/NewsDateien/Taschenkarte_alternative_Antriebskraefte.pdf).



## Działania ratownicze podczas wypadku z udziałem pojazdu z napędem elektrycznym



Ryc. 48. Schemat prowadzenia działań ratowniczych podczas pożaru pojazdu z napędem elektrycznym

Źródło: opracowanie Damian Bąk, CNBOP-PIB na podstawie: [https://lfks.rlp.de/fileadmin/LFKS/NewsDateien/Taschenkarte\\_alternative\\_Antriebskraefte.pdf](https://lfks.rlp.de/fileadmin/LFKS/NewsDateien/Taschenkarte_alternative_Antriebskraefte.pdf).

# BIBLIOGRAFIA

## Akty prawne

- [1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych (Dz.Urz. EU L 2019.268.1).
- [2] Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym (Dz.U. 2023 poz. 1047).
- [3] Ustawa z dnia 24 kwietnia 2009 r. o bateriach i akumulatorach (Dz.U. 2022 poz. 1113).
- [4] Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz.U. 2023 r. poz. 875).
- [5] Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 26 czerwca 2019 r. w sprawie wymagań technicznych dla stacji ładowania i punktów ładowania stanowiących element infrastruktury ładowania drogowego transportu publicznego (Dz.U. 2019 poz. 1316).

## Publikacje zwarte oraz czasopisma

- [1] AFAC, *Incidents Involving Electric Vehicles*, Guideline, version 1.0, Melbourne 2022.
- [2] Bisschop R., Willstrand O., Amon F., Rosengren M., *Fire Safety of Lithium-Ion Batteries in Road Vehicles*, RISE Research Institutes of Sweden AB, Borås 2019.
- [3] Bøe A. S., *Full skala branntest av elbil*, SPFR-rapport A17 20096:03-01, SP Fire Research AS, 2017.
- [4] Boehmer H. R., Klassen M. S., Olenick S. M. *Fire Hazard Analysis of Modern Vehicle-sin Parking Facilities*, "Fire Technology" 2021, 57, 2097–2127.
- [5] Boehmer H., Klassen M., Olenick S., *Modern Vehicle Hazards in Parking Structures and Vehicle Carriers*, Fire Protection Research Foundation, Maryland 2020.
- [6] Cui Y., Liu J., Han X., Sun S., Cong B., *Full-scale experimental study on suppressing lithium-ion battery pack fires from electric vehicles*, "Fire Safety Journal" 2022, 129, 103562.
- [7] DIN VDE 0132:2018-07 Firefighting and technical assistance in or near electrical installations.
- [8] Dorsz A., Lewandowski M., *Analysis of Fire Hazards Associated with the Operation of Electric Vehicles in Enclosed Structures*, "Energies" 2022, 15, 11.
- [9] DSB, *Risk assessment and handling of fire in lithium-ion batteries*, Guidelines for fire and rescue services, version 1, Tønsberg 2021.
- [10] Euralarm, *Guidance on Integrated fire protection solutions for Lithium-Ion batteries*, V1.0-EN, Switzerland 2022.
- [11] Heck J., *Alternative Fahrzeugantriebe im Feuerwehreinsatz*, 2. Aktuerte Aufgabe, Kohlhammer, Stuttgart 2022.

- [12] Held M., Tuchschnid M., Zennegg M., Figi R., Schreiner C., Mellert D.L., Welte U., Kompatscher M., Hermann M., Nacheff L., *Thermal runaway and fire of electric vehicle lithium-ion battery and contamination of infrastructure facility*, “Renewable and Sustainable Energy Reviews” 2022, 165, 112474.
- [13] Hellmann T., Cimolino U., *Alternative Fahrzeugantriebe*, Ecomed Sicherheit, Landsberg am Lech 2022.
- [14] Hynnen J., Willstrand O., *Environmental Impact of Combustion Gases and Water Run-offs from Electric Vehicle Fires Full-scale fire tests of electric- and internal combustion engine vehicles*, w: *Book of abstracts Nordic Fire & Safety Days*, A. Dederichs (red.), Nordic Fire and Safety Days 2022 – Book of Abstracts, RISE Research Institutes of Sweden, Goteborg 2022, s. 44.
- [15] IFAB Ingenieure für angewandte Brandschutzforschung GmbH, Brandschutzleitfaden für Parkgaragen, Version: 1.0, Januar, Berlin 2023.
- [16] IFAB Ingenieure für angewandte Brandschutzforschung GmbH, Fire Protection Guideline for Car Parks, Version: 2.0, February, Berlin 2023.
- [17] KG PSP, *Standardowe zasady postępowania podczas zdarzeń z samochodami z napędem elektrycznym oraz hybrydowym*, wydanie drugie, Warszawa 2023.
- [18] Klüh S., *Brandbekämpfung von Elektrofahrzeugen in Garagen*, “Feuerwehr Fachjournal” Dezember, 2021.
- [19] Klüh S., Leismann F., *Brandschutz in unterirdischen Verkehrsanlagen bei zunehmender E-Mobilität – Erkenntnisse aus Brandversuchen*, Nachweiskonzept für Brandbekämpfungsanlagen in Parkgaragen, STUVA-Tagung, 2021.
- [20] Król M., Król A., *Identyfikacja zagrożeń związanych z użytkowaniem samochodów z napędem elektrycznym w kontekście ich parkowania w budynkach*, „Rynek Instalacyjny” 2021, 1–2.
- [21] Kwiatkowski M., Majewska M., *Zabezpieczenia przeciwpożarowe na poziomie baterii, w: Bezpieczeństwo przeciwpożarowe pojazdów elektrycznych i systemów bateryjnych, White Paper on battery fires. Raport*, PSPA, Warszawa 2022.
- [22] Lecocq A., Bertana M., Truchot B., Marlair G., *Comparison of the Fire Consequences of an Electric Vehicle and an Internal Combustion Engine Vehicle* w: *Proceedings from 2nd International Conference on Fires in Vehicles – FIVE 2012*, P. Andersson, B. Sundström (red.), SP Technical Research Institute of Sweden, Borås 2012, s. 183–193.
- [23] Linja-aho V., *Hybrid and Electric Vehicle Fires in Finland 2015–2019*, National Electrotechnical Standardization Organization SESKO, Helsinki 2020.
- [24] Mellert L.D., Welte U., Tuchschnid M., Held M., Hermann M., Kompatscher M., Tesson M., Nacheff L., *Risk minimisation of electric vehicle fires in underground traffic infrastructures*, Federal Department of the Environment, Transport, Energy and Communications DETEC, Bern 2020.
- [25] Mrozik W., Wise M., Dickman N., Ahmeid M., Milojevic Z., Das P., Lambert S., Christensen P., *Abuse of Lithium-ion Batteries: emergence, composition, and toxicity*

- vapour cloud, w: *Book of abstracts Nordic Fire & Safety Days*, A. Dederichs (red.), Nordic Fire and Safety Days 2022 – Book of Abstracts, RISE Research Institutes of Sweden, Goteborg 2022, s. 86–87.
- [26] Mrozik W., *Zabezpieczenia przeciwpożarowe na poziomie ogniwa*, w: *Bezpieczeństwo przeciwpożarowe pojazdów elektrycznych i systemów bateryjnych, White Paper on battery fires. Raport*, PSPA, Warszawa 2022.
- [27] National Transportation Safety Board, *Safety Risks to Emergency Responders from Lithium-Ion Battery Fires in Electric Vehicles*, Safety Report NTSB/SR-20/01, Washington 2020.
- [28] Neske M., Kaufmanem J., Butscher D., Vogel Ch., *Neue Erkenntnisse für die Brandbekämpfung an E-Fahrzeugen*, vfdb 2-2023, s. 88–91.
- [29] Neske M., Kaufmann J., Butscher D., Vogel Ch., *Evaluierung von technischen Verfahren zur Löschmitteleinbringung in Hochvoltspeicher*, Forschungsbericht Nr. 210, Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrotsberge, 2022.
- [30] Paper I., *A Review of Battery Fires in Electric Vehicles*, “Fire Technology” 2020, 56, 1361–1410.
- [31] Sturm P. J., Fößleitner P., Fruhwirt D., Heindl S., Kohl B., Heger O., Galler R., Wenighofer R., Krausbar S., *BRAFA Brandauswirkungen von Fahrzeugen mit alternativen Antriebssystemen*, Technische Universität Graz, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, Graz 2021.
- [32] Südmersen J., Cimolino U., *Brandbekämpfung im Innenangriff*, Ecomed Sicherheit, Landsberg am Lech 2014.
- [33] Urząd Dozoru Technicznego, *Stacje i punkty ładowania pojazdów elektrycznych. Przewodnik UDT dla operatorów i użytkowników – zalecane praktyki*, Warszawa 2022.
- [34] Watanabe N., Sugawa O., Suwa T., Ogawa Y., Hiramatsu M., Tomonori H., Miyamoto H., Okamoto K., Honma M., *Comparison of fire behaviors of an electric-battery-powered vehicle and gasoline-powered vehicle in a real-scale fire test*, w: *Proceedings from 2nd International Conference on Fires in Vehicles – FIVE 2012*, P. Andersson, B. Sundström, SP Technical Research Institute of Sweden, Borås 2012, s. 195–205.
- [35] Wedel Jensen J., Markert F., *Charging stations for electric vehicles in sub terrain-carparks. A study on the extent of emission of hydrogen fluoride gasses from fires in lithium-ion batteries* w: *Book of abstracts Nordic Fire & Safety Days*, A. Dederichs (red.), Nordic Fire and Safety Days 2022 – Book of Abstracts, RISE Research Institutes of Sweden, Goteborg 2022, s. 75–76.
- [36] Zboina J., Kielin J., Bugaj G., Zalech J., Bąk D., *Działania ratowniczo-gaśnicze podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z napędem alternatywnym. Pojazdy elektryczne*, SFT Vol. 60 Issue 2, 2022, pp. 8–40, <https://doi.org/10.12845/sft.60.2.2022.1>.

### Źródła internetowe

- [1] <http://www.rescuesheet.info/> [dostęp: 23.05.2023].
- [2] <https://ctif.org/associate-member/rescue-code> [dostęp: 23.05.2023].
- [3] <https://kartyratownicze.pl> [dostęp: 23.05.2023].
- [4] [https://lfks.rlp.de/fileadmin/LFKS/NewsDateien/Taschenkarte\\_alternative\\_Antriebskraefte.pdf](https://lfks.rlp.de/fileadmin/LFKS/NewsDateien/Taschenkarte_alternative_Antriebskraefte.pdf) [dostęp: 07.06.2023].
- [5] <https://motofakty.pl/czy-wiesz-ile-jest-w-polsce-samochodow-i-jaki-jest-ich-wiek/ar/c4-17395227> [dostęp: 30.05.2023].
- [6] [https://pl.wikipedia.org/wiki/Kod\\_alfanumeryczny](https://pl.wikipedia.org/wiki/Kod_alfanumeryczny) [dostęp: 23.05.2023].
- [7] <https://pspa.com.pl/2023/informacja/licznik-elektromobilnosci-kolejny-rekordowy-rok-na-polskim-rynku-e-mobility/> [dostęp: 30.05.2023].
- [8] <https://pspa.com.pl/2023/informacja/licznik-elektromobilnosci-samochody-elektryczne-w-i-kwartale-2023-r-ze-znacznym-wzrostem-sprzedazy-na-polskim-rynku/> [dostęp: 15.05.2023].
- [9] [https://pspapafa-my.sharepoint.com/:f/g/personal/biuro\\_pspa\\_com\\_pl/EID-2t-QZuBpHkPa9bIvp6ccBYlK646y8TnMvteAvcs6EQQ?e=CGKRrk](https://pspapafa-my.sharepoint.com/:f/g/personal/biuro_pspa_com_pl/EID-2t-QZuBpHkPa9bIvp6ccBYlK646y8TnMvteAvcs6EQQ?e=CGKRrk) [dostęp: 31.05.2023]
- [10] <https://www.ctif.org/news/guide-how-use-euro-rescue-app> [dostęp: 23.05.2023].
- [11] <https://www.euroncap.com> [dostęp: 23.05.2023].
- [12] <https://www.europeanfiresafetyalliance.org/wp-content/uploads/2020/04/European-Fire-Safety-Action-Plan.pdf> [dostęp: 01.06.2023]
- [13] <https://www.moditech.com> [dostęp: 23.05.2023].
- [14] <https://www.rescuecode.fr/> [dostęp: 23.05.2023].
- [15] <https://www.toyota.pl/nowe-samochody/mirai> [dostęp: 31.05.2023]
- [16] <https://www.youtube.com/watch?v=sGyLSfTQALs> [dostęp: 23.05.2023].

Każda innowacyjna technologia stwarza nowe możliwości, ale jest jednocześnie pewnym wyzwaniem. Nie inaczej jest z elektromobilnością. Dlatego tak ważne jest i w tym przypadku zidentyfikowanie kluczowych zagrożeń oraz wskazanie odpowiednich środków ochrony.

Przedstawione wnioski i rekomendacje powstały na podstawie analizy literatury przedmiotu oraz własnych obserwacji i doświadczeń autorów, a także – przede wszystkim – wyników badań i doświadczeń prowadzonych przez Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowy Instytut Badawczy we współpracy z innymi podmiotami.

W niniejszym materiale zawarto najważniejsze zagadnienia dotyczące:

- rodzajów i charakterystyki elektrycznych napędów pojazdów samochodowych,
- stacji i punktów ładowania tych pojazdów,
- zagrożeń podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z napędem elektrycznym,
- prowadzenia działań ratowniczych oraz
- zasad bezpiecznego postępowania ratowników.

Podsumowanie zawiera również krótki opis literatury prezentującej wyniki badań naukowych oraz testów pożarowych pojazdów elektrycznych i baterii litowo-jonowych przeprowadzonych w różnych państwach, m.in. Austrii, Niemczech, Norwegii, Szwajcarii, Wielkiej Brytanii i Stanach Zjednoczonych, jak również opis badań prowadzonych przez CNBOP-PIB w tym zakresie.

z Wprowadzenia



ISBN: 978-83-958583-6-9

DOI: 10.17381/2023.2

Publikacja powstała przy współpracy z przedstawicielami:  
Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej,  
Polskiego Stowarzyszenia Paliw Alternatywnych,  
Instytucji Faradaya Uniwersytetu Newcastle w Wielkiej Brytanii.

