

Jarosław Tępiński, Paweł Janik

Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute / Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej
– Państwowy Instytut Badawczy
Corresponding author / Autor korespondencyjny: jtepinski@cnbop.pl

Requirements on Fire Protection for Parking Spaces in Garages Intended for Charging Electric Vehicles

Wymagania w zakresie ochrony przeciwpożarowej dla miejsc postojowych w garażach przeznaczonych do ładowania samochodów z napędem elektrycznym

ABSTRACT

Aim: The purpose of this article is to highlight the issue of fire protection in garages, with particular emphasis on facilities where charging points for electric and plug-in hybrid cars are to be installed.

Introduction: The development of electromobility poses new challenges for fire protection in terms of properly securing garages in buildings and ensuring appropriate conditions for rescue operations. Fires involving electric vehicles, especially those with lithium-ion traction batteries, are characterized by high dynamics, long duration, the risk of rapid spread, the release of large amounts of smoke, as well as toxic and corrosive chemicals. Giving particular consideration to these hazards is especially important in enclosed garages, where difficulties in accessing the fire source and removing toxic combustion products are to be expected. The challenge lies in selecting the right active and passive fire protection measures for garages, as well as electrical protection for charging points for electric and plug-in hybrid cars.

Methodology: As part of the work on the article, literature on the subject was reviewed and analysed, along with the current legal status regarding the installation of charging points at parking spaces, as well as applicable regulations and technical knowledge in the field of fire protection in garages.

Conclusions: The above content provides a concise overview of the current state of knowledge regarding the fire hazard posed by electric cars. The article discusses the applicable regulations and technical principles of fire protection in garages. Solutions for fire protection in buildings where electric or plug-in hybrid vehicles are expected to be charged should include safety measures appropriate to the associated fire risk. Among the most important safeguards for controlling this hazard are early fire detection, which allows firefighting measures to be taken in the initial stages, and the use of solutions that limit the spread of fire until rescue teams arrive at the scene.

Keywords: lithium-ion batteries, fire protection requirements, fire safety measures, fire safety in garages, electric cars

Type of article: review article

Received: 19.11.2025; Reviewed: 05.12.2025; Accepted: 11.12.2025;

Authors' ORCID IDs: J. Tępiński – 0000-0002-5005-2795; P. Janik – 0000-0003-4498-7575;

Percentage contribution: J. Tępiński – 60%; P. Janik – 40%;

Please cite as: SFT Vol. 66 Issue 2, 2025, pp. 126–144, <https://doi.org/10.12845/sft.66.2.2025.8>;

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

ABSTRAKT

Cel: Celem niniejszego artykułu jest naświetlenie problematyki ochrony przeciwpożarowej w garażach, ze szczególnym uwzględnieniem obiektów, w których przewidziano instalowanie punktów ładowania samochodów elektrycznych i hybrydowych plug-in.

Wprowadzenie: Rozwój elektromobilności stawia przed ochroną przeciwpożarową nowe wyzwania w kontekście właściwego zabezpieczenia garaży w obiektach budowlanych oraz zapewnienia w nich odpowiednich warunków do prowadzenia działań ratowniczych. Pożary samochodów z napędem elektrycznym, zwłaszcza te obejmujące swoim zakresem litowo-jonowe baterie trakcyjne, cechują się dużą dynamiką, długotrwałością, ryzykiem szybkiego rozprzestrzeniania się, wydzielaniem dużej ilości dymu, a także toksycznych i żrących związków chemicznych. Uwzględnienie możliwości wystąpienia tych zagrożeń jest szczególnie istotne w zamkniętych garażach, gdzie należy liczyć się z utrudnieniami w dotarciu do źródła ognia i eliminacji toksycznych produktów spalania. Wyzwaniem staje się odpowiedni dobór czynnych i biernych zabezpieczeń przeciwpożarowych w garażu, a także zabezpieczeń elektrycznych punktów ładowania samochodów elektrycznych i hybrydowych plug-in.

Metodologia: W ramach pracy nad artykułem dokonano przeglądu i analizy literatury przedmiotu, aktualnego stanu prawnego w zakresie instalowania punktów ładowania na stanowiskach postojowych, a także obowiązujących przepisów i zasad wiedzy technicznej z zakresu ochrony przeciwpożarowej garaży.

Wnioski: Powyższe treści w syntetyczny sposób przybliżają aktualny stan wiedzy o zagrożeniu pożarowym stwarzanym przez samochody z napędem elektrycznym. W artykule omówiono obowiązujące przepisy i zasady wiedzy technicznej z zakresu ochrony przeciwpożarowej garaży. Rozwiązania w zakresie ochrony przeciwpożarowej obiektów budowlanych, w których przewiduje się ładowanie samochodów elektrycznych lub hybrydowych plug-in, powinny uwzględniać środki bezpieczeństwa adekwatne do towarzyszącego poziomu zagrożenia pożarowego. Wśród najważniejszych zabezpieczeń służących kontroli omawianego zagrożenia należy wskazać wczesną detekcję pożaru, pozwalającą podjąć działania gaśnicze w jego początkowej fazie oraz zastosowanie rozwiązań ograniczających możliwość swobodnego rozprzestrzenienia się pożaru do momentu przybycia na miejsce zdarzenia ekip ratowniczych.

Słowa kluczowe: baterie litowo-jonowe, warunki ochrony przeciwpożarowej, zabezpieczenia przeciwpożarowe, bezpieczeństwo pożarowe garaży, samochody z napędem elektrycznym

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 19.11.2025; **Zrecenzowany:** 05.12.2025; **Zaakceptowany:** 11.12.2025;

Identyfikatory ORCID autorów: J. Tępiński – 0000-0002-5005-2795; P. Janik – 0000-0003-4498-7575;

Merytoryczny wkład procentowy: J. Tępiński – 60%; P. Janik – 40%;

Proszę cytować: SFT Vol. 66 Issue 2, 2025, pp. 126–144, <https://doi.org/10.12845/sft.66.2.2025.8>;

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

Introduction

The ongoing development of electromobility poses new challenges for fire protection – both in terms of properly securing buildings and preparing them for rescue operations. In this context, particular attention should be paid to enclosed garages where charging points for electric cars are to be installed. These are facilities whose fire protection requires discussion in terms of revising the security measures currently in place. Fires are increasingly occurring in these facilities, causing damage to dozens, hundreds, or even thousands of vehicles, and often to the structure itself. When considering the reasons for the increased fire risk in garages, it is difficult not to notice the increase in the amount of combustible materials used in modern vehicles, the increase in vehicle size, and the desire to maximize garage space, e.g. by reducing the size of individual parking spaces or using multi-level storage on platforms. In the event of a fire, the above circumstances contribute to its rapid spread, especially in buildings that are not equipped with fixed fire extinguishing systems. As a result, the fire can reach high intensity and size, and the rescue teams arriving at the scene have limited possibilities to effectively locate it due to high temperatures and smoke.

Currently, there is an additional risk factor related to the specific nature of a possible fire in a lithium-ion battery of an electric car, which contains flammable electrolyte. The occurrence of thermal instability (also referred to as thermal runaway) in such a battery can cause a violent sideways ejection of burning gases, and, in turn, lead to further increase in the risk of rapid fire spread to other vehicles.

In connection with the above, this article discusses the issue of fire protection in garages, with particular emphasis on facilities where electric car charging points are to be installed. The following topics are covered:

- fire hazards posed by modern vehicles,
- causes and course of failure of traction batteries in electric cars,
- characteristics of fires in electric cars,

Wprowadzenie

Postępujący rozwój elektromobilności stawia przed ochroną przeciwpożarową nowe wyzwania – zarówno w kontekście właściwego zabezpieczenia obiektów budowlanych, jak i przygotowania ich do prowadzenia działań ratowniczych. W tym kontekście szczególną uwagę należy poświęcić zamkniętym garażom, w których przewiduje się instalowanie punktów ładowania samochodów z napędem elektrycznym. Są to obiekty, których ochrona przeciwpożarowa wymaga dyskusji pod kątem rewizji dotychczas stosowanych zabezpieczeń. Coraz częściej dochodzi w nich do pożarów powodujących zniszczenie dziesiątek, setek, a nawet tysięcy pojazdów, a często także samej konstrukcji obiektu. Rozpoczynając rozważania na temat przyczyn wzrostu ryzyka ogniowego w garażach, trudno nie zauważyć wzrostu ilości materiałów palnych stosowanych we współczesnych pojazdach, zwiększania się gabarytów pojazdów, dążenia do maksymalizacji wykorzystania powierzchni garażowej, np. poprzez zmniejszanie powierzchni poszczególnych miejsc postojowych lub magazynowanie wielopiętrowe na platformach. Powyższe okoliczności, w przypadku powstania pożaru, sprzyjają jego gwałtownemu rozprzestrzenieniu się, zwłaszcza w obiektach niewyposażonych w stałe urządzenia gaśnicze. W efekcie pożar może osiągnąć dużą moc i rozmiary, a przybyłe na miejsce zdarzenia ekipy ratownicze, wobec występowania wysokiej temperatury oraz zadymienia, mają ograniczone możliwości jego skutecznej lokalizacji.

Obecnie dochodzi dodatkowy czynnik zagrożenia, związany ze specyfiką ewentualnego pożaru akumulatora litowo-jonowego samochodu z napędem elektrycznym, zawierającego palny elektrolit. Zaistnienie we wspomnianym akumulatorze zjawiska niestabilności termicznej, zwanego również ucieczką termiczną, mogącego powodować gwałtowny wyrzut boczny palących się gazów, dodatkowo potęguje groźbę szybkiego przenoszenia się ognia na kolejne pojazdy.

W związku z powyższym, w niniejszym artykule, w celu naświetlenia problematyki ochrony przeciwpożarowej w garażach, ze szczególnym uwzględnieniem obiektów, w których przewidziano

- potential fire hazards in garages equipped with charging points for electric and plug-in hybrid cars,
- current regulations on fire protection in garages,
- the current legal status of installing charging points at parking spaces in garages,
- the principles of technical knowledge in the area of fire protection in garages.

instalowanie punktów ładowania samochodów elektrycznych, dokonano omówienia:

- zagrożeń pożarowych stwarzanych przez współczesne pojazdy,
- przyczyn i przebiegu awarii baterii trakcyjnych samochodów z napędem elektrycznym,
- charakterystyki pożarów samochodów z napędem elektrycznym,
- potencjalnych czynników zagrożenia pożarowego w garażach wyposażonych w punkty ładowania samochodów elektrycznych i hybrydowych plug-in,
- obowiązujących obecnie przepisów z zakresu ochrony przeciwpożarowej garaży,
- aktualnego stanu prawnego w zakresie instalowania punktów ładowania na stanowiskach postojowych w garażach,
- zasad wiedzy technicznej w zakresie ochrony przeciwpożarowej garaży.

Fire hazards posed by modern vehicles

In recent years, the technical design of cars has undergone significant changes. Vehicles have become larger, heavier, and consist of more combustible materials. According to literature sources [1], plastics and composite materials currently account for approximately 50% of the volume of modern cars. Their share in the vehicle's weight increased by 59% between 1990 and 2018, to an average of 159 kg per vehicle (approx. 8% of the weight) [1]. Changes in the material characteristics of cars have led to a significant increase in fire load in garages. In addition, the larger size of cars has reduced the distance between parked vehicles. This has increased the likelihood and speed of fire spreading to other cars, and has also made it more difficult for rescue teams to access the scene. Based on the results of a series of fire tests conducted in various laboratories around the world, identified and characterized as part of the SUVEREN research project [2–3], significantly higher values of power and dynamics of fire spread in modern cars were observed compared to the results obtained during fires conducted several years ago on older car models. The fire curve determined as part of the aforementioned project, which, according to the authors, is the resultant reflecting the course of actual curves obtained during several tests, indicates that the maximum fire power of a modern car, amounting to approx. 7 MW, occurs 5–7 minutes after its initiation [2–3]. This fire pattern differs significantly from fires in older car designs, where the maximum power (usually around 5 MW) occurred approximately 20 minutes after the fire started.

Zagrożenia pożarowe stwarzane przez współczesne pojazdy

W ciągu ostatnich lat konstrukcja techniczna samochodów ulegała znaczącym zmianom. Pojazdy stały się większe, cięższe i składają się z większej ilości materiałów palnych. W świetle źródeł literaturowych [1] tworzywa sztuczne i materiały kompozytowe stanowią obecnie około 50% objętości współczesnych samochodów. Ich udział w masie pojazdu wzrósł od 1990 r. do 2018 r. o 59%, do średnio 159 kg na pojazd (ok. 8% masy) [1]. Zmiany w charakterystyce materiałowej samochodów wpłynęły na znaczące zwiększenie obciążenia pożarowego w garażach. Dodatkowo poprzez większe rozmiary samochodów zmniejszyły się odległości pomiędzy zaparkowanymi pojazdami. Tym samym zwiększyło się prawdopodobieństwo i szybkość rozprzestrzeniania się ognia na kolejne samochody, a ponadto nasiliły się utrudnienia w dostępie dla ekip ratowniczych. Na podstawie wyników szeregu testów ogniowych, przeprowadzonych w różnych laboratoriach na świecie, zidentyfikowanych i scharakteryzowanych w ramach projektu badawczego SUVEREN [2–3] zaobserwowano znacząco większe wartości mocy i dynamiki rozprzestrzeniania się pożarów samochodów współczesnych, względem wyników uzyskiwanych w trakcie pożarów przeprowadzanych kilkanaście lat temu na samochodach o starszych konstrukcjach. Wyznaczona w ramach wspomnianego projektu krzywa pożarów, stanowiąca według autorów wypadkową odzwierciedlającą przebieg krzywych rzeczywistych uzyskanych w trakcie kilkunastu przeprowadzonych testów, wskazuje, że maksymalna moc pożaru samochodu współczesnego wynosząca ok. 7 MW występuje po 5–7 min od momentu jego inicjacji [2–3]. Taki przebieg pożaru zasadniczo różni się od pożarów samochodów o starszych konstrukcjach, w których maksymalna moc (najczęściej ok. 5 MW) występowała po upływie ok. 20 min od inicjacji pożaru.

Causes and progress of failure of traction batteries in electric vehicles

The actual and potential risks associated with the operation and charging of electric cars, as well as their behaviour in the event of an accident, breakdown, or fire, are still relatively unknown. At present, emergency services do not have much experience in dealing with these vehicles, if only because of the small number of fires involving them on a national scale.

A specific feature distinguishing electric cars from combustion engine cars, which gives rise to new risk factors, is the power supply system used for their electric drive, based on devices for storing electrical energy. In battery electric vehicles (BEVs) and plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs), lithium-ion (Li-Ion) traction batteries are most commonly used to store electricity due to their high energy density, long service life, and low weight [4–5]. In electric vehicles, traction battery modules consist of multiple cells connected in series and/or parallel, which ensures the appropriate electrical parameters of the traction battery, such as power, voltage, and output current. Traction battery modules are usually installed under the floor or rear seat of the car in a sealed frame (see Figure 1), which protects the battery from damage, vibration, and external heat.

Przyczyny i przebieg awarii baterii trakcyjnych samochodów z napędem elektrycznym

Stosunkowo mało znane są jeszcze rzeczywiste i potencjalne zagrożenia wynikające z eksploatacji i ładowania samochodów z napędem elektrycznym, a także ich zachowania podczas wypadku, awarii czy pożaru. Służby ratownicze nie posiadają na dzień dzisiejszy zbyt bogatego doświadczenia w prowadzeniu działań z tymi pojazdami, chociażby ze względu na niedużą w skali kraju liczbę ich pożarów.

Specyficzną cechą odróżniającą samochody z napędem elektrycznym od spalinowych, powodującą powstanie nowych czynników zagrożenia, jest stosowany system zasilania ich napędu elektrycznego, oparty na urządzeniach do magazynowania energii elektrycznej. W samochodach elektrycznych BEV (ang. *battery electric vehicles*) i hybrydowych plug-in PHEV (ang. *plug-in hybrid electric vehicles*) do magazynowania energii elektrycznej najczęściej wykorzystuje się baterie trakcyjne wykonane w technologii litowo-jonowej Li-Ion (ang. *lithium-ion*), ze względu na ich dużą gęstość magazynowanej energii, długi cykl użytkowania oraz niską wagę [4–5]. W samochodach z napędem elektrycznym moduły baterii trakcyjnych składają się z wielu połączonych szeregowo i/lub równoległe ogniw, co zapewnia odpowiednie parametry elektryczne akumulatora trakcyjnego, takie jak moc, napięcie i prąd wyjściowy. Moduły baterii trakcyjnych montuje się najczęściej pod podłogą lub tylną kanapą samochodu w szczelnej ramie (zob. ryc. 1), zapewniającej ochronę baterii przed uszkodzeniami, wibracjami i ciepłem zewnętrznym.



Figure 1. Cross-section of an electric car
Rycina 1. Przekrój poprzeczny samochodu elektrycznego

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Lithium-ion batteries, due to the flammable chemical composition of the electrolytes used in them, may pose a fire and explosion hazard. Safe use of a car traction battery requires maintaining its cells in stable operating conditions, i.e., within a specified range of voltage, temperature, and internal pressure. External and/or internal factors can cause the temperature of a lithium-ion battery cell to rise, such as (see Figure 2) [2, 4–7]:

- mechanical damage (e.g., crushing, penetration by solid objects),

Baterie litowo-jonowe, ze względu na palną kompozycję chemiczną stosowanych w nich elektrolitów, mogą stanowić zagrożenie pożarowe i wybuchowe. Bezpieczne korzystanie z baterii trakcyjnej samochodu wymaga utrzymania jej ogniw w stabilnych warunkach pracy, tzn. w określonym przedziale napięcia, temperatury i ciśnienia wewnętrznego. Do podwyższenia temperatury ogniw baterii litowo-jonowej może doprowadzić oddziaływanie czynników zewnętrznych i/lub wewnętrznych, takich jak (zob. ryc. 2) [2, 4–7]:

- thermal effects (high temperatures, exposure to flames),
 - electrical phenomena in the cell (i.e., overvoltage, overcharging, excessive discharge, overload, short circuit),
 - change in the performance properties of construction materials over time,
 - internal manufacturing defects (material, construction, assembly, presence of contaminants).
- uszkodzenia mechaniczne (np. zmiżdżenie, wnikanie ciał stałych),
 - oddziaływania termiczne (wysokie temperatury, ekspozycja na płomień),
 - zjawiska elektryczne w ogniwie (tj. przepięcie, przeładowanie, nadmierne rozładowanie, przeciążenie, zwarcie),
 - zmiana właściwości użytkowych materiałów konstrukcyjnych pod wpływem czasu,
 - wewnętrzne wady produkcyjne (materiałowe, konstrukcyjne, montażowe, obecność zanieczyszczeń).

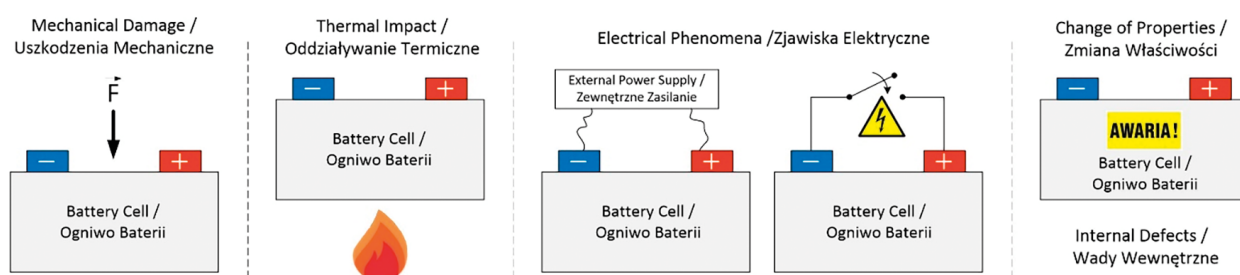


Figure 2. Causes of damage to a car's traction battery
Rycina 2. Przyczyny uszkodzenia baterii trakcyjnej samochodu

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

In terms of safety, a very important component of a lithium-ion battery cell is the separator, which works by electrically isolating the electrodes – the anode and cathode. By blocking the flow of electrons between the electrodes, it prevents short circuits and, at the same time, thanks to the presence of micropores, allows the flow of lithium ions and closes the internal circuit of the cell. The separator also has a safety function – when the cell overheats, the separator's micropores close (through melting or deformation). This limits the flow of lithium ions between the electrodes, stops the chemical processes in the cell, and thus prevents further cell failure.

A temperature increase in a Li-Ion battery cell exceeding its stable operating temperature (overheating) causes a reaction or decomposition of the chemical components present in it. Chemical reactions occurring in an overheated state cause heat release and pressure increase in the cell. Overheating of the cell can lead to its failure (see Figure 3), the development cycle of which consists of the following successive stages: overheating, degassing, smoke emission, and fire [4–5], [7–8]. The cause-and-effect relationships leading to the failure of a lithium-ion traction battery cell are shown in Figure 4. As a result of exposure to high temperatures inside the cell, the separator becomes deformed or melts, leading to the formation of a physical barrier that blocks the reactions occurring within the cell and prevents further temperature increase. The reactions of chemical components occurring during cell overheating can result in the evaporation of flammable electrolyte. The gas accumulated under pressure escapes from the battery through structural relief valves or parts of the casing with specially reduced mechanical resistance – battery degassing (see Figure 3), thus preventing the battery casing

Pod względem bezpieczeństwa bardzo istotnym elementem składowym ogniwa baterii litowo-jonowej jest separator, którego działanie polega na wzajemnym odizolowaniu elektrycznym elektrod – anody i katody. Blokując przepływ elektronów między elektrodami, zapobiega zwarcu, a jednocześnie – dzięki obecności mikroporów – umożliwia przepływ jonów litu i zamknięcie obwodu wewnętrznego ogniwa. Separator posiada także funkcję bezpieczeństwa – w momencie przegrzania ogniwa następuje zamknięcie mikroporów separatora (poprzez jego topienie lub odkształcenie). Dzięki temu ograniczony zostaje przepływ jonów litu pomiędzy elektrodami, zatrzymane zostają procesy chemiczne w ogniwie, a tym samym zapobiega się dalszemu rozwojowi awarii ogniwa.

Wzrost temperatury w ogniwie baterii Li-Ion przekraczający warunki termiczne jego stabilnej pracy (stan przegrzania) powoduje reakcję lub rozkład składników chemicznych w nim występujących. Reakcje chemiczne zachodzące w stanie przegrzania wywołują w ogniwie uwalnianie ciepła i wzrost ciśnienia. Przegrzanie ogniwa może doprowadzić do jego awarii (zob. ryc. 3), której cykl rozwoju składa się z następujących po sobie etapów: przegrzanie, odgazowanie, wydzielanie dymu i pożar [4–5], [7–8]. Zależności przyczynowo-skutkowe prowadzące do awarii ogniwa litowo-jonowej baterii trakcyjnej przedstawiono na rycinie 4. Wskutek oddziaływania wysokich temperatur wewnątrz ogniwa następuje odkształcenie lub topienie separatora, w wyniku czego tworzy się fizyczna bariera blokująca zachodzące w ogniwie reakcje, zapobiegająca dalszemu wzrostowi temperatury. Reakcje składników chemicznych zachodzące podczas przegrzania ogniwa mogą skutkować odparowaniem łatwopalnego elektrolitu. Nagromadzony pod ciśnieniem gaz znajduje ujście z baterii przez konstrukcyjne zawory nadmiarowe lub części obudowy

from rupturing. Mechanical impacts, changes in the functional properties of construction materials (including the formation of dendrites or plating), material defects, and high internal temperatures can damage the separator and, as a result, cause an internal short circuit in the battery cell (see Figure 4) [4], [6–7]. A cell short circuit, i.e. extremely fast and uncontrolled discharge, causes a rapid increase in temperature and internal pressure. When the internal temperature of the cell exceeds the thermal resistance limits of its structural materials, they decompose, producing smoke (see Figure 3). High temperatures, sparks caused by short circuits, and clouds of flammable gas can lead to a fire or, in extreme cases, an explosion of chemical compounds formed as a result of reactions occurring during the failure.

o specjalnie obniżonej odporności mechanicznej – stan odgazowania baterii (zob. ryc. 3), zapobiegając tym samym rozerwaniu obudowy baterii. Oddziaływania mechaniczne, zmiana właściwości użytkowych materiałów konstrukcyjnych (w tym powstanie dendrytów lub platerowanie), wady materiałowe i wysokie temperatury wewnętrzne mogą doprowadzić do uszkodzenia separatora i w konsekwencji do wewnętrznego zwarcia ogniwa baterii (zob. ryc. 4) [4], [6–7]. Zwarcie ogniwa, czyli skrajnie szybkie i niekontrolowane jego rozładowanie, powoduje gwałtowny wzrost temperatury i ciśnienia wewnętrznego. Gdy temperatura wewnętrzna ogniwa przekroczy granice wytrzymałości termicznej jej materiałów konstrukcyjnych, następuje ich rozkład powodujący wytwarzanie dymu (zob. ryc. 3). Wysokie temperatury, iskrzenie wywołane zwarciami oraz wydobywające się chmury łatwopalnego gazu mogą doprowadzić do przejścia w stan pożaru lub w skrajnych przypadkach wybuchu związków chemicznych powstałych w wyniku reakcji zachodzących podczas awarii.

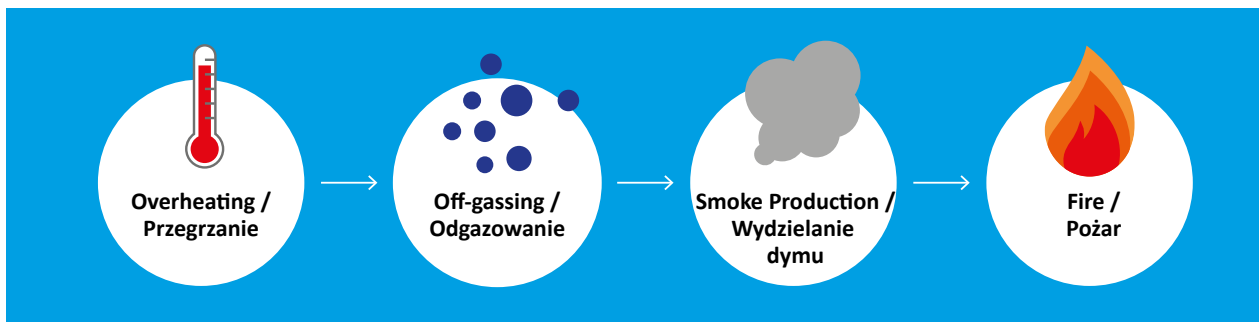


Figure 3. The cycle of failure leading to fire in a lithium-ion battery cell
Rycina 3. Cykl rozwoju awarii, prowadzącej do pożaru, ogniwa baterii litowo-jonowej
Source: Own elaboration based on [4], [7].
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [4], [7].

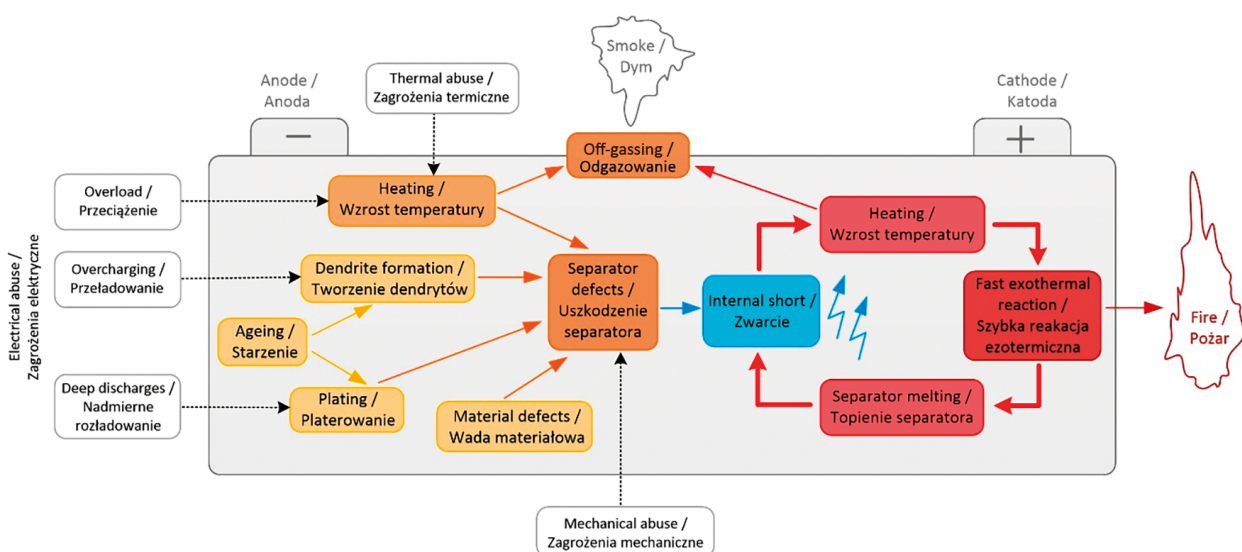


Figure 4. Cause-and-effect relationships leading to failure (thermal instability) of lithium-ion battery cells
Rycina 4. Zależności przyczynowo-skutkowe prowadzące do awarii (niestabilności termicznej) ogniwa baterii litowo-jonowej
Source: Own elaboration based on [7].
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [7].

Uncontrolled temperature rise in a battery cell is a phenomenon known as thermal runaway (instability). The increased temperature of the battery cell, as a result of the impact of factors (a-e), causes exothermic reactions of the chemical components present in it – heat release (see Figures 3 and 4). The heat generated in chemical reactions increases the temperature in the cell, which in turn accelerates the rate of these reactions and thus causes even more heat to be released. Thermal instability is a highly exothermic and self-sustaining process. It can lead to the decomposition of the anode and cathode material, the emission of gaseous and liquid decomposition products, and physical and chemical phenomena, which in turn can result in a fire or explosion of the cell. Thermal runaway in a battery cell can occur in various scenarios [9–10]:

- off-gassing (emission of gases without ignition) – decomposition products are released from the cell,
- jet combustion (emission of gases followed by ignition) – flame combustion of a mixture of gases escaping from the cell under pressure,
- combustion with the ejection of large amounts of sparks,
- delayed ignition of combustible decomposition products of the cell mixed with air,
- cell explosion – rupture of the cell by gaseous decomposition products.

The course of thermal runaway in a Li-Ion battery cell (see Figure 5) consists of the following successive stages: decomposition of the SEI layer (Solid Electrolyte Interface, which prevents the electrolyte from reacting with the anode), reaction of the anode with the electrolyte, melting of the separator, decomposition of the electrolyte, and reaction of the cathode with the electrolyte.

Niekontrolowany wzrost temperatury ogniwa baterii to zjawisko określane terminem tzw. ucieczki (niestabilność) termicznej (ang. *thermal runaway*). Podwyższona temperatura ogniwa baterii, na skutek oddziaływania czynników (a-e), wywołuje reakcje egzotermiczne składników chemicznych w nim występujących – wydzielanie ciepła (zob. ryc. 3 i 4). Wytworzone w reakcjach chemicznych ciepło zwiększa temperaturę w ogniwie, co z kolei przyspiesza tempo zachodzenia tych reakcji i tym samym wywołuje wydzielanie jeszcze większej ilości ciepła. Niestabilność termiczna jest procesem silnie egzotermicznym i samopodtrzymującym się. Może doprowadzić do rozkładu materiału anody i katody, emisji gazowych i ciekłych produktów rozkładu, zjawisk fizycznych i chemicznych, które w dalszej konsekwencji mogą skutkować pożarem lub wybuchem ogniwa. Ucieczka termiczna w ogniwie baterii może przebiegać według różnych scenariuszy [9–10]:

- odgazowania (emisji gazów bez zapłonu) – z ogniwa wydzielają się produkty rozkładu,
- spalania strumieniowego (emisja gazów z zapłonem) – spalanie płomieniowe mieszaniny gazów wydobywających się z ogniwa pod ciśnieniem,
- spalania z wyrzutem dużych ilości iskier,
- opóźnionego zapłonu palnych produktów rozkładu ogniwa wymieszanych z powietrzem,
- wybuchu ogniwa – rozerwanie ogniwa przez gazowe produkty rozkładu.

Przebieg niestabilności termicznej (ang. *thermal runaway*) ogniwa baterii Li-Ion (zob. ryc. 5) składa się z kolejnych następujących po sobie etapów: rozkładu warstwy SEI (zapobiegającej reakcji elektrolitu z anodą (ang. *Solid Electrolyte Interface*), reakcji anody z elektrolitem, topienia separatora, rozkład elektrolitu i reakcji katody z elektrolitem.

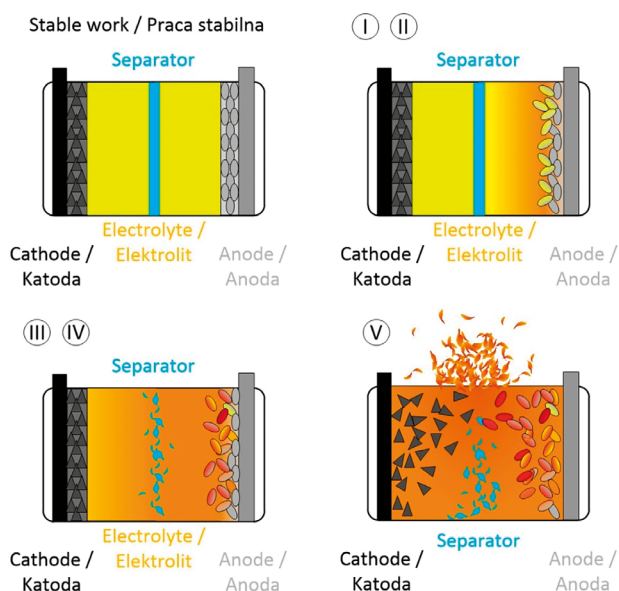


Figure 5. Process of failure of a lithium-ion battery cell: I – decomposition of the SEI layer; II – reaction of the anode with the electrolyte; III – melting of the separator; IV – decomposition of the electrolyte; V – reaction of the cathode with the electrolyte

Rycina 5. Przebieg awarii ogniwa baterii litowo-jonowej: I – rozkład warstwy SEI; II – reakcja anody z elektrolitem; III – topienie separatora; IV – rozkład elektrolitu; V – reakcja katody z elektrolitem

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

The reaction of the cathode with the electrolyte can lead to a violent exothermic reaction, combustion, or explosion (see phase II, Figure 6). Figure 6 shows the characteristic temperature change in a battery cell over time for a typical thermal runaway sequence in a lithium-ion battery cell.

Reakcja katody z elektrolitem może doprowadzić do gwałtownej w przebiegu reakcji egzotermicznej, spalania lub wybuchu (zob. faza II, ryc. 6). Na rycinie 6 przedstawiono charakterystykę zmiany temperatury panującej w ogniu baterii pod wpływem czasu dla typowego przebiegu sekwencji ucieczki termicznej w litowo-jonowym ogniu baterii.

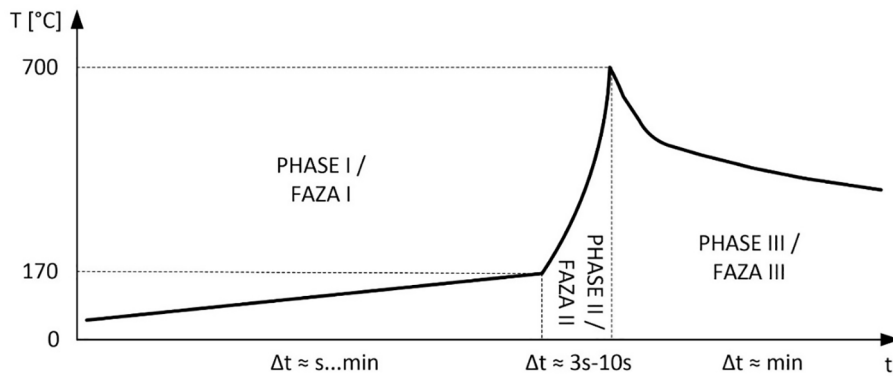


Figure 6. Temperature-time characteristics of thermal runaway in Li-Ion battery cells

Rycina 6. Charakterystyka temperaturowo-czasowa ucieczki termicznej ognia baterii Li-Ion

Source: Own elaboration based on [9].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [9].

The duration of the first phase of thermal runaway in a Li-Ion battery cell (see Figure 6) depends on the chemical composition of the cell (thermal stability) and internal and external factors that can cause failure. An abnormal situation in the operation of a battery cell, the onset of thermal runaway of the cell (the beginning of phase I), is identified when the internal temperature in the cell exceeds 60°C [9]. The second phase of thermal runaway (rapid exothermic reaction, combustion, or explosion) proceeds rapidly – a large increase in cell temperature in a short time (usually within a few seconds), with intense release of gaseous decomposition products from the cell. The third phase (cooling) lasts until the exothermic reaction in the cell is complete.

The phenomenon of thermal runaway (instability) usually occurs individually for each cell, and the energy generated during this process triggers a chain reaction, initiating a rise in temperature in subsequent (adjacent) cells, which are often undamaged. The duration of a fire in an electric car's traction battery is closely related to its size and the number of individual cells it is made up of.

The following risks are associated with lithium-ion traction batteries used in electric vehicles (BEVs, PHEVs) [4], [6]:

- fire,
- electric shock,
- skin contact with chemicals released during traction battery failure,
- inhalation of toxic combustion products and compounds released in battery emergency situations,
- explosion of compounds formed as a result of reactions occurring in a damaged battery.

Czas trwania pierwszej fazy ucieczki termicznej w ogniu baterii Li-Ion (zob. ryc. 6) jest uzależniony od składu chemicznego ognia (stabilności termicznej) oraz czynników wewnętrznych i zewnętrznych, które mogą spowodować awarię. Sytuację anormalną w pracy ognia baterii, początek ucieczki termicznej ognia (początek fazy I), identyfikuje się, gdy temperatura wewnętrzna w ogniu przekroczy 60°C [9]. Faza druga ucieczki termicznej (gwałtowna reakcja egzotermiczna, spalanie lub wybuch) przebiega gwałtownie – duży przyrost temperatury ognia w krótkim czasie (najczęściej w kilka sekund), z intensywnym wydzielaniem gazowych produktów rozkładu ognia. Faza trzecia (chłodzenia) trwa do czasu zakończenia reakcji egzotermicznej w ogniu.

Zjawisko ucieczki (niestabilności) termicznej przebiega zwykle pojedynczo dla każdego ognia, a wytworzona w jego trakcie energia jest bodźcem do rozpoczęcia reakcji łańcuchowej, inicjującej wzrost temperatury w kolejnych (sąsiadujących), często nieuszkodzonych ogniwach. Czas trwania pożaru baterii trakcyjnej samochodu z napędem elektrycznym jest ściśle związany z jej wielkością i liczbą pojedynczych ogniw, z których jest zbudowana.

Do zagrożeń powodowanych przez litowo-jonowe baterie trakcyjne samochodów z napędem elektrycznym (BEV, PHEV) należy zaliczyć [4], [6]:

- pożar,
- porażenie prądem elektrycznym,
- kontakt skóry ze środkami chemicznymi wydzielanymi podczas awarii baterii trakcyjnej,
- wnikanie przez drogi oddechowe toksycznych produktów spalania oraz związków wydzielanych w stanach awaryjnych baterii,
- wybuch związków powstałych w wyniku reakcji zachodzących w uszkodzonej baterii.

Characteristics of electric vehicle fires

The statistical data available today do not indicate that the probability of an electric car catching fire differs significantly from that of a combustion engine car [4–5], [11]. During fires involving electric and combustion engine cars, similar fire power values (most often in the range of 5–8 MW) and total fire energy values (approx. 10 GJ) are achieved [3]. Nevertheless, analyses of incidents indicate that fires involving electric and conventional cars have different characteristics and may be caused by different factors. Fires in electric cars, due to the release of large amounts of flammable gases from the battery, are characterized by more dynamic development and longer duration. The main characteristics of electric vehicle fires under consideration include the following [4], [5], [8], [11–12]:

- the threat of a violent combustion process in the event of a so-called thermal runaway in the traction battery,
- the risk of rapid spread of fire, including to neighbouring vehicles,
- difficulty in directing the extinguishing agent directly into the traction battery, which is located under the car chassis in a sealed frame (see Figure 1),
- risk of electric shock,
- release of large amounts of smoke,
- release of highly toxic and corrosive chemicals,
- possibility of the combustion process in the traction battery recurring and the resulting need for prolonged cooling (requiring the use of large amounts of water) and monitoring of its condition,
- possibility of the combustion process continuing without access to atmospheric oxygen – the cathode emits oxygen as the temperature of the battery cell rises.

Potential fire hazards in garages equipped with charging points for electric and plug-in hybrid vehicles

A fire involving an electric vehicle in an enclosed garage, often located in an underground level, is associated with the presence of possible additional factors affecting the level of fire risk, resulting from architectural and construction conditions [4–6]. The rapid spread of such a fire and the intense release of smoke and fire gases during its course can hinder evacuation from the garage and direct access by rescue teams [4–5], [13–14]. As a result, this poses a real risk of preventing effective rescue and firefighting operations, which could lead to the burning of many vehicles in the garage and even damage to the building's load-bearing structure [4–5], [11–12]. An additional danger may be posed by toxic and corrosive chemicals released from the traction battery and

Charakterystyka pożarów samochodów z napędem elektrycznym

Dostępne na dzień dzisiejszy dane statystyczne nie wskazują, aby prawdopodobieństwo powstania pożaru samochodu z napędem elektrycznym znacząco odbiegało od prawdopodobieństwa zapalenia się samochodu spalinowego [4–5], [11]. W trakcie pożarów samochodów elektrycznych i spalinowych osiągnięte są podobne wartości mocy pożarów (najczęściej w przedziale 5–8 MW) i całkowitej ich energii (ok. 10 GJ) [3]. Niemniej jednak, analizy zaistniałych zdarzeń wskazują, że pożary samochodów z napędem elektrycznym i konwencjonalnym mają inne specyfiki przebiegu oraz mogą być powodowane innymi przyczynami. Pożary samochodów z napędem elektrycznym, ze względu na uwalnianie dużych ilości łatwopalnych gazów z baterii, charakteryzują się większą dynamiką rozwoju oraz długotrwałością. Do głównych cech rozpatrywanych pożarów samochodów z napędem elektrycznym należy zaliczyć [4], [5], [8], [11–12]:

- groźbę gwałtownego przebiegu procesu spalania w przypadku powstania w baterii trakcyjnej zjawiska tzw. ucieczki termicznej,
- ryzyko szybkiego rozprzestrzeniania się pożaru, w tym na sąsiednie pojazdy,
- utrudnione skierowanie środka gaśniczego bezpośrednio do wnętrza baterii trakcyjnej, umieszczonej pod podwoziem samochodu w szczelnej ramie (zob. ryc. 1),
- ryzyko porażenia prądem elektrycznym,
- wydzielanie dużej ilości dymu,
- uwalnianie silnie toksycznych i żrących związków chemicznych,
- możliwość nawrotu procesu spalania w baterii trakcyjnej i wynikająca z tego potrzeba długotrwałego jej schładzania (wymagającego wykorzystania dużych ilości wody) i monitorowania jej stanu,
- możliwość kontynuowania procesu spalania bez dostępu do tlenu atmosferycznego – katoda emituje tlen podczas wzrostu temperatury ogniwa baterii.

Potencjalne czynniki zagrożenia pożarowego w garażach wyposażonych w punkty ładowania samochodów elektrycznych i hybrydowych plug-in

Pożar samochodu z napędem elektrycznym w garażu zamkniętym, często zlokalizowanym na kondygnacji podziemnej, wiąże się z występowaniem możliwych dodatkowych czynników wpływających na poziom zagrożenia pożarowego, wynikających z warunków architektoniczno-budowlanych [4–6]. Duża dynamika rozwoju takiego pożaru oraz intensywne wydzielanie w jego trakcie dymu i gazów pożarowych mogą utrudniać ewakuację z garażu oraz bezpośredni dostęp ekip ratowniczych [4–5], [13–14]. W konsekwencji stwarza to realne ryzyko uniemożliwienia podjęcia skutecznych działań ratowniczo-gaśniczych, co grozi spaleniem wielu pojazdów znajdujących się w garażu, a nawet uszkodzeniem konstrukcji nośnej budynku [4–5], [11–12]. Dodatkowo niebezpieczeństwo

accumulated in the enclosed space of the garage [9], [15].

One of the key stages in the safe use of electric vehicles is the process of charging their batteries. Particular attention should be paid to the long charging time of traction batteries (usually many hours, often overnight) with relatively high current values [5], [11]. The electrical installation in the garage supplying the car charging points must provide the required connection power and protective measures to ensure the safe operation of these charging points [4–5]. Charging points must meet technical and operational requirements that allow for their safe use, including ensuring fire safety and the safe operation of the power grid [4–6].

Based on current knowledge, including conclusions from research and development work carried out at CNBOP-PIB [11], [13–16] on the fire hazard associated with the installation and operation of electric vehicle charging points in garages, the basic risk factors that should be minimized as much as possible have been identified [4–5]:

- the risk of a car fire developing over a long period of time as a result of it not being detected (not being noticed) and
- as a consequence of the above, the risk of the fire spreading to other cars stored in the garage, leading to damage with serious consequences, including the spread of fire outside the fire zone of the garage or damage to the load-bearing structure of the building.

Applicable regulations regarding fire protection in garages

Fire safety regulations define a list of facilities that are important in terms of ensuring the protection of life, health, property, or the environment against fire, requiring consultation with a fire safety expert in terms of compliance with fire safety requirements, including [4], [17] garages in the following buildings:

- multi-story,
- single-story enclosed, requiring the use of a smoke extraction device or a fixed automatic fire extinguishing device,
- containing parking spaces for more than 20 cars in multi-level parking spaces within the fire zone.

Furthermore, in accordance with the provisions of this regulation [17], the obligation to obtain approval also applies to garages subject to the obligation to use a fire alarm system (i.e. underground garages where the fire zone exceeds 1,500 m² or covers more than one underground level). Regardless of the above, a construction project involving a garage other than those mentioned above may also be subject to approval in terms of compliance with fire safety requirements if the garage forms part of a building whose construction project requires such approval [17].

mogą stanowić nagromadzone w zamkniętej przestrzeni garażu toksyczne i żrące związki chemiczne uwalniane z baterii trakcyjnej [9], [15].

Jednym z kluczowych pod względem bezpieczeństwa etapów użytkowania pojazdów z napędem elektrycznym jest proces ładowania ich baterii. Szczególną uwagę należy zwrócić na długi czas ładowania baterii trakcyjnych (najczęściej wiele godzin, nierzadko całą noc) prądem o relatywnie wysokich wartościach natężenia [5], [11]. Instalacja elektryczna w garażu zasilająca punkty ładowania samochodów musi zapewniać wymaganą do tego moc przyłączeniową i środki ochrony, gwarantujące bezpieczeństwo eksploatacji tych punktów ładowania [4–5]. Punkty ładowania muszą spełniać wymagania techniczne i eksploatacyjne, pozwalające na ich bezpieczne użytkowanie, w tym zapewniające bezpieczeństwo pożarowe i bezpieczne funkcjonowanie sieci elektroenergetycznej [4–6].

W oparciu o aktualny stan wiedzy, w tym wnioski z prac badawczo-rozwojowych przeprowadzonych w CNBOP-PIB [11], [13–16] w zakresie zagrożenia pożarowego związanego z zainstalowaniem oraz eksploatacją w garażu punktów ładowania samochodów z napędem elektrycznym, zidentyfikowano podstawowe czynniki ryzyka, które powinny zostać ograniczone w możliwie największym stopniu [4–5]:

- groźbę rozwoju pożaru samochodu przez długi czas, w wyniku jego niewykrycia (niezauważenia) oraz
- będącą następstwem powyższego, groźbę rozprzestrzenienia się pożaru na kolejne samochody przechowywane w garażu, prowadzącego do powstania szkód o dużych konsekwencjach, włączając w to rozprzestrzenienie pożaru poza strefę pożarową garażu lub uszkodzenie konstrukcji nośnej budynku.

Obowiązujące przepisy z zakresu ochrony przeciwpożarowej garaży

Przepisy z zakresu ochrony przeciwpożarowej określają katalog obiektów istotnych ze względu na konieczność zapewnienia ochrony życia, zdrowia, mienia lub środowiska przed pożarem, wymagających uzgodnienia pod względem zgodności z wymaganiami ochrony przeciwpożarowej z rzeczoznawcą do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych, wśród których wyszczególniono [4], [17] garaże:

- wielokondygnacyjne,
- jednokondygnacyjne zamknięte, wymagające zastosowania urządzenia oddymiającego lub stałego samoczynnego urządzenia gaśniczego,
- zawierające w strefie pożarowej stanowiska postojowe przeznaczone dla więcej niż 20 samochodów na stanowiskach wielopoziomowych.

Ponadto zgodnie z przepisami tego rozporządzenia [17] obowiązek uzgodnienia dotyczy również garaży objętych obowiązkiem stosowania systemu sygnalizacji pożarowej (tj. garaży podziemnych, w których strefa pożarowa przekracza 1500 m² lub obejmujących więcej niż jedną kondygnację podziemną). Niezależnie od powyższego, projekt budowlany obejmujący garaż

With regard to buildings whose designs do not require approval, these issues should be decided by the designer [18].

Fire safety measures used in garages are regulated by a number of regulations and standards, the most important of which are the Regulation of the Minister of Infrastructure [19] and the Regulations of the Minister of Internal Affairs and Administration [17], [20–21]. Requirements for using passive or active fire protection measures in a garage fire zone depend, among other things, on the type of garage (underground, above ground, open, enclosed), the area of the fire zone, the number of floors, the number of parking spaces, and the presence of direct entry or exit from the building [4]. Fire safety regulations for garages require the following fire safety measures to be implemented in designated garages (garage fire zones):

- a. Passive fire protection measures (structural elements):
 - fire resistance of building elements [19],
 - fire zones – the area of a fire zone in an above-ground or underground enclosed garage should not exceed 5,000 m². However, it may be increased by 100% if fixed automatic water extinguishing devices are used or if walls with a fire resistance rating separating no more than two parking spaces from each other are constructed [19],
 - evacuation conditions (escape routes) – should be provided from every place in a building intended for human occupancy [19], [21],
 - preparation of the facility for rescue operations, including ensuring the supply of water for external firefighting and fire escape routes [20].
- b. Active fire protection measures:
 - fire alarm systems – in underground garages where the fire zone exceeds 1,500 m² or covers more than one underground level [21], as well as in fire zones of closed garages without direct entry or exit from the building or with an area exceeding 1,500 m², where smoke ventilation systems are required [19],
 - fixed water-based fire extinguishing systems – in enclosed garages comprising more than two underground levels or located below the second underground level, whereby this requirement does not apply to the fire zone of a garage that has direct access to or exit from the building [19],
 - smoke extraction ventilation system activated by a smoke detection system – in the fire zone of a closed garage if this zone does not have a direct entrance or exit from the building or if its area exceeds 1,500 m² [19],
 - fire water supply system – 33 hydrants in single-story enclosed garages with more than 10 parking spaces and multi-story garages, as well as 52 hydrant valves in high-rise buildings with more than one above-ground story [21],
 - fire safety circuit breaker – in fire zones with a volume exceeding 1,000 m³ or containing explosion hazard zones [19],

inny niż wyżej wymienione również może być objęty obowiązkiem uzgodnienia pod względem zgodności z wymaganiami ochrony przeciwpożarowej, w przypadku gdy garaż ten stanowi część obiektu budowlanego, którego projekt budowlany wymaga takiego uzgodnienia [17]. W odniesieniu do obiektów budowlanych, których projekty nie wymagają uzgodnienia, kwestie te powinny być rozstrzygnięte przez projektanta [18].

Zabezpieczenia przeciwpożarowe stosowane w garażach reguluje szereg przepisów i norm, z których kluczowe to rozporządzenie Ministra Infrastruktury [19] oraz rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji [17], [20–21]. Wymagania w zakresie stosowania biernych lub czynnych zabezpieczeń przeciwpożarowych w strefie pożarowej garażu zależą m.in. od rodzaju garażu (podziemny, nadziemny, otwarty, zamknięty), powierzchni strefy pożarowej, liczby kondygnacji, liczby stanowisk postojowych oraz występowania bezpośredniego wjazdu lub wyjazdu z budynku [4]. Przepisy z zakresu ochrony przeciwpożarowej garaży wymagają stosowania następujących zabezpieczeń przeciwpożarowych we wskazanych garażach (strefach pożarowych garaży):

- a. Środki biernej ochrony przeciwpożarowej (elementy konstrukcyjne):
 - odporność ogniowa elementów budynku [19],
 - strefy pożarowe – powierzchnia strefy pożarowej w nadziemnym lub podziemnym garażu zamkniętym nie powinna przekraczać 5000 m², przy czym może być ona powiększona o 100%, jeżeli zastosowano ochronę stałymi samoczynnymi urządzeniami gaśniczymi wodnymi lub wykonano ściany o klasie odporności ogniowej oddzielające od siebie nie więcej niż po 2 stanowiska postojowe [19],
 - warunki ewakuacji (drogi ewakuacyjne) – powinny być zapewnione z każdego miejsca w obiekcie budowlanym przeznaczonym do przebywania ludzi [19], [21],
 - przygotowanie obiektu do prowadzenia działań ratowniczych, w tym zapewnienie zapotrzebowania w wodę do zewnętrznego gaszenia pożaru oraz drogi pożarowej [20].
- b. Środki czynnej ochrony przeciwpożarowej:
 - systemy sygnalizacji pożarowej – w garażach podziemnych, w których strefa pożarowa przekracza 1500 m² lub obejmujące więcej niż jedną kondygnację podziemną [21], a także w strefach pożarowych garażu zamkniętego nieposiadających bezpośredniego wjazdu lub wyjazdu z budynku lub o powierzchni przekraczającej 1500 m², w których wymagane jest stosowanie instalacji oddymiającej [19],
 - stałe urządzenia gaśnicze wodne – w garażach zamkniętych obejmującym więcej niż dwie kondygnacje podziemne lub znajdującym się poniżej drugiej kondygnacji podziemnej, przy czym wymagania tego nie stosuje się do strefy pożarowej garażu, który posiada bezpośredni wjazd lub wyjazd z budynku [19],

- emergency evacuation lighting – in rooms with a net area of over 1,000 m², in garages lit exclusively by artificial light, on escape routes from such rooms, and on all escape routes lit exclusively by artificial light [19],
- fire extinguishers – one unit of extinguishing agent weighing 2 kg contained in fire extinguishers should be provided for every 300 m² of the garage fire zone [21].

Fire safety and technical building regulations for buildings do not explicitly specify requirements for charging electric vehicles in garages [4]. In view of the above, this issue should be resolved on the basis of basic fire safety requirements [22] and technical knowledge, while taking into account the fire protection conditions specified in the construction design.

- instalacja wentylacji oddymiającej uruchamiana za pomocą systemu wykrywania dymu – w strefie pożarowej garażu zamkniętego w przypadku, gdy ta strefa nie posiada bezpośredniego wjazdu lub wyjazdu z budynku lub gdy jej powierzchnia przekracza 1 500 m² [19],
- instalacja wodociągowa przeciwpożarowa – hydranty 33 w garażach jednokondygnacyjnych zamkniętych o więcej niż 10 stanowiskach postojowych oraz garażach wielokondygnacyjnych, a także zawory hydrantowe 52 w budynkach wysokich i wysokościowych o więcej niż jednej kondygnacji nadziemnej [21],
- przeciwpożarowy wyłącznik prądu – w strefach pożarowych o kubaturze przekraczającej 1000 m³ lub zawierających strefy zagrożone wybuchem [19],
- awaryjne oświetlenie ewakuacyjne – w pomieszczeniach o powierzchni netto ponad 1000 m², w garażach oświetlonych wyłącznie światłem sztucznym, na drogach ewakuacyjnych z takich pomieszczeń oraz na wszystkich drogach ewakuacyjnych oświetlonych wyłącznie światłem sztucznym [19],
- gaśnice – jedna jednostka masy środka gaśniczego 2 kg zawartego w gaśnicach powinna przypadać na każde 300m² powierzchni strefy pożarowej garażu [21].

Przepisy przeciwpożarowe oraz techniczno-budowlane dotyczące budynków nie określają wprost wymagań w zakresie ładowania pojazdów z napędem elektrycznym w garażach [4]. Wobec powyższego przedmiotowe zagadnienie powinno być rozstrzygane na podstawie wymagań podstawowych dotyczących bezpieczeństwa pożarowego [22] oraz zasad wiedzy technicznej, przy jednoczesnym uwzględnieniu określonych w projekcie budowlanym warunków ochrony przeciwpożarowej.

Current legal status of electromobility – in accordance with the Act on Electromobility and Alternative Fuels

Newly designed buildings undergoing reconstruction and renovation

Pursuant to Article 12 of the Act on Electromobility [23], public buildings and multi-family residential buildings (located in municipalities with a population exceeding 100,000 and meeting additional requirements regarding the number of registered cars – Article 60(1) [23]) and related internal and external parking spaces shall be designed and constructed to ensure a connection capacity sufficient to equip these spaces with charging points with a capacity of not less than 3.7 kW.

Article 12a of the Act [23] stipulates the obligation to ensure the installation of charging points in buildings that are being designed, constructed, rebuilt, or renovated, with more than 10 parking spaces located inside or adjacent to these buildings. Pursuant to Article 12a [23], non-residential buildings are required to install at least one charging point per five parking spaces (paragraph 1), while

Aktualny stan prawny w zakresie elektromobilności – zgodnie z ustawą o elektromobilności i paliwach alternatywnych

Budynki nowo projektowane, poddawane przebudowie oraz remontowi

Zgodnie z art. 12 ustawy o elektromobilności [23], budynki użyteczności publicznej oraz budynki mieszkalne wielorodzinne (usytuowane w gminach o liczbie mieszkańców przekraczającej 100 tys. i spełniających dodatkowe wymogi co do ilości zarejestrowanych samochodów – art. 60 ust 1. [23]) oraz związane z nimi wewnętrzne i zewnętrzne stanowiska postojowe, projektuje się i buduje, zapewniając moc przyłączeniową pozwalającą wyposażać te stanowiska w punkty ładowania o mocy nie mniejszej niż 3,7 kW.

Art. 12a ustawy [23] określa obowiązek zapewnienia zainstalowania punktów ładowania w budynkach projektowanych, budowanych, przebudowywanych oraz remontowanych, z którymi związanych jest więcej niż 10 stanowisk postojowych, zlokalizowanych we wnętrzach tych budynków lub do nich przyległych. Zgodnie z art. 12a [23] w budynkach niemieszkalnych nakazuje się

residential buildings are required to enable the installation of charging points at each parking space (paragraph 2). These requirements apply to the above-mentioned buildings undergoing reconstruction or renovation if these activities includes a garage or parking lot, and the cost of the work carried out on the external partitions or technical systems of the building exceeds 25% of the value of the building, while the costs of installing charging points and ducting infrastructure do not exceed 7% of the total cost of the conversion or renovation (Article 12a(3) [23]).

Existing multi-family residential buildings

Issues related to the installation of charging points in multi-family residential buildings are regulated in Articles 12b and 12c of the Act on Electromobility [23]. In light of these provisions, in buildings with more than three separate residential units, charging points shall be installed and operated after obtaining the consent of the management board of the community or cooperative or the person managing the property. This consent is issued at the request of a person who has legal title to premises in the building and a parking space for their exclusive use. As part of the application process, the housing community or cooperative is required to commission an expert opinion on the admissibility of installing charging points. The subject of the expert opinion is the assessment of the electrical installation within the building covered by the application and the assessment of parking spaces located inside or adjacent to that building in terms of the admissibility of connecting charging points to that installation and the safety rules related to its use (Article 12c(1) [23]). The expert opinion is prepared by a person holding a building license in the area of electrical and power networks, installations, and equipment, with unlimited design privileges. The expert opinion specifies in particular the following (Article 12c(5) [23]):

- the connection capacity of the building that can be used for the operation of the charging point,
- points in the electrical installation where the connection of the charging point is permitted, and the parameters of that point, including its maximum connection capacity,
- construction and technical installation solutions that should be adopted when installing a charging point, including requirements for products used to install this point,
- conditions necessary for the safe operation of a charging point,
- requirements that should be met in terms of fire safety in connection with the installation of a charging point.

Principles of technical knowledge in the area of fire protection in garages – guidelines

The current legal status regarding electromobility does not specify the method of fire protection for charging points in garages,

zainstalowanie co najmniej jednego punktu ładowania na pięć stanowisk postojowych (ust. 1), a w budynkach mieszkalnych umożliwienie zainstalowania punktów ładowania na każdym stanowisku postojowym (ust. 2). Wymagania te mają zastosowanie w przypadku wyżej wspomnianych budynków poddawanych przebudowie lub remontowi, jeżeli przebudowa lub remont obejmuje garaż lub parking, a koszt wykonanych prac związanych z przegrodami zewnętrznymi lub systemami technicznymi budynku wynosi więcej niż 25% wartości budynku, natomiast koszty instalacji punktów ładowania i infrastruktury kanałowej nie przekraczają 7% całkowitego kosztu przebudowy lub remontu (art. 12a ust. 3 [23]).

Istniejące budynki mieszkalne wielorodzinne

Kwestie instalowania punktów ładowania w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych uregulowano w art. 12b i 12c ustawy o elektromobilności [23]. W świetle tych przepisów w budynkach, w których liczba samodzielnych lokali mieszkalnych jest większa niż trzy, punkt (-y) ładowania instaluje się i eksploatuje po uzyskaniu zgody zarządu wspólnoty lub spółdzielni lub osoby sprawującej zarząd nad daną nieruchomością. Zgoda ta wydawana jest na wniosek osoby posiadającej tytuł prawny do lokalu w tym budynku i stanowisko postojowe do wyłącznego użytku. W ramach procedowania tego wniosku wspólnota lub spółdzielnia mieszkaniowa zobowiązana jest do zlecenia sporządzenia ekspertyzy dopuszczalności instalacji punktów ładowania. Przedmiotem ekspertyzy jest ocena instalacji elektrycznej w obrębie budynku objętego wnioskiem oraz ocena stanowisk postojowych znajdujących się wewnątrz tego budynku lub do niego przylegających pod względem dopuszczalności przyłączenia do tej instalacji punktów ładowania oraz zasad bezpieczeństwa związanych z jego użytkowaniem (art. 12c ust. 1 [23]). Ekspertyzę sporządza osoba posiadająca uprawnienia budowlane w specjalności instalacyjnej w zakresie sieci, instalacji i urządzeń elektrycznych i elektroenergetycznych do projektowania bez ograniczeń. Ekspertyza określa w szczególności (art. 12c ust. 5 [23]):

- moc przyłączeniową budynku, która może zostać wykorzystana na potrzeby funkcjonowania punktu ładowania,
- punkty w instalacji elektrycznej, w których przyłączenie punktu ładowania jest dopuszczalne, oraz parametry tego punktu, w tym jego maksymalną moc przyłączeniową,
- rozwiązania budowlane oraz techniczno-instalacyjne, jakie powinny być przyjęte przy instalacji punktu ładowania, w tym wymagania dotyczące wyrobów zastosowanych do instalacji tego punktu,
- warunki niezbędne do bezpiecznej eksploatacji punktu ładowania,
- wymagania, jakie powinny być spełnione w zakresie bezpieczeństwa pożarowego w związku z zainstalowaniem punktu ładowania.

Zasady wiedzy technicznej w zakresie ochrony przeciwpożarowej garaży – wytyczne

Aktualny stan prawny w zakresie elektromobilności nie precyzuje sposobu zabezpieczenia przeciwpożarowego punktów ładowania

indicating only that it must be ensured (Article 12c(5) of the Act [23]). The main point of reference for fire safety at charging points, both in the design of new buildings and in the preparation of expert opinions for existing buildings, remains the principles of technical knowledge in accordance with Article 5(1) of the Building Law [24].

In Poland, these technical principles have been compiled in the form of guidelines [4] – a comprehensive study published by Scientific and Research Centre for Fire Protection National Research Institute (CNBOP-PIB) in cooperation with the Headquarters of the State Fire Service (KG PSP) and the Polish Association for New Mobility (PSNM). These guidelines [4] contain specific recommendations, advice, and best practices for fire protection in garages where electric and plug-in hybrid vehicles are charged. Particular attention is paid to the need for early detection and solutions that limit the spread of fire.

The key factors discussed in this article in the context of fire safety of garages with installed electric vehicle charging infrastructure – as described in this article early detection and measures limiting the possibility of unrestricted fire development – are ensured through the use of passive and active fire protection systems, the use of which is only required by law in certain garages (garage fire zones).

As part of the guidelines [4], it was decided that it is unacceptable to install charging points in garages if these facilities do not have any solutions in place for the rapid and effective detection of fire and the automatic transmission of information about this hazard directly to the fire department or to persons authorized to alert the aforementioned units. The following solutions were recommended for fast, effective detection and notification (alerting) of fire departments [4]:

- fire alarm systems – SSP
- video fire detection devices with VFD (Video Fire Detectors) or THD (Thermographic Fire Detectors) sensors – UWWP,
- devices detecting fire phenomena with functionality confirmed by an authorized entity for automatic fire detection, other than those specified above – UWZP.

Bearing in mind the approach focused on both optimizing detection costs and openness to the implementation of innovative products, in addition to “classic” devices used for automatic fire detection and notification of the fire department (SSP, UWWP), it was also proposed to consider other solutions (UWZP) with documents confirming their legal marketing and suitability for the intended use, which use, among other things, technology [4] for fire detection:

- monitoring temperature levels in parking areas,
- video analysis of fire phenomena (flames or smoke),
- detection of fire radiation (e.g., infrared),
- Internet of Things (IoT),
- video surveillance systems (VSS),
- artificial intelligence (AI).

In the context of limiting the spread of fire in its initial stages (i.e. until rescue teams arrive on site), the following solutions were identified as the most desirable [4]:

- immediate application of extinguishing agents by using local protection with an automatic fire extinguishing

w garażach, wskazując jedynie, iż ma ono być zapewnione (art. 12c ust. 5 ustawy [23]). Głównym punktem odniesienia w zakresie zabezpieczenia przeciwpożarowego punktów ładowania, zarówno w procesie projektowania nowych budynków, jak i opracowania ekspertyz w przypadku budynków istniejących, pozostają zgodnie z art. 5 ust. 1 Prawa budowlanego [24] zasady wiedzy technicznej.

W Polsce zadbano o zebranie wspomnianych zasad wiedzy technicznej w formie wytycznych [4] – kompleksowego opracowania wydanego przez Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowy Instytut Badawczy (CNBOP-PIB) we współpracy z Komendą Główną Państwowej Straży Pożarnej (KG PSP) oraz Polskim Stowarzyszeniem Nowej Mobilności (PSNM). Wytyczne te [4] zawierają konkretne rekomendacje, zalecenia i dobre praktyki dotyczące ochrony przeciwpożarowej garaży, w których odbywa się proces ładowania samochodów elektrycznych oraz hybrydowych plug-in. Szczególną uwagę zwrócono w nich na konieczność zapewnienia wczesnej detekcji i rozwiązań ograniczających możliwość swobodnego rozwoju pożaru.

Scharakteryzowane w niniejszym artykule kluczowe czynniki w kontekście bezpieczeństwa pożarowego garaży z zainstalowaną infrastrukturą ładowania samochodów z napędem elektrycznym – tj. wczesna detekcja i rozwiązania ograniczające możliwość swobodnego rozwoju pożaru – są zapewniane poprzez zastosowanie biernych i czynnych zabezpieczeń przeciwpożarowych, których zastosowanie wymagane jest prawnie tylko w określonych garażach (strefach pożarowych garaży).

W ramach wytycznych [4] przyjęto, że nieakceptowalne jest instalowanie punktów ładowania w garażach, jeśli w obiektach tych nie zapewniono żadnych rozwiązań służących szybkiej i skutecznej detekcji pożaru i przekazywania informacji o tym zagrożeniu w sposób automatyczny, bezpośrednio do jednostek straży pożarnej bądź do osób władnych do zaalarmowania wspomnianych jednostek. Jako rozwiązania służące szybkiej, skutecznej detekcji i powiadomienia (zaalarmowania) jednostek straży pożarnej zalecono [4]:

- systemy sygnalizacji pożarowej – SSP,
- urządzenia wizyjnego wykrywania pożaru z czujnikami VFD (ang. Video Fire Detectors) lub THD (ang. Thermographic Fire Detectors) – UWWP,
- urządzenia wykrywające zjawiska pożarowe z potwierdzoną przez podmiot uprawniony funkcjonalnością do automatycznego wykrywania pożaru, inne niż określono powyżej – UWZP.

Mając na względzie podejście ukierunkowane zarówno na optymalizację kosztów detekcji, jak i otwarcie na wdrożenie wyrobów innowacyjnych, prócz „klasycznych” urządzeń służących do samoczynnego wykrywania pożaru i powiadamiania straży pożarnej (SSP, UWWP), zaproponowano również możliwość uwzględnienia innych rozwiązań (UWZP) legitymujących się dokumentami potwierdzającymi legalność ich wprowadzenia do obrotu oraz przydatność do zamierzonego zastosowania, które do wykrywania pożaru wykorzystują m.in. technologię [4]:

- monitorowania pola temperatur w obszarze miejsc postojowych,
- analizy obrazu wideo w zakresie zjawisk pożarowych (płomień lub dym),

device with a supply of extinguishing agent sufficient to control the fire for at least 30 minutes,

- the use of technical and construction solutions limiting the spread of fire or its impact on the building structure (in the form of local fire separations, cladding, or fire resistance enhancements).

The legitimacy of applying one of the discussed fire prevention measures, apart from situations where there is a legal obligation to do so, is not an absolute recommendation. Therefore, their application is recommended in particular in the event of at least one of the following conditions [4]:

- threats of loss of load-bearing capacity in fire conditions by building elements essential for maintaining the stability of the main load-bearing structure of the building and loss of function by fire separation elements,
- location of charging points in parts of the garage that are difficult for rescue teams to access, e.g., in a multi-storey garage on floors other than the floor with direct access,
- concentrating a large number of charging points in one place,
- installing high-power charging points – greater than 22 kW,
- the publicly accessible (public) nature of the installed charging point, if provided for.
- extended estimated arrival time of firefighting units – over 15 minutes,
- difficult access for rescue teams to the facility,
- no fire ventilation in the garage,
- no fire detection equipment in the facility, in the form of fire alarm systems or visual fire detection devices.

In addition, the guidelines [4] recommend analysing and evaluating the possibility of applying the following fire safety solutions and measures in garages:

- ensuring the required water sources for internal and external firefighting,
- providing a fire escape route,
- fire ventilation where required,
- equipment with fire extinguishers or other portable fire-fighting equipment,
- inclusion in the fire safety instructions of content relating to issues associated with the charging and storage of electric vehicles and their accessibility to rescue teams.

Electrical installations in buildings must ensure conditions for continuous and safe operation (appropriate technical parameters) for the consumer equipment they supply, including charging points for electric vehicles (§180 of the Regulation [19]). The process of connecting charging points to the electrical installation must be preceded by ensuring adequate connection power and power reserve [4–6]. Before connecting charging points, it is necessary to carry out a comprehensive analysis and assessment of the technical condition of the electrical installation, as well as its adaptation to enable the correct and safe operation of the charging points [4–5]. Electrical installations and equipment in garages should provide protection against, among other things, electric shock, switching and atmospheric overvoltage, and fire (§180 of the Regulation [19]). The technical conditions for electrical installations (§180 of the Regulation [19]) require the use of, among other things, the following in such installations:

- wykrywania promieniowania pożaru (np. podczerwonego),
- internetu rzeczy (IoT – Internet of Things),
- systemu dozoru wizyjnego (VSS – Video Surveillance Systems),
- sztucznej inteligencji (AI – Artificial Intelligence).

W kontekście ograniczania rozprzestrzeniania się pożaru w początkowej fazie jego rozwoju (tj. do czasu przybycia na jego miejsce ekip ratowniczych) jako rozwiązania najbardziej pożądane wskazano [4]:

- niezwłoczne podanie środków gaśniczych poprzez zastosowanie ochrony miejscowej samoczynnym urządzeniem gaśniczym z zapasem środka gaśniczego pozwalającym na kontrolę pożaru przez minimum 30 min,
- zastosowanie rozwiązań techniczno-budowlanych ograniczających rozprzestrzenianie się pożaru lub jego oddziaływanie na konstrukcję budynku (w postaci lokalnych oddzieleni przeciwpożarowych, okładzin lub zabezpieczeń zwiększających odporność ogniową).

Zasadność zastosowania jednego z omawianych zabezpieczeń zapobiegających rozprzestrzenianiu się pożaru, poza sytuacją wystąpienia w tym zakresie obowiązku prawnego, nie ma charakteru rekomendacji bezwzględnej. W związku z tym ich zastosowanie zaleca się w szczególności w przypadku wystąpienia co najmniej jednego z wymienionych niżej uwarunkowań [4]:

- groźby utraty w warunkach pożarowych nośności przez elementy budowlane istotne dla zachowania stateczności głównej konstrukcji nośnej budynku oraz utraty swoich funkcji przez elementy oddzielenia przeciwpożarowego,
- lokalizacji punktów ładowania w trudno dostępnych dla ekip ratowniczych częściach garażu, np. w garażu wielokondygnacyjnym na kondygnacjach innych niż kondygnacja z zapewnionym bezpośrednim wjazdem,
- skupienia dużej liczby punktów ładowania w jednym miejscu,
- instalowania punktów ładowania o dużej mocy – większej niż 22 kW,
- ogólnodostępnego (publicznego) charakteru instalowanego punktu ładowania, jeżeli taki przewidziano,
- wydłużonego szacowanego czasu dojazdu jednostek straży pożarnej – powyżej 15 min,
- utrudnionego dostępu ekip ratowniczych do obiektu,
- braku w garażu instalacji wentylacji pożarowej,
- braku wyposażenia obiektu w urządzenia służące detekcji pożaru, w postaci systemów sygnalizacji pożarowej lub urządzeń wizyjnego wykrywania pożaru.

Ponadto w wytycznych [4] zarekomendowano przeanalizowanie i ocenę możliwości zastosowania następujących rozwiązań i zabezpieczeń przeciwpożarowych w garażach:

- zapewnienia wymaganych źródeł wody do wewnętrznego i zewnętrznego gaszenia pożaru,
- zapewnienia drogi pożarowej,
- wentylacji pożarowej tam, gdzie jest ona wymagana,
- wyposażenia w gaśnice lub inne podręczne urządzenia gaśnicze,
- zawarcia w instrukcji bezpieczeństwa pożarowego treści odnoszących się do zagadnień związanych z ładowaniem i przechowywaniem samochodów z napędem elektrycznym oraz ich dostępności dla ekip ratowniczych.

- building electrical system connectors that enable disconnection from the power supply network, located in a place accessible for supervision and maintenance, and protected against damage, weather conditions, and unauthorized interference,
- separate protective and neutral wires in distribution and receiving circuits,
- residual current devices supplementing basic protection against electric shock and fire, causing automatic power shutdown in the event of damage,
- overcurrent circuit breakers in consumer circuits,
- the principle of selectivity (selectivity) of protection,
- fire safety circuit breakers,
- main and local equipotential bonding connections, connecting protective conductors to conductive parts of other installations and building structures,
- the principle of routing electrical cables in straight lines, parallel to the edges of walls and,
- electrical cables with conductors made exclusively of copper, if their cross-section does not exceed 10 mm²,
- surge protection.

The requirements for safety measures in low-voltage installations supplying charging points for electric and plug-in hybrid vehicles from the power grid are specified in detail in the PN-HD 60364-7-722 standard [25]. The guidelines [4] present a comprehensive summary of legal requirements for the above electrical installations in existing and newly designed buildings, which are detailed in technical knowledge rules (including recommendations made by the authors of this article). A certain novelty in the field of technical knowledge contained in the guidelines [4] is:

- providing an emergency switch that cuts off the power supply to the charging point circuits using a dedicated fire department trigger button – if there is no fire safety power switch in the building,
- prohibiting the use of standard electrical outlets for charging cars with portable chargers – due to the unsuitability of these outlets and their electrical circuits for excessive and prolonged loads,
- allowing the use of electrical outlets for charging cars only after their safety features have been adapted to the required load characteristics,
- using a dedicated T1+T2 surge arrester in the charging point switchboard if there's no surge arrester in the charging point power supply system,
- recommending the use of power management systems for groups of charging points,
- prohibiting the use of extension cords and adapters (converters) when charging vehicles in garages.

Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych muszą zapewniać warunki do ciągłej i bezpiecznej pracy (odpowiednie parametry techniczne) dla zasilanych przez nią urządzeń odbiorczych, w tym także punktów ładowania samochodów z napędem elektrycznym (§180 rozporządzenia [19]). Proces przyłączenia punktu(-ów) ładowania do instalacji elektrycznej musi być poprzedzony zapewnieniem odpowiedniej mocy przyłączeniowej oraz rezerwy mocy [4–6]. Przed przyłączeniem punktów ładowania wymagane jest przeprowadzenie wszechstronnej analizy i oceny stanu technicznego instalacji elektrycznej, a także jej adaptacji umożliwiającej poprawną i bezpieczną eksploatację punktów ładowania [4–5]. Instalacje i urządzenia elektryczne w garażach powinny zapewniać ochronę m.in. przed porażeniem prądem elektrycznym, przepięciami łączeniowymi i atmosferycznymi oraz powstaniem pożaru (§180 rozporządzenia [19]). Warunki techniczne dotyczące instalacji elektrycznych (§180 rozporządzenia [19]) nakazują stosowanie w takich instalacjach m.in.:

- złączy instalacji elektrycznej budynku umożliwiających odłączenie od sieci zasilającej i usytuowanych w miejscu dostępnym dla dozoru i obsługi oraz zabezpieczonych przed uszkodzeniami, wpływami atmosferycznymi, a także ingerencją osób niepowołanych,
- oddzielnych przewodów ochronnego i neutralnego, w obwodach rozdzielczych i odbiorczych,
- urządzeń ochronnych różnicowoprądowych uzupełniających podstawową ochronę przeciwporażeniową i ochronę przed powstaniem pożaru, powodujących w warunkach uszkodzenia samoczynne wyłączenie zasilania,
- wyłączników nadprądowych w obwodach odbiorczych,
- zasadę selektywności (wybiórczości) zabezpieczeń,
- przeciwpożarowe wyłączniki prądu,
- połączenia wyrównawcze główne i miejscowe, łączące przewody ochronne z częściami przewodzącymi innych instalacji i konstrukcji budynku,
- zasadę prowadzenia tras przewodów elektrycznych w liniach prostych, równoległych do krawędzi ścian i stropów,
- przewodów elektrycznych z żyłami wykonanymi wyłącznie z miedzi, jeżeli ich przekrój nie przekracza 10 mm²,
- urządzeń ochrony przeciwprzepięciowej.

Wymagania dotyczące zabezpieczeń w instalacjach niskiego napięcia zasilających punkty ładowania pojazdów elektrycznych i hybrydowych plug-in z sieci elektroenergetycznej uszczegóławia norma PN-HD 60364-7-722 [25]. W wytycznych [4] przedstawiono kompleksowe zestawienie wymogów prawnych dla powyższych instalacji elektrycznych w budynkach istniejących i dopiero projektowanych, które uszczegółowiono zasadami wiedzy technicznej (w tym rekomendacjami zaleconymi przez autorów niniejszego artykułu). Pewnym novum w zakresie wiedzy technicznej zawartym w wytycznych [4] jest:

- zapewnienie wyłącznika awaryjnego, wyłączającego dopływ prądu do obwodów punktów ładowania za pomocą dedykowanego dla straży pożarnej przycisku wyzwającego – w przypadku braku w budynku przeciwpożarowego wyłącznika prądu,
- zakazanie stosowania standardowych gniazdek elektrycznych do ładowania samochodów przy pomocy

- przenośnych ładowarek – ze względu na nieprzystosowanie tych gniazdek i ich obwodów instalacji elektrycznych do nadmiernych i długotrwałych obciążeń,
- dopuszczenie możliwości stosowania gniazdek elektrycznych do ładowania samochodów tylko po uprzednim przystosowaniu ich zabezpieczeń do wymaganego charakteru obciążeń,
- zastosowanie w rozdzielnicy punktów ładowania wspólnego dedykowanego ogranicznika przepięć typu T1+T2 w przypadku braku ogranicznika przepięć w instalacji zasilającej punkt ładowania,
- rekomendowanie stosowania układów zarządzania mocą grupy punktów ładowania,
- zakazanie używania przedłużaczy i adapterów (przejściówek) w procesie ładowania pojazdów w garażach.

Conclusion

In order to highlight the issue of fire protection in garages where charging points for electric cars are to be installed, this article discussed the following:

- fire hazards posed by modern vehicles,
- causes and course of failure of lithium-ion batteries in electric and plug-in hybrid cars,
- characteristics of fires in such cars, and
- potential fire hazards in.

Fires involving electric vehicles, especially those involving lithium-ion traction batteries, are characterized by high dynamics, long duration, the risk of rapid spread, the release of large amounts of smoke, as well as toxic and corrosive chemicals. These hazards are particularly risky in enclosed garages, where access to the source of the fire may be difficult.

This paper reviews and analyses the regulations in force in Poland concerning fire protection in garages and the legal status of installing charging points at parking spaces. The subject matter presented in the article concludes with a discussion of the technical knowledge principles developed at CNBOP-PIB regarding fire protection for charging points in garages. The aforementioned principles of technical knowledge supplement the fire safety and technical and construction regulations in force in Poland in this area, and have been compiled in the form of a comprehensive, concise study in the form of guidelines [2]. According to them [2], the most important safeguards for controlling this hazard include early fire detection (allowing rescue and firefighting operations to be undertaken in the initial phase) and using solutions that limit the spread of fire until rescue teams arrive at the scene.

Podsumowanie

W celu naświetlenia problematyki ochrony przeciwpożarowej w garażach, w których przewidziano instalowanie punktów ładowania samochodów z napędem elektrycznym, w niniejszym artykule omówiono:

- zagrożenia pożarowe stwarzane przez współczesne pojazdy,
- przyczyny i przebieg awarii litowo-jonowych baterii samochodów elektrycznych i hybrydowych plug-in,
- charakterystyki pożarów takich samochodów oraz
- potencjalne czynniki zagrożenia pożarowego w garażach.

Pożary samochodów z napędem elektrycznym, zwłaszcza te obejmujące swoim zakresem litowo-jonowe baterie trakcyjne, cechują się dużą dynamiką, długotrwałością, ryzykiem szybkiego rozprzestrzeniania się, wydzielaniem dużej ilości dymu, a także toksycznych i żrących związków chemicznych. Wystąpienie tych zagrożeń jest szczególnie ryzykowne w zamkniętych garażach, gdzie należy liczyć się z utrudnieniami w dotarciu do źródła ognia.

W niniejszej pracy dokonano przeglądu i analizy obowiązujących w Polsce przepisów z zakresu ochrony przeciwpożarowej garaży oraz stanu prawnego w zakresie instalowania punktów ładowania na stanowiskach postojowych. Tematykę przedstawioną w artykule domyka omówienie opracowanych w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowym Instytucie Badawczym zasad wiedzy technicznej w zakresie zabezpieczania przeciwpożarowego punktów ładowania w garażach. Wspomniane zasady wiedzy technicznej stanowią uzupełnienie obowiązujących w Polsce w tym zakresie przepisów przeciwpożarowych oraz techniczno-budowlanych, i zostały one zebrane w formie kompleksowego, zwanego opracowania, w postaci wytycznych [2]. Zgodnie z nimi [2] do najważniejszych zabezpieczeń służących kontroli omawianego zagrożenia należy wczesna detekcja pożaru (pozwalająca na podjęcie działań ratowniczo-gaśniczych w jego początkowej fazie) oraz zastosowanie rozwiązań ograniczających możliwość swobodnego rozprzestrzeniania się pożaru do momentu przybycia na miejsce zdarzenia ekip ratowniczych.

Literature / Literatura

- [1] *Plastics and Polymer Composites in Light Vehicles*, Economics & Statistics Department, American Chemistry Council, August 2019.
- [2] *Fire Protection Guideline for Car Parks*, Raport opracowany w ramach projektu badawczego SUVEREN, https://suveren2use.de/wpcms/wp-content/uploads/2023/02/Guidance_BS-car_parks_2.0.pdf, 2023 [dostęp: 14.11.2025].
- [3] Kutschenreuter M., Kluh S., Lakkonen M., Rothe R., Leismann F., *How electric vehicles change the fire safety design in underground structures*, Ninth International Symposium on Tunnel Safety and Security, Munich 2020.
- [4] Babiński K., Gemra A., Janik P. i in., *Wytyczne w zakresie ochrony przeciwpożarowej garaży w obiektach budowlanych, przeznaczonych do ładowania samochodów elektrycznych i hybrydowych plug-in*, Wyd. 2, CNBOP-PIB, Józefów 2025.
- [5] Tępiński J., *Bezpieczeństwo pożarowe garaży przeznaczonych do przechowywania i ładowania samochodów z napędem elektrycznym – zasady wiedzy technicznej*, „Bezpieczna i Cyfrowa Chemia. Raport Polskiej Izby Przemysłu Chemicznego” 2024.
- [6] Kielin J., Kołodziejczyk T., Majka I., Tępiński J., Zboina J., *Prowadzenie działań ratowniczych podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z napędem elektrycznym*, CNBOP-PIB, Józefów 2023.
- [7] *Guidance on Integrated fire protection solutions for Lithium-Ion batteries*, V1.0-EN, Euralarm, Switzerland 2022.
- [8] Janik P., Tępiński J., *Fire Safety of Lithium-Ion Battery Warehouses – Challenges and Dilemmas*, “Safety & Fire Technology” 2024, 65, 1, 98–107, <https://doi.org/10.12845/sft.65.1.2025.8>.
- [9] Majder-Łopaska M., Ankowski A., Węsierski T., *Chemiczna elektromobilność*, „Przegląd Pożarniczy” 2023, 12, <https://www.ppoz.pl/czytelnia/rozpoznawanie-zagrozen/Chemiczna-elektromobilnosc/idn:3249> [dostęp: 14.11.2025].
- [10] *Forschungsbericht 2022*, Ständige Konferenz der Innenminister und Senatoren der Länder, Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung, Forschungsbericht.
- [11] Janik P., *Samochody elektryczne w garażach*, „Ochrona Przeciwpożarowa” 2024, 2.
- [12] Janik P., *Bezpieczne punkty ładowania elektryków*, „Przegląd Pożarniczy” 2023, 12, <https://www.ppoz.pl/czytelnia/rozpoznawanie-zagrozen/Bezpieczne-punkty-ladowania-elektrykow/idn:3166> [dostęp: 14.11.2025].
- [13] Zboina J., Majka I., *Badania o elektrykach*, „Przegląd Pożarniczy” 2023, 12, <https://www.ppoz.pl/czytelnia/rozpoznawanie-zagrozen/Badania-o-elektrykach/idn:3247> [dostęp: 14.11.2025].
- [14] Majka I., Zboina J., *Testing the Fire Safety of Electric Vehicles*, “Safety & Fire Technology” 2023, 62, 2, 86–111, <https://doi.org/10.12845/sft.62.2.2023.5>.
- [15] Rabajczyk A., Gniazdowska J., Zielecka M., Bąk D., Dziechciarz A., Klapsa W., Rabajczyk M. N., *Electric and Hybrid Vehicle Fires – Metal Emission Hazard*, “Applied Sciences” 2025, 15, 12165, <https://doi.org/10.3390/app152212165>.
- [16] Wierzbicki D., *Požary akumulatorów litowo-jonowych*, „Przegląd Pożarniczy” 2023, 12, <https://www.ppoz.pl/czytelnia/rozpoznawanie-zagrozen/Pozary-akumulatorow-litowo-jonowych/idn:3248>, [dostęp: 14.11.2025].
- [17] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 5 sierpnia 2023 r. w sprawie uzgadniania projektu zagospodarowania działki lub terenu, projektu architektoniczno-budowlanego, projektu technicznego oraz projektu urządzenia przeciwpożarowego pod względem zgodności z wymaganiami ochrony przeciwpożarowej (Dz. U. 2023 poz. 1563).
- [18] Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej (Dz. U. 2025 poz. 188).
- [19] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. 2024 poz. 726).
- [20] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 lipca 2009 r. w sprawie przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę oraz dróg pożarowych (Dz. U. 2009, nr 124, poz. 1030).
- [21] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. z 2023 r. poz. 822 z późn. zm.).
- [22] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzenia do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG (Dz. U. UE.L.2024 poz. 2769).
- [23] Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. 2024 poz. 1289 z późn. zm.).
- [24] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Dz. U. 2025 poz. 418 z późn. zm.).
- [25] PN-HD 60364-7-722:2019-01 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-722: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Zasilanie pojazdów elektrycznych.

JAROSŁAW TĘPIŃSKI, PH.D. ENG. – in 2008 he graduated from the Faculty of Electrical Engineering of the Warsaw University of Technology with a specialization in Automation and Computer Engineering. In 2016, at the same faculty, he obtained a doctoral degree in technical sciences. Specialties – electrical engineering, automation and technical fire protection systems. Currently, he is an assistant professor at the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute in Józefów.

SENIOR BRIG. PAWEŁ JANIK, D.SC. ENG. – a graduate of the Main School of Fire Service, where he obtained the degree of Master of Science in Fire Engineering, and of the Poznań University of Economics, where he earned his Ph.D. He was awarded the degree of doctor in science in the discipline of safety engineering in 2025 by the Fire Academy. He also completed postgraduate studies in information technology and crisis management. Prior to assuming the position of Director of CNBOP-PIB in 2018, he served at the Headquarters of the State Fire Service as Director of the Hazard Identification Office and as a representative of the Commander-in-Chief of the State Fire Service on the Committee of Competent Authorities for the Implementation of the SEVESO II Directive operating under the European Commission. He has co-implemented national and international research projects and is the author of a methodology for assessing the level of risk of municipalities and counties, included as an annex to the Regulation of the Minister of Internal Affairs and Administration on the detailed principles for the organization of the National Fire-fighting and Rescue System. He is a co-author of a postgraduate study programme in fire and accident prevention (ZPA). He is the author of several dozen publications on fire protection, prevention of major industrial accidents, risk assessment, and civil protection. He serves as Editor-in-Chief of the scientific journal "Safety & Fire Technology" and is a member of the editorial board of "Przegląd Pożarniczy". He also acts as a reviewer of research projects and scientific and technical journal articles.

DR INŻ. JAROSŁAW TĘPIŃSKI – w 2008 r. ukończył studia o specjalności Automatyka i Inżynieria Komputerowa na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej. Na tym samym wydziale w 2016 r. uzyskał stopień naukowy doktora nauk technicznych. Specjalność – elektrotechnika, automatyka, bezpieczeństwo nowych technologii oraz techniczne systemy zabezpieczeń przeciwpożarowych. Obecnie jest adiunktem w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowym Instytucie Badawczym w Józefowie.

ST. BRYG. DR HAB. INŻ. PAWEŁ JANIK – absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej, gdzie uzyskał tytuł magistra inżyniera pożarnictwa oraz Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, w której obronił doktorat. Stopień doktora habilitowanego w dyscyplinie inżynieria bezpieczeństwa przyznano mu w 2025 r. w Akademii Pożarniczej. Zrealizował również studia podyplomowe z zakresu informatyki oraz zarządzania kryzysowego. Przed objęciem w 2018 r. stanowiska dyrektora CNBOP-PIB pełnił służbę w Komendzie Głównej Państwowej Straży Pożarnej jako dyrektor Biura Rozpoznawania Zagrożeń oraz przedstawiciel Komendanta Głównego PSP w działającym przy Komisji Europejskiej Komitecie Kompetentnych Władz ds. Wdrażania Dyrektywy SEVESO II. Współwykonawca krajowych i zagranicznych projektów badawczych. Twórca metodyki określania stopnia zagrożenia gmin i powiatów zawartej w załączniku do rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji w sprawie szczegółowych zasad organizacji Krajowego Systemu Ratowniczo-Gaśniczego. Współautor programu studiów podyplomowych w zakresie zapobiegania pożarom i awariom (ZPA). Autor kilkudziesięciu publikacji dotyczących ochrony przeciwpożarowej, przeciwdziałania poważnym awariom przemysłowym, oceny ryzyka oraz ochrony ludności. Redaktor naczelny czasopisma naukowego „Safety & Fire Technology”. Członek rady redakcyjnej w „Przeglądzie Pożarniczym”, recenzent projektów naukowo-badawczych oraz artykułów w periodykach naukowo-technicznych.