

SFT

SAFETY & FIRE TECHNOLOGY

Application of Artificial Neural Networks for Mathematical Modelling of Horizontal Jet Fires

p. 34

Wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych do modelowania matematycznego poziomych pożarów strumieniowych

s. 34

Rescue Operations during Incidents Involving Alternately Powered Vehicles. Hydrogen Propulsion

p. 6

Działania ratownicze podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z napędem alternatywnym.
Napędy wodorowe

s. 6

Reducing Mercury Emissions from Small-Scale Coal-Fired Boilers Used in Residential Heating

p. 50

Ograniczenie emisji rtęci z małych kotłów węglowych wykorzystywanych do ogrzewania budynków mieszkalnych

s. 50

Categorisation of Hazards Caused by Chemical Accidents and Disasters in Terms of Rescue Efforts

p. 64

Kategoryzacja zagrożeń spowodowanych awariami i katastrofami chemicznymi w aspekcie podejmowanych działań ratowniczych

s. 64

EDITORIAL COMMITTEE / KOMITET REDAKCYJNY

st. bryg. dr inż. Paweł Janik – Editor-in-Chief / Redaktor Naczelny

st. bryg. dr hab. inż. Jacek Zboina
dr hab. Maria Zielecka, prof. instytutu (CNBOP-PIB)
prof. dr hab. Anna Rabajczyk
nadbryg. dr inż. Mariusz Feltynowski, prof. uczelni (APoż)

prof. Bogdan Z. Długogórski
prof. dr inż. Aleš Dudaček
prof. Arief E. Dahoe
dr Monika Wyszomirska
dr Agnieszka Siłuszzyk

Language editing / Redakcja językowa:
mgr Aleksandra Grzęda
mgr Anna Golińska
mgr Elżbieta Muszyńska-Połeć

Cover design / Projekt okładki: Małgorzata Żurniewicz-Turno

ISSN 2657-8808
e-ISSN 2658-0810
DOI: 10.12845/sft

© by Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej
im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowy Instytut Badawczy, Józefów 2023.
Pewne prawa zastrzeżone. Artykuły udostępnione na licencji CC BY-SA 4.0 /
Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research
Institute, 2022. Some rights reserved. The articles are published under
Creative Commons License the CC BY-SA 4.0

Editorial Office / Redakcja:
ul. Nadwiślańska 213,
05-420 Józefów k. Otwocka

tel. 22 769 33 20
e-mail: sft@cnbop.pl
www.sft.cnbop.pl

Publisher / Wydawca:



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

Circulation / Nakład: 50 egz.

Typesetting / Skład: Małgorzata Żurniewicz-Turno
Print and binding / Druk i oprawa: www.drukujzsensem.pl

EDITORIAL ADVISORY BOARD / RADA NAUKOWA

prof. Andrirej Kuzyk
Lviv State University of Life Safety, Ukraine

prof. dr inż. Rainer Koch
the University of Paderborn,
Institute for Fire and Rescue Technology in Dortmund,
Germany

prof. dr inż. Venkatesh Kodur
Michigan State University, USA

prof. Jesús Ignacio Martínez Paricio
the Complutense University of Madrid, Spain

dr inż. Hauke Speth
State Fire Service College of North-Rhine Westphalia,
Germany

dr hab. inż. Lech Starczewski, prof. WITPiS
Military Institute of Armoured and Automotive Technology,
Poland

prof. Asif Usmani
BRE Centre for Fire Safety Engineering
– The University of Edinburgh, UK

dr Ai Sekizawa
prof. Tokyo University of Science, Japan

dr hab. Iwona Szwach
The Łukasiewicz Research Network
– Institute of Heavy Organic Synthesis "Błachownia",
Poland

dr Jason Yunlong Liu, FIEAust
(<https://www.jasonyunlong.com/>), USA

prof. dr Qiang Xu,
Nanjing University of Science and Technology,
School of Mechanical Engineering, China

prof. Milosh Puchovsky
Worcester Polytechnic Institute, USA

INDEXING IN DATABASES / INDEKSACJA W BAZACH

EBSCO
BazTech
Index Copernicus (ICV 2022: 100)
DOAJ
J-GATE
VINITI
Ulrich's Periodicals Directory
ProQuest
Google Books / Google Play
ERIH PLUS

**BOOKSTORE PLATFORMS & LIBRARIES /
PLATFORMY KSIĘGARSKIE I BIBLIOTEKI**

Electronical Journals Library, University of Regensburg
Verнадsky National Library of Ukraine
Federacja Bibliotek Cyfrowych
CEON Biblioteka Nauki
e-publikacje Nauki Polskiej
ibuk.pl

CONTENT

- 6** Rescue Operations During Incidents Involving Alternately Powered Vehicles. Hydrogen Propulsion
Jan Kielin, Jacek Zboina, Grzegorz Bugaj, Jacek Zalech, Damian Bąk
- 34** Application of Artificial Neural Networks for Mathematical Modelling of Horizontal Jet Fires
Michał Lewak, Jarosław Tępiński
- 50** Reducing Mercury Emissions from Small-Scale Coal-Fired Boilers Used in Residential Heating
Sławomir Stelmach, Katarzyna Matuszek, Piotr Hrycko, Paweł Wolny, Jiří Horák, Lenka Kuboňová
- 64** Categorisation of Hazards Caused by Chemical Accidents and Disasters in Terms of Rescue Efforts
Bogdan Kołcz
- 86** Testing the Fire Safety of Electric Vehicles
Ilona Majka, Jacek Zboina
- 112** Technological Developments as a New Challenge for Modern Legislation
Monika Wyszomirska
- 120** Analysis and Formal and Substantive Evaluation of the Proposal of the European Regulation Authorizing the Marketing of Construction Products in the Harmonized Area
Marta Iwańska, Michał Chmiel, Ewa Sobór
- 136** Student Scientific Club in Research for Road Safety
Wiesław Jaszczur, Zofia Marciniak
- 150** Influence of External Factors on the Strength of Firefighting Hoses Used in Fire Protection Units
Karolina Dwórska, Leszek Jurecki, Mateusz Jakubowski, Maksymilian Żurawski, Łukasz Pastuszka
- 172** Audio-Video Analysis Method of Public Speaking Videos to Detect Deepfake Threat
Robert Wolański, Karol Jędrasiak

SPIS TREŚCI

- 6** Działania ratownicze podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z napędem alternatywnym.
Napędy wodorowe
Jan Kielin, Jacek Zboina, Grzegorz Bugaj, Jacek Zalech, Damian Bąk
- 34** Wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych do modelowania matematycznego poziomych pożarów strumieniowych
Michał Lewak, Jarosław Tępiński
- 50** Ograniczenie emisji rtęci z małych kotłów węglowych wykorzystywanych do ogrzewania budynków mieszkalnych
Sławomir Stelmach, Katarzyna Matuszek, Piotr Hrycko, Paweł Wolny, Jiří Horák, Lenka Kuboňová
- 64** Kategoryzacja zagrożeń spowodowanych awariami i katastrofami chemicznymi w aspekcie podejmowanych działań ratowniczych
Bogdan Kołcz
- 86** Badania bezpieczeństwa pożarowego pojazdów elektrycznych
Ilona Majka, Jacek Zboina
- 112** Rozwój technologii jako nowe wyzwanie dla współczesnego prawodawstwa
Monika Wyszomirska
- 120** Analiza i ocena formalno-merytoryczna wybranych aspektów projektu europejskiego rozporządzenia dopuszczającego do obrotu wyroby budowlane w obszarze zharmonizowanym
Marta Iwańska, Michał Chmiel, Ewa Sobór
- 136** Studenckie koło naukowe w badaniach na rzecz bezpieczeństwa ruchu drogowego
Wiesław Jaszczur, Zofia Marciniak
- 150** Wpływ czynników zewnętrznych na wytrzymałość pożarniczych węży tłocznych stosowanych w jednostkach ochrony przeciwpożarowej
Karolina Dwórska, Leszek Jurecki, Mateusz Jakubowski, Maksymilian Żurawski, Łukasz Pastuszka
- 172** Metoda analizy audio-wideo filmów z wystąpień publicznych w celu wykrycia zagrożenia typu *deepfake*
Robert Wolański, Karol Jędrasiak

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

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

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

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

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

Rescue Operations During Incidents Involving Alternatively Powered Vehicles. Hydrogen Propulsion

Działania ratownicze podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z napędem alternatywnym. Napędy wodorowe

ABSTRACT

Aim: This article presents key information and conclusions about hydrogen-powered motor vehicles, as well as technological equipment and technical infrastructure enabling the work of hydrogen fuel cells in the context of their fire safety, particularly the conduct of rescue operations. The authors' main areas of consideration are the challenges for emergency services and the possible risks associated with the development and increasingly widespread and varied use of these technologies.

Introduction: We are currently in the midst of the biggest energy crisis since the end of World War II. Therefore, the world's leading economies are taking steps to intensify the production of alternative fuels – including hydrogen – and thus reduce the extraction of fossil fuels. One area of consideration and challenge related to increased extraction, processing and use of hydrogen is safety, particularly fire safety. In this regard, a major challenge is the knowledge, skills, equipment and facilities for rescue operations.

Methodology: Based on a review and analysis of literature on the subject and available research results, key information, conclusions and recommendations directed to emergency services conducting operations during accidents and fires involving fuel cells were developed. Taken into account are the specific properties of hydrogen and the need to store it under high pressure. The article reviews the current state of knowledge regarding hazards and how to deal with them when conducting rescue operations during incidents involving hydrogen-powered vehicles.

Conclusions: The development of this and other technologies, as well as the use of new alternative fuels, along with the increase in the number of vehicles powered in this way, will undoubtedly result in numerous and varied challenges for fire protection in the near future, including the need for rescue operations. These changes require systemic preparation and improvement of both the knowledge, skills of the rescuers and their equipment. Therefore, it is urgently necessary to work on the preparation/adaptation of appropriate education, training and professional development programs and teaching materials. It is necessary also to clarify the technical requirements for equipment for storing and supplying hydrogen to vehicles for example passenger vehicles and technical equipment in plants such as forklifts or generators for providing electricity in emergency situations. Work on these regulations is currently underway.

Keywords: hydrogen drives, fire safety, rescue operations, rescue card

Type of article: review article

Received: 16.10.2023; **Reviewed:** 06.12.2023; **Accepted:** 06.12.2023;

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

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

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

Please cite as: SFT Vol. 62 Issue 2, 2023, pp. 6–32, <https://doi.org/10.12845/sft.62.2.2023.1>;

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

ABSTRAKT

Cel: W niniejszym artykule przedstawiono kluczowe informacje i wnioski dotyczące pojazdów mechanicznych napędzanych wodorem, a także urządzeń technologicznych oraz infrastruktury technicznej umożliwiających działanie wodorowych ogniw paliwowych w kontekście ich bezpieczeństwa pożarowego, w szczególności prowadzenia działań ratowniczych. Głównym obszarem rozważań autorów są wyzwania dla służb ratowniczych oraz możliwe zagrożenia związane z rozwojem oraz coraz powszechniejszym i różnorodnym stosowaniem tych technologii.

Wprowadzenie: Obecnie znajdujemy się w samym środku największego kryzysu energetycznego od zakończenia II wojny światowej. Dlatego wiodące gospodarki światowe podejmują działania mające na celu zintensyfikowanie produkcji paliw alternatywnych – m.in. wodoru – i tym samym ograniczenie wydobycia paliw kopalnych. Jednym z obszarów rozważań i wyzwań związanych ze zwiększonym wydobyciem, przetwarzaniem i zastosowaniem wodoru jest bezpieczeństwo, szczególnie bezpieczeństwo pożarowe. W tym zakresie istotnym wyzwaniem są wiedza, umiejętności, sprzęt i wyposażenie do prowadzenia działań ratowniczych.

Metodologia: Na podstawie przeglądu i analizy literatury przedmiotu oraz dostępnych wyników badań opracowano kluczowe informacje, wnioski i rekomendacje kierowane do służb ratowniczych prowadzących działania podczas wypadków i pożarów z udziałem ogniw paliwowych. Uwzględniono w nich specyficzne właściwości wodoru oraz konieczność magazynowania go pod wysokim ciśnieniem. Artykuł przeglądowo przedstawia obecny stan wiedzy w zakresie zagrożeń i radzenia sobie z nimi podczas prowadzenia działań ratowniczych z udziałem pojazdów z napędami wodorowymi.

Wnioski: Rozwój tej i innych technologii, a także zastosowania nowych paliw alternatywnych, wraz ze wzrostem liczby pojazdów zasilanych w ten sposób, bez wątpienia skutkować będzie w najbliższej przyszłości licznymi i różnorodnymi wyzwaniami dla ochrony przeciwpożarowej, w tym koniecznością prowadzenia działań ratowniczych. Te zmiany wymagają systemowych przygotowań i doskonalenia zarówno wiedzy, umiejętności ratowników, jak i ich wyposażenia. Dlatego konieczne jest pilne podjęcie prac nad przygotowaniem/dostosowaniem odpowiednich programów kształcenia, szkolenia i doskonalenia zawodowego oraz materiałów dydaktycznych.

Niezbędne jest także doprecyzowanie wymagań technicznych dla urządzeń do przechowywania i dostarczania wodoru do pojazdów np. samochodów osobowych i urządzeń technicznych w zakładach np. wózków widłowych czy agregatów prądotwórczych. Aktualnie trwają prace nad tymi regulacjami.

Słowa kluczowe: napędy wodorowe, bezpieczeństwo pożarowe, działania ratownicze, karta ratownicza

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 16.10.2023; **Zrecenzowany:** 06.12.2023; **Zaakceptowany:** 06.12.2023;

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

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

Proszę cytować: SFT Vol. 62 Issue 2, 2023, pp. 6–32, <https://doi.org/10.12845/sft.62.2.2023.1>;

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

Introduction

The growing use of fuel cells in road, marine, rail transportation means that emergency services may increasingly face the challenge of conducting rescue operations during incidents involving a variety of equipment that use fuel cells as an energy source. This incidents such as traffic accidents and failures of such equipment during its operation, requiring urgent intervention of emergency services, especially the fire department and ambulance service.

According to numerous experts, fuel cells provide an environmentally friendly, quiet, flexible and safe solution for providing reliable power in mobile applications. They are available in various formats as control cabinets, trailers, portable outdoor boxes, vehicle-based or directly integrated into vehicles [1, p. 40].

Combined with environmentally friendly hydrogen, fuel cells are currently the most environmentally friendly power source. Direct-methanol fuel cells (DMFCs) are designed for mobile use. The most popular types of hydrogen fuel cells are proton exchange membrane fuel cells (PEMFC) and solid oxide fuel cells (SOFC). The latter are typically used in stationary applications, but PEMFC fuel cells – thanks to their high efficiency, fast response times and small size and weight – are ideal for portable applications. They convert hydrogen, supplemented with oxygen from the air, into electricity, producing the only by-product – water [1, p. 40].

At present, in emergency practice, we can already encounter the use of hydrogen as a fuel in fuel cells that generate electricity to drive electric motors or to power other consumers, such as

Wprowadzenie

Rosnące zastosowanie ogniw paliwowych w transporcie drogowym, morskim, kolejowym powoduje, że przed służbami ratowniczymi coraz częściej może pojawiać się wyzwanie prowadzenia działań ratowniczych podczas zdarzeń z udziałem różnorodnych urządzeń, w których wspomniane ogniwa paliwowe służą jako źródło energii. Dotyczy to także zdarzeń typu wypadki komunikacyjne oraz awarie takich urządzeń podczas ich eksploatacji, wymagających pilnej interwencji służb ratowniczych, w szczególności straży pożarnej i pogotowia ratunkowego.

Ogniwa paliwowe w opinii licznych ekspertów stanowią przyjazne dla środowiska, ciche, elastyczne i bezpieczne rozwiązanie zapewniające niezawodne zasilanie w zastosowaniach mobilnych. Są one dostępne w różnych formatach jako szafy sterownicze, przyczepy, przenośne skrzynki zewnętrzne, oparte na pojazdach lub bezpośrednio zintegrowane z pojazdami [1, s. 40].

W połączeniu z ekologicznym wodorem ogniwa paliwowe są obecnie najbardziej sprzyjającym środowisku źródłem zasilania. Ogniwa paliwowe na wodór i metanol (DMFC) są przystosowane do użytku mobilnego. Najpopularniejszymi typami wodorowych ogniw paliwowych są ogniwa z membraną protonowymienną (PEMFC) i ogniwa paliwowe ze stałym tlenkiem (SOFC). Te ostatnie są zwykle używane w zastosowaniach stacjonarnych, ale ogniwa paliwowe PEMFC – dzięki wysokiej wydajności, krótkim czasom reakcji oraz niewielkim rozmiarom i wadze – są idealne do zastosowań przenośnych. Zamieniają one wodór, uzupełniony tlenem z powietrza, w energię elektryczną, produkując jedyny produkt uboczny – wodę [1, s. 40].

lighting systems used in emergency situations, powering facilities important for the safety of people, such as hospitals, nursing homes and other facilities important in emergency situations.

Some countries are also already using methanol fuel cell generators. They are used to supply power to the growing number of devices used by rescuers (fans, rescue tools, lighting of the action area, etc.). They eliminate the need to run both the car engine and the internal combustion engines that drive the generator set, which emit exhaust fumes and generate noise. The factors of the rescue workers' working environment mentioned above are increasingly being analyzed. Alternatives are being sought – including those that will not impede long-term search operations in rubble or earthquake zones. In doing so, it should be noted that methanol-powered fuel cells achieve significantly lower power output compared to hydrogen-powered cells (see Table 2).

The article, as synthetically as possible, presents the most important information and conclusions useful and needed during rescue operations involving hydrogen-powered vehicles. In addition, the area of consideration includes technical infrastructure and related technological equipment. The development of new technologies, including hydrogen propulsion, results in the need for rescuers to improve their training, adjusting their education and training programs – with a particular focus on the necessary knowledge, skills, as well as equipment and supplies needed for rescue operations. To meet this important need, the following sections of the following article, based on the available research results and literature on the subject (hydrogen-oxygen electric cells and motors, hydrogen propulsion), present the identified risks that may arise during operations, failures and accidents, proposals for assessing the risks in the context of response, as well as detailed tactical worksheets proposed for selected incidents. The summary formulates conclusions and recommendations.

Hydrogen-oxygen fuel cells and electric motors

Vehicles with this type of engine generate the electricity they need from a fuel cell, which produces electricity from the energy carrier known as hydrogen. It is a galvanic cell to which fuel and oxidant are continuously supplied. Hydrogen-oxygen cells are distinguished by the fact that the chemically bound energy of the fuel is not first burned, converted into thermal energy and then converted into electrical energy, but is converted directly from chemical energy into electrical energy. In passenger cars, the fuel for the fuel cell is hydrogen or a hydrogen compound. Fuel cells for other applications may also have other energy sources.

A fuel cell converts hydrogen into electricity. It converts chemical energy directly into electrical energy. Hydrogen is continuously

Obecnie w praktyce ratowniczej możemy już spotkać się z zastosowaniem wodoru jako paliwa w ogniwach paliwowych wytwarzających prąd do napędu silników elektrycznych lub do zasilania innych odbiorników, jak np. instalacje oświetleniowe wykorzystywane w sytuacjach awaryjnych, zasilanie w energię elektryczną obiektów ważnych ze względu na bezpieczeństwo osób, takich jak szpitale, domy opieki oraz inne obiekty ważne w sytuacjach kryzysowych.

W niektórych krajach stosuje się już także agregaty prądotwórcze z napędem na ogniwo paliwowe na metanol. Służą one do zasilania w energię coraz liczniejszych urządzeń stosowanych przez ratowników (wentylatory, narzędzia ratownicze, oświetlenie terenu akcji itp.). Eliminują one konieczność pracy zarówno silnika samochodowego, jak i silników spalinowych napędzających agregat prądotwórczy, które emitują spaliny i generują hałas. Wymienione czynniki środowiska pracy ratowników są coraz częściej przedmiotem analiz. Poszukuje się rozwiązań alternatywnych – w tym takich, które nie będą utrudniać długotrwałych akcji poszukiwawczych na gruzowiskach lub w strefach po trzęsieniach ziemi. Należy przy tym zaznaczyć, że ogniwa paliwowe zasilane metanolem uzyskują znacznie niższą moc w porównaniu z ogniwami zasilanymi wodorem (zob. tabela 2).

W artykule, w sposób możliwie syntetyczny, przedstawiono najważniejsze informacje i wnioski użyteczne i potrzebne podczas działań ratowniczych z udziałem pojazdów z napędem wodorowym. Dodatkowo obszarem rozważań objęto infrastrukturę techniczną i związane z nią urządzenia technologiczne. Rozwój nowych technologii, w tym napędów wodorowych, skutkuje potrzebą doskonalenia zawodowego ratowników, dostosowywania programów ich kształcenia i szkolenia – ze szczególnym uwzględnieniem niezbędnej wiedzy, umiejętności, a także sprzętu i wyposażenia koniecznych do prowadzenia działań ratowniczych. Wychodząc naprzeciw tej ważnej potrzebie, w kolejnych częściach poniższego artykułu, na podstawie dostępnych wyników badań i literatury przedmiotu (wodorowo-tlenowe ogniwa i silniki elektryczne, napędy wodorowe), przedstawiono zidentyfikowane zagrożenia, jakie mogą powstawać podczas eksploatacji, awarii i wypadków, propozycje oceny zagrożeń w kontekście reagowania, a także szczegółowe arkusze taktyczne proponowane dla wybranych zdarzeń. W podsumowaniu sformułowano wnioski i rekomendacje.

Wodorowo-tlenowe ogniwa paliwowe i silniki elektryczne

Pojazdy z silnikiem tego typu wytwarzają potrzebną im energię elektryczną z ogniwa paliwowego, które produkuje energię elektryczną z nośnika energii, jakim jest wodór. Jest to ogniwo galwaniczne, do którego w sposób ciągły doprowadzane jest paliwo i utleniacz. Ogniwa wodorowo-tlenowe wyróżnia to, że związana chemicznie energia paliwa nie jest najpierw spalana, przekształcana w energię cieplną i dopiero zamieniana na energię elektryczną, lecz jest przekształcana bezpośrednio z energii chemicznej w elektryczną. W samochodach osobowych paliwem dla ogniwa paliwowego jest wodór lub związek wodoru. Ogniwa paliwowe do innych zastosowań mogą mieć również inne źródła energii.

supplied to it. The resulting waste product is water. The operating voltage is in the range of 200–650 V [2].

Ogniwo paliwowe przetwarza wodór na prąd elektryczny. Przekształca energię chemiczną bezpośrednio w energię elektryczną. Wodór jest do niego stale doprowadzany. Powstającym produktem odpadowym jest woda. Napięcie robocze mieści się w przedziale 200–650 V [2].

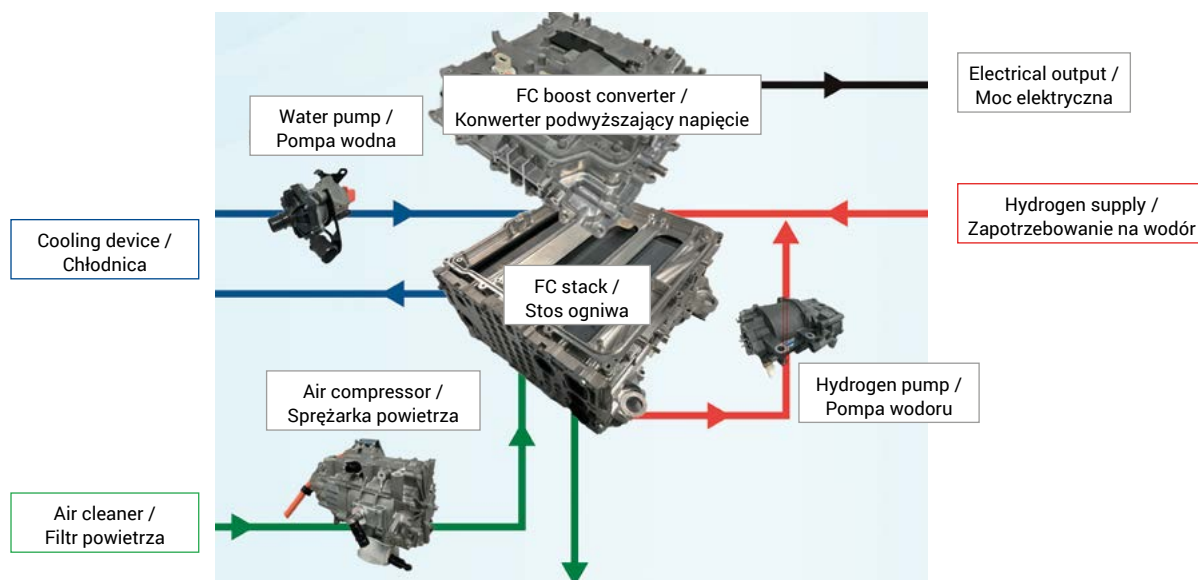


Figure 1. Example of connection between a fuel cell (FC) module and external devices (visualization)
Rycina 1. Przykład połączenia między modułem ogniwa paliwowego (FC) a urządzeniami zewnętrznymi (wizualizacja)

Source: Own elaboration based on [3].
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [3].

A hydrogen vehicle is an electric vehicle (E) connected to a hydrogen fuel cell system (A-B-C-D). Its fuel cell is fuelled by hydrogen and oxygen (from ambient air), and produces the electricity needed to charge batteries and operate electric motors.

Pojazd na wodór to pojazd elektryczny (E) połączony z systemem wodorowych ogniw paliwowych (A-B-C-D). Jego ogniwo paliwowe zasilane jest wodorem i tlenem (z powietrza atmosferycznego), wytwarza energię elektryczną niezbędną do ładowania akumulatorów i obsługi silników elektrycznych.

Hydrogen drives and fuel cells

Hydrogen-powered vehicles, based on their use, are divided into two types. On the one hand, hydrogen can be used as an alternative fuel for the internal combustion engine, and on the other, it can be converted into electricity in a fuel cell. This energy is used to power the engine or electric motors. Fuel cells are the most energy-efficient device for extracting energy from fuels. The maximum efficiency of the fuel cell is 60%, which is 37% higher than that of a diesel engine.

Properties of hydrogen

Under standard conditions of temperature and pressure (273.15 K – 0°C / 101.325 kPa – 1 bar), hydrogen:

- is gaseous;
- floats due to its very low relative density – compared to air;
- mixes very quickly with the atmosphere, where it is released;

Napędy wodorowe i ogniwa paliwowe

Pojazdy napędzane wodorem, ze względu na sposób użytkowania, dzielą się na dwa rodzaje. Z jednej strony wodór może być stosowany jako alternatywne paliwo dla silnika spalinywego, a z drugiej może być przekształcany w energię elektryczną w ogniwie paliwowym. Energia ta jest wykorzystywana do zasilania silnika lub silników elektrycznych. Ogniwa paliwowe to najbardziej wydajne energetycznie urządzenie do pozyskiwania energii z paliw. Maksymalna sprawność ogniwa paliwowego wynosi 60%, a więc o 37% więcej niż silnika Diesla.

Właściwości wodoru

W standardowych warunkach temperatury i ciśnienia (273,15 K – 0°C / 101,325 kPa – 1 bar), wodór:

- jest gazowy;
- unosi się ze względu na swoją bardzo niską – w porównaniu z powietrzem – gęstość względną;

- has a wide range of flammability;
- can be ignited by one of the lowest gas ignition energies (e.g. static electricity, rubbing, shock, heat);
- spontaneous ignition with sudden release is possible.

If the release is the result of a liquid hydrogen leak, the extremely low temperature of the gas can cause the hydrogen cloud to flow horizontally or downward upon immediate release. Condensation of atmospheric moisture can make the cloud visible for a while, even if the hydrogen itself is invisible.

- bardzo szybko miesza się z atmosferą, w której jest uwalniany;
- ma szeroki zakres palności;
- może zostać zapalony przez jedną z najniższych energii zapłonu gazu (np. elektryczność statyczna, pocieranie, wstrząsy, ciepło);
- możliwy jest spontaniczny zapłon przy nagłym uwolnieniu.

Jeżeli uwolnienie jest wynikiem wycieku ciekłego wodoru, to skrajnie niska temperatura gazu może spowodować, że po natychmiastowym uwolnieniu chmura wodoru będzie płynąć poziomo lub w dół. Kondensacja wilgoci atmosferycznej może sprawić, że chmura będzie przez chwilę widoczna, nawet jeśli sam wodór jest niewidoczny.

Table 1. Properties of hydrogen

Tabela 1. Właściwości wodoru

Colour / Kolor	Colourless / Bezbarwny
Scent / Zapach	Odourless / Bezwonny
Melting point / Temperatura topnienia	-259°C (solid to liquid) / -259°C (ciało stałe w ciecz)
Boiling point / Temperatura wrzenia	-253°C (liquid to gas) / -253°C (ciecz do gazu)
Self-ignition temperature / Temperatura samozapłonu	560°C
Flammability range / Zakres palności	4–77% volume in air / 4–77% obj. w powietrzu
Detonation range / Zakres detonacji	11–59% in air / 11–59% w powietrzu
Relative density, hydrogen/air / Gęstość względna, wodór/powietrze	0.07/1
Relative density, air/hydrogen / Gęstość względna, powietrze/wodór	14.28/1
Solubility in water / Rozpuszczalność w wodzie	1.6 mg/l
Ignition energy / Energia zapłonu	0.017 mJ

Source: Own elaboration based on [2].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [2].

Classification, labelling and packaging (CLP) [4]:

- H220 – extremely flammable gas.
- H280 – contains gas under pressure; may explode when heated.
- P210 – keep away from heat, hot surfaces, sparks, open flames and other sources of ignition. Do not burn.
- P377 – fire caused by a gas leak: do not extinguish unless leak can be stopped safely.
- P381 – eliminate all ignition sources if safe to do so.
- P403 – store in a well-ventilated place.
- P410+P403 – protect from sunlight. Store in a well-ventilated place.

Klasyfikacja, oznakowanie i pakowanie (CLP) [4]:

- H220 – skrajnie łatwopalny gaz.
- H280 – zawiera gaz pod ciśnieniem; może wybuchnąć po podgrzaniu.
- P210 – przechowywać z dala od ciepła, gorących powierzchni, iskiei, otwartego ognia i innych źródeł zapłonu. Nie palić.
- P377 – pożar spowodowany nieszczelnością gazu: nie gasić, chyba że wyciek może być bezpiecznie zatrzymany.
- P381 – wyeliminować wszystkie źródła zapłonu, jeżeli jest to bezpieczne.
- P403 – przechowywać w dobrze wentylowanym miejscu.
- P410+P403 – chronić przed światłem słonecznym. Przechowywać w dobrze wentylowanym miejscu.

Identification characteristics of hydrogen containers

Hydrogen is a colourless and odourless gas that is neither irritant nor toxic. However, in the event of a hydrogen leak, breathing apparatus that isolates the airways should always be used. If the hydrogen ignites, the flame is barely visible and has a combustion temperature of about 2000°C. Measurement of explosive atmospheres is possible with the measuring equipment provided by fire brigade units.



Figure 2. Hydrogen cylinder kit
Rycina 2. Zestaw butli z wodorem

Source / Źródło: Lecomte L., *European Emergency Response Guide, ENSOSP, 2022* [2].

Cechy identyfikacyjne zbiorników na wodór

Wodór jest bezbarwnym i bezwonym gazem, który nie jest ani drażniący, ani toksyczny. Jednak w przypadku wycieku wodoru należy zawsze używać aparatów powietrznych izolujących drogi oddechowe. Jeśli wodór się zapali, płomień jest ledwo widoczny i ma temperaturę spalania wynoszącą ok. 2000°C. Pomiar atmosfery wybuchowej jest możliwy za pomocą urządzeń pomiarowych będących na wyposażeniu jednostek straży pożarnej.



Table 2. Comparison of the properties of hydrogen and other motor fuels
Tabela 2. Porównanie właściwości wodoru i innych paliw silnikowych

Properties / Właściwości	Hydrogen / Wodór	Methane / Metan	Gasoline / Benzyna	Diesel / Olej napędowy
	Chemical formula / Wzór chemiczny			
	H ₂	CH ₄	C ₈ H ₁₈	C ₈ H ₂₀
Carbon content [% by weight] / Zawartość węgla [% mas.]	0	75	84	86
Calorific value [MJ/kg] / Wartość opałowa [MJ/kg]	119.9	45.8	43.9	42.5
Density (1 bar & 273 K) [kg/m ³] / Gęstość (1 bar & 273 K) [kg/m ³]	0.089	0.72	730–780	830
Volumetric energy content (1 bar & 273 K) [MJ/m ³] / Objętościowa zawartość energii (1 bar & 273 K) [MJ/m ³]	10.7	33.0	33 × 103	35 × 103
Molecular weight [g/mol] / Masa cząsteczkowa [g/mol]	2.016	16.043	~110	~170
Boiling temperature [K] / Temperatura wrzenia [K]	20	111	298–488	453–633
Self-ignition temperature [K] / Temperatura samozapłonu [K]	853	813	~623	~523
Minimum ignition energy in air (1 bar, stoichiometric mixture) [mJ] / Minimalna energia zapłonu w powietrzu (1 bar, mieszanka stechiometryczna) [mJ]	0.02	0.29	0.24	0.24
Stoichiometric excess air coefficient [mass] / Stechiometryczny współczynnik nadmiaru powietrza [mas.]	34.4	17.2	14.7	14.5
Diffusion coefficient in air (1 bar & 273 K) [m ² /s] / Współczynnik dyfuzji w powietrzu (1 bar & 273 K) [m ² /s]	8.5 × 10 ⁻⁶	1.9 × 10 ⁻⁶	–	–
Flammability limits in air [% vol.] / Granice palności w powietrzu [% obj.]	4–76	5.3–15	1–7.6	0.6–5.5
Octane rating (R + M)/2 / Liczba oktanowa (R + M)/2	130+	120+	86–94	–
Cetane number* / Liczba cetanowa*	–	–	13–17	40–55

* Cetane number (LC) – a quantity characterising the self-ignition capacity of a liquid fuel in a compression-ignition internal combustion engine, source: PWN Encyclopaedia. / *Liczba cetanowa (LC) – wielkość charakteryzująca zdolność paliwa ciekłego do samozapłonu w tłokowym silniku spalinywym o zapłonie samoczynnym, źródło: Encyklopedia PWN.

Source / Źródło: Stępień Z., Urzędowska W., *Tłokowe silniki spalinowe zasilane wodorem – wyzwania*, „Nafta–Gaz” 2021, 12, s. 832 [5].

Hydrogen is stored in pressurised composite gas tanks at pressures of around 16 bar and above, either deeply cooled (LH_2) or in gaseous form (GH_2) at pressures of up to 700 bar. Some of these tanks are installed in the boot or under the vehicle.

The most common way to store hydrogen as a compressed gas or as a cryogenic liquid is in metal or composite cylinders or tanks. Cylinders can vary in size, capacity (20–300 litres) and pressure (20–70 MPa), and in some applications can be bundled or collected in a basket for transport [6]. Hydrogen gas can be compressed to pressures of 20–100 MPa. The main problems with storing hydrogen as a compressed gas are the amount of energy required for the compression process, the inherent safety issues associated with storing hydrogen at such high pressures and the additional cost and weight of the cylinders for this purpose. Problems such as permeation and embrittlement are proportional to gas pressure, so at higher pressures they can be more of a problem. In Europe, most portable cylinders only have a valve as a safety feature [6].

Wodór jest przechowywany w ciśnieniowych zbiornikach gazowych z materiałów kompozytowych pod ciśnieniem od ok. 16 barów, głęboko schłodzony (LH_2) lub w postaci gazowej (GH_2) przy ciśnieniu do 700 bar. Niektóre z tych zbiorników są zainstalowane w bagażniku lub pod pojazdem.

Najpopularniejszym sposobem przechowywania wodoru jako gazu sprężonego lub jako cieczy kriogenicznej są metalowe lub kompozytowe butle lub zbiorniki. Butle mogą mieć różne rozmiary, pojemności (20–300 l) i ciśnienia (20–70 MPa), a w niektórych zastosowaniach mogą być połączone w wiązkę lub zebrane w koszu do transportu [6]. Gazowy wodór może być sprężany do ciśnienia 20–100 MPa. Podstawowe problemy dotyczące przechowywania wodoru w postaci sprężonego gazu to ilość energii potrzebnej do procesu sprężania, nieodłączne kwestie bezpieczeństwa związane z przechowywaniem wodoru pod tak wysokim ciśnieniem oraz dodatkowe koszty i masa butli przeznaczonych do tego celu. Problemy, takie jak przenikanie i kruchość, są proporcjonalne do ciśnienia gazu, dlatego przy wyższych ciśnieniach mogą stanowić większy problem. W Europie większość butli przenośnych posiada jedynie zawór jako element zabezpieczający [6].

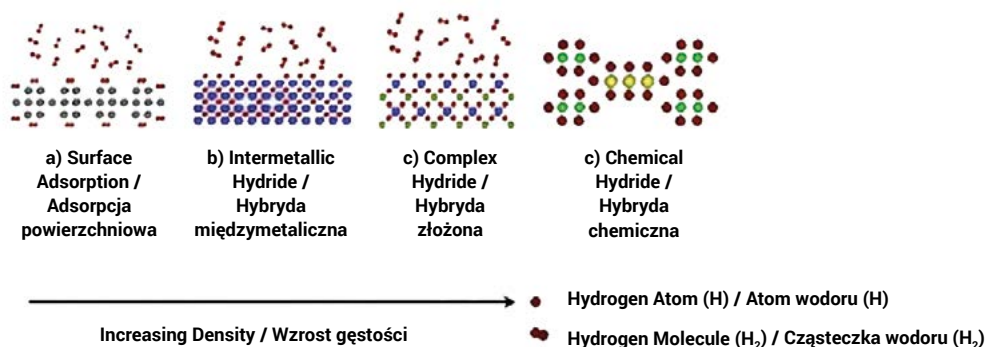


Figure 3. Examples of materials and compounds suitable for hydrogen storage in the solid state

Rycina 3. Przykłady materiałów i związków odpowiednich do przechowywania wodoru w stanie stałym

Source / Źródło: *European Train the Trainer Programme for Responders, Lecture 1: Introduction to hydrogen safety for responders* [6].

Hydrogen can also be stored in a structure or on the surface of some solid materials. This storage option requires neither high pressure nor low temperatures as with the previous two methods; instead, it offers advantages in terms of material safety.

Fuel cell electric vehicles (FCVs) have an electric propulsion system powered by a fuel cell that generates electricity through an electrochemical reaction using hydrogen. The key elements of the FCV are:

- A – hydrogen refuelling system;
- B – hydrogen storage system;
- C – hydrogen fuel delivery system;
- D – fuel cell system;
- E – electric drive and energy management system.

Wodór może być również przechowywany w strukturze lub na powierzchni niektórych materiałów stałych. Ta opcja składowania nie wymaga ani wysokiego ciśnienia, ani niskich temperatur, jak w przypadku dwóch poprzednich metod; za to przynosi korzyści w zakresie bezpieczeństwa materiałów.

Pojazdy elektryczne z ogniwami paliwowymi (FCV) mają elektryczny układ napędowy zasilany przez ogniwo paliwowe, które generuje energię elektryczną w reakcji elektrochemicznej z wykorzystaniem wodoru. Kluczowe elementy pojazdu FCV to:

- A – system tankowania wodoru;
- B – system magazynowania wodoru;
- C – system dostarczania paliwa wodorowego;
- D – system ogniw paliwowych;
- E – elektryczny układ napędowy i zarządzania energią.

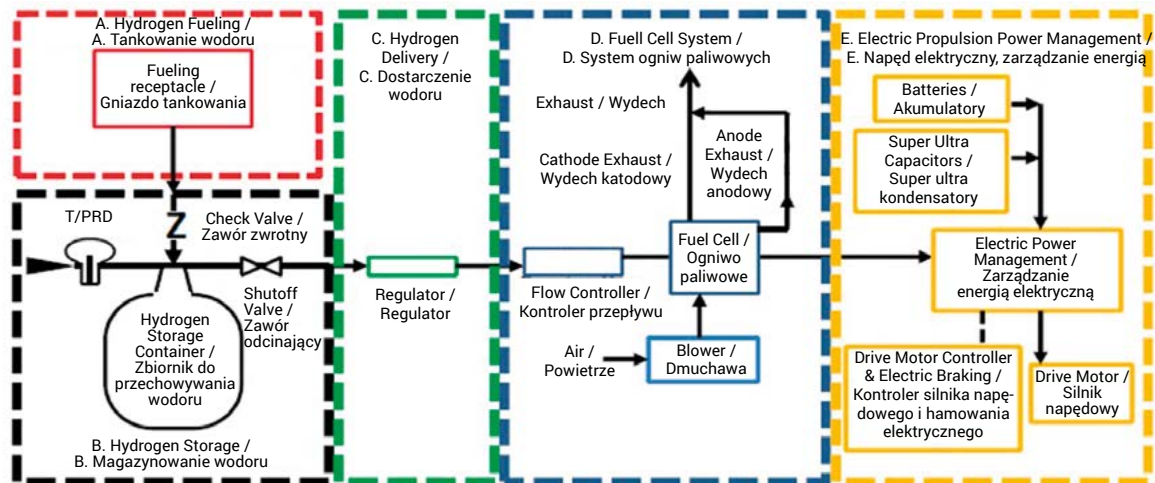


Figure 4. Main components of the FCV drive system

Rycina 4. Główne elementy systemu napędowego pojazdu FCV

Source / Źródło: European Train the Trainer Programme for Responders, Lecture 1: Introduction to hydrogen safety for responders [6].

FVC vehicles come in two variants, as:

- hydrogen-only fuel cell vehicle with H₂ storage at 700 bar;
- hybrid electric vehicle with battery and H₂ range extender, with a 350 bar hydrogen tank.

The hydrogen fuel tanks have a capacity of approximately 80 litres (2 tanks) or 140 litres. This allows 5 to 7 kg of H₂ to be stored.

Hydrogen tanks are usually installed transversely at the rear of the car, but can also be installed along the car's centre tunnel. The fuel cells and auxiliary equipment are usually located underneath the passenger compartment along with the energy management system, propulsion engine controller and propulsion engines. Given the size and weight of traction batteries and ultracapacitors, these components are usually mounted in the car to maintain the desired weight balance for proper driving.

For a fuel cell electric vehicle, the main hazard events are:

1. Release of hydrogen from a thermally activated pressure relief device (TPRD) or other device (e.g. rupture of a pipe, loss of integrity of connections), and the consequences are:
 - a) release of hydrogen from a non-ignited container;
 - b) hydrogen release with ignition:
 - with immediate ignition causing a jet fire,
 - with delayed ignition resulting in a flammable cloud and potential vapour cloud explosion in free space,
2. Mechanical rupture of the container causing a shock wave.

Pojazdy FVC występują w dwóch wariantach, jako:

- pojazd zasilany wyłącznie wodorem w ogniwie paliwowym z zasobnikiem H₂ o ciśnieniu 700 bar;
- hybrydowy pojazd elektryczny z akumulatorem i rozszerzaczem zasięgu H₂, ze zbiornikiem na wodór o ciśnieniu 350 barów.

Zbiorniki wodoru paliwa mają pojemność ok. 80 l (2 zbiorniki) lub 140 l. Pozwala to na zgromadzenie od 5 do 7 kg H₂.

Zbiorniki na wodór są zwykle instalowane poprzecznie z tyłu samochodu, ale mogą być również montowane wzdłuż środkowego tunelu samochodu. Ogniwa paliwowe i urządzenia pomocnicze są zwykle umieszczone pod kabiną pasażerską wraz z systemem zarządzania energią, sterownikiem silnika napędowego i silnikami napędowymi. Biorąc pod uwagę rozmiar i wagę akumulatorów trakcyjnych i ultrakondensatorów, komponenty te są zwykle montowane w samochodzie tak, aby zachować pożądaną równowagę masy dla prawidłowego prowadzenia samochodu.

Dla pojazdu elektrycznego z ogniwem paliwowym główne zdarzenia powodujące zagrożenie to:

1. Uwolnienie wodoru z termicznie aktywowanego urządzenia nadmiarowego (TPRD) lub innego urządzenia (np. pęknięcie przewodu, utrata szczelności połączeń), a konsekwencje to:
 - a) uwolnienie wodoru ze zbiornika bez zapłonu;
 - b) uwolnienie wodoru z zapłonem:
 - z natychmiastowym zapłonem wywołującym pożar strumieniowy,
 - z opóźnionym zapłonem powodującym powstanie palnej chmury i potencjalną eksplozję chmury par w wolnej przestrzeni,
2. Mechaniczne rozerwanie zbiornika wywołujące falę uderzeniową.

Table 3. Duration of tank blowdown for different discharge volumes and diameters**Tabela 3.** Czas trwania przedmuchiwania zbiornika dla różnych objętości i średnic wypływu

Tank capacity / Pojemność zbiornika	Storage pressure / Ciśnienie składowania	Duration of blowdown / Czas trwania przedmuchu			
		0.1 mm	1 mm	2 mm	4 mm
60 l	350 bar	25 h	13 min 20 s	3 min 40 s	52 s
150 l	350 bar	47 h	28 min 10 s	7 min	1 min 40 s
80 l	700 bar	29 h	17 min 10 s	4 min 10 s	56 s
150 l	700 bar	54 h	32 min 20 s	8 min	1 min 50 s

Source: Own elaboration based on [6].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [6].

Table 4. Duration of tank blowdown for different discharge volumes and diameters**Tabela 4.** Czas trwania przedmuchiwania zbiornika dla różnych objętości i średnic wypływu

Hole diameter / Średnica otworu	Pressure in the tank / Ciśnienie w zbiorniku	Thermal effects / Skutki termiczne			
		Flame length / Długość płomienia	No damage / Brak szkód	Pain threshold / Próg odczuwania bólu	3 rd degree burns / Poparzenia 3 stopnia
0.1 mm	350 bar	0.2 m	0.7 m	0.6 m	0.4 m
1 mm	350 bar	2.3 m	8 m	7 m	4.6 m
2 mm	350 bar	4.5 m	16 m	14 m	9 m
4 mm	350 bar	9.1 m	32 m	27 m	18 m
0.1 mm	700 bar	0.3 m	1 m	0.9 m	0.6 m
1 mm	700 bar	3 m	11 m	9 m	6 m
2 mm	700 bar	6.1 m	21 m	18 m	12 m
4 mm	700 bar	12.1 m	42 m	36 m	14 m

Source: Own elaboration based on [6].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [6].

Threats of FCV gas drives H₂

Currently, existing fuel cell buses and trains have hydrogen gas (not LH₂) tanks. For FCVs, the main events of concern, are the release of hydrogen from the TPRD or other equipment (e.g. rupture of the cable, loss of tight connections), and the potential consequences are:

1. Tank burst without ignition.
2. Hydrogen release with ignition:
 - with immediate ignition causing a jet fire,
 - with delayed ignition causing a flammable cloud and a potential vapour cloud explosion,
3. Mechanical rupture of the tank causing a shock wave.

In FCVs, the TPRD outlet is usually located very close to the ground, while in trains and buses it is on the roof. The location of the TPRD varies for FCV gas trucks with H₂, depending on the original design manufacturer.

Hydrogen storage tanks are most often located on the roof of buses and trains, and in the case of trucks they are located on the underside of the frame or chassis. The pressure in storage

Zagrożenia napędów FCV gazowe H₂

Obecnie istniejące autobusy i pociągi z ogniwami paliwowymi posiadają zbiorniki na wodór gazowy (nie LH₂).

W przypadku pojazdów FCV główne zdarzenia, których można się obawiać, to uwolnienie wodoru z TPRD lub innych urządzeń (np. rozerwanie przewodu, utrata szczelności połączeń), a potencjalne konsekwencje to:

1. Rozerwanie zbiornika bez zapłonu.
2. Uwolnienie wodoru z zapłonem:
 - z natychmiastowym zapłonem wywołującym pożar strumieniowy,
 - z opóźnionym zapłonem wywołującym łatwopalną chmurę i potencjalną eksplozję chmury par,
3. Mechaniczne rozerwanie zbiornika wywołujące falę uderzeniową.

W przypadku FCV wylot TPRD zlokalizowany jest najczęściej bardzo blisko podłoża, z kolei w pociągach i autobusach znajduje się na dachu. Lokalizacja TPRD jest różna dla gazowych ciężarówek FCV z H₂, zależnie od producenta oryginalnego projektu.

tanks is typically 350 bar, and they have a larger capacity than FCVs. However, it can be anticipated that the pressure in the tank will be increased up to 700 bar.

The capacity of the tanks is currently about 170 litres (buses, trucks) or 240 litres (trains). The number of hydrogen tanks depends on the designed range. Thus, there can be from 5 to 10 cylinders per bus or rail car.

The fuel supply – H₂ ranges from 30 to 45 kg for buses and can reach up to 180 kg for trains [7].

Hydrogen tanks

Hydrogen storage is a key enabling technology for the development of fuel cell hydrogen (FCH) for applications including stationary, mobile and transportation power generation [8]. There is no one-size-fits-all solution for hydrogen storage, and all those used must be carefully designed to meet the system requirements already specified. For instance, space and weight are critical factors for FCV passenger vehicles, while weight may be a desirable attribute for FC forklifts or for marine applications. NASA has been using liquid hydrogen in space applications for years.

Hydrogen at ambient temperature is not a liquid, so in order to store sufficient quantities for a certain driving range of a vehicle (above 500 kilometres), it is necessary to either compress it to very high pressures (e.g. up to 700 bar in automotive applications) or to cool it significantly to make it a liquid. These extremes of pressure and temperature pose a challenge to the safety of the materials used and if airtightness is lost.

Five types of tanks are used to transport and store hydrogen:

- type I: seamless metal container,
- type II: seamless metal container wrapped with a fibre-resin composite rim,
- type III: metal cladding fully wrapped in fibre-resin composite,
- type IV: polymer liner fully wrapped in fibre-resin composite,
- type V: all-composite tank without liner.

Currently, fuel cell-powered light passenger vehicles typically store up to 6 kg of hydrogen in the vehicle tank needed to provide a driving range of 400–500 km [8]. Hydrogen-powered buses store hydrogen on the roof in several tanks. The fuel cell stack is usually located in the rear engine compartment of the bus. Up to 50 kg of hydrogen can be stored on board the FC bus.

The main safety feature of hydrogen storage systems (in both automotive and stationary applications) are pressure relief devices (PRDs). In case of a fire, a temperature-activated venting device (TPRD) ensures the controlled release of GH₂ hydrogen gas from the high-pressure storage tank before its walls are weakened by high temperatures, which could eventually lead to rupture. Therefore, TPRD devices quickly release the entire contents of the container. In case of hydrogen systems, they do not close the tank or allow it to re-pressurize.

Accumulation of hydrogen for long periods of time in rooms such as the garage, workshop room or passenger compartments

Zbiorniki magazynowe wodoru znajdują się najczęściej na dachu autobusów i pociągów, a w przypadku ciężarówek lokalizowane są na dolnej części ramy lub podwozia. Ciśnienie w zbiornikach magazynowych wynosi zwykle 350 barów, a mają one większą pojemność niż samochody FCV. Można jednak przewidywać, że ciśnienie w zbiorniku będzie zwiększone nawet do 700 barów.

Pojemność zbiorników wynosi aktualnie ok. 170 l (autobusy, ciężarówki) lub 240 l (pociągi). Liczba zbiorników wodoru zależy od projektowanego zasięgu. Na jeden autobus lub jeden wagon kolejowy może więc przypadać od 5 do 10 butli.

Zapasy paliwa – H₂ wynosi od 30 do 45 kg dla autobusów i może osiągnąć nawet 180 kg dla pociągów [7].

Zbiorniki wodoru

Magazynowanie wodoru to kluczowa technologia umożliwiająca rozwój wodorowych ogniw paliwowych (FCH) w zastosowaniach obejmujących generowanie energii elektrycznej stacjonarnie, mobilnie i w środkach transportu [8]. Nie istnieje uniwersalne rozwiązanie do magazynowania wodoru, a wszystkie stosowane muszą być starannie projektowane, aby spełnić określone już wymagania systemowe. Na przykład, przestrzeń i waga są krytycznymi czynnikami dla pojazdów pasażerskich FCV, podczas gdy waga może być pożądanym atrybutem dla wózków widłowych FC lub dla zastosowań morskich. W zastosowaniach kosmicznych NASA od lat wykorzystuje ciekły wodór.

Wodór w temperaturze otoczenia nie jest cieczą, a zatem aby przechowywać ilości wystarczające do pewnego zasięgu jazdy pojazdu (powyżej 500 km), konieczne jest albo sprężenie go do bardzo wysokich ciśnień (np. do 700 barów w zastosowaniach motoryzacyjnych), albo znaczne schłodzenie w celu uzyskania postaci ciekłej. Te ekstremalne wartości ciśnienia i temperatury stanowią wyzwanie dla bezpieczeństwa stosowanych materiałów oraz w przypadku utraty hermetyczności.

Do transportu i magazynowania wodoru stosuje się pięć rodzajów zbiorników:

- typ I: bezszwowy metalowy pojemnik,
- typ II: bezszwowy metalowy pojemnik owinięty obręczą z kompozytu włókno-żywica,
- typ III: metalowe okładziny w pełni owinięte kompozytem z żywicy włóknistej,
- typ IV: wkładka polimerowa w pełni owinięta kompozytem z żywicy włóknistej,
- typ V: całkowicie kompozytowy zbiornik bez wykładziny.

Obecnie lekkie pojazdy pasażerskie napędzane ogniwami paliwowymi zazwyczaj przechowują w zbiorniku pojazdu do 6 kg wodoru potrzebnego do zapewnienia zasięgu jazdy w zakresie 400–500 km [8]. Autobusy zasilane wodorem przechowują wodór na dachu w kilku zbiornikach. Stos ogniw paliwowych znajduje się zwykle w tylnej komorze silnika autobusu. Na pokładzie autobusu FC można przechowywać nawet do 50 kg wodoru.

Główną cechą bezpieczeństwa systemów magazynowania wodoru (zarówno w zastosowaniach motoryzacyjnych, jak i stacjonarnych) są ciśnieniowe urządzenia zabezpieczające (PRD). W przypadku pożaru aktywowane termicznie urządzenie upustowe (TPRD) zapewnia kontrolowane uwolnienie gazowego wodoru GH₂ z wysokociśnieniowego zbiornika magazynowego,

of vehicles can lead to asphyxiation due to the displacement of oxygen by hydrogen.

Potential risks associated with storing compressed hydrogen gas on board a vehicle include [8]:

1. Difficulty in identifying hydrogen release as the gas is odourless, colourless and tasteless. No odorous substances can be added to hydrogen.
2. Hydrogen can cause metals to become brittle. This can result in a reduction in the strength of the material and subsequent rupture of the container, leading to hydrogen leakage.
3. Formation of flammable mixtures of hydrogen with oxygen or hydrogen with air.
4. The ingress of a flammable mixture into the ventilation system of a building can lead to deflagration or even detonation.
5. High-pressure hydrogen jets can cut unprotected skin.
6. Overpressure and impulse can lead to: eardrum damage in humans, tank rupture, flying debris, broken glass, etc.
7. The pressure surge phenomenon can cause a garage to collapse in just one second.
8. Hydrogen can easily ignite because its minimum ignition energy (MIE) is 0.017 mJ – 10 times less than other fuels. A static spark can ignite the released hydrogen.
9. When pure hydrogen burns, its flames are invisible in daylight.
10. Hydrogen burns quickly and does not produce smoke.
11. External fire, heat or radiant heat can cause mechanical rupture of the tank due to thermal decomposition of polymeric materials and composite materials. The current fire resistance value is up to 12 minutes before a catastrophic failure occurs.
12. In case of a TPRD failure, the worst-case scenario is possible: rupture of the of the hydrogen tank, producing a fireball, shock waves and burning debris (meaning a catastrophic failure).

The main risk associated with reservoirs is rupture due to pressure build-up caused by a rise in temperature.

To prevent tank rupture due to pressure build-up, each tank is fitted with a thermal relief device (TPRD). The TPRD is designed to open when the ambient temperature reaches 110°C (230°F) and vent hydrogen into the atmosphere.

zanim jego ściany zostaną osłabione przez wysokie temperatury, co w konsekwencji może doprowadzić do jego pęknięcia. Dlatego urządzenia TPRD szybko uwalniają całą zawartość pojemnika. W przypadku systemów wodorowych nie zamykają one zbiornika ani nie umożliwiają ponownego zwiększenia w nim ciśnienia.

Nagromadzenie wodoru przez długi czas w pomieszczeniach, takich jak garaż, pomieszczenie warsztatowe lub przedziały pasażerskie pojazdów, może doprowadzić do uduszenia z powodu wyparcia tlenu przez wodór.

Potencjalne zagrożenia związane z przechowywaniem na pokładzie pojazdu sprężonego wodoru gazowego obejmują [8]:

1. Trudność w identyfikacji uwolnienia wodoru, ponieważ gaz jest bezwonny, bezbarwny i bez smaku. Do wodoru nie można dodawać substancji zapachowych.
2. Wodór może powodować kruchość metali. Może to skutkować zmniejszeniem wytrzymałości materiału, a w konsekwencji pęknięciem zbiornika, prowadząc do wycieku wodoru.
3. Tworzenie się łatwopalnych mieszanin wodoru z tlenem lub wodoru z powietrzem.
4. Dostanie się łatwopalnej mieszaniny do systemu wentylacyjnego budynku może prowadzić do deflagracji lub nawet detonacji.
5. Strumienie wodoru pod wysokim ciśnieniem mogą przeciąć nieosłoniętą skórę.
6. Nadciśnienie i impuls mogą prowadzić do: uszkodzenia błony bębenkowej u ludzi, pęknięcia zbiornika, latających odłamków, rozbitego szkła itp.
7. Zjawisko skoku ciśnienia może doprowadzić do zawalenia się garażu w ciągu zaledwie jednej sekundy.
8. Wodór może łatwo ulec zapaleniu, ponieważ jego minimalna energia zapłonu (MIE) wynosi 0,017 mJ – czyli 10 razy mniej niż w przypadku innych paliw. Iskra statyczna może zapalić uwolniony wodór.
9. Gdy pali się czysty wodór, jego płomienie są niewidoczne w świetle dziennym.
10. Wodór spala się szybko i nie wytwarza dymu.
11. Zewnętrzny ogień, ciepło lub promieniowanie cieplne mogą spowodować mechaniczne pęknięcie zbiornika z powodu rozkładu termicznego materiałów polimerowych i kompozytowych. Aktualna wartość odporności ogniowej wynosi do 12 minut przed wystąpieniem katastrofalnej awarii.
12. W przypadku awarii TPRD możliwy jest najgorszy scenariusz: pęknięcie zbiornika wodoru, wytwarzające kulę ognia, fale uderzeniowe i płonące odłamki (co oznacza katastrofalną w skutkach awarię).

Głównym zagrożeniem związanym ze zbiornikami jest ich rozerwanie w wyniku wzrostu ciśnienia spowodowanego wzrostem temperatury.

Aby zapobiec pęknięciu zbiornika na skutek wzrostu ciśnienia, każdy wyposaża się w termiczne urządzenie nadmiarowe (TPRD). Urządzenie TPRD jest zaprojektowane tak, aby otwierało się i upuszczało wodór do atmosfery, gdy temperatura otoczenia osiągnie 110°C (230°F).

Identification characteristics of the hydrogen powered vehicle

1. Vehicle markings – not currently required by law. The recommended marking according to the ISO standard is described by the author's team in an article entitled *Rescue and firefighting operations during incidents involving alternatively propelled vehicles. Gas propulsion* [9].
2. Additional fuel filler flap.
3. Additional fuel level indicator.
4. Outlets above the roof (manufacturer-specific), which can also be used to identify escaping gas through "rattling noises" (the sound of a valve operating).

Cechy identyfikacyjne pojazdu napędzanego wodorem

1. Oznaczenia pojazdów – nie są wymagane aktualnie przez prawo. Zalecane oznakowanie zgodnie z normą ISO zostało opisane przez zespół autorski w artykule pt. *Działania ratowniczo-gaśnicze podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z napędem alternatywnym. Napędy gazowe* [9].
2. Dodatkowa klapka wlewu paliwa.
3. Dodatkowy wskaźnik poziomu paliwa.
4. Otwory wylotowe nad dachem (specyficzne dla producenta), które mogą być również wykorzystywane do identyfikacji ulatniającego się gazu poprzez „odgłosy grzechotania” (odgłosy pracy zaworu).



Figure 5. Identification of the propulsion system used on the vehicle
Rycina 5. Oznaczenie napędu zastosowanego w pojeździe

Source / Źródło: ix35 FCEV Hyundai Emergency Response Guide, https://h2tools.org/sites/default/files/training/training/ix35%20FCEV%20ERG_Eng.pdf [19].

Hydrogen-fuelled internal combustion engine

Currently, there are a small number of hydrogen-powered vehicles on Polish roads. A hydrogen-powered engine is designed similarly to a petrol or diesel engine. Modified internal combustion engines can use hydrogen as an alternative fuel. The aim is to optimise the emission values of the passenger car. In passenger cars, hydrogen is stored in regular gas cylinders, as well as in other manufacturer-specific storage tanks.

Silnik spalinowy zasilany wodorem

Obecnie po polskich drogach jeździ niewielka liczba pojazdów napędzanych wodorem. Silnik zasilany wodorem jest skonstruowany podobnie jak silnik benzynowy lub wysokoprężny. Zmodyfikowane silniki spalinowe mogą wykorzystywać wodór jako paliwo alternatywne. Celem jest optymalizacja wartości emisji spalin przez samochód osobowy. W samochodach osobowych wodór jest przechowywany w zwykłych butlach gazowych, a także w innych, specyficznych dla danego producenta zasobnikach.

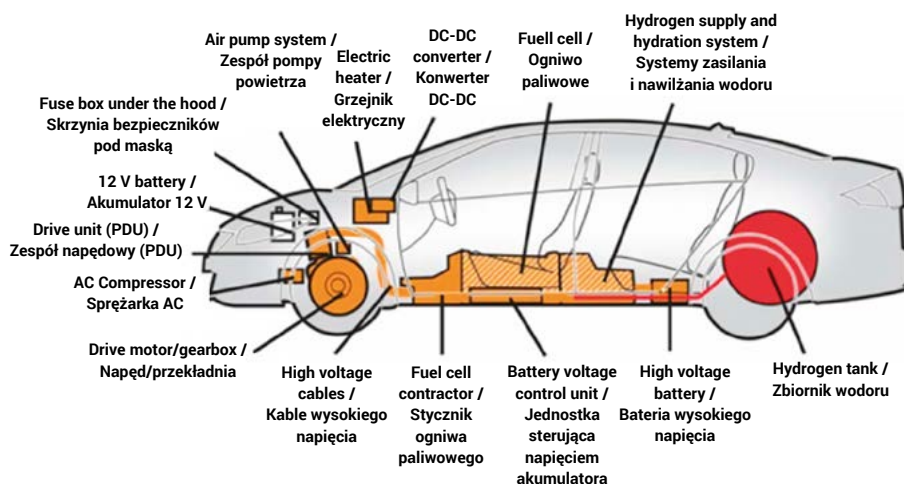


Figure 6. Honda's fuel cell vehicle
Rycina 6. Pojazd Honda z ogniwami paliwowymi

Source / Źródło: Honda Emergency Response Guide [17].

Propulsion of vehicles using fuel cells is already being used in:

1. Passenger cars – hydrogen is stored in on-board compressed hydrogen tanks up to a pressure of 700 bar (there may also be more than one tank, e.g. Toyota Mirai FCV has two 70 MPa tanks).
2. Forklift trucks in industry (forklift applications and infrastructure use hydrogen gas:
 - at 200 bar for storage,
 - up to 1000 bar for intermediate storage in buffers,
 - at 350 bar in forklift tanks).
3. Buses (pressures of up to 350 bar are used in the fuel tanks of buses powered by compressed hydrogen).
4. Motorcycles.
5. Heavy goods vehicles.
6. Maritime vessels.
7. Trains.
8. Airplanes.

Napęd pojazdów przy wykorzystaniu ogniw paliwowych stosuje się już w:

1. Samochodach osobowych – wodór przechowywany jest w pokładowych zbiornikach sprężonego wodoru do ciśnienia 700 bar (może też być więcej niż jeden zbiornik np. Toyota Mirai FCV ma dwa zbiorniki 70 MPa).
2. Wózkach widłowych w przemyśle (aplikacje i infrastruktura wózków widłowych wykorzystują gazowy wodór:
 - przy 200 barach do magazynowania,
 - do 1000 barów do pośredniego magazynowania w buforach,
 - przy 350 barach w zbiornikach wózków widłowych).
3. Autobusach (w zbiornikach paliwowych autobusów napędzanych sprężonym wodorem stosuje się ciśnienie do 350 bar).
4. Motocyklach.
5. Samochodach ciężarowych.
6. Statkach morskich.
7. Pociągach.
8. Samolotach.

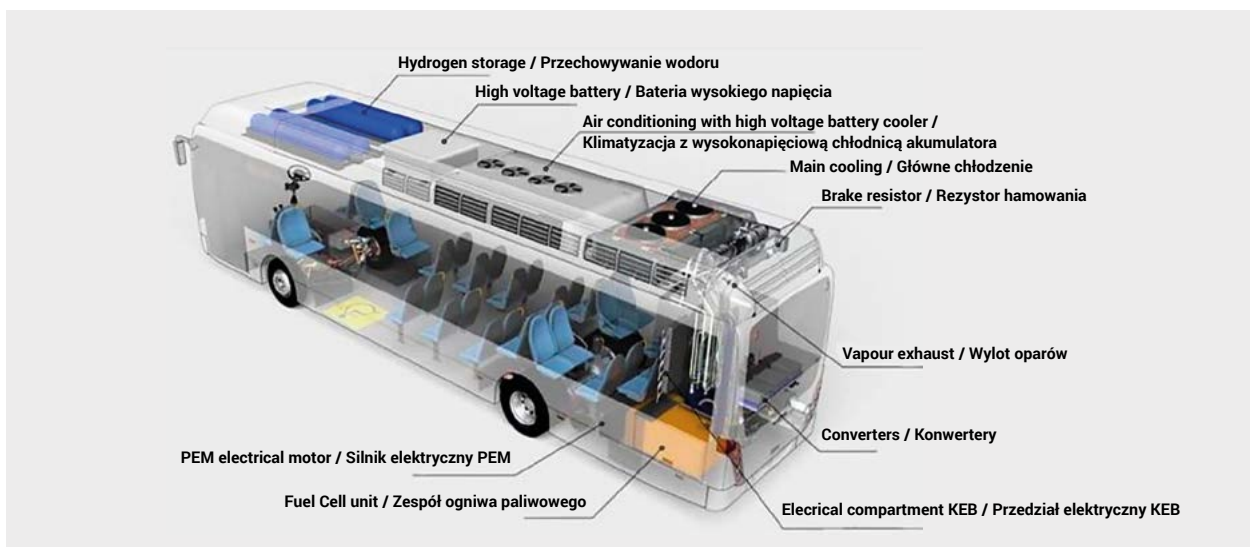


Figure 7. Diagram of a bus powered by fuel cells
Rycina 7. Pojazd Honda z ogniwami paliwowymi

Source / Źródło: Lecomte L., *European Emergency Response Guide*, ENSOSP, 2022 [2].

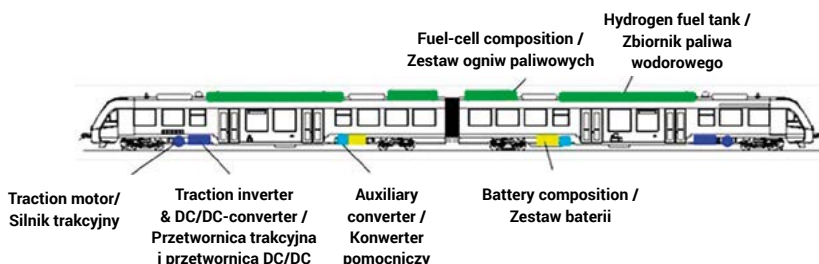


Figure 8. Main components of a hydrogen train (iLint)
Rycina 8. Główne elementy pociągu z napędem wodorowym (iLint)

Source / Źródło: Lecomte L., *European Emergency Response Guide*, ENSOSP, 2022 [2].

Hydrogen as fuel for fuel cell vehicles

As mentioned earlier, hydrogen is usually stored as a pressurised gas in the tanks of powered vehicles. This pressure can range from 350 bar (buses) to 700 bar (cars).

The vent line can be located on the roof (buses), on the side (forklift trucks) and between the rear wheels (cars). Hydrogen tanks are filled at filling stations through a special filler hole.



Figure 9. Connector for hydrogen refuelling

Rycina 9. Złącze do tankowania wodoru

Source / Źródło: Merkblatt für die Feuerwehren Bayerns. *Alternativ angetriebene Fahrzeuge...* [18, s. 13].

Wodór jako paliwo pojazdów z ogniwami paliwowymi

Jak już wspomniano wcześniej, wodór jest zwykle przechowywany jako gaz pod ciśnieniem w zbiornikach napędzanych pojazdów. Ciśnienie to może wynosić od 350 barów (autobusy) do 700 barów (samochody osobowe).

Przewód odpowietrzający może być zlokalizowany na dachu (autobusy), z boku (wózki widłowe) i między tylnymi kołami (samochody). Zbiorniki z wodorem napełniane są na stacjach paliwowych przez specjalny otwór wlewowy.

Table 5 presents the main risks associated with the use of fuel cells in vehicles, together with an indication of the potential origin of the risk and a description of the circumstances (situations) in which the risk may occur.

Tabela 5 prezentuje główne ryzyka związane ze stosowaniem ogniw paliwowych w pojazdach wraz ze wskazaniem potencjalnego pochodzenia zagrożenia i opisem okoliczności (sytuacji), w jakich może dane ryzyko występować.

Table 5. Risks associated with the use of fuel cells in vehicles

Tabela 5. Ryzyka związane ze stosowaniem ogniw paliwowych w pojazdach

Risk / Ryzyko	Origin of the threat / Pochodzenie zagrożenia	Situation / Sytuacja
Electrocution / Porażenie prądem	Batteries / Baterie	Electric shock due to malfunction, fire, accident, pulling out of water / Porażenie prądem elektrycznym w wyniku nieprawidłowego działania, pożar, wypadek, wyciągnięcie z wody
Burns / Oparzenia	Supercapacitors / Superkondensatory	Outflows of molten metal as a result of using an inappropriate agent (water) to extinguish the fire / Wypływy stopionego metalu w wyniku użycia nieodpowiedniego środka (wody) do gaszenia pożaru
Violent, unquenchable fire / Gwałtowny, nie dający się ugasić pożar	Combustion of metal alloys / Spalanie stopów metali	Batteries are discharged during a fire / Akumulatory ulegają rozładowaniu podczas pożaru
Poisoning / Zatrucie	Batteries / Baterie	Fire or housing failure (accident) / Pożar lub awaria obudowy (wypadek)

Source: Own elaboration based on [6].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [6].

The following table similarly summarizes the risks associated with the use of hydrogen.

W poniższej tabeli w analogiczny sposób przedstawiono ryzyka związane ze stosowaniem wodoru.

Table 6. Risks associated with the use of hydrogen
Tabela 6. Ryzyka związane ze stosowaniem wodoru

Risk / Ryzyko	Origin of the threat / Pochodzenie zagrożenia	Situation / Sytuacja
Suffocation / Uduszenie	Hydrogen (plain suffocating) / Wodór (zwykły duszący)	Hydrogen leakage in an enclosed space without ignition / Wyciek wodoru w zamkniętej przestrzeni bez zapłonu
Burns / Oparzenia	H ₂ invisible flame / Niewidoczny płomień H ₂	Vehicle fire and TPRD activation / Pożar pojazdu oraz aktywacja TPRD
Shockwave / Fala uderzeniowa	H ₂ tank burst / Rozerwanie zbiornika H ₂	Vehicle fire and TPRD / valve damage / Pożar pojazdu oraz uszkodzenie TPRD / uszkodzenie zaworu
Shock wave and heat wave / Fala uderzeniowa i fala ciepła	H ₂ cloud explosion (UVCE) / Eksplzja chmury H ₂ (UVCE)	H ₂ leakage and ignition source / Wyciek H ₂ i źródło zapłonu

Source: Own elaboration based on [6].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [6].

In order to minimize the indicated risks (hazards) and ensure the safety of use and operation, the following safety devices are currently in use, among others:

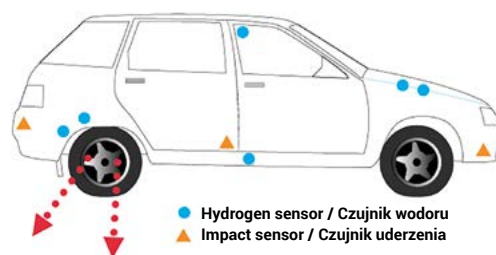
1. Hydrogen sensors (not on all models).
2. Electromagnetic shut-off valve on pressurized gas tank. Turning on the ignition opens the valve and hydrogen flows into the engine. If the ignition is turned off again or the airbag computer detects an accident, the valve closes automatically.
3. Protection against overpressure in the tank.

This prevents the H₂ tank from bursting due to a large increase in pressure, such as a fire. The overpressure protection is installed so that it is possible to blow the gas outside the passenger compartment. If the vehicle is lying on its side or on the roof, the resulting flame jet may affect emergency services if the pressure relief valve is activated, since normally when the car is on its wheels the gas is discharged through the pressure relief opening on the roof.

W celu minimalizacji wskazanych ryzyk (zagrożeń) i zapewnienia bezpieczeństwa użycia i eksploatacji stosowane są aktualnie m.in. następujące urządzenia zabezpieczające:

1. Czujniki wodoru (nie we wszystkich modelach).
2. Elektromagnetyczny zawór odcinający na zbiorniku gazu pod ciśnieniem. Włączenie zapłonu otwiera zawór i wodór płynie do silnika. Jeżeli zapłon zostanie ponownie wyłączony lub komputer poduszek powietrznych wykryje wypadek, zawór zamyka się automatycznie.
3. Ochrona przed nadciśnieniem w zbiorniku.

Zapobiega to rozerwaniu zbiornika H₂ na skutek dużego wzrostu ciśnienia, np. w wyniku pożaru. Zabezpieczenie nadciśnieniowe jest tak zainstalowane, że możliwe jest wydmuchiwanie gazu poza przedział pasażerski. Jeżeli pojazd leży na boku lub na dachu, powstający strumień płomienia może mieć wpływ na działanie służb ratowniczych w przypadku aktywacji zaworu nadciśnieniowego, ponieważ w normalnej sytuacji, gdy samochód stoi na kołach, gaz jest odprowadzany przez otwór nadciśnieniowy na dachu.



* The illustration does not indicate specific vehicle sensors. It is an exemplary layout/
* Ilustracja nie wskazuje na konkretne czujniki pojazdu. Jest to rozmieszczenie przykładowe

Figure 10. Possible location of hydrogen sensors on the FCV
Rycina 10. Możliwa lokalizacja czujników wodoru w pojeździe FCV

Source / Źródło: European Train the Trainer Programme for Responders, Lecture 1: Introduction to hydrogen safety for responders [6].

Refuelling stations – filling up vehicle tanks with hydrogen

The main function of a hydrogen refuelling station (HRS) is to fill the tanks of vehicles (forklifts, buses, cars) powered by fuel cells with hydrogen. Most refuelling stations supply hydrogen gas, which is initially in storage at a pressure of 200 bar, then compressed in high-pressure storage. The vehicle tank is filled by balancing the pressure. It ranges from 450 bar (forklifts, buses) to 1,000 bar (cars). With fuel tank pressures ranging from 350 bar for a forklift and bus to 700 bar for a car.

In order to fill the vehicle's tank as quickly as possible, the hydrogen can be cooled during the process using a cryogenic liquid hydrogen storage system or a refrigeration unit. The distributor can be located in a dedicated building or outdoors.

Risks associated with service stations

At filling stations based on hydrogen gas storage, a semi-trailer is generally used as storage. A SWAP system is used, i.e. a "full or empty" exchange. Most trailers consist of 200-barrel steel tubes (i.e. type I tanks) with a capacity of 2 m³ each. To increase capacity, new trailers were designed with Type IV tanks, each with a capacity of 350 litres, allowing storage pressures of up to 700 bar [6].

The following hazardous events (hazards) may occur during the operation of compressed hydrogen tanks at filling stations:

1. Release of hydrogen without ignition.
2. A release through a 1 mm diameter hole is characteristic of an accidental leak caused by a leaky joint or equipment. Diameters of 2, 4 and 6 mm are more representative of TPRD leakage.
3. Release with immediate ignition.
4. Delayed release.
5. Mechanical rupture of the tank.

Risks and their potential consequences for hydrogen trailers and liquid hydrogen refuelling stations:

1. Release without ignition.
2. Release with immediate ignition.
3. Mechanical rupture of the tank.

The dangers caused by hazardous events and their consequences are described in detail in the *European Train the Trainer Programme for Responders* [6]. Editorial limitations do not allow them to be discussed in detail in this article.

The publication cited above also provides nomograms against which it is possible to determine:

1. Hazards and possible damage to people (human) resulting from rupture of a tank during a fire.
2. Hazards and possible damage to persons resulting from the bursting of a self-contained tank during a fire.
3. Hazards and possible harm to people resulting from rupture of a tank under a vehicle in a fire.

Stacje paliw – tankowanie wodoru do zbiorników pojazdów

Główną funkcją stacji tankowania wodoru (HRS) jest napełnianie wodorem zbiorników pojazdów (wózków widłowych, autobusów, samochodów) zasilanych ogniwami paliwowymi. Większość stacji tankowania dostarcza wodór gazowy, który początkowo znajduje się w magazynie pod ciśnieniem 200 barów, następnie jest sprężany w magazynie wysokiego ciśnienia. Zbiornik pojazdu napełniany jest poprzez równoważenie ciśnienia. Wynosi ono od 450 barów (wózki widłowe, autobusy) do 1000 barów (samochody). Przy czym ciśnienie w zbiorniku paliwa wynosi od 350 barów dla wózka widłowego i autobusu do 700 barów dla samochodu.

Aby jak najszybciej napełnić zbiornik pojazdu, wodór może być w trakcie chłodzony za pomocą kriogenicznego systemu przechowywania ciekłego wodoru lub agregatu chłodniczego. Dystrybutor może być umieszczony w dedykowanym budynku lub na zewnątrz.

Zagrożenia związane ze stacjami paliw

Na stacjach paliw opartych na magazynowaniu wodoru gazowego, z reguły jako magazyn wykorzystywana jest naczepa. Stosuje się system SWAP, czyli wymianę „pełna lub pusta”. Większość naczep składa się z rur stalowych 200-barowych (tj. zbiorników typu I) o pojemności 2 m³ każda. W celu zwiększenia pojemności zaprojektowano nowe przyczepy ze zbiornikami typu IV, o pojemności 350 l każdy, co pozwala na osiągnięcie ciśnienia przechowywania do 700 barów [6].

W trakcie eksploatacji zbiorników z wodorem sprężonym na stacjach paliw mogą mieć miejsce następujące zdarzenia niebezpieczne (zagrożenia):

1. Uwolnienie wodoru bez zapłonu.
2. Uwolnienie przez otwór o średnicy 1 mm jest charakterystyczne dla przypadkowego wycieku spowodowanego brakiem szczelności połączenia lub sprzętu. Średnice 2, 4 i 6 mm są bardziej reprezentatywne dla wycieku TPRD.
3. Uwolnienie z natychmiastowym zapłonem.
4. Uwalnianie z opóźnionym zapłonem.
5. Mechaniczne pęknięcie zbiornika.

Zagrożenia i ich potencjalne konsekwencje dla przyczep z wodorem i stacji tankowania ciekłego wodoru:

1. Uwolnienie bez zapłonu.
2. Uwolnienie z natychmiastowym zapłonem.
3. Mechaniczne pęknięcie zbiornika.

Zagrożenia powodowane przez zdarzenia niebezpieczne oraz ich konsekwencje zostały opisane szczegółowo w *European Train the Trainer Programme for Responders* [6]. Ograniczenia redakcyjne nie pozwalają na ich szczegółowe omówienie w niniejszym artykule.

Przywołana powyżej publikacja zawiera także nomogramy, w oparciu o które można określić:

1. Zagrożenia i możliwe szkody dla ludzi (w ludziach) wynikające z rozerwania zbiornika podczas pożaru.
2. Zagrożenia i możliwe szkody dla ludzi wynikające z rozerwania samodzielnego zbiornika podczas pożaru.
3. Zagrożenia i możliwe szkody dla ludzi wynikające z rozerwania zbiornika pod pojazdem w pożarze.

4. Hazards and possible damage to buildings caused by the rupture of a self-contained tank during a fire.
5. Hazards and possible damage to buildings caused by a tank bursting under a vehicle during a fire.
6. Duration of the blowout. This nomogram gives an estimate of the blow-up time of a tank depending on the volume, pressure and size of the discharge opening.

Threat (risk) assessment, response

The three main protective objectives (protection of life, property and the environment) must be pursued in the safest and most effective way possible as the assessment of each incident allows. The emergency commander must take appropriate action, analysing its risks, taking into account the lives, property and environmental situation that can be saved, balanced with the available rescue forces at the time of the operational decision.

Therefore, decision-making strategies can be divided into two main groups, depending on the level of risk:

1. High-risk incidents – if nothing is done, the incident will lead in a short period of time to certain deaths of people, severe damage to infrastructure and/or irreversible environmental effects.
2. Low-risk events – an incidental situation will lead to minor impacts on people, infrastructure and/or reversible environmental impacts over a period of time.

Since strategy is the answer to the question – what goal do I want to achieve? tactics are the answer to that question – how will I achieve this goal (in the safest way)? The use of defined tactics is a direct consequence of the chosen strategy. Tactics is a variable concept, determined at the operational level, depending on the situation occurring at the present time and in the near future. For a specific type of situation, a tactic can be planned as a step-by-step procedure that describes the actions of rescuers. However, it is clear from the general principles that the incident commander always has the opportunity and the obligation to apply the appropriate procedure for each incident, as each incident is different, individual, unique [6].

There are usually two main types of tactics in use – offensive or defensive. Offensive tactics aim to act quickly on the source of the incident to prevent the consequences of the incident. It has the advantage of speed of action, as it concerns the initial phase of operations with the minimum number of rescuers and equipment available. On the other hand, the disadvantage is that it is risky for firefighters – one action can be taken.

An incident begins when an emergency call reaches the services (e.g. via 112). People who report an incident are usually over-stimulated or upset. Despite this, relevant information needs to be gathered:

- type of incident (electrical fault, gas leak, explosion, fire, etc.);
- location;
- number of people killed, injured or at risk.

4. Zagrożenia i możliwe szkody w budynkach spowodowane pęknięciem samodzielnego zbiornika podczas pożaru.
5. Zagrożenia i możliwe szkody w budynkach spowodowane rozerwaniem zbiornika pod pojazdem podczas pożaru.
6. Czas wybuchu. Ten nomogram podaje ocenę czasu przedmuchiwania zbiornika w zależności od objętości, ciśnienia i wielkości otworu spustowego.

Ocena zagrożenia (ryzyka), reagowanie

Trzy główne cele ochronne (ochrona życia, mienia i środowiska) muszą być realizowane w możliwie najbezpieczniejszy i skuteczny sposób, na jaki pozwala ocena każdego zdarzenia. Kierujący akcją musi podejmować adekwatne działania, analizując ich ryzyko, biorąc pod uwagę możliwe do uratowania życie, mienie i sytuację środowiskową, zrównoważone dostępnymi siłami ratowniczymi w momencie podejmowania decyzji operacyjnych.

Strategie przy podejmowaniu decyzji można więc podzielić na dwie główne grupy, zależne od poziomu zagrożenia:

1. Zdarzenia o wysokim poziomie zagrożenia – jeśli nic nie zostanie zrobione, incydent doprowadzi w krótkim czasie do pewnej śmierci ludzi, poważnych zniszczeń infrastruktury i/lub nieodwracalnych skutków dla środowiska.
2. Zdarzenia o niskim poziomie zagrożenia – incydentalna sytuacja doprowadzi w dłuższym czasie do niewielkich skutków dla ludzi, infrastruktury i/lub odwracalnych skutków dla środowiska.

Ponieważ strategia jest odpowiedzią na pytanie, jaki cel chcę osiągnąć, taktyka jest odpowiedzią na pytanie – jak osiągnę ten cel (w najbezpieczniejszy sposób)? Stosowanie zdefiniowanej taktyki jest bezpośrednią konsekwencją wybranej strategii.

Taktyka jest pojęciem zmiennym, ustalonym na poziomie operacyjnym, w zależności od sytuacji występującej w chwili obecnej i w najbliższej przyszłości. Dla określonego typu sytuacji można zaplanować taktykę jako procedurę, która krok po kroku opisuje działania ratowników. Jednak z ogólnych zasad wynika, że dowódca zdarzenia ma zawsze możliwość i obowiązek zastosowania odpowiedniego postępowania dla każdego zdarzenia, ponieważ każde zdarzenie jest inne, indywidualne, niepowtarzalne [6].

W użyciu są zazwyczaj dwa główne rodzaje taktyki – ofensywna lub defensywna. Taktyka ofensywna ma na celu szybkie oddziaływanie na źródło zdarzenia, aby zapobiec skutkom jego wystąpienia. Jej zaletą jest szybkość podjęcia działań, ponieważ dotyczy początkowej fazy działań przy minimalnej, dostępnej liczbie ratowników i sprzętu. Natomiast wadą jest to, że jest ryzykowna dla strażaków – można wykonać jedno działanie.

Zdarzenie zaczyna się w momencie, gdy do służb (np. poprzez numer 112) dociera zgłoszenie alarmowe. Osoby, które zgłaszają zdarzenie, są zazwyczaj nadmiernie pobudzone lub zdenerwowane. Pomimo tego należy zebrać istotne informacje:

- typ zdarzenia (awaria elektryczna, wyciek gazu, wybuch, pożar itp.);
- miejsce zdarzenia;
- liczba osób zabitych, rannych lub zagrożonych.

The above data enables the duty officer to select the nearest available emergency team and provide useful advice to the person who called. The following steps should be considered when operating with an FCV:

- assess the scene of an incident, so-called 360° reconnaissance;
- look for a rescue card displayed on the outside or inside of the vehicle, or on the Internet to confirm that an FCV is involved in the incident;
- ensure that all passengers can evacuate the vehicle;
- switch off the ignition;
- provide first aid to casualties in a safe place;
- try to extinguish the fire with an extinguisher if the fire is small;
- do not allow unauthorised access to a burning vehicle before the arrival of the fire brigade.

Every rescue operation follows the same step-by-step sequence, i.e.:

- reconnaissance,
- rescue,
- preparation,
- composure,
- supervision,
- clearing the site,
- final inspection.

It should be emphasized that these steps can be implemented simultaneously, depending on the actual situation.

Recommendations for KDR:

1. Confirm vehicle as FCV – identify signage or type of refuelling connection. Refer to latest manufacturer's emergency manual or relevant emergency card.
2. Designate appropriate danger zones.
3. Immobilise the vehicle by putting wheel chocks under the wheels in both directions of the vehicle.
4. Shut down/deactivate the vehicle in accordance with the manufacturer's emergency response guidelines.
5. Switch off the main instrument panel, especially if the vehicle is charged.
6. Ensure that rescuers use breathing apparatus that isolates the airways (especially if white vapours or smoke are present).
7. Use dielectric gloves and insulated tools according to the guidelines.

Powyższe dane umożliwiają dyżurnemu wybór najbliższego dostępnego zespołu ratunkowego i udzielenie przydatnych porad osobie, która zadzwoniła.

W trakcie działań z pojazdem FCV należy rozważyć następujące kroki:

- dokonać oceny miejsca zdarzenia tzw. rozpoznanie 360°;
- poszukać karty ratowniczej umieszczonej na zewnątrz lub wewnątrz pojazdu, lub w Internecie, aby potwierdzić, że w zdarzeniu uczestniczy FCV;
- upewnić się, że wszyscy pasażerowie mogą ewakuować się z pojazdu;
- wyłączyć zapłon;
- udzielić pierwszej pomocy poszkodowanym w bezpiecznym miejscu;
- podjąć próbę ugaszenia pożaru za pomocą gaśnicy, jeśli pożar jest niewielki;
- nie dopuszczać osób postronnych do płonącego pojazdu przed przybyciem straży pożarnej.

Każda akcja ratownicza przebiega według tej samej sekwencji krok po kroku, tj.:

- rozpoznanie,
- ratowanie,
- przygotowanie,
- opanowanie,
- nadzór,
- oczyszczenie terenu,
- kontrola końcowa.

Należy pamiętać, że kroki te mogą być realizowane jednocześnie, w zależności od rzeczywistej sytuacji.

Zalecenia dla KDR:

1. Potwierdzenie pojazdu jako FCV – zidentyfikować oznakowanie lub rodzaj przyłącza do tankowania. Odnieść się do najnowszej instrukcji postępowania producenta w sytuacjach awaryjnych lub odpowiedniej karty ratowniczej.
2. Wyznaczyć odpowiednie strefy zagrożenia.
3. Unieruchomić pojazd, podkładając kliny pod koła w dwóch kierunkach pojazdu.
4. Wyłączyć/dezaktywować pojazd zgodnie z wytycznymi producenta dotyczącymi reagowania w sytuacjach awaryjnych.
5. Wyłączyć główną tablicę rozdzielczą, zwłaszcza jeśli pojazd jest naładowany.
6. Upewnić się, że ratownicy korzystają z aparatów powietrznych, izolujących drogi oddechowe (zwłaszcza w przypadku obecności białych par lub dymu).
7. Stosować rękawice dielektryczne i izolowane narzędzia zgodnie z wytycznymi.

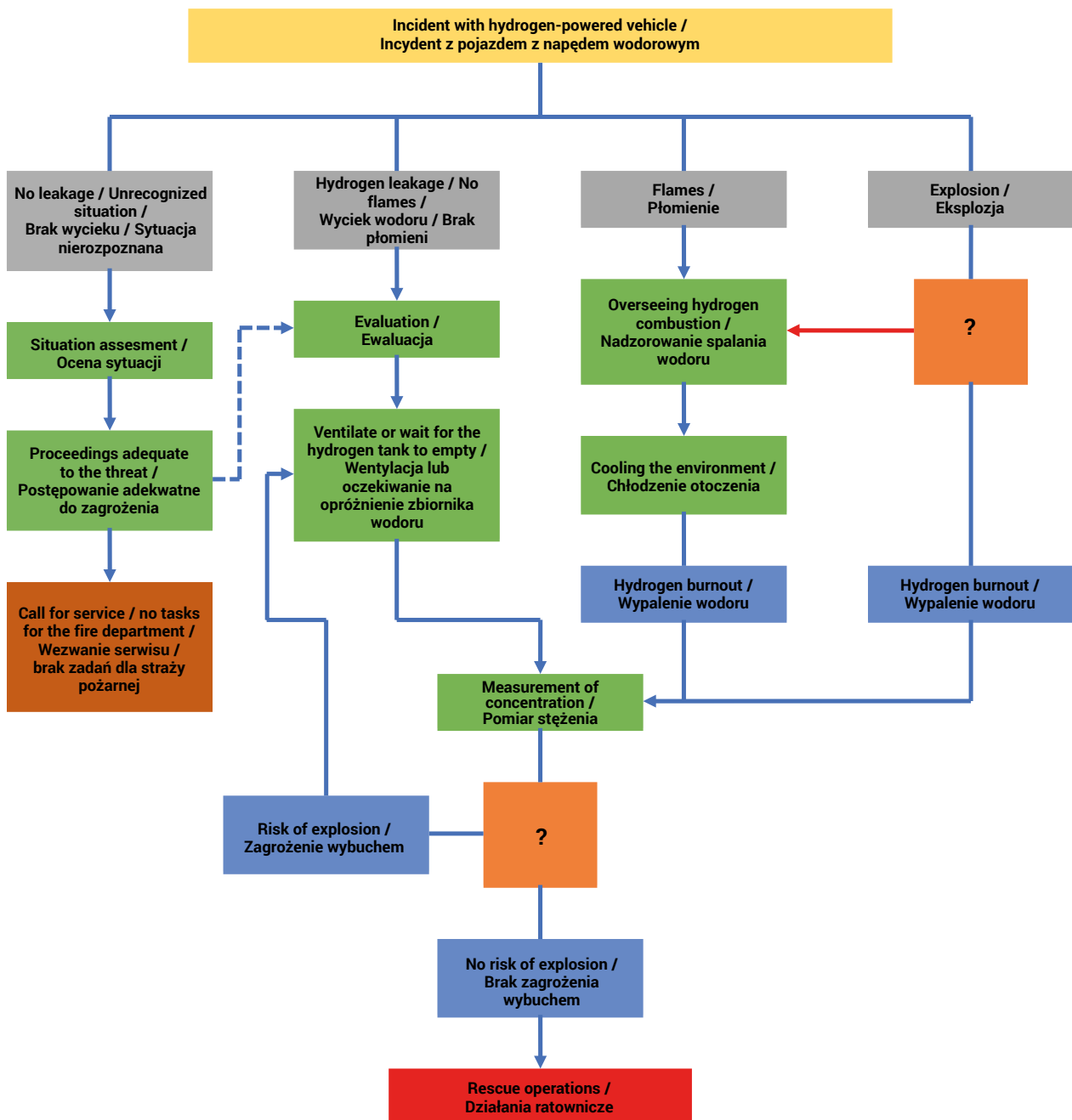


Figure 11. Diagram of the procedure to be followed by KSRG units when dealing with incidents involving hydrogen-powered vehicles
Rycina 11. Schemat postępowania jednostek KSRG podczas działań przy wypadkach z udziałem pojazdów z napędem wodorowym
Source: Own elaboration (G. Bugaj).
Źródło: Opracowanie własne (G. Bugaj).

Detailed tactical sheets proposed for selected events

Figure 14 shows a diagram of how KSRG units should proceed when dealing with accidents involving hydrogen-powered vehicles. Given the current knowledge of hydrogen-related fires, the HyResponder materials cited in this article [10] propose tactical worksheets for incidents involving: passenger cars, buses, forklifts, hydrogen storage trailers, fuelling stations, stationary

Szczegółowe arkusze taktyczne proponowane dla wybranych zdarzeń

Na rycinie 14 został przedstawiony schemat postępowania jednostek KSRG podczas działań przy wypadkach z udziałem pojazdów z napędem wodorowym. Biorąc pod uwagę aktualną wiedzę na temat pożarów związanych z występowaniem wodoru, cytowane w niniejszym artykule materiały HyResponder [10] zawierają propozycje arkuszy taktycznych dla zdarzeń

and mobile power generation units, hydrogen-based energy storage systems. It proposes a tactical approach for 4 types of possible events:

- no leakage, no fire;
- H₂ leakage;
- fire in the installation;
- external fire endangering the installation.

The sheets also include intervention sequences for situations:

1. Rescue:
 - injured person in nearby FCH,
 - suffocation caused by H₂ leakage in an enclosed space,
 - electrocution,
 - burns from H₂ leakage.
2. Fire in electrical components of FCH application.
3. Fire threatening FCH installation or H₂ storage facility.
4. Ignited H₂ leak.
5. Non-ignited H₂ leakage.

For each situation, a step-by-step sequence, information on safety points and indicative safety distances in the event of failure of pressure-releasing equipment and protection of the population from the effects of tank explosions are proposed [10].

Based on the cited sources, CNBOP PIB has taken on the task of developing a guide for KSRG rescuers, which will propose intervention strategies depending on situations where hydrogen is or could be the main source of danger.

Conclusion

Fuel cells are reliable, durable and require little maintenance. Hydrogen and direct methanol fuel cells (DMFCs) are suitable for mobile applications. The most common types of hydrogen fuel cells are proton exchange membrane fuel cells (PEMFCs) and solid oxide fuel cells (SOFCs). The latter are typically used in stationary applications, while PEMFCs – due to their high performance, short response times and small size and weight – are promising for mobile applications. According to many experts, the technology is safe for mobile applications due to its high power density and low operating temperature of around 80°C. It is quiet and produces only a small amount of waste heat. Commercial fuel cell systems for mobile applications have an output of 2.5 to 50 kW with a weight of 28.5 kg and a nominal consumption of 0.06 kg H₂/kWh. Integrated hydrogen tank systems ensure that the fuel is available on a continuous basis, thus providing an uninterrupted supply for long periods. With a BO I 300 bar gas cylinder, a 1.5 kW PMFC fuel cell can operate for at least 12 hours [1, p. 39].

Direct methanol fuel cells (DMFCs) use liquid methanol, also supplemented with oxygen from the air, to generate electricity. In

dotyczących: samochodów osobowych, autobusów, wózków widłowych, przyczep do transportu przechowywania wodoru, stacji paliw, stacjonarnych i mobilnych jednostek wytwarzania energii, systemów magazynowania energii na bazie wodoru. Proponuje się tam podejście taktyczne dla 4 rodzajów możliwych zdarzeń:

- brak wycieku, brak pożaru;
- wyciek H₂;
- ogień w instalacji;
- pożar zewnętrzny zagrażający instalacji.

W arkuszach zawarte są także sekwencje interwencyjne dla sytuacji:

1. Ratowanie:
 - uszkodzona osoba w pobliskim FCH,
 - uduszenie spowodowane wyciekami H₂ w zamkniętej przestrzeni,
 - porażenie prądem,
 - oparzenia spowodowane wyciekami H₂.
2. Pożar komponentów elektrycznych aplikacji FCH.
3. Pożar zagrażający instalacji FCH lub magazynowi H₂.
4. Zapalony wyciek H₂.
5. Niezapalony wyciek H₂.

Dla każdej z sytuacji proponowana jest sekwencja krok po kroku, informacje o punktach bezpieczeństwa i orientacyjne odległości bezpieczeństwa w przypadku awarii urządzeń uwalniających ciśnienie oraz zabezpieczenie ludności przed skutkami wybuchu zbiorników [10].

Opierając się na cytowanych źródłach, CNBOP PIB podjęło się zadania opracowania poradnika dla ratowników KSRG, który będzie zawierał propozycje strategii interwencyjnych w zależności od sytuacji, w których głównym źródłem zagrożenia jest lub może być wódór.

Podsumowanie

Ogniwa paliwowe są niezawodne, trwałe i wymagają niewielkiej konserwacji. Ogniwa paliwowe na wódór i bezpośredni metanol (DMFC) nadają się do zastosowań mobilnych. Najpopularniejszymi typami wodorowych ogniw paliwowych są ogniwa z membraną protonowymienną (PEMFC) i ogniwa paliwowe ze stałym tlenkiem (SOFC). Te ostatnie są zwykle używane w zastosowaniach stacjonarnych, natomiast PEMFC – ze względu na wysoką wydajność, krótkie czasy reakcji oraz niewielkie rozmiary i wagę – są perspektywiczne do zastosowań mobilnych. W opinii wielu ekspertów, dzięki wysokiej gęstości mocy i niskiej temperaturze roboczej wynoszącej ok. 80°C, technologia ta jest bezpieczna w zastosowaniach mobilnych. Jest cicha i wytwarza jedynie niewielką ilość ciepła odpadowego. Komercyjne systemy ogniw paliwowych do zastosowań mobilnych mają moc wyjściową od 2,5 do 50 kW przy wadze 28,5 kg i nominalnym zużyciu 0,06 kg H₂/kWh. Zintegrowane systemy zbiorników wodoru zapewniają dostępność paliwa w trybie ciągłym, a tym samym nieprzerwane zasilanie przez długi czas. Z butlą gazową BO I 300 bar, ogniwo paliwowe PMFC o mocy 1,5 kW może pracować przez co najmniej 12 godzin [1, s. 39].

this case, methanol is converted directly into electricity. By-products are waste heat, water and small amounts of CO₂. Due to their liquid fuel and light weight, these cells are suitable for remote continuous operation (e.g. in monitoring or measurement scenarios) and for self-sufficient operation in harsh environments. Commercial systems combine a DMFC fuel cell with a battery to power the equipment, with the cell always fully automatically charging the battery. Commercial DMFC systems are available with continuous output power of up to 500 W. The 28 l fuel cartridge provides self-sustaining power to a 50 W receiver for up to 4 weeks – several fuel cells and/or fuel cartridges can be combined if required.

Both PEMFC and DMFC fuel cell systems are suitable for operation with other alternative energy generators, such as solar modules. In such a hybrid combination, the fuel cell switches on automatically only when the solar modules no longer generate enough electricity.

Bezpośrednie metanolowe ogniwa paliwowe (DMFC) do generowania energii elektrycznej wykorzystują ciekły metanol, również uzupełniony tlenem z powietrza. W tym przypadku metanol jest przekształcany bezpośrednio w energię elektryczną. Produktami ubocznymi są ciepło odpadowe, woda i niewielkie ilości CO₂. Dzięki ciekłemu paliwu i niewielkiej masie ogniwa te nadają się do zdalnej pracy ciągłej (np. w scenariuszach monitorowania lub pomiarów) oraz do samowystarczalnej pracy w trudnych warunkach środowiskowych. Systemy komercyjne łączą ogniwo paliwowe DMFC z akumulatorem, z którego zasilane są urządzenia, przy czym ogniwo zawsze w pełni automatycznie ładuje akumulator. Komercyjne systemy DMFC są dostępne z ciągłą mocą wyjściową do 500 W. Wkład paliwowy 28 l zapewnia samowystarczalne zasilanie odbiornika o mocy 50 W przez okres do 4 tygodni – w razie potrzeby można połączyć kilka ogniw paliwowych i/lub wkładów paliwowych.

Zarówno systemy ogniw paliwowych PEMFC, jak i DMFC nadają się do pracy z innymi alternatywnymi generatorami energii, np. modułami słonecznymi. W takim hybrydowym połączeniu ogniwo paliwowe włącza się automatycznie tylko wtedy, gdy moduły słoneczne nie wytwarzają już wystarczającej ilości energii elektrycznej.

Table 8. Advantages and disadvantages of selected fuel cell power technologies for mobile application scenarios
Tabela 8. Zalety i wady wybranych technologii zasilania ogniw paliwowych dla scenariuszy zastosowań mobilnych

Type of fuel cell / Rodzaj ogniwa paliwowego	Fuel capacity / Moc paliwa	Type of fuel / Rodzaj paliwa	Advantages / Zalety	Disadvantages / Wady
PEMFC	> 2.5 kW	Hydrogen / Wodór	Environmentally friendly, emission-free, quiet, no moving parts, low level of waste heat, configurable in accordance with according to power requirements, with green hydrogen, best environmental balance / Przyjazny dla środowiska, bezemisyjny, cichy, bez ruchomych części, niski poziom ciepła odpadowego, konfigurowalny zgodnie z wymaganiami mocy, z zielonym wodorem, najlepszy bilans środowiskowy	Need for refuelling, hydrogen gas has to be transported under pressure or in liquefied form and is therefore expensive, special safety requirements for hydrogen / Konieczność uzupełniania paliwa, gazowy wodór musi być transportowany pod ciśnieniem lub w postaci skroplonej, dlatego jest kosztowny, specjalne wymogi bezpieczeństwa dla wodoru
DMFC	< 0.5 kW	Methanol / Metanol	Environmentally friendly, quiet, smooth and easy to transport transportable fuel, extremely long self-sufficiency, configurable depending on depending on power requirements / Przyjazne dla środowiska, ciche, płynne i łatwe w transporcie paliwo, wyjątkowo długa samowystarczalność, możliwość konfiguracji w zależności od zapotrzebowania na moc	Methanol infrastructure still under construction, special transport requirements for methanol, destruction of fuel cell membranes with contaminated methanol / Infrastruktura metanolu wciąż w budowie, specjalne wymagania transportowe dla metanolu, niszczenie membran ogniw paliwowych przy użyciu zanieczyszczonego metanolu

Source: Own elaboration (J. Kielin) based on [1].

Źródło: Opracowanie własne (J. Kielin) na podstawie [1].

Examples of fuel cell applications include powering mobile 360° CCTV camera systems with power requirements of 60–120 W during large events. They are used to locate trouble spots and secure evidence of crimes. DMFC fuel cells provide reliable power away from the electrical grid. The self-sufficiency of CCTV systems can be increased, if necessary, by using appropriately sized

Przykładami zastosowania ogniw paliwowych jest zasilanie mobilnych systemów kamer CCTV 360° o zapotrzebowaniu na moc 60–120 W podczas dużych imprez. Są one wykorzystywane do lokalizowania miejsc problematycznych i zabezpieczenia dowodów przestępstw. Ogniwa paliwowe DMFC zapewniają niezawodne zasilanie z dala od sieci elektrycznej. Samowystarczalność systemów

fuel cartridges. The fuel cell is invisibly and vandal-proofly connected to the battery in the base of the CCTV system. In hybrid mode, a solar module can be added.

The development of the use of alternative drives, the use of new power sources, solutions and technologies is a fact. It should be mentioned that in vehicles with fuel cell technology, for example, the fuel storage – usually hydrogen (trials are underway with methanol as well) – is gaseous, and electricity is generated in the fuel cell. Here, the battery serves as intermediate storage, among other things, to store recovered energy, so it may have less capacity than a battery electric vehicle (BEV).

As of the end of July 2022, 124 hydrogen-powered vehicles were in operation in Poland¹. However, a number of forecasts and ventures (such as the hydrogen valleys being created²) are available that show that the number of fuel cell vehicles and devices will grow rapidly in the coming years. According to various estimates, as a result of the development of hydrogen stations, 70 or even 140,000 may arrive on Polish roads by 2030 [14].

The development of this and other technologies and the use of new alternative fuels, along with the increase in the number of vehicles fuelled in this way, will undoubtedly result in numerous and varied challenges for fire protection, as well as the need for rescue operations, in the near future. These changes require systemic preparation and improvement of both the knowledge, skills of rescuers and their equipment.

Another area of application for fuel cells is mobile solutions. Fuel cells, due to their advantages, are already widely used, especially in emergency situations when there is a shortage of power supply from the grid. Fuel cells are completely independent of the weather. Their different types can use different fuels, such as hydrogen, methanol, ammonia or methane. Depending on the fuel used – in the simplest case they emit only water. These solutions are already being tested for rescue purposes, and their mass use may become a reality in the near future.

It is necessary to clarify the technical requirements for equipment for storing and supplying hydrogen to vehicles (passenger vehicles, trucks, buses, trains, airplanes) and technical equipment in plants (such as forklifts or generators for providing electricity in emergency situations, as well as for powering facilities and equipment in situations where power grids are unavailable). Work on these regulations is currently underway. Proposals have been made to amend the Energy Law and some other laws, which implement the provisions of the strategic document entitled *Polish Hydrogen Strategy until 2030 with an outlook until 2040*.

A wide range of possible scenarios for firefighting units to intervene in high-risk incidents requires adequate preparation of rescue personnel (entry-level rescuers, commanders of rescue units – depot commanders, platoon commanders, rescue managers) and specialists. Therefore, it is urgently necessary to work on the preparation of appropriate education, training and in-service training programs and teaching materials.

CCTV można w razie potrzeby zwiększyć, stosując odpowiedniej wielkości wkłady paliwowe. Ogniwo paliwowe jest w niewidoczny i wandaloodporny sposób podłączone do akumulatora w podstawie systemu CCTV. W trybie hybrydowym można dodać moduł solarny.

Rozwój wykorzystania napędów alternatywnych, stosowania nowych źródeł zasilania, rozwiązań i technologii jest faktem. Nadmienić należy, że w pojazdach np. z technologią ogniw paliwowych, magazyn paliwa – zwykle wodoru (trwają próby z zastosowaniem również metanolu) – jest gazowy, a energia elektryczna wytwarzana jest w ogniwie paliwowym. Akumulator służy tu jako magazyn pośredni, m.in. do przechowywania odzyskanej energii, dlatego może mieć mniejszą pojemność niż w przypadku pojazdu elektrycznego na baterie (BEV).

W Polsce na koniec lipca 2022 roku eksploatowano 124 pojazdów z napędem wodorowym¹. Dostępne są jednak liczne prognozy i przedsięwzięcia (jak tworzone doliny wodorowe²), które świadczą o tym, że liczba pojazdów i urządzeń napędzanych prądem z ogniwa paliwowego będzie szybko rosła w najbliższych latach. Według różnych szacunków, na skutek rozwoju stacji wodorowych do 2030 roku na polskich drogach może przybyć 70, a nawet 140 tys. [14].

Rozwój tej i innych technologii oraz zastosowania nowych paliw alternatywnych, wraz ze wzrostem liczby pojazdów zasilanych w ten sposób, bez wątpienia skutkować będzie w najbliższej przyszłości licznymi, różnorodnymi wyzwaniami dla ochrony przeciwpożarowej, a także koniecznością prowadzenia działań ratowniczych. Te zmiany wymagają systemowych przygotowań i doskonalenia zarówno wiedzy, umiejętności ratowników, jak i ich wyposażenia.

Innym obszarem zastosowania ogniw paliwowych są rozwiązania mobilne. Ogniwa paliwowe ze względu na swoje zalety znajdują już szerokie zastosowanie, szczególnie w sytuacjach kryzysowych, gdy brakuje dostaw prądu z sieci. Ogniwa paliwowe są całkowicie niezależne od pogody. Ich poszczególne typy mogą wykorzystywać różne paliwa, np. wodór, metanol, amoniak lub metan. W zależności od zastosowanego paliwa – w najprostszym przypadku emitują tylko wodę. Te rozwiązania już są testowane na potrzeby ratownicze, a ich masowe wykorzystywanie może stać się faktem w nieodległej przyszłości.

Niezbędne jest doprecyzowanie wymagań technicznych dla urządzeń do przechowywania i dostarczania wodoru do pojazdów (pojazdy osobowe, samochody ciężarowe, autobusy, pociągi, samoloty) i urządzeń technicznych w zakładach (takich jak wózki widłowe czy agregaty prądotwórcze służące do dostarczania prądu w sytuacjach kryzysowych, a także do zasilania obiektów i urządzeń w sytuacjach braku dostępu do sieci energetycznych). Aktualnie trwają prace nad tymi regulacjami. Powstały propozycje zmian ustawy Prawo energetyczne oraz niektórych innych ustaw, które realizują zapisy strategicznego dokumentu pt. *Polska Strategia Wodorowa do roku 2030 z perspektywą do roku 2040*.

¹ The data in this paragraph comes from the website <https://pspa.com.pl/2022/informacja/licznik-elektromobilnosci-samochody-elektryczne-coraz-popularniejsze-mimo-spadkow-na-rynku-motoryzacyjnym>.

² Seven hydrogen valleys are currently operating in Poland (dolnośląska, mazowiecka, podkarpacka, śląsko-małopolska, pomorska, wielkopolska, zachodniopomorska).

¹ Dane zamieszczone w tym akapicie pochodzą ze strony <https://pspa.com.pl/2022/informacja/licznik-elektromobilnosci-samochody-elektryczne-coraz-popularniejsze-mimo-spadkow-na-rynku-motoryzacyjnym>.

² W Polsce aktualnie działa siedem dolin wodorowych (dolnośląska, mazowiecka, podkarpacka, śląsko-małopolska, pomorska, wielkopolska, zachodniopomorska).

The above predictions and conclusions justify ongoing research and work, subsequent implementations and solutions.

Currently, fuel cell vehicles are being produced as a possible complement or alternative to electric cars. They have the following advantages:

- fuel cell generates emission-free electricity from hydrogen,
- fuel cell vehicles can be refuelled just as quickly as internal combustion ones,
- fuel cells are lighter than batteries, so they can be widely used in long-haul trucks or buses, giving them greater applicability than battery-only vehicles,
- range of fuel cell vehicles is longer,
- hydrogen is a good energy carrier³,
- hydrogen can be stored for any length of time, and its supply is essentially infinite [15].

This article presents the opportunities presented by the use of hydrogen fuel cells to power vehicles and machinery. The use of hydrogen fuel cells in households is also growing. A case in point is Japan, where fuel cells already provide electricity and heat to more than 400,000 homes, a number that is expected to rise to as many as 5 million by 2030 [16]. It is therefore reasonable to say that hydrogen fuel cells will be used more and more widely in our market as well. Emergency services must be prepared for this, keeping in mind not only the effectiveness of operations, operational and application safety, but also the safety of rescuers. Urgent needs in this area are already being recognized, such as:

- uniform rules of conduct during incidents with liquefied or compressed hydrogen,
- activities to develop and implement into the training practice of KSRG units dedicated training programs for rescuers at the intervention, tactical and strategic levels for those in charge of rescue operations where compressed or liquefied hydrogen may be present,
- measures to promote the proper conduct of users of hydrogen fuel cell vehicles, as well as those using hydrogen fuel cell systems in their households.

Szeroka gama możliwych scenariuszy interwencji jednostek straży pożarnych do zdarzeń o wysokim zagrożeniu wybuchem wymaga odpowiedniego przygotowania kadr ratowniczych (ratowników na poziomie podstawowym, dowódców jednostek ratowniczych – dowódców zastępu, plutonu, kierujących działaniami ratowniczymi) i specjalistów. Dlatego konieczne jest pilne podjęcie prac nad przygotowaniem odpowiednich programów kształcenia, szkolenia oraz doskonalenia zawodowego i materiałów dydaktycznych.

Powyższe przewidywania i wnioski uzasadniają prowadzone badania i prace, kolejne wdrożenia i rozwiązania.

Obecnie pojazdy z ogniwami paliwowymi są produkowane jako możliwe uzupełnienie lub alternatywa dla samochodów elektrycznych. Posiadają one następujące zalety:

- ogniwo paliwowe generuje bezemisyjną energię elektryczną z wodoru,
- ogniwo paliwowe działa dłużej niż konwencjonalny akumulator,
- pojazdy z ogniwami paliwowymi można tankować równie szybko jak te spalinowe,
- ogniwa paliwowe są lżejsze od akumulatorów, dlatego mogą być powszechnie wykorzystywane w samochodach ciężarowych lub autobusach w transporcie dalekobieżnym, co daje większe możliwości zastosowania niż w przypadku pojazdów wyłącznie akumulatorowych,
- zasięg pojazdów napędzanych ogniwami paliwowymi jest większy,
- wodór jest dobrym nośnikiem energii³,
- wodór może być przechowywany przez dowolnie długi czas, a jego zasoby są w zasadzie nieskończone [15].

W niniejszym artykule przedstawiono możliwości, jakie stwarza stosowanie wodorowych ogniw paliwowych do napędu pojazdów i maszyn. Rośnie także użycie wodorowych ogniw paliwowych w gospodarstwach domowych. Przykładem może być Japonia, gdzie ogniwa paliwowe już dostarczają energię elektryczną i ciepło do ponad 400 tys. domów, a do 2030 r. liczba ta ma wzrosnąć aż do 5 milionów [16]. Uzasadnione zatem jest twierdzenie, iż wodorowe ogniwa paliwowe stosowane będą coraz powszechniej również na naszym rynku. Służby ratownicze muszą być na to przygotowane, mając na względzie nie tylko skuteczność działań, bezpieczeństwo eksploatacji i stosowania, ale także bezpieczeństwo ratowników. Już dziś dostrzega się pilne potrzeby w tym obszarze, takie jak:

- jednolite zasady postępowania podczas zdarzeń z wodorem skroplonym lub sprężonym,
- działania mające na celu opracowanie i wdrożenie do praktyki szkoleniowej jednostek KSRG dedykowanych programów szkolenia dla ratowników na poziomach: interwencyjnym, taktycznym i strategicznym dla osób kierujących działaniami ratowniczymi, w których może występować wodór sprężony lub skroplony,
- działania propagujące właściwe postępowanie użytkowników pojazdów z napędem wodorowymi ogniwami paliwowymi, a także osób użytkujących w swoich gospodarstwach domowych instalacje z takimi ogniwami.

³ The heating value of one kilogram is 33 kilowatt-hours, which is three times the energy value of one liter of diesel or gasoline.

³ Wartość opałowa jednego kilograma wynosi 33 kilowatogodziny, co stanowi trzykrotność wartości energetycznej jednego litra oleju napędowego lub benzyny.

Definitions and abbreviations

The following are a selection of the most relevant definitions related to the subject of the work. They were also referenced in articles by the author team published in Safety & Fire Technology magazine in issues 2/2022 and 1/2023.

BEV – battery electric vehicle.

FCV – fuel cell car.

FCH – fuel cell hydrogen / hydrogen-powered vehicles.

Fuel cell (FC) – an electrochemical generator that generates electricity by converting chemical energy into electrical energy. In case of a hydrogen-powered FC, oxygen and hydrogen are combined to produce electricity, heat and water. The FC consists of two electrodes [positive (cathode) and negative (anode)] immersed in an electrolyte solution that provides ion transfer in both directions, while the corresponding flow of electrons in the outer circuit provides electrical energy [11].

Proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) – at the anode, hydrogen molecules H_2 are dissociated into protons H^+ and electrons e^- under the influence of a catalyst: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$. These protons are guided to the cathode through membranes, while the electrons pass through an external electrical circuit. At the cathode, oxygen molecules O_2 are recombined with protons and electrons to form water: $\frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$ [7].

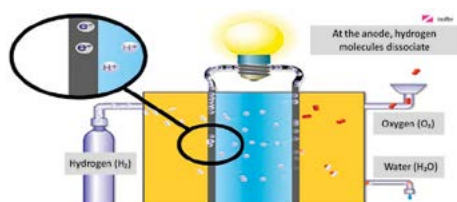


Figure 12. Schematic principle of fuel cell functioning

Rycina 12. Zasada działania ogniwa paliwowego – schemat

Source Źródło: Lecomte L., *European Emergency Response Guide, ENSOSP, 2022* [2].

A first responder – is a rescuer (e.g. firefighters, police, medical personnel) who is likely to arrive first at the scene of an accident /incident [7].

Operational risk – the risk of loss resulting from inadequate or unreliable internal procedures, errors in people and systems, or from external events, also including legal risk. The fulfilment of operational risk always involves the loss of key resources or loss of control over those resources [12].

Strategy⁴ – a comprehensive plan of action that includes the goals and methods needed to achieve those goals. It is long-term

⁴ „Dział sztuki wojennej obejmujący przygotowanie i prowadzenie wojny oraz poszczególnych jej kampanii i bitew”, „przemysłany plan działań w jakiejś dziedzinie”, Encyklopedia PWN.

Definicje i skróty

Poniżej przedstawiono wybrane, najistotniejsze definicje powiązane z przedmiotem pracy. Zostały one przywołane również w artykułach zespołu autorskiego opublikowanych w czasopiśmie „Safety & Fire Technology” w numerach 2/2022 i 1/2023.

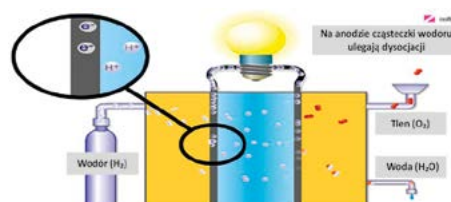
BEV – pojazd elektryczny na baterie.

FCV – pojazdy elektryczne z ogniwami paliwowymi.

FCH – wodorowe ogniwo paliwowe / pojazdy zasilane wodorem.

Ogniwo paliwowe (FC) – generator elektrochemiczny, który wytwarza energię elektryczną poprzez zamianę energii chemicznej na elektryczną. W przypadku FC zasilanego wodorem, tlen i wodór są łączone w celu wytworzenia energii elektrycznej, ciepła i wody. FC składa się z dwóch elektrod [dodatniej (katoda) i ujemnej (anoda)] zanurzonych w roztworze elektrolitu, który zapewnia transfer jonów w obu kierunkach, podczas gdy odpowiedni przepływ elektronów w obwodzie zewnętrznym zapewnia energię elektryczną [11].

Ogniwo paliwowe z membraną protonową (PEMFC) – na anodzie cząsteczki wodoru H_2 są dysocjowane na protony H^+ i elektrony e^- pod wpływem katalizatora: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$. Protony te są prowadzone do katody przez membrany, a elektrony przechodzą przez zewnętrzny obwód elektryczny. Na katodzie cząsteczki tlenu O_2 są rekombinowane z protonami i elektronami tworząc wodę: $\frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$ [7].



Osoba udzielająca pierwszej pomocy – to ratownik (np. strażacy, policja, personel medyczny), który prawdopodobnie przybędzie jako pierwszy na miejsce wypadku/incydentu [7].

Ryzyko operacyjne – ryzyko straty wynikające z nieodpowiednich lub zawodnych procedur wewnętrznych, błędów ludzi i systemów lub ze zdarzeń zewnętrznych, obejmując także ryzyko prawne. Spełnianie się ryzyka operacyjnego zawsze polega na utracie kluczowych zasobów lub utracie kontroli nad tymi zasobami [12].

Strategia⁴ – kompleksowy plan działania, który obejmuje cele i metody potrzebne do osiągnięcia tych celów. Jest to planowanie

⁴ „Dział sztuki wojennej obejmujący przygotowanie i prowadzenie wojny oraz poszczególnych jej kampanii i bitew”, „przemysłany plan działań w jakiejś dziedzinie”, Encyklopedia PWN.

planning that involves selecting resources and allocating resources in a way that ensures the effective achievement of specific goals or outcomes [13].

Thermal pressure relief device (TPRD) – provides a controlled release of GH₂ (hydrogen gas) from a high-pressure storage tank before its walls are weakened by high temperature, leading to a catastrophic rupture (burst) [13].

Pressure relief device (PRD) – a safety device that protects a storage tank from failure by releasing some or all of the tank's contents in the event of high temperature, high pressure, or a combination of both [13].

długoterminowe, które obejmuje wybieranie środków i alokację zasobów w sposób, który zapewnia skuteczne osiągnięcie określonych celów lub rezultatów [13].

Termicznie aktywowane urządzenie nadciśnieniowe (TPRD) – zapewnia kontrolowane uwolnienie GH₂ (wodór w postaci gazowej) z wysokociśnieniowego zbiornika magazynowego, zanim jego ścianki zostaną osłabione przez wysoką temperaturę, prowadząc do katastrofalnego pęknięcia (rozerwania) [13].

Urządzenie nadmiarowo-ciśnieniowe (PRD) – urządzenie zabezpieczające, które chroni przed awarią zbiornik magazynowy poprzez uwolnienie części lub całej zawartości zbiornika w przypadku wysokiej temperatury, wysokiego ciśnienia lub kombinacji obu tych czynników [13].

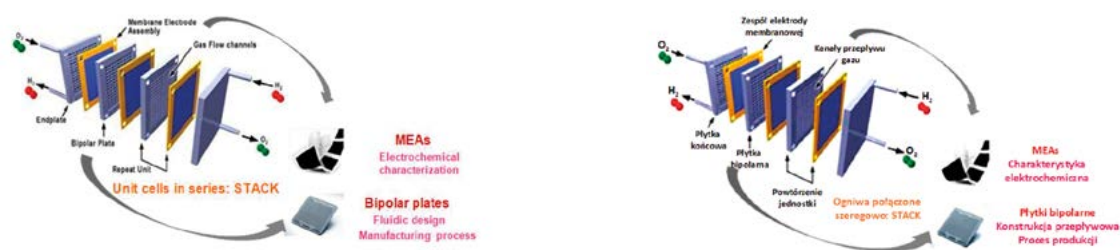


Figure 13. Membrane Electrode Assembly (MEA)
Rycina 13. Zespół elektrody membranowej (MEA)

Source / Źródło: Lecomte L., *European Emergency Response Guide*, ENSOSP, 2022 [2].

Literature / Literatura

- [1] Ledergerber B., Pinkwart K., Gerber T., *Energieversorgung im Einsatz. Mobiler Strom für Krisenszenarien*, „Crisis Prevention” 2023, 2.
- [2] Lecomte L., *European Emergency Response Guide*, ENSOSP, 2022, https://hyresponder.eu/wp-content/uploads/2023/05/Final-English-EERG-December-2022_VFinal.pdf [dostęp: 01.03.2023].
- [3] FC module, portal internetowy Global Toyota, <https://global.toyota/en/album/images/34799439/> [dostęp: 01.03.2023].
- [4] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1272/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin, zmieniające i uchylające dyrektywy 67/548/EWG i 1999/45/WE oraz zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 (Dz. U. UE. L. 353 z 2008, s. 1 z późn. zm.).
- [5] Stępień Z., Urzędowska W., *Tłokowe silniki spalinowe zasilane wodorem – wyzwania*, „Nafta–Gaz” 2021, 12, 830–840, <https://doi.org/10.18668/NG.2021.12.06>.
- [6] *European Train the Trainer Programme for Responders, Lecture 1: Introduction to hydrogen safety for responders*, <https://ctif.org/hyresponder-course-material-part-1> [dostęp: 18.09.2023].
- [7] *European Hydrogen Train the Trainer Programme for Responders*, <https://hyresponder.eu/e-platform/training-materials> [dostęp: 01.03.2023].
- [8] Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, <http://energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage> [dostęp: 01.09.2023].
- [9] Kielin J., Zboina J., Bugaj G., Zalech J., Bąk D., *Działania ratowniczo-gaśnicze podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z napędem alternatywnym. Napędy gazowe*, SFT Vol. 61 Issue 1, 2023, pp. 6–31, <https://doi.org/10.12845/sft.61.1.2023.1>.
- [10] Lecomte L., *European Train the Trainer Programme for Responders, Deliverable 1.3 Account of scenarios and operational emergency planning and response strategies and tactics*, 2021, <https://hyresponder.eu/wp-content/uploads/2022/01/D1.3-Account-of-scenarios-and-operational-emergency-planning-and-response-strategies-and-tactics.pdf> [dostęp: 25.09.2023].
- [11] *Bezpieczeństwo eksploatacji urządzeń, instalacji i sieci gazowych*, https://grupasilesia.com.pl/files/1714/1890/8208/Materialy_do_pobrania_-_g3.pdf [dostęp: 01.10.2023].
- [12] https://pl.wikipedia.org/wiki/Ryzyko_operacyjne [dostęp: 18.09.2023].

- [13] Internetowa Encyklopedia PWN, <https://encyklopedia.pwn.pl/>.
- [14] *Licznik Elektromobilności: samochody elektryczne coraz popularniejsze mimo spadków na rynku motoryzacyjnym*, wpis na portalu internetowym PSPA, <https://pspa.com.pl/2022/informacja/licznik-elektromobilnosci-samocho- dy-elektryczne-coraz-popularniejsze-mimo-spadkow-na- rynku-motoryzacyjnym> [dostęp: 18.09.2023].
- [15] *Wasserstoffautos mit Brennstoffzelle So steht's um die Zukunft von Wasserstoffautos*, artykuł na portalu AutoBild, <https://www.autobild.de/artikel/wasserstoffautos-brennstoffzelle-fuel-cell-20492755.html> [dostęp: 18.09.2023].
- [16] Grandt M., *Megatrend Wasserstoff!: Gestalten Sie Ihre ganz persönliche Energiewende*, Kopp Verlag, 2022.
- [17] Honda Emergency Response Guide, <https://www.nfpa.org/Training-and-Events/By-topic/Alternative-Fuel-Vehicle-Safety-Training/Emergency-Response-Guides/Honda> [dostęp: 18.09.2023].
- [18] Merkblatt für die Feuerwehren Bayerns. Alternativ angetriebene Fahrzeuge, Staatliche Feuerweherschulen, 2018.
- [19] ix35 FCEV Hyundai Emergency Response Guide, https://h2tools.org/sites/default/files/training/training/ix35%20FCEV%20ERG_Eng.pdf [dostęp: 18.09.2023].

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

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

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

SEN. BRIG. JACEK ZALECH, M.SC. ENG. – a graduate of the Main School of Fire Service in Warsaw, as well as postgraduate studies in emergency management. He also completed postgraduate Executive Master of Business Administration (MBA). He is an officer with 28 years of experience. He currently serves at the National Headquarters of the State Fire Service as Director of the Bureau of Operations Planning. Author or co-author of documents affecting the safe conduct of rescue operations.

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

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

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

ST. BRYG. MGR INŻ. JACEK ZALECH – absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie, a także studiów podyplomowych z zakresu zarządzania w stanach zagrożenia. Ukończył również studia podyplomowe Executive Master of Business Administration (MBA). Jest oficerem z 28-letnim doświadczeniem. Obecnie pełni służbę w Komendzie Głównej Państwowej Straży Pożarnej na stanowisku Dyrektora Biura Planowania Operacyjnego. Autor lub współautor

In particular, these are: standard rules for dealing with incidents involving acetylene cylinders, standard rules for dealing with incidents involving electric passenger vehicles, standard rules for dealing with incidents following a construction disaster.

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

dokumentów mających wpływ na bezpieczeństwo prowadzenia działań ratowniczych. Są to w szczególności: standardowe zasady postępowania podczas zdarzeń z udziałem butli z acetylenem, standardowe zasady postępowania podczas zdarzeń z samochodami osobowymi z napędem elektrycznym, standardowe zasady postępowania po wystąpieniu katastrofy budowlanej.

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



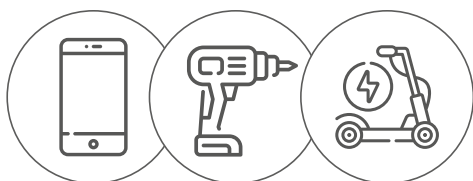
CNBOP-PIB

Laboratorium akredytowane
przez Polskie Centrum Akredytacji – AB 1280

TWÓJ PARTNER W
BEZPIECZEŃSTWIE

Zespół Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości

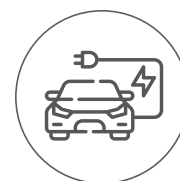
ZASTOSOWANIE AKUMULATORÓW LITOWO-JONOWYCH



**Urządzenia
codziennego
użytku**



**Urządzenia
gospodarstwa
domowego**



**Pojazdy
elektryczne**

POŻARY AKUMULATORÓW LITOWO-JONOWYCH CHARAKTERYZUJĄ SIĘ DYNAMICZNYM PRZEBIEGIEM, CZĘSTO POPRZEDZONYM GWAŁTOWNYM WYDZIELENIEM SIĘ GAZÓW O WŁAŚCIWOŚCIACH PALNYCH LUB TOKSYCZNYCH

W CNBOP-PIB prowadzimy badania akumulatorów Li-Ion m.in. pod kątem:

Oceny stopnia zabezpieczenia akumulatora litowo-jonowego poddawanego:

- ✓ długotrwałemu oddziaływaniu podwyższonej temperatury
- ✓ ogrzewaniu płomieniem zewnętrznym
- ✓ mechanicznemu uszkodzeniu

Oceny możliwości ugaszenia pożaru, np. pojazdu elektrycznego lub akumulatora litowo-jonowego, np. na linii produkcyjnej, w czasie przetwarzania odpadów w zakładzie z wykorzystaniem różnych technik i systemów gaśniczych:

KORZYŚCI Z BADAŃ:

- ✓ dobór odpowiednich zabezpieczeń w zakładzie/obiekcie
- ✓ ocena ryzyka i zagrożenia wybuchem/pożaru
- ✓ poprawa bezpieczeństwa pożarowego
- ✓ udoskonalanie zabezpieczeń przeciwpożarowych akumulatora litowo-jonowego

Michał Lewak^{a)}, Jarosław Tępiński^{b)*}

^{a)} Faculty of Chemical and Process Engineering, Warsaw University of Technology / Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechnika Warszawska

^{b)} Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute / Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpozarowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowy Instytut Badawczy

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

Application of Artificial Neural Networks for Mathematical Modelling of Horizontal Jet Fires

Wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych do modelowania matematycznego poziomych pożarów strumieniowych

ABSTRACT

Aim: This article focuses on the use of artificial neural networks to mathematically describe the parameters that determine the size of a jet fire flame. To teach the neural network, the results of a horizontal propane jet fire, carried out experimentally and using CFD mathematical modelling, were used.

Project and methods: The main part of the work consisted of developing an artificial neural network to describe the flame length and propane-air mixing path lengths with good accuracy, depending on the relevant process parameters. Two types of data series were used to meet the stated objective. The first series of data came from field tests carried out by CNBOP-PIB and from research contained in scientific articles. The second type of data was provided by numerical calculations made by the authors. The methods of computational fluid mechanics were used to develop the numerical simulations. The ANSYS Fluent package was used for this purpose. Matlab 2022a was used to develop the artificial neural network and to verify it.

Results: Using the D_{fuel} function included in Matlab 2022a, an artificial neural network was developed to determine the flame length L_{flame} and the length of the $S_{lift-off}$ mixing path as a function of the diameter of the d_{nozzle} and the mass flux of gas leaving the nozzle. Using Pearson's correlation coefficient, a selection was made of the best number of neurons in the hidden layer to describe the process parameters. The neural network developed allows L_{flame} and $S_{lift-off}$ values to be calculated with good accuracy.

Conclusions: Artificial neural networks allow a function to be developed to describe the parameters that determine flame sizes in relation to process parameters. For this purpose, the results of the CFD simulations and the results of the jet fire experiments were combined to create a single neural network. The result is a ready-made function that can be used in programmes for the rapid determination of flame sizes. Such a function can support the process of creating scenarios in the event of an emergency. A correctly developed neural network provides opportunities for the mathematical description of jet fires wherever experimental measurements are not possible. Solution proposed by the authors does not require a large investment in ongoing calculations, as the network can be implemented in any programming language.

Keywords: computational fluid mechanics, artificial neural networks, jet fire

Type of article: original scientific article

Received: 31.10.2023; Reviewed: 04.12.2023; Accepted: 04.12.2023;

Authors' ORCID IDs: M. Lewak – 0000-0001-9012-8347; J. Tępiński – 0000-0002-5005-2795;

The authors contributed the equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 62 Issue 2, 2023, pp. 34–48, <https://doi.org/10.12845/sft.62.2.2023.2>;

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

ABSTRAKT

Cel: W artykule skupiono się na wykorzystaniu sztucznych sieci neuronowych do opisu matematycznego parametrów określających rozmiary płomienia pożaru strumieniowego. Do uczenia sieci neuronowej wykorzystano wyniki badań poziomego pożaru strumieniowego propanu, przeprowadzone doświadczalnie i przy pomocy modelowania matematycznego metodą CFD.

Projekt i metody: Główna część pracy polegała na opracowaniu sztucznej sieci neuronowej, która z dobrą dokładnością będzie opisywała długość płomienia oraz długości drogi mieszania propanu z powietrzem w zależności od istotnych parametrów procesowych. Do realizacji postawionego celu wykorzystano dwa typy serii danych. Pierwsza seria danych pochodziła z badań poligonowych wykonanych przez CNBOP-PIB oraz z badań zawartych w artykułach naukowych. Drugi typ danych dostarczyły obliczenia numeryczne wykonane przez autorów. Do opracowania symulacji numerycznych wy-

korzystano metody obliczeniowej mechaniki płynów. W tym celu zastosowany został pakiet ANSYS Fluent. Do opracowania sztucznej sieci neuronowej oraz jej weryfikacji użyto programu Matlab 2022a.

Wyniki: Korzystając z funkcji n_{flame} , zawartej w programie Matlab 2022a, opracowano sztuczną sieć neuronową do wyznaczenia długości płomienia L_{flame} i długości drogi mieszania $S_{lift-off}$ w zależności od średnicy dyszy d_{nozzle} i strumienia masowego gazu opuszczającego dyszę. Do opisu parametrów procesowych wybrano najbardziej adekwatną liczbę neuronów w warstwie ukrytej. Wykorzystano do tego współczynnik korelacji Pearsona. Opracowana sieć neuronowa pozwala z dobrą dokładnością obliczyć wartości L_{flame} i $S_{lift-off}$.

Wnioski: Sztuczne sieci neuronowe pozwalają na opracowanie funkcji opisującej rozmiar płomienia w zależności od parametrów procesowych. W celu stworzenia jednej sieci neuronowej połączono wyniki symulacji CFD i wyniki doświadczeń pożarów strumieniowych. W rezultacie otrzymano gotową funkcję, która może być użyta w programach służących do szybkiego określania rozmiarów płomienia. Funkcja taka może wspomagać proces tworzenia scenariuszy na wypadek wystąpienia sytuacji awaryjnej. Poprawnie opracowana sieć neuronowa pozwala opisać w sposób matematyczny pożary strumieniowe wszędzie tam, gdzie wykonanie pomiarów doświadczalnych nie jest możliwe. Proponowane rozwiązanie nie wymaga dużych nakładów finansowych na prowadzone obliczenia, ponieważ sieć może być zaimplementowana w dowolnym języku programowania.

Słowa kluczowe: obliczeniowa mechanika płynów, sztuczne sieci neuronowe, pożar strumieniowym

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 31.10.2023; **Zrecenzowany:** 04.12.2023; **Zaakceptowany:** 04.12.2023;

Identyfikatory ORCID autorów: M. Lewak – 0000-0001-9012-8347; J. Tępiński – 0000-0002-5005-2795;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 62 Issue 2, 2023, pp. 34–48, <https://doi.org/10.12845/sft.62.2.2023.2>;

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

Introduction

A jet fire is usually a sudden and very dangerous phenomenon. The extent of the flame has a significant impact on the safety of both living beings and material assets. Consequently, the scientific interest in this topic is mainly focused on determining the size of the flame as a function of process parameters such as m_{in} gas mass flux and d_{nozzle} diameter, among others. An analysis of articles on the problem of mathematical modelling of jet fires shows that the use of artificial neural networks for this purpose is definitely a new approach. For this reason, there are few scientific articles dealing with the link between neural networks and the modelling of jet fires. In one of these few, an artificial neural network was developed using data from experimental measurements [3]. Therefore, this study proposes to use this type of network to describe the flame size in a horizontal jet fire using data from two separate methods, i.e. polygon tests and CFD methods. In the authors' opinion, this is a certain deepening of the topic in this area. Experimental testing on a laboratory or engineering scale is generally used to determine the flame size of jet fires [1], less commonly mathematical modelling using numerical methods, most commonly computational fluid mechanics CFD [2]. Each of the methods mentioned above for determining flame size has its advantages and disadvantages. Experimental methods, carried out even on a small scale, generate high costs because they require the use of expensive control and measurement equipment. In order to maintain a sufficiently high level of safety, large-scale jet fire investigations should be carried out on training grounds, which requires both a great deal of money and work (scientific, technical and organisational). Moreover, the measurement of large jet fires is burdened by problems with the accuracy of determining the length and width of the flame. Methods based on CFD techniques do not present this disadvantage.

Wprowadzenie

Pożar strumieniowy jest zazwyczaj zjawiskiem nagłym i bardzo niebezpiecznym. Istotny wpływ na bezpieczeństwo – zarówno istot żywych, jak i dóbr materialnych – mają jego rozmiary. W związku z tym zainteresowanie nauki tym tematem skupia się głównie na określeniu wielkości płomienia w zależności od parametrów procesowych, m.in. takich jak strumień masowy gazu m_{in} i średnica dyszy d_{nozzle} . Z analizy artykułów dotyczących problemu modelowania matematycznego pożarów strumieniowych wynika, że wykorzystanie do tego celu sztucznych sieci neuronowych jest zdecydowanie nowym podejściem. Z tego powodu artykułów naukowych zajmujących się powiązaniem sieci neuronowych z modelowaniem pożarów strumieniowych jest niewiele. W jednym z tych nielicznych opracowano sztuczną sieć neuronową, wykorzystując dane pochodzące z pomiarów doświadczalnych [3]. W związku z tym w niniejszej pracy zaproponowano wykorzystanie tego typu sieci do opisu rozmiarów płomienia w poziomym pożarze strumieniowym z użyciem danych pochodzących z dwóch odrębnych metod, tj. badań poligonowych i metod CFD. Jest to – w ocenie autorów – pewne pogłębienie tematu w tym zakresie. Do określenia rozmiarów płomienia pożarów strumieniowych stosuje się z reguły badania doświadczalne w skali laboratoryjnej lub technicznej [1], rzadziej modelowanie matematyczne z wykorzystaniem metod numerycznych, najczęściej obliczeniowej mechaniki płynów CFD [2]. Każda z wyżej wymienionych metod określenia rozmiarów płomienia ma swoje zalety i wady. Metody doświadczalne, realizowane nawet w małej skali, generują duże koszty, ponieważ wymagają wykorzystania kosztownej aparatury kontrolno-pomiarowej. Dla zachowania odpowiednio wysokiego poziomu bezpieczeństwa badania pożarów strumieniowych w dużej skali powinny być przeprowadzane na poligonach, co wymaga zarówno dużych nakładów finansowych, jak i pracy (naukowej, technicznej i organizacyjnej).

Numerical methods also require a considerable amount of money, associated with the purchase of suitably powerful computing servers and CFD simulation software. CFD methods use mathematical models that are based on simplifications related to the description of the combustion process in turbulent flow, which affects the accuracy of their results. The CFD mathematical modelling of large jet fires (where the flame length exceeds several metres) requires a suitably dense numerical grid. Calculations carried out on such grids can take from a few days to even a few weeks – depending on the performance of the computing server used. Experimental methods are most often used to verify the results of CFD calculations or to create correlations, using dimensionless numbers, to determine the flame length of a jet fire. It is virtually impossible to use CFD methods in tools for determining flame sizes included in risk analysis programmes. In this type of programmes, it is only possible to use experimental correlations to estimate flame sizes. Researchers on jet fires mostly use simple literature correlations. However, artificial neural networks [3] ANN (Artificial Neural Network) can provide valuable support for mathematical modelling of fire. These networks can be used to determine flame sizes based on process parameters. The advantage of an artificial neural network is its analytical nature, i.e. the output parameters are represented by a specific function of the input variables.

In this study, an artificial feed-forward neural network (FNN) with one hidden layer was used. A sigmoidal activation function was used for the neurons in the hidden layer. This has resulted in the development of an artificial neural network that allows the calculation of flame size based on relevant process data, such as the mass flux of m_{in} gas leaving a d_{nozzle} . Neural networks can therefore be used in risk assessment programmes, as they do not place a significant burden on the computer during calculations. They offer the possibility of obtaining results quickly without the need for tedious and lengthy CFD simulations. However, a series of numerically expensive CFD calculations or several experimental measurements are required to develop them. This makes it possible to develop a function to calculate the relevant parameters of a jet fire without the need for more CFD simulations or additional field experiments.

Methodology for creating an artificial neural network

Artificial neural networks are used to convert input signals into output signals, acting as a so-called black box in the computational process. This means that the phenomena they describe

Ponadto pomiar dużych pożarów strumieniowych obarczony jest problemem z dokładnością określenia długości i szerokości płomienia. Wadą tą nie są obciążone metody oparte na technikach CFD. Metody numeryczne wymagają również znacznych nakładów finansowych, związanych z zakupem odpowiednio wydajnych serwerów obliczeniowych i programów do symulacji CFD. Metody CFD wykorzystują modele matematyczne, które bazują na uproszczeniach związanych z opisem procesu spalania w przepływie burzliwym, co wpływa na dokładność uzyskiwanych przez nie wyników. Modelowanie matematyczne CFD dużych pożarów strumieniowych (których długość płomienia przekracza kilka metrów) wymaga odpowiednio gęstej siatki numerycznej. Obliczenia prowadzone na takich siatkach mogą trwać od kilku dni do nawet kilku tygodni – w zależności od wydajności wykorzystywanego serwera obliczeniowego. Metody doświadczalne najczęściej służą do weryfikacji wyników obliczeń CFD lub do tworzenia korelacji wykorzystujących do określenia długości płomienia pożaru strumieniowego liczby bezwymiarowe. Stosowanie metod CFD w narzędziach służących do wyznaczania rozmiarów płomienia, wchodzących w skład programów służących do analizy ryzyka, jest praktycznie niemożliwe. W tego typu programach możliwe jest tylko wykorzystanie korelacji doświadczalnych, które pozwalają na oszacowanie rozmiarów płomienia. Naukowcy zajmujący się tematyką pożarów strumieniowych używają najczęściej prostych korelacji literaturowych. Natomiast sztuczne sieci neuronowe [3] ANN mogą stanowić cenne wsparcie w modelowaniu matematycznym pożaru. Sieci te mogą posłużyć do wyznaczenia rozmiarów płomienia na podstawie parametrów procesowych. Zaletą sztucznej sieci neuronowej jest jej analityczny charakter, tj. parametry wyjściowe są reprezentowane przez określoną funkcję zmiennych wejściowych.

W niniejszej pracy wykorzystano sztuczną sieć neuronową typu jednowarstwowa sieć neuronowa z wyprzedzeniem FNN z jedną warstwą ukrytą. W neuronach w warstwie ukrytej użyto sigmoidalnej funkcji aktywacji. Dzięki temu opracowana została sztuczna sieć neuronowa pozwalająca na obliczenie rozmiarów płomienia na podstawie istotnych danych procesowych, takich jak strumień masowy gazu m_{in} opuszczający dyszę o średnicy d_{nozzle} . Sieci neuronowe mogą być zatem zastosowane w programach do oceny ryzyka, ponieważ nie obciążają znacząco komputera podczas obliczeń. Dają możliwość szybkiego uzyskania wyników bez konieczności żmudnych i długotrwałych symulacji CFD. Jednakże do ich opracowania wymagane jest wykonanie serii kosztownych numerycznie obliczeń CFD lub przeprowadzenie kilku pomiarów doświadczalnych. Dzięki temu możliwe jest stworzenie funkcji pozwalającej obliczać istotne parametry pożaru strumieniowego bez konieczności wykonywania większej liczby symulacji CFD czy dodatkowych doświadczeń poligonowych.

Metodyka tworzenia sztucznej sieci neuronowej

Sztuczne sieci neuronowe służą do przetwarzania sygnałów wejściowych na sygnały wyjściowe, pełnią rolę tzw. czarnej skrzynki w procesie obliczeniowym. Oznacza to, że zjawiska

are in no way represented through mathematical forms of notation of laws. The artificial neural network model is a function of the process parameters, represented by the input neurons and the number of neurons in the hidden layer. Output neurons are used to transfer the results of the artificial neural network to the sought parameters describing the jet fire. Figure 1 shows a schematic of the neural network that was developed to determine the flame length L_{flame} and the length of the gas-air mixing path $S_{lift-off}$ of a horizontal propane jet fire. As the value of the $S_{lift-off}$ parameter did not exceed 1 metre and the value of the L_{flame} parameter did not exceed 10 metres, it was not decided to normalise the input data. The detailed data distribution can be found in Figures 9 and 10.

przez nie opisywane nie są w żaden sposób reprezentowane poprzez matematyczne formy zapisu praw. Model sztucznej sieci neuronowej jest funkcją parametrów procesowych, reprezentowanych przez neurony wejściowe oraz liczbę neuronów w warstwie ukrytej. Neurony wyjściowe służą do przekazywania wyników działania sztucznej sieci neuronowej do poszukiwanych parametrów opisujących pożar strumieniowy. Na rycinie 1 przedstawiono schemat sieci neuronowej, która została opracowana do wyznaczania długości płomienia L_{flame} i długości drogi mieszania gazu z powietrzem $S_{lift-off}$ poziomego pożaru strumieniowego propanu. Z uwagi na fakt, że wartość parametru $S_{lift-off}$ nie przekraczała 1 metra, a wartość parametru L_{flame} – 10 metrów, nie zdecydowano się na normalizację danych wejściowych. Szczegółowy rozkład danych można znaleźć na rycinach 9 i 10.

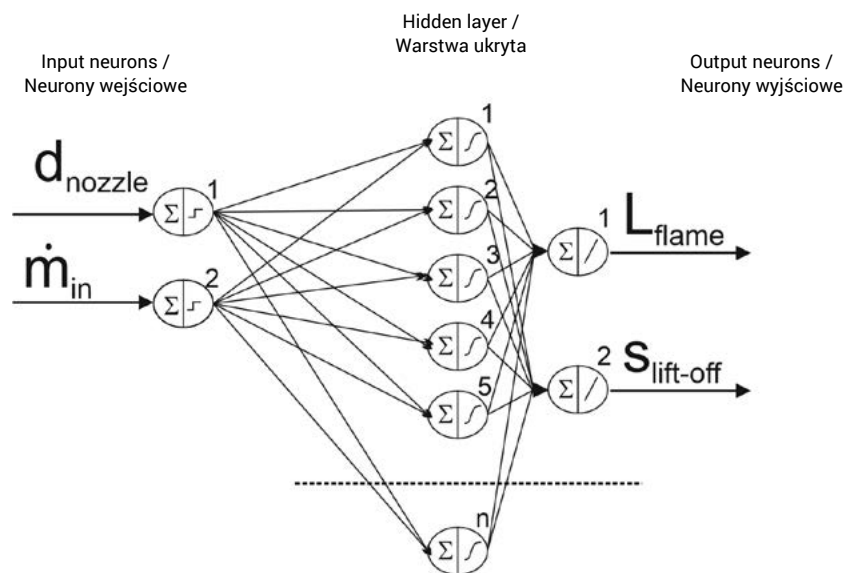


Figure 1. Diagram of the artificial neural network with the input neurons d_{nozzle} , \dot{m}_{in} and the output neurons L_{flame} and $S_{lift-off}$
Rycina 1. Schemat sztucznej sieci neuronowej z naniesionymi neuronami wejściowymi d_{nozzle} , \dot{m}_{in} i neuronami wyjściowymi L_{flame} i $S_{lift-off}$

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Each neuron of the artificial neural network contains weights and its activation function. The process of selecting the weights that allow a mathematical description of the neurons is called neural network learning and is most commonly implemented by the local minimum search algorithm developed by Levenberg and Marguardt [4–5]. During the process of finding the weights of a neural network, the initial values of the weights describing the neurons in question must be selected in an appropriate way, for which pseudo-random number determination algorithms are used. This approach yields better results in terms of convergence of the minimum search process and thus better matching [6]. An important issue in the creation of a neural network is to determine the appropriate number of neurons in the hidden layer, for the sake of the best approximation of the experimental data in the neural network learning process. By doing this, it is possible to create a neural network that gives a good approximation of the values used in the learning process. This gives confidence that

Każdy z neuronów sztucznej sieci neuronowej zawiera wagi oraz funkcję jego aktywacji. Proces dobierania wag, pozwalających na opis matematyczny neuronów, nazywa się uczeniem sieci neuronowej i jest najczęściej realizowany przez algorytm poszukiwania minimum lokalnego, opracowany przez Levenberga i Marguardta [4–5]. Podczas procesu poszukiwania wag sieci neuronowej należy w odpowiedni sposób dobrać wartości początkowe wag opisujące dane neurony, do czego wykorzystuje się algorytmy służące do wyznaczania liczb pseudolosowych. Takie podejście daje lepsze wyniki pod względem zbieżności procesu poszukiwania minimum, a tym samym i lepsze dopasowanie [6]. Ważną kwestią w tworzeniu sieci neuronowej jest ustalenie odpowiedniej liczby neuronów w warstwie ukrytej, ze względu na jak najlepszą aproksymację danych doświadczalnych w procesie uczenia sieci neuronowej. Takie działanie pozwala stworzyć sieć neuronową, która z dobrym przybliżeniem określa wartości, jakie użyto w procesie uczenia. Daje to pewność, że opracowana sieć dobrze przewidyje

the developed network predicts experimental results well and can be successfully implemented in the risk assessment software environment under development. Figure 1 shows a schematic of the network, which consists of two input neurons. The input neurons represent the mass flux of propane at the nozzle outlet \dot{m}_c and the nozzle diameter d_{nozzle} , which are key process parameters describing the jet fire. A single hidden layer with neurons using a sigmoidal activation function was used for the simulation. Due to the representation of two input parameters by two input parameters for the development of the artificial neural network, there was no need for more than one hidden layer. Therefore, the focus was on selecting an appropriate number of neurons in the hidden layer so that their number would allow a sufficiently good description of the process parameters determining the size of the flame. The methodology for the numerical calculations consisted of selecting the right number of neurons to prevent so-called neural network overfitting, while at the same time ensuring that the neural network matched the external data. The result of such a network is the determination of two parameters that determine the size of the flame. Each output parameter is represented by output neurons. The length of the flame L_{flame} and the length of the mixing path $S_{lift-off}$ means that the neural network has two output neurons. For the CFD simulations, identical weather conditions to those prevailing during the field tests were used (see Table 1). This allowed the use of two separate methods for determining flame sizes in the neural network process. A particularly important parameter is the L_{flame} parameter, which is used in programmes to generate emergency scenarios in the event of a jet fire.

CFD numerical simulations – data source

In the process of creating the neural network, two types of data were used to describe the stream fire phenomenon. The first type of data came from calculations of mathematical models describing the gas combustion process. Algorithms describing this phenomenon have been implemented in ANSYS software, which allows mathematical modelling of momentum, mass and energy transport problems. Details of the simulations and tests carried out can be found in the publications [2, 7–8]. This article will use data from publication [2], i.e. process parameters and L_{flame} and $s_{lift-off}$ values from CFD simulations for a nozzle diameter of $d_{nozzle} = 30.6$ mm in a horizontal propane fire. Figure 2 shows the results of numerical simulations of jet fires using CFD methods. This data will be used to develop a neural network.

wyniki doświadczalne i może być z powodzeniem zaimplementowana w tworzonym środowisku programistycznym do oceny ryzyka. Na rycinie 1 przedstawiono schemat sieci, która składa się z dwóch neuronów wejściowych. Neurony wejściowe reprezentują strumień masowy propanu na wylocie z dyszy \dot{m}_c oraz średnicę dyszy d_{nozzle} które są kluczowymi parametrami procesowymi opisującymi pożar strumieniowy. Do symulacji wykorzystano jedną warstwę ukrytą z neuronami, w których zastosowano sigmoidalną funkcję aktywacji. Z uwagi na reprezentację dwóch parametrów wejściowych przez dwa parametry wejściowe do opracowania sztucznej sieci neuronowej nie było potrzeby zastosowania więcej niż jednej warstwy ukrytej. Skupiono się zatem na doborze odpowiedniej liczby neuronów w warstwie ukrytej tak, żeby ich liczba pozwalała odpowiednio dobrze opisać parametry procesowe określające rozmiary płomienia. Metodyka obliczeń numerycznych polegała na dobraniu odpowiedniej liczby neuronów tak, żeby zapobiec tzw. przeczeniu sieci neuronowej, przy jednoczesnym zapewnieniu odpowiedniego stopnia dopasowania sieci neuronowej do danych zewnętrznych. Wynikiem działania takiej sieci jest wyznaczenie dwóch parametrów określających rozmiar płomienia. Każdy z parametrów wyjściowych jest reprezentowany przez neurony wyjściowe. Długość płomienia L_{flame} i długość drogi mieszania $S_{lift-off}$ oznacza, że sieć neuronowa ma dwa neurony wyjściowe. Do symulacji CFD użyto identycznych warunków pogodowych, jak te panujące podczas badań poligonowych (zob. tabela 1). Pozwoliło to na wykorzystanie dwóch odrębnych metod określających rozmiary płomienia w procesie tworzenia sieci neuronowej. Szczególnie istotnym parametrem jest L_{flame} który wykorzystywany jest w programach służących do generowania scenariuszy awaryjnych w przypadku wystąpienia pożaru strumieniowego.

Symulacje numeryczne CFD – źródło danych

W procesie tworzenia sieci neuronowej posłużono się dwoma rodzajami danych opisujących zjawisko pożaru strumieniowego. Pierwszy rodzaj danych pochodził z obliczeń modeli matematycznych opisujących proces spalania gazu. Algorytmy opisujące to zjawisko zostały zaimplementowane w oprogramowaniu ANSYS, które umożliwia modelowanie matematyczne problemów transportu pędu, masy i energii. Szczegółowe informacje na temat przeprowadzonych symulacji i badań można znaleźć w publikacjach [2, 7–8]. W niniejszym artykule wykorzystano dane zawarte w publikacji [2], tzn. parametry procesowe oraz wartości L_{flame} i $s_{lift-off}$ z symulacji CFD dla średnicy dyszy $d_{nozzle} = 30,6$ mm przy pożarze poziomym propanu. Na rycinie 2 zamieszczone zostały wyniki symulacji numerycznych pożarów strumieniowych z wykorzystaniem metod CFD. Dane te posłużą do opracowania sieci neuronowej.

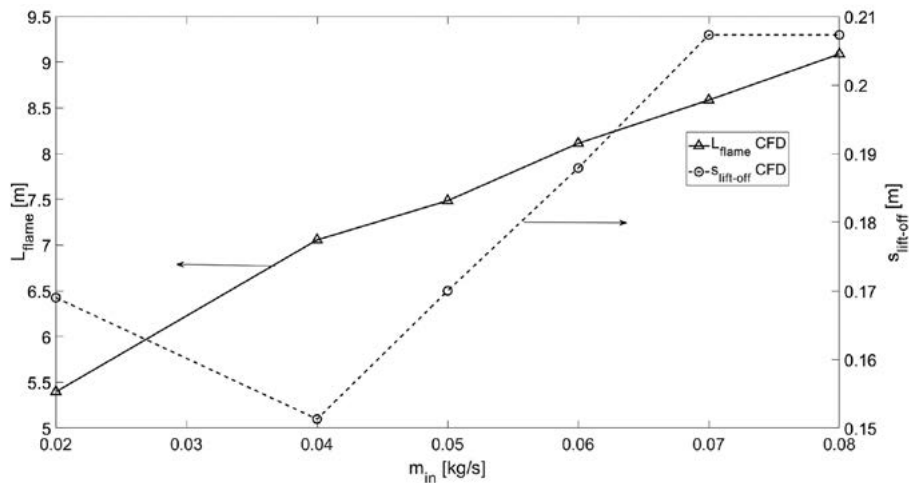


Figure 2. L_{flame} and $s_{lift-off}$ values from CFD simulations
Rycina 2. Wartości L_{flame} i $s_{lift-off}$ pochodzące z symulacji CFD

Source: Own elaboration based on [8].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [8].

Experimental studies of propane jet fires carried out on a large scale

The second type of data used in the neural network development process came from the development of the results of the polygon experiments. Experimental studies of jet fires were carried out on a test stand (see Figure 3), built as part of the implementation of project No. DOB-BIO7/09/03/2015 acronym EVARIS [9], on the training ground located in Pionki, at the Training Centre of the Provincial Headquarters of the State Fire Service in Warsaw. The test stand, which allows the simulation of leakage events involving flammable gases released under pressure from process equipment, includes components such as a pressure vessel for gas in the liquid phase, an electric vaporiser (heater) for changing the state of the gas from liquid to gas, a gas meter and a pipeline terminated with a nozzle allowing so-called free gas outflow. A construction diagram with the dimensions of the gas installation plotted is shown in Figure 4. A construction diagram with the plotted dimensions of the gas installation is shown in Figure 4.

Badania doświadczalne pożarów strumieniowych propanu przeprowadzone w dużej skali

Drugi typ danych wykorzystywanych w procesie tworzenia sieci neuronowej pochodził z opracowania wyników doświadczeń poligonowych. Badania doświadczalne pożarów strumieniowych przeprowadzono na stanowisku badawczym (zob. ryc. 3), zbudowanym w ramach realizacji projektu nr DOB-BIO7/09/03/2015 akronim EVARIS [9], na terenie poligonu szkoleniowego zlokalizowanego w Pionkach, w Ośrodku Szkolenia Komendy Wojewódzkiej Państwowej Straży Pożarnej w Warszawie. W skład stanowiska badawczego, umożliwiającego symulację zdarzeń przy wycieku łatwopalnych gazów uwalnianych pod ciśnieniem z aparatury procesowej, wchodzi m.in. takie elementy składowe, jak zbiornik ciśnieniowy na gaz w fazie ciekłej, parownik (podgrzewacz) elektryczny służący do zmiany stanu skupienia gazu z ciekłego na gazowy, gazomierz oraz rurociąg zakończony dyszą pozwalającą na tzw. wolny wypływ gazu. Schemat konstrukcyjny z naniesionymi wymiarami instalacji gazowej przedstawiono na rycinie 4.



Figure 3. Jet fire test stand including aboveground pressure vessel, electric evaporator, pipeline and gas system safety features
Rycina 3. Stanowisko do badania pożarów strumieniowych, w tym naziemny zbiornik ciśnieniowy, parownik elektryczny, rurociąg i zabezpieczenia instalacji gazowej

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

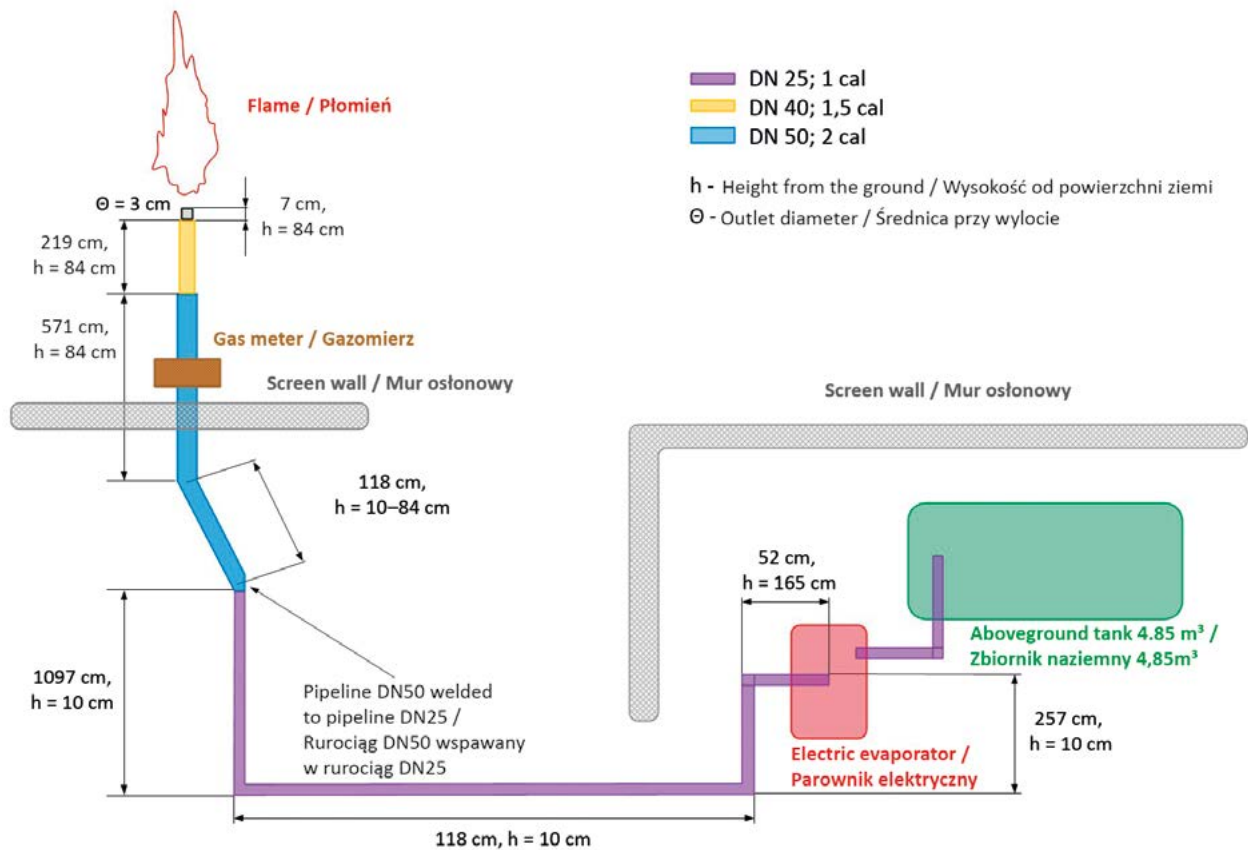


Figure 4. Schematic of the jet fire test stand

Rycina 4. Schemat stanowiska do badania pożarów strumieniowych

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Field experiments were conducted in the propane mass flux range from 0.5 kg/s to 0.9 kg/s. A detailed description of the test stand and measurement system with data acquisition is provided in publications [7, 10]. As part of the study of the combustion of propane coming out of the process apparatus in the gaseous phase, temperature, thermal radiation were measured. The arrangement of the temperature and thermal radiation sensors on the test bench, used to determine the above physical quantities as a function of distance from the flame, is shown in Figure 5. Not all measurement results were used to develop the artificial neural network. The main objective of the research was to support the development of risk assessment software, which was not planned to use artificial neural networks. The development of such a network came later – this article is part of a larger related work.

Doświadczenia poligonowe prowadzono w zakresie strumienia masowego propanu od 0,5 do 0,9 kg/s. Szczegółowy opis stanowiska badawczego i układu pomiarowego z akwizycją danych przedstawiono w publikacjach [7, 10]. W ramach badań spalania propanu wydobywającego się z aparatury procesowej w fazie gazowej przeprowadzono pomiary temperatury, promieniowania ciepłego. Sposób rozmieszczenia na stanowisku badawczym czujników temperatury i promieniowania ciepłego, służących do wyznaczenia powyższych wielkości fizycznych w funkcji odległości od płomienia, przedstawiono na rycinie 5. Nie wszystkie wyniki pomiarów zostały użyte do opracowania sztucznej sieci neuronowej. Głównym celem badań było wsparcie tworzenia oprogramowania do oceny ryzyka, w którym nie planowano wykorzystywać sztucznych sieci neuronowych. Opracowanie takiej sieci pojawiło się później – niniejszy artykuł jest częścią większej pracy związanej z tym tematem.

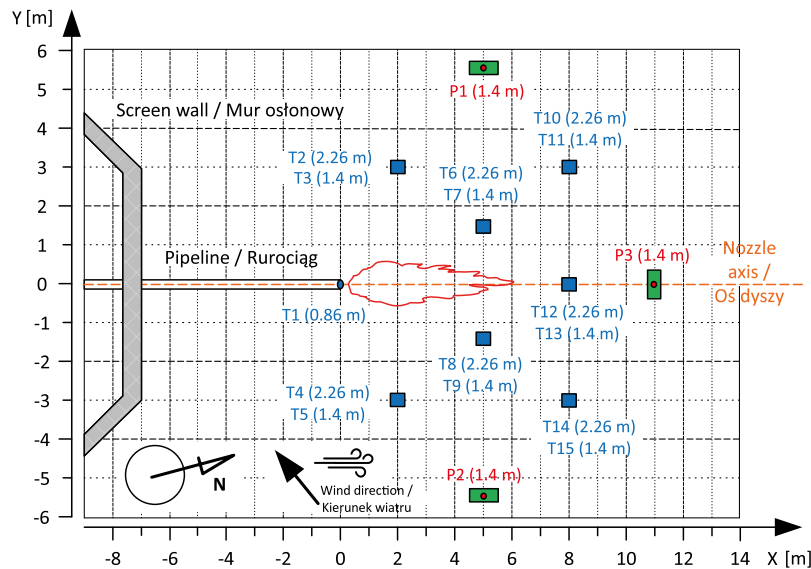


Figure 5. Schematic of the location of the measuring sensors on the polygon test stand; T – thermocouple, P – thermal radiation sensor, the value in brackets is the height at which the sensor is mounted

Rycina 5. Schemat rozmieszczenia czujników pomiarowych na poligonowym stanowisku badawczym; T – termopara, P – czujnik promieniowania cieplnego, wartość w nawiasie to wysokość, na której zamontowano czujnik

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

During the research, meteorological conditions were monitored using a weather station (see Table 1). When propane was burnt, a horizontally directed flame was formed, which – with increasing distance from the end of the pipeline allowing the gas to flow freely – headed upwards (see Figure 4). In determining the flame size for each mass intensity of propane, the following procedure was performed. By controlling the constant volumetric output and gas pressure at the nozzle exit, the flame image was archived with a camera. The collected data made it possible to determine the size of the flame for each measurement separately. Special stands with scales of specific lengths set up nearby were used for the measurements. A photograph of the flame, with a plotted description of its various dimensions, is shown in Figure 4 and the dimension values in Table 2. The average values, at constant gas output, temperature and thermal radiation, are shown in Figure 5. During the research, a significant influence of the east-northeast (ENE, 67°30') wind direction was observed on the values recorded at the sensors (see Figure 5). A detailed discussion of the propane jet fire results and their analysis is presented in publication [3].

W trakcie badań monitorowano warunki meteorologiczne za pomocą stacji pogodowej (zob. tabela 1). Podczas spalania propanu tworzył się poziomo ukierunkowany płomień, który – wraz ze wzrostem odległości od zakończenia rurociągu, pozwalającego na wolny wypływ gazu – kierował się ku górze (zob. ryc. 4). Przy określeniu rozmiaru płomienia dla każdego natężenia masowego propanu wykonywano następującą procedurę. Kontrolując stały wydatek objętościowy oraz ciśnienie gazu na wylocie z dyszy, archiwizowano za pomocą kamery obraz płomienia. Zebrane dane pozwoliły na określenie rozmiarów płomienia dla każdego z pomiarów osobno. Do pomiarów wykorzystane zostały ustawione w pobliżu specjalne stojaki z podziałkami o określonych długościach. Zdjęcie płomienia wraz z naniesionym opisem poszczególnych jego wymiarów przedstawiono na rycinie 4, a wartości wymiarów w tabeli 2. Średnie wartości, przy stałym wydatku gazu, temperatury i promieniowania cieplnego, przedstawiono na rycinie 5. W trakcie badań zaobserwowano znaczący wpływ wschodnio-północno-wschodniego (ENE, 67°30') kierunku wiatru, na wartości rejestrowane na czujnikach (zob. ryc. 5). Szczegółowe omówienie wyników badań pożaru strumieniowego propanu i ich analizę przedstawiono w publikacji [3].

Table 1. Meteorological conditions during the field tests

Tabela 1. Warunki meteorologiczne w trakcie badań poligonowych

Temperature / Temperatura [°C]	23
Pressure / Ciśnienie [hPa]	1020.4
Humidity / Wilgotność [%]	64
Wind speed / Prędkość wiatru [m/s]	0.2
Wind direction / Kierunek wiatru	ENE – 67°30'

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Table 2. Dimensions of the propane burnt flame, at constant gas flow setting
Tabela 2. Wymiary płomienia spalnego propanu, przy stałym nastawie wydatku gazu

A [m]	B [m]	C [m]	D [m]
7.5	0.6	3.8	0.35

Source: Own elaboration.
 Źródło: Opracowanie własne.

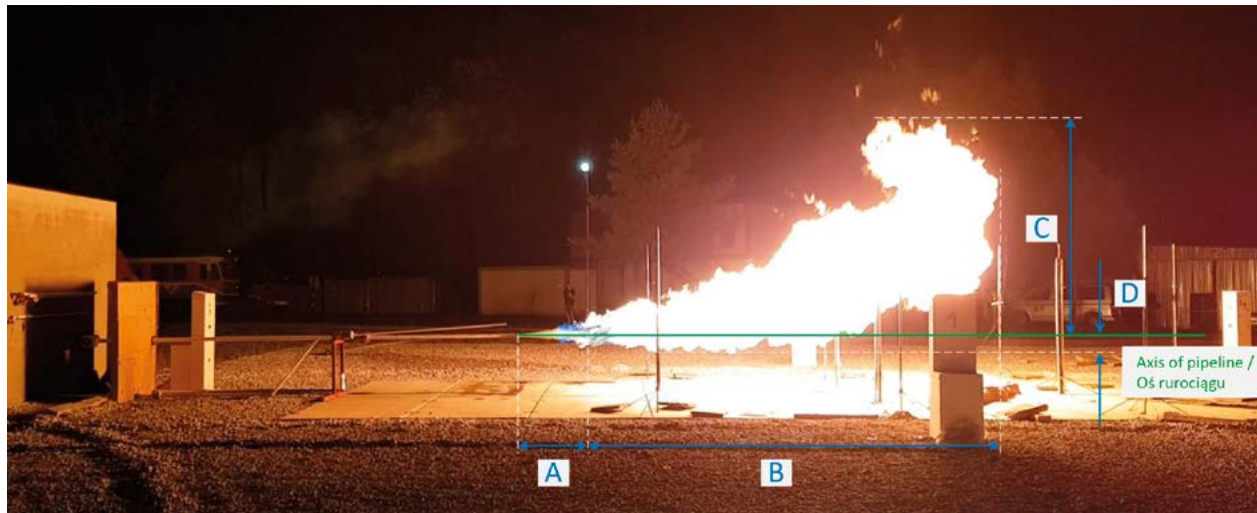


Figure 6. Photograph of a propane combustion flame; A – distance from nozzle to flame (gas-air mixing zone), B – length of flame, C – height of flame from axis of pipeline upwards, D – height of flame from axis of pipeline downwards
Rycina 6. Zdjęcie płomienia spalnego propanu; A – odległość od dyszy do płomienia (strefa mieszania się gazu i powietrza), B – długość płomienia, C – wysokość płomienia od osi rurociągu w górę, D – wysokość płomienia od osi rurociągu w dół

Source: Own elaboration.
 Źródło: Opracowanie własne.

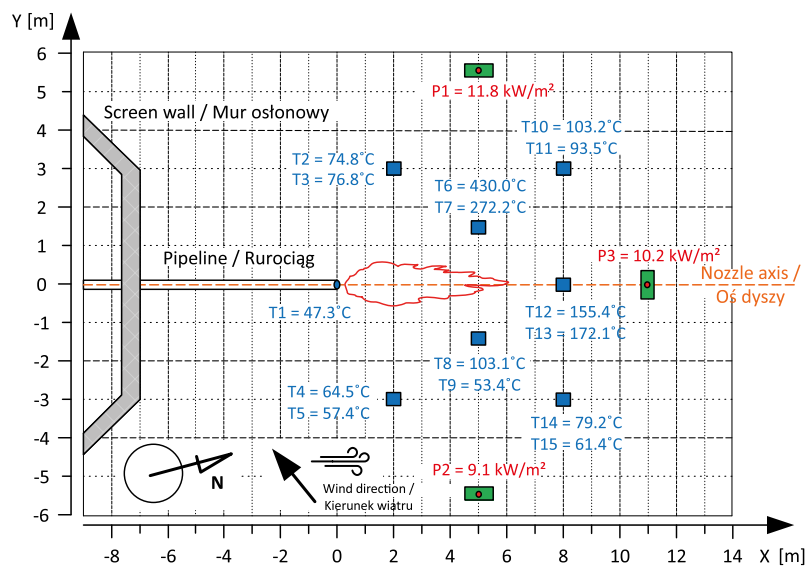


Figure 7. Average values of temperature and thermal radiation recorded by the sensors at constant gas output from the gas system
Rycina 7. Średnie wartości temperatury i promieniowania cieplnego zarejestrowane przez czujniki przy stałym wydatku gazu z instalacji gazowej

Source: Own elaboration.
 Źródło: Opracowanie własne.

The experimentally determined flame lengths in the polygon measurements were used to develop an artificial neural network. In addition, the results of measurements of propane combustion in a jet fire, as presented in publication [1], were also used for the neural network learning process. Table 3 (see [1]) shows the mass flux values for propane, among others, the exit velocity, temperature and pressure of the gas at the nozzle outlet, as well as the flame length and the length of the propane-air mixing path. As a result, a total of three types of data describing flame length and mixing path length were used in the network learning process, depending on propane mass flux and nozzle diameter for two nozzle diameters $d_{nozzle} = 30.6$ mm and $d_{nozzle} = 19.05$ mm. This allowed the collection of data, which was used to create an artificial neural network. The dataset consisted of 50 values including L_{flame} and $s_{lift-off}$ for two different nozzle diameters and different propane mass fluxes at the nozzle outlet.

Artificial neural network

The nftool package included in Matlab 2022a was used to create the neural network. The methodology for creating the neural network was to find the number of neurons for which the flame length and mixing path length, determined from the neural network, were as close as possible to the values used to create the network. The data used to create the network was divided into three parts: one part of the data was used to determine the weights, the second part was used to validate these weights and the last part was used to test the developed neural network. The data was split as follows: the learning set accounted for 70% of the total data, the validation set for 10% of the total data. The remaining data were used for artificial neural network testing. The Pearson correlation coefficient was used to verify the resulting artificial neural network as a function of the number of neurons in the hidden layer. It was calculated based on the artificial neural network developed after the validation stage. For this purpose, Pearson's $R_{L_{flame}}$ and $R_{s_{lift-off}}$ coefficients were calculated separately for each of the variables coming out of the neural network, comparing them with the experimental and CFD simulation data. Values of Pearson's coefficient for flame length and mixing path length with air equal to 1 indicate a perfect fit of the neural network to the experimental data or those calculated using CFD methods.

Figure 8 shows the summary results to determine the best number of neurons to describe the experimental and simulation data. The main objective of this work was to develop an artificial neural network that best described the values of the two relevant parameters L_{flame} and $s_{lift-off}$. It is clear from the data in Figure 8 that, with 12 neurons in the hidden layer, the two coefficients together have values closest to 1. This means that this particular network best predicts both L_{flame} and $s_{lift-off}$ values derived from CFD simulations and field experiments. Although with a different number of neurons the representation of each parameter individually is better, unfortunately their joint description is definitely worse. Therefore, 12 neurons were used in the hidden layer.

Określone doświadczalnie długości płomienia w pomiarach poligonowych zostały użyte do opracowania sztucznej sieci neuronowej. Dodatkowo do procesu uczenia sieci neuronowej wykorzystano również wyniki pomiarów spalania propanu w pożarze strumieniowym, które przedstawiono w publikacji [1]. W tabeli 3 (zob. [1]) przedstawiono wartości strumienia masowego propanu m.in. prędkości wylotowej, temperatury i ciśnienia gazu na wylocie z dyszy oraz długości płomienia i długości drogi mieszania propanu z powietrzem. Dzięki temu w procesie uczenia sieci wykorzystano łącznie trzy typy danych opisujących długość płomienia i długość drogi mieszania, w zależności od strumienia masowego propanu i średnicy dyszy dla dwóch średnic dyszy $d_{nozzle} = 30,6$ mm i $d_{nozzle} = 19,05$ mm. Pozwoliło to na zebranie danych, których użyto do stworzenia sztucznej sieci neuronowej. Zbiór danych składał się z 50 wartości zawierających L_{flame} i $s_{lift-off}$ dla dwóch różnych średnic dyszy i różnych strumieni masowych propanu na wylocie z dyszy.

Sztuczna sieć neuronowa

Do tworzenia sieci neuronowej wykorzystano pakiet n_{ftool} zawarty w programie Matlab 2022a. Metodyka tworzenia sieci neuronowej polegała na poszukiwaniu takiej liczby neuronów, dla której długość płomienia i długość drogi mieszania, określone z sieci neuronowej, były jak najbliższe wartościom użytych do tworzenia sieci. Dane wykorzystane do tworzenia sieci zostały podzielone na trzy części: jedną część danych wykorzystano do określenia wag, drugą – do walidacji tych wag, a ostatnią – do testów opracowanej sieci neuronowej. Dane podzielono w następujący sposób: zbiór uczący stanowił 70% wszystkich danych, zbiór do walidacji – 10% wszystkich danych. Pozostałe dane wykorzystane zostały do testów sztucznej sieci neuronowej. W celu weryfikacji otrzymanej sztucznej sieci neuronowej w zależności od liczby neuronów w warstwie ukrytej wykorzystano współczynnik korelacji Pearsona. Został on obliczony na podstawie sztucznej sieci neuronowej opracowanej po etapie walidacji. W tym celu osobno obliczano współczynnik Pearsona $R_{L_{flame}}$ i $R_{s_{lift-off}}$ dla każdej ze zmiennych wychodzących z sieci neuronowej, porównując je z danymi z doświadczeń i symulacji CFD. Wartości współczynnika Pearsona dla długości płomienia oraz długości drogi mieszania z powietrzem równe 1 oznaczają idealne dopasowanie sieci neuronowej do danych doświadczalnych lub obliczonych przy pomocy metod CFD.

Na rycinie 8 przedstawiono wyniki sumaryczne pozwalające na określenie najlepszej liczby neuronów do opisu danych pochodzących z doświadczeń i symulacji. Głównym celem tej pracy było opracowanie sztucznej sieci neuronowej, która najlepiej opisywała wartości dwóch istotnych parametrów L_{flame} i $s_{lift-off}$. Z danych zamieszczonych na rycinie 8 jasno wynika, że przy 12 neuronach w warstwie ukrytej oba współczynniki mają wspólnie wartości najbliższe 1. Oznacza to, że ta właśnie sieć najlepiej przewiduje obie wartości L_{flame} i $s_{lift-off}$ pochodzące z symulacji CFD i doświadczeń poligonowych. Mimo że przy innej liczbie neuronów odwzorowanie pojedynczo każdego z parametrów jest lepsze, to niestety ich wspólny opis jest zdecydowanie gorszy. W związku z tym zastosowano 12 neuronów w warstwie ukrytej.

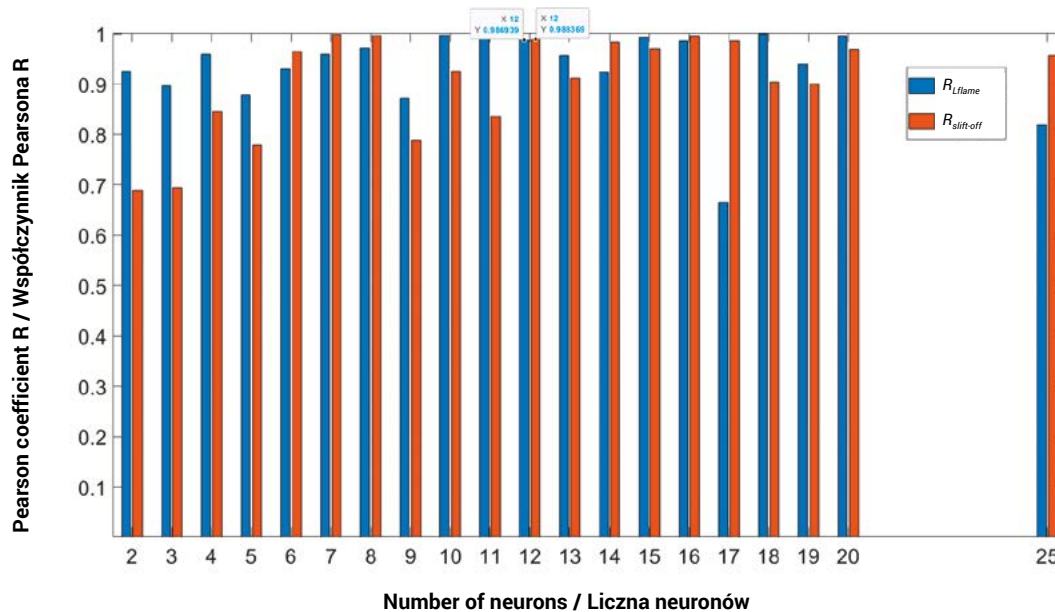


Figure 8. Effect of the number of neurons in the hidden layer on the Pearson correlation coefficient determined for each output neuron
Rycina 8. Wpływ liczby neuronów w warstwie ukrytej na współczynnik korelacji Pearsona określony dla każdego neuronu wyjściowego

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Using more than 12 neurons in the hidden layer is unhelpful, as this increases computation time and cost without giving a better match between the two output variables. Figure 9 presents the degree of fit of the neural network to the data describing the flame length. The abscissa axis shows the L_{flame} lengths from the dataset and the ordinate axis shows the L_{flame} length values calculated by the artificial neural network (see Figure 9, ANN marking). The figure also shows the regression line $Y_{ANN} = Y_{CFD,dos}$ with a directional coefficient of 1. As can be seen in the figure, the neural network fits the dataset very well, as evidenced by Pearson's coefficient of $R_{L_{flame}} = 0.987$. The values summarised in the graphs show that the artificial network made up of 12 neurons in the hidden layer predicts the flame length values in a jet fire quite well. All values determined by the developed neural network within the accepted error ($R > 0.95$) reflect the length of the flame in this fire.

Similar conclusions can be reached by comparing the quality of the fit shown in Figure 10. On the abscissa axis, the values for the length of the $s_{lift-off}$ air mixing path from the dataset are presented, and on the ordinate axis the same parameter, but calculated by an artificial neural network (ANN). In addition, the regression line $Y_{ANN} = Y_{CFD,dos}$ is plotted on the figure, with a directional coefficient equal to 1, which represents a perfect fit of the function to the data. Figure 10 shows that the fit is at a similar level to that illustrated in the previous figure (see Figure 9). The correlation coefficient meets the assumption of $R_{slift-off} > 0.95$. In this case, the Pearson coefficient is 0.988.

Wykorzystanie więcej niż 12 neuronów w warstwie ukrytej jest niecelowe, gdyż zwiększa czas i koszty obliczeń, nie dając lepszego dopasowania obu zmiennych wyjściowych. Na rycinie 9 zaprezentowany został stopień dopasowania sieci neuronowej do danych opisujących długość płomienia. Na osi odciętych przedstawiono długości płomienia L_{flame} ze zbioru danych, a na osi rzędnych – wartości długości płomienia L_{flame} wyliczone przez sztuczną sieć neuronową (zob ryc. 9, oznaczenie ANN). Na rycinie zamieszczono także linię regresji $Y_{ANN} = Y_{CFD,dos}$ ze współczynnikiem kierunkowym równym 1. Jak widać na rycinie, sieć neuronowa bardzo dobrze dopasowuje się do danych ze zbioru, o czym świadczy współczynnik Pearsona równy $R_{L_{flame}} = 0,987$. Zestawione na wykresach wartości pokazują, że sztuczna sieć zbudowana z 12 neuronów w warstwie ukrytej dość dobrze przewiduje wartości długości płomienia w pożarze strumieniowym. Wszystkie wartości wyznaczone przez opracowaną sieć neuronową w granicach przyjętego błęd ($R > 0,95$) odzwierciedlają długość płomienia w tym pożarze.

Do podobnych wniosków można dojść, porównując jakość dopasowania przedstawioną na rycinie 10. Na osi odciętych zaprezentowano wartości długości drogi mieszania $s_{lift-off}$ z powietrzem ze zbioru danych, a na osi rzędnych ten sam parametr, ale obliczony przez sztuczną sieć neuronową (ANN). Dodatkowo na wykres naniesiono linię regresji $Y_{ANN} = Y_{CFD,dos}$ ze współczynnikiem kierunkowym równym 1, który reprezentuje idealne dopasowanie funkcji do danych. Z ryciny 10 wynika, że dopasowanie jest na poziomie podobnym do tego zobrazowanego na poprzednim rysunku (por. ryc. 9). Współczynnik korelacji spełnia założenie $R_{slift-off} > 0,95$. W tym przypadku współczynnik Pearsona wynosi 0,988.

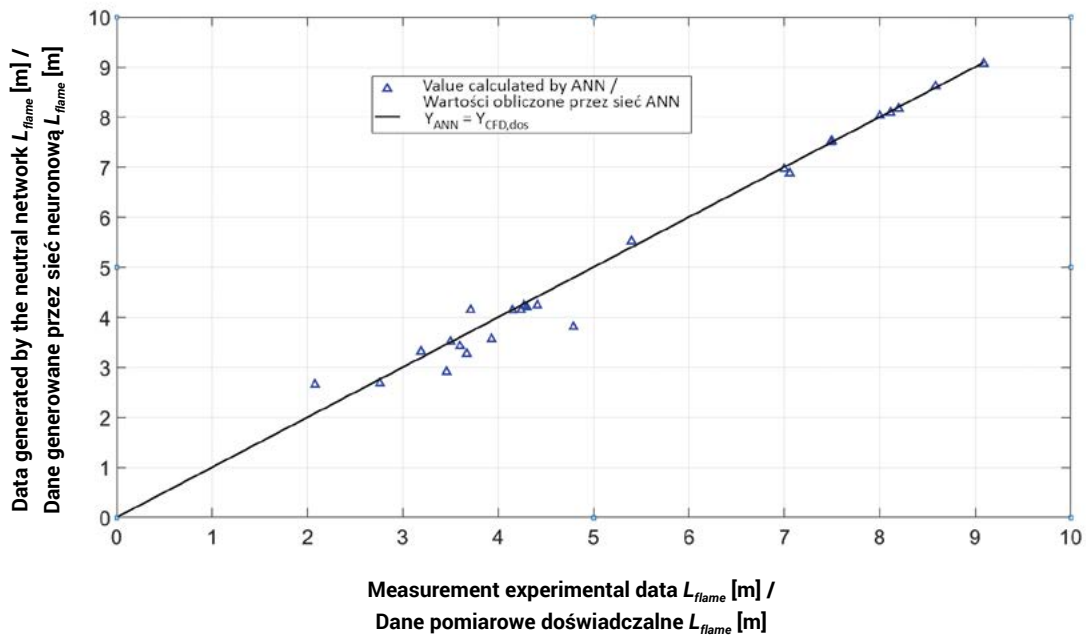


Figure 9. Degree of matching of the flame length L_{flame} by the network built of 12 neurons in the hidden layer, $R_{L_{flame}} = 0.987$ after the validation phase
Rycina 9. Stopień dopasowania długości płomienia L_{flame} przez sieć zbudowaną z 12 neuronów w warstwie ukrytej, $R_{L_{flame}} = 0.987$ po etapie walidacji

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

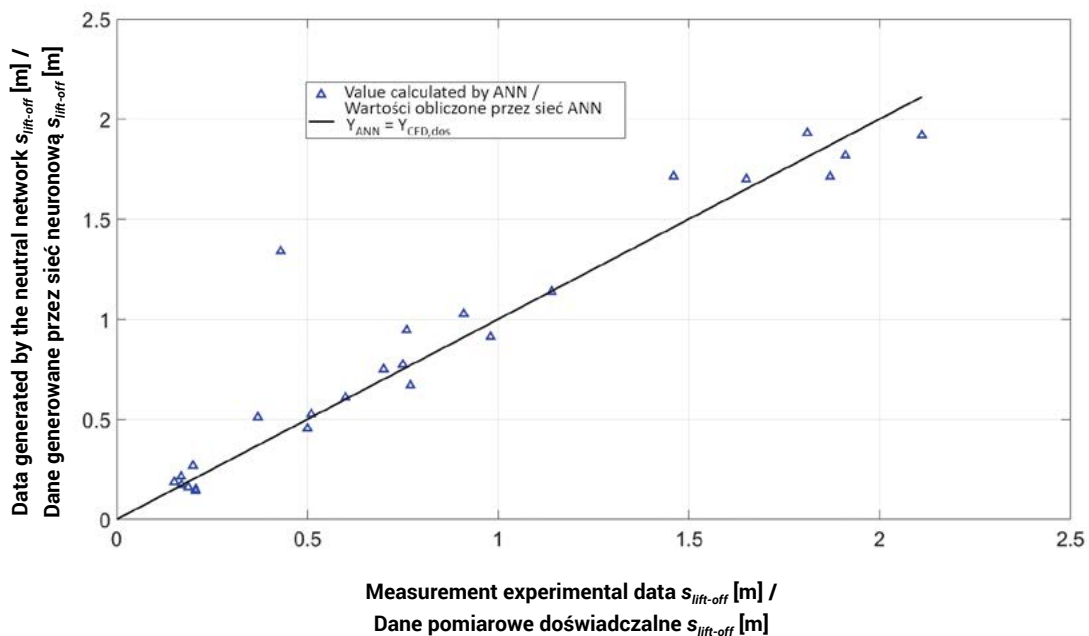


Figure 10. Degree of adaptation of the $s_{lift-off}$ flame length by the network built of 12 neurons in the hidden layer, $R_{s_{lift-off}} = 0.988$ after the validation phase
Rycina 10. Stopień dopasowania długości płomienia $s_{lift-off}$ przez sieć zbudowaną z 12 neuronów w warstwie ukrytej, $R_{s_{lift-off}} = 0.988$ po etapie walidacji

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Table 3 shows partial results in the process of creating an artificial neural network. Values are presented for the effect of the number of neurons on the number of epochs needed to determine the minimum of the function. In addition, mean squared error values are included separately for each of the network learning steps. As can be seen, for 12 neurons in the hidden layer, the values of all three mean squared errors are acceptable. Additionally, with 12 neurons in the hidden layer, both parameters are calculated with the lowest error. Therefore, the use of a single-layer artificial neural network is fully justified. The developed neural network can be applied to the mathematical description of the L_{flame} and $s_{lift-off}$ parameters in a horizontal jet fire. It can also provide assistance in determining failure scenarios for the following range of process parameters: $19 \text{ mm} \leq d_{nozzle} \leq 30.6 \text{ mm}$ and propane mass flux: $0.015 \text{ kg/s} \leq \dot{m} \leq 1 \text{ kg/s}$.

W tabeli 3 przedstawiono częściowe wyniki w procesie tworzenia sztucznej sieci neuronowej. Zaprezentowano wartości wpływu liczby neuronów na liczbę epok potrzebną do określenia minimum funkcji. Dodatkowo zamieszczono wartości błędu średniokwadratowego osobno dla każdego z etapów uczenia sieci. Jak widać, dla 12 neuronów w warstwie ukrytej wartości wszystkich trzech błędów średniokwadratowych są do zaakceptowania. Dodatkowo przy 12 neuronach w warstwie ukrytej oba parametry są obliczane z najmniejszym błędem. W związku z tym wykorzystanie jednowarstwowej sztucznej sieci neuronowej jest w pełni uzasadnione. Opracowana sieć neuronowa może być zastosowana do opisu matematycznych parametrów L_{flame} i $s_{lift-off}$ w poziomym pożarze strumieniowym. Może także stanowić pomoc przy określaniu scenariuszy awaryjnych dla następującego zakresu parametrów procesowych: $19 \text{ mm} \leq d_{nozzle} \leq 30,6 \text{ mm}$ oraz strumienia masowego propanu: $0,015 \text{ kg/s} \leq \dot{m} \leq 1 \text{ kg/s}$.

Table 3. Parameters describing the selection of the best number of neurons in the hidden layer
Tabela 3. Parametry opisujące wybór najlepszej liczby neuronów w warstwie ukrytej

Number of neurons / Liczba neuronów	Number of epochs / Liczba epok	MSE		
		Training / Trening	Validation / Walidacja	Test / Test
2	15	0.8300	0.5749	0.1338
3	9	1.1628	0.6877	2.9761
4	11	0.3218	2.4875	0.3961
5	11	0.5688	0.2223	0.6548
6	30	0.0274	0.0539	0.2788
7	7	13.6744	0.7212	10.2614
8	27	0.1003	0.0495	8.0232
9	11	0.1198	7.2624	0.0497
10	10	0.2446	0.9986	0.7523
11	12	0.0910	0.0042	4.6058
12	17	0.0996	0.2466	0.2530
14	19	0.0698	0.0379	5.2993
18	11	0.0301	0.1701	26.0775

Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

Conclusions

The storage of flammable gases involves the risk of a sudden and uncontrolled phenomenon such as a jet fire. Its size is of particular importance when defining safe zones around the location of a particular tank used for gas storage. In general, the results of jet fires described by the ALOHA programme are relied upon to determine the safe distance from the tank. This programme is

Wnioski

Przechowywanie gazów łatwopalnych wiąże się z ryzykiem powstania nagłego i niekontrolowanego zjawiska, jakim jest pożar strumieniowy. Jego rozmiar ma szczególne znaczenie w przypadku określania stref bezpiecznych wokół miejsca usytuowania konkretnego zbiornika, służącego do przechowywania gazu. Na ogół przy określaniu odległości bezpiecznej od zbiornika polega

based on simple literature correlations that may underestimate the size of the actual flame. Unfortunately, the use of field trials is severely limited – if only by the cost of performing such experiments. Therefore, an approach combining experimental methods with methods involving numerical calculations through the use of artificial neural networks was proposed. These networks have very good approximation properties and are therefore able to represent experimental and numerical data with a limited number of variables. The neural network built is a mathematical function resembling a so-called black box, into which the input data enters and the sought-after parameters describing the size of the jet fire flame come out. The simplicity of such a function makes it possible to use neural networks in risk assessment programmes, without the need for computing servers. The parameters of a jet fire, such as flame length and mixing path length, can be determined with a high degree of accuracy using an uncomplicated single-layer neural network.

Acknowledgements

The publication was developed under project No. DOB-BIO7/09/03/2015 entitled 'Programme for the assessment of the risk of accidents at industrial facilities posing a hazard outside their premises', funded by the National Centre for Research and Development.

List of symbols

d_{nozzle} – nozzle diameter [m]
 L_{flame} – flame length [m]
 m_{in} – propane mass flow [$kg \cdot s^{-1}$]
 R_{Lflame} – pearson correlation coefficient calculated for flame length
 $R_{slift-off}$ – pearson correlation coefficient calculated for the length of the mixing path
 $S_{lift-off}$ – gas mixing path length [m]

Literature / Literatura

- [1] Laboureur D.M., Gopalaswami N., Zhang B., Liu Y., Manan M.S., *Experimental study on propane jet fire hazards: Assessment of the main geometrical features of horizontal jet flames*, "Journal of Loss Prevention in the Process Industries" 2016, 41, 355–364, <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2016.02.013>.
- [2] Lewak M., Tępiński J., Kłapsa W., *Wykorzystanie modelu burzliwości -k-w SST do modelowania matematycznego*

się na wynikach pożarów strumieniowych opisywanych przez program ALOHA. Program ten bazuje na prostych korelacjach literaturowych, które mogą nie doszacować rozmiarów rzeczywistego płomienia. Niestety korzystanie z badań poligonowych jest mocno ograniczone – chociażby kosztami wykonania takich doświadczeń. W związku z tym zaproponowano podejście polegające na połączeniu metod doświadczalnych z metodami polegającymi na obliczeniach numerycznych za pomocą wykorzystania sztucznych sieci neuronowych. Sieci te mają bardzo dobre własności aproksymacyjne, dzięki czemu są w stanie odwzorować dane doświadczalne i numeryczne za pomocą ograniczonej liczby zmiennych. Zbudowana sieć neuronowa jest funkcją matematyczną przypominającą tzw. czarną skrzynkę, do której wchodzi dane wejściowe, a wychodzą poszukiwane parametry opisujące rozmiar płomienia pożaru strumieniowego. Prostota takiej funkcji umożliwia wykorzystanie sieci neuronowych w programach służących do oceny ryzyka, bez konieczności korzystania z serwerów obliczeniowych. Parametry pożaru strumieniowego, takie jak długość płomienia i długość drogi mieszania, można wyznaczyć z dużą dokładnością za pomocą nieskomplikowanej, jednowarstwowej sieci neuronowej.

Podziękowania

Publikacja została opracowana w ramach projektu nr DOB-BIO7/09/03/2015 pod tytułem „Program do oceny ryzyka wystąpienia awarii w obiektach przemysłowych stwarzających zagrożenie poza swoim terenem” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Spis symboli

d_{nozzle} – średnica dyszy [m]
 L_{flame} – długość płomienia [m]
 m_{in} – strumień masowy propanu [$kg \cdot s^{-1}$]
 R_{Lflame} – współczynnik korelacji Pearsona liczony dla długości płomienia
 $R_{slift-off}$ – współczynnik korelacji Pearsona liczony dla długości drogi mieszania
 $S_{lift-off}$ – długość drogi mieszania gazu [m]

- pożaru strumieniowego*, SFT Vol. 59 Issue 1, 2022, pp. 28–40, <https://doi.org/10.12845/sft.59.1.2022.1>.
- [3] Mashhadimoslem H., Ghaemi A., Palacios A., *Analysis of deep learning neural network combined with experiments to develop predictive models for a propane vertical jet fire*, "Heliyon" 2020, 6, 11, e05511, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05511>.
- [4] Levenberg K., *A Method for the Solution of Certain Non-Linear*

- Problems in Least Squares*, "Quarterly of Applied Mathematics" 1944, 2 (2), 164–168, <https://doi.org/10.1090/qam/10666>.
- [5] Marquardt D.W., *An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters*, "SIAM Journal on Applied Mathematics" 1963, 11(2), 431–441, <https://doi.org/10.1137/0111030>.
- [6] Narkhede M.V., Bartakke P.P., Sutaone M.S., *A review on weight initialization strategies for neural networks*, "Artificial Intelligence Review" 2022, Vol. 55 (2), 1–32, <https://doi.org/10.1007/s10462-021-10033-z>.
- [7] Tępiński J., Połec B., *Badania na rzecz poprawy bezpieczeństwa w zakładach przemysłowych stwarzających zagrożenie poza swoim terenem*, Wydawnictwo CNBOP, Józefów 2020, <https://doi.org/10.17381/2020.1>.
- [8] Lewak M., Tępiński J., Lesiak P., *Modelowanie matematyczne pożarów strumieniowych za pomocą obliczeniowej mechaniki płynów CFD*, "Przemysł chemiczny" 2022, 101(5), 324–329, <https://doi.org/10.15199/62.2022.5.6>.
- [9] Projekt nr DOB-BIO7/09/03/2015 pod tytułem „Program do oceny ryzyka wystąpienia awarii w obiektach przemysłowych stwarzających zagrożenie poza swoim terenem” finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.
- [10] Tępiński J., Lewak M., Lesiak P., *Badania pożarów strumieniowych propanu przeprowadzone w dużej skali*, "Przemysł Chemiczny" 2022, 101 (11), 950–956, <https://doi.org/10.15199/62.2022.11.3>.

MICHAŁ LEWAK, PH.D. ENG. – in 2005, he began doctoral studies at the Faculty of Chemical and Process Engineering of the Warsaw University of Technology. In 2011, he obtained a doctoral degree with honours, specialising in chemical engineering. Since 2011, he has been a research and teaching employee at the Warsaw University of Technology. He works as an assistant professor in the Department of Process Kinetics and Thermodynamics in the Faculty of Chemical and Process Engineering. It deals with the mathematical modelling of mass, heat and energy transport phenomena in physicochemical systems. With particular reference to methods related to computational fluid mechanics. In addition, he deals with process safety problems in chemical reactors, mathematical modelling related to jet fire and contaminant spread.

JAROSŁAW TĘPIŃSKI, PH.D. ENG. – in 2008 he graduated with a specialisation in Automation and Computer Engineering from the Faculty of Electrical Engineering at the Warsaw University of Technology. At the same department, he obtained his doctorate in engineering in 2016. He is currently an assistant professor at the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute in Józefów. Specialising in electrical engineering, automation and technical fire protection systems.

DR INŻ. MICHAŁ LEWAK – w 2005 r. rozpoczął studia doktoranckie na Wydziale Inżynierii Chemicznej i Procesowej Politechniki Warszawskiej. W 2011 r. uzyskał z wyróżnieniem stopień doktora specjalność inżynieria chemiczna. Od 2011 r. jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym Politechniki Warszawskiej. Pracuje na stanowisku adiunkta w Zakładzie Kinetyki i Termodynamiki Procesowej na Wydziale Inżynierii chemicznej i Procesowej. Zajmuje się modelowaniem matematycznym zjawisk transportu masy, ciepła i energii w układach fizykochemicznych. Ze szczególnym uwzględnieniem metod związanych z obliczeniową mechaniką płynów. Ponadto zajmuje się problemami bezpieczeństwa procesowego w reaktorach chemicznych, modelowaniem matematycznym związanym z pożarem strumieniowym i rozprzestrzenianiem się zanieczyszczeń.

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. Obecnie jest adiunktem w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpowodziowej – Państwowym Instytucie Badawczym w Józefowie. Specjalność – elektrotechnika, automatyka oraz techniczne systemy zabezpieczeń przeciwpożarowych.

WSPIERAMY NOWE TECHNOLOGIE I ELEKTROMOBILNOŚĆ

NOWOŚĆ w CNBOP-PIB!

Stanowisko do badania falowników



BADANIA I TESTY FUNKCJONALNE różnych konfiguracji instalacji PV w zakresie:

- bezpieczeństwa pożarowego
- zgodności z warunkami ochrony przeciwpożarowej
- bezpieczeństwa ekip ratowniczych



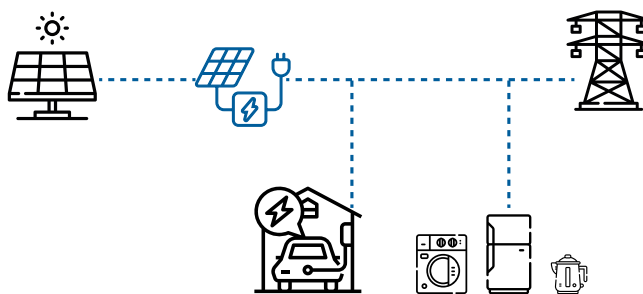
UPOWSZECHNIANIE WIEDZY

- wypracowanie wzorcowej dokumentacji projektowej instalacji PV dla obiektów budowlanych
- opracowanie innych standardów technicznych dotyczących ochrony przeciwpożarowej, takich jak wytyczne, wymagania dla wyrobów, metody badań



DYDAKTYKA I SZKOLENIA

- dla różnych grup zawodowych w zakresie projektowania, budowy, działania i eksploatacji instalacji PV z uwzględnieniem przede wszystkim bezpieczeństwa pożarowego



**CENTRUM NAUKOWO-BADAWCZE
OCHRONY PRZECIWPOŻAROWEJ**
im. Józefa Tuliszkowskiego
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Sławomir Stelmach^{a)*}, Katarzyna Matuszek^{a)}, Piotr Hrycko^{a)}, Paweł Wolny^{b)}, Jiří Horák^{c)}, Lenka Kuboňová^{c)}

^{a)} Institute of Energy and Fuel Processing Technology / Instytut Technologii Paliw i Energii

^{b)} Faculty of Process Engineering and Environmental Protection, Lodz University of Technology / Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka

^{c)} VŠB-Technical University of Ostrava / Vyšsza Szkoła Górnicza – Uniwersytet Techniczny w Ostrawie

* Corresponding author / Autor korespondencyjny: sstelmach@itpe.pl

Reducing Mercury Emissions from Small-Scale Coal-Fired Boilers Used in Residential Heating

Ograniczenie emisji rtęci z małych kotłów węglowych wykorzystywanych do ogrzewania budynków mieszkalnych

ABSTRACT

Purpose: The aim of the research was to demonstrate that the use of low-emission carbon fuels (obtained using the initial thermal conversion of coal feedstock) in residential heating also makes it possible to reduce mercury emissions from small-scale coal-fired boilers.

Project and methods: The publication presents the results of mercury emission tests conducted using five different small-scale coal-fired boilers and five different coal fuels. The research was carried out under laboratory conditions, but also using heating devices of residential users. They covered a wide range of operational parameters, both energy and emission. The flux of coal fuels burned ranged from 2 to 12.2 kg/h, with an equally wide range of boiler efficiencies obtained – 67.6–88.5%.

Results: The test results presented in the article show that the amount of emissions of pollutants limited by the criteria of the PN-EN 303-5+A1:2023-05 standard and the ecodesign, namely carbon monoxide, nitrogen oxides, dust and organic substances, depends mainly on the design and operating conditions of the device in which the specific solid fuel is burned. There is a group of pollutants emitted into the atmosphere, for which the amount of emissions depends primarily on the quality of the fuel burned. These pollutants include sulphur oxides and mercury, whose emissions depend primarily on the combustible sulphur and mercury content of the fuel being burned.

Conclusions: Experimental studies were carried out to verify what portion of Hg contained in coal during its combustion in domestic boilers with manual and automatic fuel feeding remains bound in bottom ash, and what is emitted into the atmosphere. The content of Hg in bottom ash, regardless of the boiler and fuel used, was at a similar low level, reaching a maximum of about 6% of Hg initially contained in the fuel. As studies have shown, more than 94% of mercury contained in coal fuels burned in small-scale coal-fired boilers is emitted into the atmosphere, contributing significantly to the deterioration of the environment. Replacing traditional coal with low-emission carbon fuels (e.g., such as BC fuel) would significantly reduce mercury emissions from small-scale coal-fired boilers, by up to 90% compared to current emissions. Setting a legal requirement for the permissible level of mercury content in coal fuels used in domestic boilers, for example, at a maximum value of 0.05 mg/kg, would reduce mercury emissions from these devices by at least half.

Keywords: mercury emission, small-scale coal-fired boilers, low-emission carbon fuel

Type of article: original research article

Received: 30.10.2023; Reviewed: 12.12.2023; Accepted: 13.12.2023;

Authors' ORCID IDs: S. Stelmach – 0000-0002-9206-1008; K. Matuszek – 0000-0001-8184-6507; P. Hrycko – 0000-0002-9713-8553;

P. Wolny – 0000-0003-2161-4506; J. Horák – 0000-0001-6665-5294; L. Kuboňová – 0000-0003-3256-8373;

The authors contributed the equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 62 Issue 2, 2023, pp. 50–62, <https://doi.org/10.12845/sft.62.2.2023.3>;

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 przeprowadzonych badań było wykazanie, że wykorzystanie niskoemisyjnych paliw węglowych (uzyskanych w wyniku wstępnej konwersji termicznej surowca węglowego) w ogrzewnictwie mieszkaniowym umożliwia również ograniczenie emisji rtęci z małych kotłów węglowych.

Projekt i metody: W publikacji przedstawiono wyniki badań emisji rtęci przeprowadzonych z wykorzystaniem pięciu różnych małoskalowych kotłów węglowych i pięciu różnych paliw węglowych. Badania przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych, ale także z wykorzystaniem urządzeń grzewczych użytkowników indywidualnych. Obejmowały one szeroki zakres parametrów eksploatacyjnych zarówno energetycznych, jak i emisyjnych. Strumień spalanych paliw węglowych wahał się od 2 do 12,2 kg/h, przy równie szerokim zakresie uzyskiwanych sprawności kotłów – 67,6–88,5%.

Wyniki: Przedstawione w artykule wyniki badań wskazują, że wielkość emisji zanieczyszczeń limitowanych kryteriami normy PN-EN 303-5+A1:2023-05 i ekoprojektu, a mianowicie tlenku węgla, tlenków azotu, pyłu i substancji organicznych, zależy głównie od konstrukcji i warunków pracy urządzenia, w którym spalane jest określone paliwo stałe. Istnieje grupa zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery, dla których ilość emisji zależy przede wszystkim od jakości spalanego paliwa. Zanieczyszczenia te obejmują tlenki siarki i rtęć, których emisje zależą przede wszystkim od zawartości siarki palnej i rtęci w spalonym paliwie.

Wnioski: Przeprowadzone badania eksperymentalne miały na celu sprawdzenie, jaka część Hg zawartej w węglu podczas jego spalania w domowych kotłach z ręcznym i automatycznym podawaniem paliwa pozostaje związana w popiele paleniskowym, a jaka jest emitowana do atmosfery. Zawartość Hg w popiele paleniskowym, niezależnie od kotła i stosowanego paliwa, była na podobnym niskim poziomie, osiągając maksymalnie około 6% Hg początkowo zawartej w paliwie. Jak wykazały badania, ponad 94% rtęci zawartej w paliwach węglowych spalanych w małych kotłach węglowych jest emitowane do atmosfery, przyczyniając się znacząco do pogorszenia stanu środowiska. Zastąpienie tradycyjnego węgla niskoemisyjnymi paliwami węglowymi (np. takimi jak paliwo BC) znacznie zmniejszyłoby emisje rtęci z małych kotłów węglowych, nawet o 90% w porównaniu z obecnymi emisjami. Ustanowienie wymogu prawnego dotyczącego dopuszczalnego poziomu zawartości rtęci w paliwach węglowych stosowanych w kotłach domowych, na przykład na poziomie maksymalnej wartości 0,05 mg/kg, zmniejszyłoby emisję rtęci z tych urządzeń o co najmniej połowę.

Słowa kluczowe: emisja rtęci, małe kotły węglowe, niskoemisyjne paliwo węglowe

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 30.10.2023; **Zrecenzowany:** 12.12.2023; **Zaakceptowany:** 13.12.2023;

Identyfikatory ORCID autorów: S. Stelmach – 0000-0002-9206-1008; K. Matuszek – 0000-0001-8184-6507; P. Hrycko – 0000-0002-9713-8553; P. Wolny – 0000-0003-2161-4506; J. Horák – 0000-0001-6665-5294; L. Kuboňová – 0000-0003-3256-8373;

Autorzy wnieśli jednakowy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 62 Issue 2, 2023, pp. 50–62, <https://doi.org/10.12845/sft.62.2.2023.3>;

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

Introduction

Mercury is a rare element that is widely dispersed in nature, with an average concentration not exceeding 0.08 ppm. Owing to its properties, it can occur as a contaminant in any state. In the gas phase, mercury can exist in three forms: elemental mercury vapour (Hg^0), volatile compounds (such as Hg^{2+} , mainly HgCl_2), and volatile organometallic compounds such as dimethylmercury ($(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$). Mercury also contaminates soils, primarily as mercury sulphide (HgS) and mercury oxide (HgO), and less commonly as soluble inorganic compounds (HgCl_2 and Hg_2Cl_2) or organometallic compounds (e.g. $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$). The increase in Hg concentration in soils is mainly due to geological and anthropogenic factors. Mercury can also be found in aquatic environments. Mercury and its compounds enter the water primarily through atmospheric deposition, anthropogenic activities, and mercury migration from the soil. It is important to emphasize that Hg and its compounds are always present in the natural environment, and their concentrations vary depending on the region, climate, and other external conditions, constituting what is known as background Hg levels. Any values exceeding the background levels are considered environmental pollution [1–2].

The estimated global inventory of the Hg emissions to the atmosphere from human activities in 2015 was 2 220 Mg, which represents approximately 30% of the total annual Hg emissions released into the atmosphere. An additional 60% of the current global mercury emissions are the result of natural environmental processes, primarily involving the recycling of previously deposited anthropogenic mercury in soils and water. The remaining 10% originates from present-day natural sources such as volcanoes. It is important to note that the global inventory for 2015 does not account for sectors that cannot be accurately quantified. These

unquantified sectors may contribute tens to a few hundred tons of Hg to the overall emission inventory [3]. As a result of increasingly intense civilizational development, the emission of Hg from anthropogenic sources has increased over the past decades, causing serious and hazardous contamination of the environment on a global scale, posing a threat to living organisms, including humans. The largest amount of Hg emitted from anthropogenic sources is the result of artisanal gold mining (nearly 40%). The next positions in this ranking are fuel combustion processes (mainly from coal and lignite, approximately 25%), non-ferrous metal smelting (~10%), cement production (~9%), and mercury production processes (~6%) [4].

The structure of mercury emissions from anthropogenic sources in Poland significantly differs from that presented above, primarily because of the practical absence of emissions associated with gold and mercury mining, and the dominant contribution of coal combustion in the domestic energy system, including a substantial share of lignite. Mercury emissions in Poland are estimated to be approximately 11.9 Mg/year in total [5]. The largest share of this emissions comes from the combustion of solid fuels, with an estimated magnitude of approximately 9.1 Mg/year. Emissions from other sectors are primarily attributed to cement production (0.7 Mg/year) and non-ferrous metal smelting (1.1 Mg/year). The Czech Republic reported the total national Hg emissions at the level of 3.48 Mg/year (2010) [6].

In 2022, the Polish electricity production exceeded 175 TWh [7]. Approximately 43% of this production was generated through the combustion of hard coal, whereas approximately 27% was derived from lignite coal [8]. The level of mercury emissions into the atmosphere from coal combustion processes depends on the mercury

content of the burned coal, its chemical composition, the type of boiler, mercury speciation in the flue gases exiting the boiler, the content of combustible parts in fly ash, and the composition of the flue gases. The mercury content of coal varies widely depending on the regionalization of the deposit, age, and species. According to national studies, the average mercury content in coal ranges from 0.02 to 0.52 mg/kg in Poland [9] and from 0.01 to 1.0 mg/kg in the Czech Republic [10]. Since Poland has a long border with the Czech Republic (almost 800 km), transboundary transmission of emissions dependent on weather conditions is also important in this regard.

Mercury in coal mainly exists in the form of inorganic compounds, such as HgS, HgO, HgCl₂, and others. During coal combustion, these compounds decompose, and at temperatures above 900°C, under the conditions prevailing in the boiler furnace, all mercury from the fuel occurs in the form of elemental mercury vapour (Hg⁰). Upon cooling the flue gas stream to below 540°C, mercury is partially oxidized to Hg²⁺, forming volatile compounds such as HgCl₂, HgBr₂, and others. These compounds exhibit a high affinity for adsorption on the surface of fly ash and unburned coal particles [11].

Mercury emitted from coal combustion is released into the atmosphere in three main forms:

- Hg⁰_(g) – elemental mercury vapour, sparingly soluble in water, capable of persisting in the air for up to two years and capable of long-range transport.
- Hg₂⁺_(g) – oxidized form of mercury, forming easily soluble compounds in water that remain in the air for several days to several weeks.
- Hg_(p) – mercury bound or adsorbed to fly ash particles, persisting in the atmosphere for several days to several weeks, and spreading only on a local scale [11].

On 30 November 2021, the Commission Implementing Decision (EU) 2021/2326 was published in the Official Journal of the European Union (L 469). This decision establishes the Best Available Techniques (BAT) conclusions for large combustion plants (LCP) in accordance with Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council [7]. The BAT conclusions for large fuel combustion installations define the permissible emission levels for various pollutants, including permissible mercury emissions from the combustion of hard coal and lignite. In these installations, mercury emissions can be reduced using different methods, including passive (during flue gas desulfurization in wet scrubbers, selective catalytic reduction (SCR) of nitrogen oxides, flue gas dedusting in electrostatic precipitators, and fabric filters) and active (injection of powdered activated carbon into the flue gas, mercury adsorption on a fixed bed of activated carbon adsorbent, use of impregnated adsorbents, selective coal selection for combustion process, coal enrichment through low-temperature treatment and flotation, and dosing of bromine and iodine salts into the fuel and/or flue gas). However, the new BAT conclusions do not cover small-scale coal and lignite combustion devices, where the aforementioned methods for reducing mercury emissions are not feasible. Such devices are still widely used for heating residential buildings in Poland and the Czech Republic, although their utilization in the Czech Republic is much less common (only about 15% of the heat in households is generated

through coal combustion [13]). Currently, they should meet the requirements of the Commission Regulation (EU) 2015/1189 of 28 April 2015, implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to eco-design requirements for solid fuel boilers and emissions [14]. However, they do not cover mercury emissions, and many of the current criteria are not met by the older-type equipment still in use.

Despite numerous programs supporting the promotion of modern heating methods using renewable energy in Poland, approximately 45% of households still use solid fuel heating devices (most commonly, dual-function central heating boilers used for heat production and water heating) [15]. With these devices (excluding biomass), approximately 10 million tons of various grades of coal are burned annually (lignite is currently a marginal fuel used in small-scale devices). It is easy to calculate that the mercury emissions from these devices in Poland, which are not subject to legislative restrictions or technical measures aimed at reducing them, constitute over a dozen percent of mercury emissions from coal combustion for energy purposes. This fact has inspired preliminary studies, and in this article, the authors present the results of their attempt to determine the magnitude of mercury emissions from coal combustion in small-scale devices and propose a simple method for reducing these emissions other than replacing the existing combustion sources. Thus, the aim of the research carried out was to demonstrate that the use of low-emission carbon fuels (obtained using the initial thermal conversion of the coal feedstock) in residential heating also makes it possible to reduce mercury emissions from small-scale coal-fired boilers.

Materials and Methods

Fuels

The following coal fuel samples were used in the tests conducted:

1. Three different samples of hard coal (C1, C2 and C3).
2. Low-emission carbon fuel produced using the pyrolysis process, specially prepared for test purposes for use in residential heating (BC).
3. A mixture of hard coal (other than C1–C3 samples) and low-emission carbon fuel BC with mass shares respectively 0.85:0.15 (CBC).

C1, C2 and C3 coals were typical coal fuels sold commercially for residential heating use. The other two fuels (BC and CBC), on the other hand, are specially developed low-emission carbon fuels developed by Polish fuel manufacturers with the participation of the Institute of Energy and Fuel Processing Technology. The main benefit of using these fuels is a significant reduction in emissions of polycyclic aromatic hydrocarbons (including benzo(a)pyrene) and particulate matter (including PM10) [16–17]. However, the research presented in this publication focuses on assessing the possibility of reducing mercury emissions through their use in low-power heating devices still in use in Poland and the Czech Republic (but also in many other countries).

A brief explanation is required for the production of low-emission carbon fuel (BC). Hard coal of appropriately selected grain

size (~20–50mm) is subjected to partial degasification in a pyrolysis reactor with a moving grate at a temperature of about 850–900°C. Volatile compounds emitted from the processed coal during its heating on the grate are burned in the post-combustion zone of the pyrolysis reactor, and the resulting flue gases are directed to the purification system. The final content of volatile matter in the produced BC fuel is less than 10% m/m (usually about 5% m/m). The heat of the hot flue gases produced in the process is used to produce superheated steam. The resulting BC fuel, after cooling by spraying water, is subjected to sorting. The grain fraction >5mm is bagged and sent for sale.

The results of the physicochemical analyses of the test fuels are shown in Table 1 and Table 2. All the presented analyses were carried out in the accredited laboratories of the Institute of Energy and Fuel Processing Technology in accordance with the European and ISO standards.

Boilers

The combustion of the fuels listed above was carried out using a variety of small-scale coal-fired boilers. The following boilers with different designs and operational characteristics were selected for the planned research:

1. A manually fuelled boiler with a nominal power of 12 kW (boiler no. 1 – B1).
2. A manually fuelled boiler with a nominal power of 15 kW (boiler no. 2 – B2).
3. Boilers with automatic fuel feeding and a nominal power

of 100 kW (boiler no. 3 – B3).

4. A boiler with automatic fuel feeding and a nominal power of 24 kW (boiler no. 4 – B4).
5. A boiler with automatic fuel feeding and a nominal power of 150 kW (boiler no. 5 – B5).

Experiments using boilers no. 1 and no. 2 were conducted at the test facility of the Institute of Energy and Fuel Processing Technology. Boilers no. 3–5 were tested at their operating locations. The following is a brief description of the aforementioned boilers.

Boiler no. 1 (B1)

This is a low-temperature steel boiler designed for open systems and adapted for burning hard coal of the pea size assortment. The boiler body is made of steel plates. Inside the body there is an ash chamber, a grate, a combustion chamber, a fuel loading chamber and flue ducts. The boiler is also equipped with an ash door, a fuel loading door and flue ducts cleaning door. The combustion chamber is equipped with a burner nozzle. Air was supplied to the boiler through an adjustable damper located on the loading door. The air passing through the grate participated in the combustion process. Additionally, air was supplied to the combustion chamber by the ash chamber. Periodic ash removal was performed using a scraping mechanism. The tested boiler meets the emission criteria of Class 5 of the EN 303-5:2012 standard and eco-design requirements (except for the energy efficiency criterion) [14]. Its view is presented in Figure 1.

Table 1. Proximate analysis of the tested fuels (as received basis)

Parameter	Unit	C1	C2	C3	BC	CBC
Moisture content	[%]	4.0 ^{+0.01}	6.6 ^{+0.02}	13.1 ^{+0.08}	14.9 ^{+0.09}	7.8 ^{+0.02}
Ash content	[%]	6.3 ^{+0.01}	11.1 ^{+0.02}	7.0 ^{+0.01}	6.5 ^{+0.01}	6.2 ^{+0.01}
Volatile matter content	[%]	17.6 ^{+0.06}	29.4 ^{+0.09}	32.1 ^{+0.10}	3.1 ^{+0.01}	28.6 ^{+0.09}
Fixed carbon	[%]	72.1 ^{+0.08}	52.9 ^{+0.13}	47.8 ^{+0.19}	75.5 ^{+0.11}	57.4 ^{+0.12}
Lower calorific value (LCV)	[J/g]	29497	25633	24393	26065	27373
Grain size	[mm]	~5–30	~5–30	~5–30	~5–25	~5–30

Source: Own elaboration.

Table 2. Ultimate analysis of the tested fuels (dry basis)

Parameter	Unit	C1	C2	C3	BC	CBC
Carbon content	[%]	83.1 ^{+0.4}	72.6 ^{+0.4}	72.7 ^{+0.4}	88.6 ^{+0.4}	77.4 ^{+0.4}
Hydrogen content	[%]	3.2 ^{+0.01}	4.0 ^{+0.01}	4.8 ^{+0.01}	1.3 ^{+0.00}	4.3 ^{+0.01}
Sulfur content	[%]	0.9 ^{+0.00}	0.3 ^{+0.00}	1.3 ^{+0.00}	0.4 ^{+0.00}	0.8 ^{+0.00}
Nitrogen content	[%]	1.1 ^{+0.00}	2.0 ^{+0.00}	1.3 ^{+0.00}	1.6 ^{+0.00}	1.5 ^{+0.00}
Oxygen content	[%]	5.2 ^{+0.42}	9.2 ^{+0.43}	11.9 ^{+0.42}	0.4 ^{+0.41}	9.3 ^{+0.42}
Mercury content	[mg/kg]	0.146 ^{+0.015}	0.037 ^{+0.004}	0.098 ^{+0.010}	0.007 ^{+0.001}	0.036 ^{+0.004}

Source: Own elaboration.

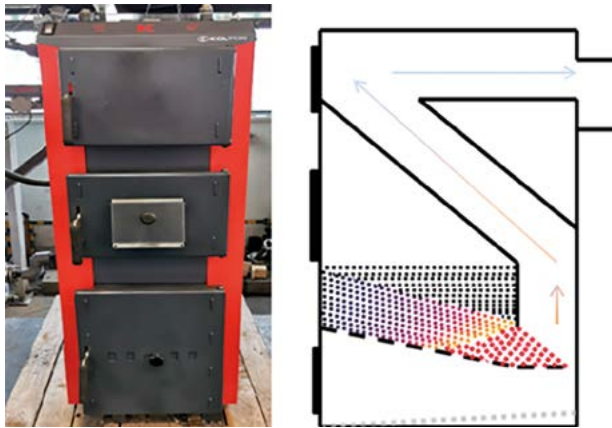


Figure 1. View and diagram of the boiler no. 1
 Source: Own elaboration.

Boiler no. 2 (B2)

This boiler is a representative of a type series of low-temperature, steel water boilers, designed for open systems, adapted for combustion of hard coal of nut type (basic fuel) and hard coal of pea type. In these units, fuel is loaded into a loading chamber terminated with a water grate. The loading chamber is closed by a charging door. A secondary air damper is located on the charging door. Above the charge door there is a cleanout door for access to the heat exchanger. A stream of primary air is fed into the combustion chamber by a blowing fan located on the upper wall of the boiler. The flue gases, after passing through the flue-water heat exchanger, pass through the boiler's flue to the chimney. The boiler is also equipped with a mechanical grate rake. The boiler is insulated with mineral wool, covered with painted steel sheet. The tested device does not meet the emission criteria of Class 5 of the EN 303-5:2012 standard and eco-design [14]. Its view is presented in Figure 2.

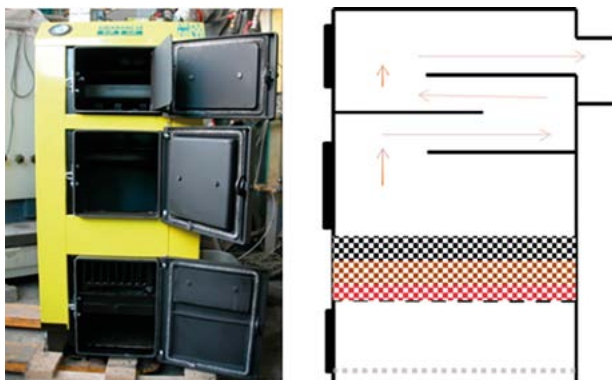


Figure 2. View and diagram of the boiler no. 2
 Source: Own elaboration.

Boiler no. 3 (B3)

It is a boiler with automatic fuel feeding and retort burner. This boiler belongs to a series of low-temperature, steel water boilers, designed for open systems, adapted for burning hard coal

of the pea-sort. In this unit, fuel is poured into a hopper closed with a steel door, located on the side of the boiler over a screw feeder driven by a gear motor. The feeder moves successive portions of fuel from the hopper to the retort burner, located in the combustion chamber. The retort burner is made of cast iron in the shape of a truncated cone with drilled holes and tabs to the inside forming a screw line. In addition, a cast iron deflector is mounted above the burner. The combustion chamber is lined with ceramic plates and is closed with an insulated door. A stream of air is fed to the burner in the combustion chamber by means of a blowing fan. A feed water muffle is located in the upper rear part of the boiler. The return water muffle is located at the lowest point of the boiler. The boiler has a vertical plate heat exchanger. The flue gases, after passing through the heat exchanger (flue-water), pass through the boiler's flue to the chimney. Flue gas swirlers are installed in the second and third pass of the heat exchanger. Regulation of heat output is carried out by an electronic temperature controller. This regulator controls the operation of the water circulation pump, hot water pump, floor heating pump, circulation pump, air blower (fan) and fuel feeder. The boiler is insulated with mineral wool covered with painted steel sheet. This boiler, when properly operated, meets the criteria of Class 5 of the EN 303-5:2012 standard and eco-design [14]. Its view is presented in Figure 3.



Figure 3. View and diagram of the boiler no. 3
 Source: Own elaboration.

Boiler no. 4 (B4)

It is a boiler with automatic fuel feeding and a retort burner with a screw feeder, adapted for burning hard coal of the pea-sort. It is designed for open system water central heating systems. In addition to burning coal in the automatic mode, this boiler also allows burning other fuels in manual loading mode. The tested boiler at the time of the study was already a far out-of-service device. As a new device, it met the criteria of Class 5 of the EN 303-5:2012 standard and eco-design [14]. However, it did not meet these criteria at the time of the presented research. Its view is presented in Figure 4.



Figure 4. View of the boiler no. 4
Source: Own elaboration.

Boiler no. 5 (B5)

This is a boiler with automatic fuel feeding and retort burner. This boiler belongs to the low-temperature steel water boilers, designed for open systems, adapted for burning hard coal of the pea-sort. In this unit, fuel is poured into a hopper closed with a steel door, located on the side of the boiler over a screw feeder driven by a gear motor. The feeder moves successive portions of fuel from the hopper to the retort burner located in the combustion chamber. The combustion chamber is closed with a door. A circular ceramic deflector is placed above the burner. A stream of air is fed to the burner in the combustion chamber by means of a blowing fan. A feed water muffle is placed in the upper part of the boiler exchanger. The return water muffle is located at the lowest point of the boiler exchanger. The boiler has a plate heat exchanger. The flue gases, after passing through the flue-water heat exchanger, pass through the boiler's flue to the chimney. Regulation of the boiler's heat output is carried out by an electronic temperature controller. This regulator controls the operation of the feeder, blower fan, central heating and hot water pumps. The boiler is insulated with mineral wool covered with painted steel sheet. The tested boiler, when operated properly, meets the criteria of Class 5 of the EN 303-5:2012 standard and eco-design [14]. Its view is presented in Figure 5.



Figure 5. View of the boiler no. 5
Source: Own elaboration.

The small-scale coal-fired boilers selected for the study represent the variety of designs used for heat and hot water production in residential heating in Poland and the Czech Republic.

Experiments

The tests presented in this publication include coal fuel combustion tests conducted according to the scheme shown in Table 3.

Table 3. Schematic representation of the experiments performed

	Fuel				
	C1	C2	C3	BC	CBC
Boiler no. 1	B1/C1	-	-	-	-
Boiler no. 2	-	B2/C2	-	B2/BC	-
Boiler no. 3	-	-	B3/C3	-	B3/CBC
Boiler no. 4	-	-	B4/C3	-	B4/CBC
Boiler no. 5	-	-	B5/C3	-	B5/CBC

Source: Own elaboration.

Laboratory tests

Energy and emission tests of the combustion of hard coal (B1/C1 and B2/C2) and low-emission carbon fuel (B2/BC), and thus with the use of boilers with manual fuel feed, were carried out on a test stand at the Laboratory of Combustion Technologies and Power Generation operating within the structure of ITPE (Zabrze, Poland). These tests included two feeds of portions of fuel into the boiler each time. The weight of the fuel for both intakes was the same and was based on the provisions of the PN-EN 303-5+A1:2023-05 standard [18] and the calorific value of the fuel in question. It shows that the amount of fuel loaded into the boiler must be sufficient for at least 4 h of its operation at nominal power. First, an adequate layer of embers was pregenerated in the boiler. Then a weighed portion of fuel was poured onto the embers so as to ensure the required test duration, during which the flue gas composition was measured: O_2 , CO_2 , CO , NO , SO_2 , and the content of dust and total organic carbon (TOC). Flue gas collection for the determination of dust and TOC was performed using a system consisting of a probe (installed in the chimney) connected to a heated dust separator, a cooler, a tubing system with sorption material (XAD-2 resin and activated carbon) and a gas aspirator. Collection of flue gases for analysis was conducted based on the laboratory's accredited technical procedure. The dust concentration was determined using the gravimetric (filtration) method in accordance with the internal procedure of the Laboratory of Combustion Technologies and Power Generation Q/LS/02/D:2018 and PN-Z-04030-7 *Protection of air purity. Testing of dust content* and PN-EN 13284-1 *Emissions from stationary sources. Determination of dust mass concentration in the low range. Part 1: Manual gravimetric method*. In addition, boiler energy parameters such as flue gas temperature, boiler inlet and outlet water temperatures, water flow and chimney draught were recorded during the tests.

A mobile set of SIEMENS analysers was used to measure the composition of the exhaust gas (see Figure 6). The set included ULTRAMAT 23 analysers enabling the measurement of CO in the range of 0–5%, CO₂ in the range of 0–25%, SO₂ in the range of 0–1000 ppm, and NO in the range of 0–1000 ppm. These analysers allow measurement using the reference NDIR method. O₂ concentration in the gas was measured using an analyser of the OXYMAT 61 type, which operates on the basis of a reference method using the phenomenon of paramagnetism. This analyser has a range of 0–25% O₂. Concentrations of O₂, CO₂, CO, NO, SO₂ were determined based on the PN-ISO 10396:2001 standard *Emissions from stationary sources. Sampling for automatic measurement of concentrations of gaseous components*.



Figure 6. View of the mobile set of SIEMENS analysers used for exhaust gas composition testing

Source: Own elaboration.

After the combustion test of a given fuel was completed, the generated bottom ash was secured and transferred to the laboratory for determination of mercury content. The mercury content of both the fuel and bottom ash samples was determined using the cold vapour atomic absorption amalgamation (CVAAS) method, with an MA-2 analyser from Nippon Instruments Corporation.

Field trials

Energy and emission tests of the combustion of hard coal (B3/C3, B4/C3 and B5/C3) and low-emission carbon fuel (B3/CBC, B4/CBC and B5/CBC), and thus with the use of boilers with automatic fuel feeding, were carried out at individual users in various locations in Poland. At each location, several weeks prior to the start of the tests, the boilers operated continuously burning previously supplied CBC fuel. C3 hard coal was delivered to the site on the day of the measurements, in sufficient quantity for several hours of boiler operation.

The boiler operator at each test site was informed of the test day. Each time, the operator was asked to conduct a thorough cleaning of the boiler on the day before the test day, and then conduct CBC fuel combustion in the boiler in accordance with past practice. Each time the ITPE/VŠB measurement group arrived on site, the boiler was extinguished for about 30 minutes. During this time, the measuring apparatus was assembled, the boiler's

ash chamber was cleaned, and a continuous fuel feeding test was performed, which ultimately allowed the determination of the fuel flow fed to the combustion. The boiler was then fired up and the boiler's operating conditions were stabilized over a period of 1.5 to 2 h. The operating conditions of the boiler were set by the local staff each time, without any interference or comments from those in the measurement group.

The actual testing began with the re-cleaning of the boiler's ash chamber. This was followed by an energy-emission test during the combustion of CBC fuel. The combustion test of this fuel was completed by selecting a sample of bottom ash from the boiler's firebox. Then the CBC fuel was selected from the boiler hopper, the remaining fuel was removed from the feeding system and the boiler was carburized with C3 fuel.

After the C3 fuel was fed to the retort burner, the boiler was fired up and the boiler operating conditions were stabilized over a period of 1.5 to 2 h for the same settings at which the CBC fuel combustion was tested, i.e. fuel feed time, fuel feed interval time and fan blowing power percentage setting.

The actual testing began by cleaning the ash chamber of the device again. This was followed by an energy-emission test during the combustion of C3 fuel. The test was completed by selecting a sample of the bottom ash from the boiler's combustion chamber.

Solid waste samples from the furnace were secured and transferred to the ITPE laboratory for determination of Hg content.

For the field measurements, measuring equipment analogous to that used in the laboratory studies was used. Only TOC emissions were not measured during these experiments. The measuring equipment used during the boiler tests by ITPE employees meets the requirements of PN-EN 303-5 *Measuring Instruments and Methods of Measurement*.

Results

The basic energy and emission parameters of the conducted experiments are shown in Tables 4 and 5.

Table 4. Results of the measurements carried out using boilers with manual fuel feeding

Parameter	Unit	B1/C1	B2/C2	B2/BC
Energy parameters				
Fuel flow	[kg/h]	2.0	3.0	3.8
Lambda	-	1.95	2.21	3.30
Boiler efficiency	[%]	76.0	72.2	67.6
Boiler power	[kW]	12.4	15.4	18.6
Relative thermal load of the boiler	[%]	103.4	102.7	124.0
Flue gas parameters				
Flue gas temperature	[°C]	187.8	256.0	254.5
Chimney draught	[Pa]	-11.8	-25.2	-31.5
O ₂ concentration		10.33	11.57	14.57
CO ₂ concentration	[%]	9.40	8.08	5.84
Converted to 10% O ₂		9.69	9.42	10.00
CO concentration		436.1	4256.1	2755.1
Converted to 10% O ₂		458.9	4967.4	4712.1
SO ₂ concentration		967.8	259.8	178.5
Converted to 10% O ₂		996.7	303.0	305.3
NO concentration		161.6	143.6	47.9
Converted to 10% O ₂	[mg/Nm ³]	255.1	256.6	112.8
Dust concentration		22.3	144.4	31.1
Converted to 10% O ₂		23.0	166.9	53.2
TOC concentration		31.5	101.2	45.9
Converted to 10% O ₂		32.5	116.7	78.6
Emissions				
CO ₂	[kg/GJ]	95.8	91.2	93.4
CO	[g/GJ]	231.1	2433.2	2229.4
SO ₂	[g/GJ]	498.2	148.4	144.4
NO	[g/GJ]	127.4	125.7	59.4
Dust	[g/GJ]	11.5	81.8	25.2
TOC	[g/GJ]	16.3	57.1	37.2

Source: Own elaboration.

Table 5. Results of the measurements carried out using boilers with automatic fuel feed

Parameter	Unit	B3/C3	B3/CBC	B4/C3	B4/CBC	B5/C3	B5/CBC
Energy parameters							
Fuel flow	[kg/h]	6.5	6.3	0.9	0.8	12.2	11.7
Lambda	-	2.4	2.3	3.8	2.8	4.1	3.9
Boiler efficiency	[%]	88.5	87.5	71.4	79.5	70.6	74.3
Boiler power	[kW]	39.0	41.9	4.4	4.8	58.4	66.1
Relative thermal load of the boiler	[%]	39.0	41.9	18.3	20.0	38.9	44.1
Flue gas parameters							
Flue gas temperature	[°C]	117.6	118.6	202.3	207.0	172.3	181.6
Chimney draught	[Pa]	30.3	30.7	22.0	25.0	20.7	28.9
O ₂ concentration		12.52	11.81	15.60	13.48	16.00	15.73
CO ₂ concentration	[%]	7.13	7.86	4.48	6.43	4.18	4.45
Converted to 10% O ₂		9.25	9.41	9.13	9.41	9.20	9.29
CO concentration		654.6	607.9	1507.1	660.9	475.9	462.0
Converted to 10% O ₂		849.1	727.8	3069.4	967.2	1047.9	964.9
SO ₂ concentration		1207.7	786.3	570.0	542.8	611.3	396.5
Converted to 10% O ₂		1566.6	941.3	1160.8	794.4	1346.1	828.1
NO concentration	[mg/Nm ³]	345.2	342.0	294.9	259.4	187.8	197.4
Converted to 10% O ₂		447.8	409.3	600.7	379.5	413.0	412.1
Dust concentration		128.3–133.8	82.7–100.3	138.5–151.3	89.5–105.1	67.6–70.3	55.1–62.0
Converted to 10% O ₂		166.4–173.6	99.0–120.1	282.1–308.2	131.0–153.8	148.9–154.8	115.1–129.5
Emissions							
CO ₂	[kg/GJ]	89.4	90.4	88.2	90.3	88.9	89.2
CO	[g/GJ]	415.1	353.5	1500.7	469.7	511.8	468.5
SO ₂	[g/GJ]	765.8	457.3	567.5	385.8	657.4	402.1
NO	[g/GJ]	218.9	198.9	293.6	184.4	201.9	200.2
Dust	[g/GJ]	81.4–84.8	48.1–58.3	137.9–150.7	63.6–74.7	72.7–75.6	55.9–62.9

Source : Own elaboration.

Table 6 presents the results of the calculations based on the mercury analyses performed for the fuels tested and the bottom ash produced during the combustion tests. It was assumed that the amount of mercury fed with air into the combustion process is negligible.

emissions with volatile combustion products are very strongly related to its initial content in the fuel fed to the boiler (correlation coefficient $r = 0.97$). Therefore, the initial content of mercury in the coal headed for combustion is extremely important.

Table 6. Results of the calculations based on the mercury analyses performed for the fuels tested and the bottom ashes produced during the combustion tests

Parameter	Unit	B1/C1	B2/C2	B2/BC	B3/C3	B3/CBC	B4/C3	B4/CBC	B5/C3	B5/CBC
Hg flux delivered with fuel	mg/kg	0.140	0.035	0.006	0.085	0.033	0.085	0.033	0.085	0.033
	[ng/GJ]	4.75	1.37	0.23	3.48	1.21	3.48	1.21	3.48	1.21
Amount of Hg delivered with fuel	[%]	100								
Amount of Hg remaining in bottom ash	[%]	5.76	1.92	2.75	1.83	2.90	0.78	3.05	1.99	3.74
Amount of Hg emitted into the atmosphere	[%]	94.24	98.08	97.25	98.17	97.10	99.22	96.95	98.01	96.26
The amount of Hg emitted with flue gas (including dust) per GJ of useful heat generated	[mg/GJ]	6×10^{-3}	2×10^{-3}	3×10^{-4}	4×10^{-3}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	2×10^{-3}

Source: Own elaboration.

Discussion

Combustion tests of various coal fuels in boilers of different designs covered a wide range of operating parameters, both energy and emissions. The flux of coal fuels burned ranged from 2 to 12.2 kg/h, with an equally wide range of boiler efficiencies obtained – 67.6–88.5%. It should be noted here that the boilers tested in the laboratory (boilers with manual fuel feeding) operated at slightly higher than nominal relative thermal loads, while the boilers tested at individual users operated at very low relative thermal loads – <45% of nominal power.

The test results presented in this article show that the amount of emissions of pollutants limited by the criteria of the PN-EN 303-5+A1:2023-05 standard [18] and the eco-design [14], namely carbon monoxide, nitrogen oxides, dust and organic substances, depends mainly on the design and operating conditions of the device in which the specific solid fuel is burned. A detailed analysis of this issue, is beyond the scope of this publication, although Tables 4 and 5 clearly show the differences in these parameters from one test to another. However, there is a group of pollutants emitted into the atmosphere, for which the amount of emissions depends primarily on the quality of the fuel burned. These pollutants include sulphur oxides and mercury, whose emissions depend primarily on the combustible sulphur and mercury content of the fuel being burned.

Figure 7 shows the dependence of mercury emissions from the tested heating equipment on the mercury content of the fuel being burned. Based on the presented data, it is clear that mercury

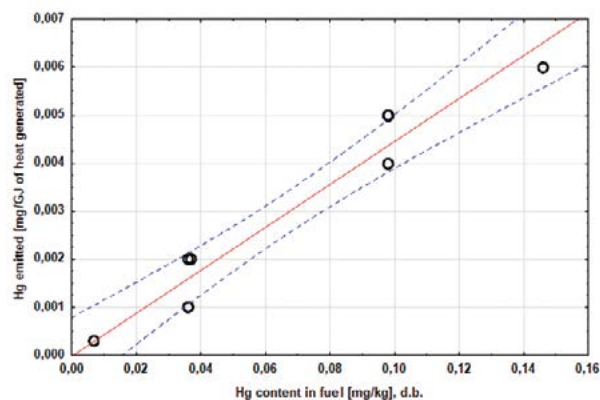


Figure 7. Mercury emissions depending on its content in the fuel being burned

Source: Own elaboration.

In bituminous coals, mercury occurs primarily in the form of such compounds as HgO, HgS, HgO₂, HgCl₂, Hg₃(SO₄)O₀ and Hg₂SO₄. With the exception of HgO, the decomposition temperatures of the aforementioned mercury compounds are in the range below the ignition temperature of coal, which, according to the authors [19], provides potential opportunities for removing mercury from coal before it enters the furnace chamber. This possibility is also supported by the fact that mercury is released from coal practically immediately after the test sample is introduced into the zone of sufficiently high temperatures, which was also demonstrated in the work [19–20]. As presented in the literature review [21], in the case of application of the pre-combustion

method for mercury removal, due to exposure of coal to temperatures up to 330°C, 60 to 80% efficiency of mercury removal from the fuel was found, while in the case of exposure to temperatures up to 410°C, removal of more than 95% of mercury from the converted hard coal was already demonstrated. Pre-treatment of coal with low-temperature pyrolysis makes it possible to obtain coal fuel with significantly better quality parameters from the point of view of emissions to the atmosphere (including mercury emissions) [22], which is usually referred to as low-emission carbon fuel [16–17]. Laboratory studies on obtaining such fuels are presented, for example, in the publication [23]. Other ways of reducing mercury emissions from coal combustion processes are also being studied, such as using coal enrichment to separate any overgrowths with pyrite [24] or using regenerable sorbents based on gold nanoparticles dispersed on activated carbon foam [25]. However, their large-scale application appears to be more difficult than the implementation of large-scale coal processing by low-temperature pyrolysis.

According to data presented in the publication [26], the average Hg content of the hard coals used for energy purposes is 0.070 mg/kg, while the average mercury content of the hard coals used in the study (samples C1, C2 and C3) was 0.094 mg/kg, with one of these coals (C2) having a significantly lower content of this element compared to the other two coal fuels. The other two fuels tested (BC and CBC), were just fuels obtained by pyrolytic pre-treatment of hard coal, in whole and in part, respectively. The BC coal fuel was all pyrolyzed bituminous coal, while the CBC fuel was a mixture of bituminous coal and BC fuel with mass shares of 0.85:0.15. Both fuels were produced to reduce their emissivity in terms of organic pollutants and dust, with no intention of reducing mercury emissions. The conducted studies indicate that low-emission carbon fuels obtained using the pyrolysis process make it possible to significantly reduce mercury emissions from combustion processes in distributed heat and hot water generation systems, which are still widely used in Poland and the Czech Republic. In these countries, there is no obligation to check the Hg content of coal fuels intended for combustion in individual heating, so the use of non-mercury-emitting coal fuels in place of the previously used bituminous coals can bring significant benefits, both from an environmental and health point of view.

It is estimated that the amount of Hg introduced along with hard coal into small-scale coal-fired boilers is about 1.0 Mg per year in Poland. Taking into account the results of the study, it can be concluded that about 0.95% of this mass enters the atmosphere as a result of coal combustion in households. Replacing traditional coal with low-emission carbon fuels (e.g., such as BC fuel) would significantly reduce mercury emissions from small-scale coal-fired boilers, by up to 90% compared to current emissions. Setting a legal requirement for the permissible level of mercury content in coal fuels used in domestic boilers, for example, at a maximum value of 0.05 mg/kg, would reduce mercury emissions from these devices by at least half.

Conclusions

Experimental studies were carried out to verify what portion of Hg contained in coal during its combustion in domestic boilers with manual and automatic fuel feeding remains bound in bottom ash, and what is emitted into the atmosphere. The content of Hg in bottom ash, regardless of the boiler and fuel used, was at a similar low level, reaching a maximum of about 6% of the Hg initially contained in the fuel. As studies have shown, more than 94% of the mercury contained in coal fuels burned in small-scale coal-fired boilers is emitted into the atmosphere, contributing significantly to the deterioration of the environment. The problem of mercury emissions from individual heating devices used in Poland and the Czech Republic (but also in many other countries around the world) can be minimized through the use of low-emission carbon fuels in place of the previously used coals. They are characterized by much better emission parameters in comparison with coal – lower emissions of organic substances and dust, but also mercury (as shown in studies conducted). Also extremely important is the issue of modernization of the current dispersed boiler infrastructure, i.e. replacement of old equipment with highly efficient automatic units, as well as a systematic energy transition aimed at replacing coal-fired equipment with modern devices producing heat and hot water (e.g. heat pumps).

The limited coverage in the literature regarding the reduction of mercury emissions from small-scale coal-fired boilers can be attributed to the regional nature of these heating systems. The findings presented here represent the initial endeavour in our country to evaluate the potential for lowering mercury emissions from small-scale coal-fired boilers through the utilization of low-emission carbon fuels.

If the current EU environmental policy is maintained in the future, the issue of using small-scale coal-fired boilers burning solid fuels will steadily decline in importance. However, the use of low-emission carbon fuel for residential heating may continue for another 20 years or so. With the planned start of large-scale production of CBC-type fuel in our country, there will be an opportunity to test the environmental effects (including reduction of mercury emissions) with a wider group of users. It is also important to consider the distribution of mercury between carbon conversion products during the production of low-emission carbon fuel (BC), which will be the subject of future research.

Literature

- [1] Kabata-Pendias A., Pendias H., *Biogeochemistry of trace elements*, PWN, Warszawa, 1999.
- [2] Feng X.B., Qiu G.L., Fu X.W., He T.R., Li P., Wang S.F., *Mercury pollution in the environment*, „Progress in chemistry” 2009, 21(2–3), 436–457.
- [3] UN Environment, *Global Mercury Assessment 2018*, UN Environment Programme, Chemicals and Health Branch Geneva, Switzerland 2019.
- [4] Arctic Monitoring and Assessment Programme, *Technical Background Report for the Global Mercury Assessment*, Oslo 2017.
- [5] Wichliński M., *Emisja rtęci z polskich elektrowni w świetle konkluzji BAT*, „Polityka Energetyczna” 2017, 20, 79–88.
- [6] Pilar L., Borovec K., Szeliga Z., Górecki J., *Mercury emission from three lignite-fired power plants in the Czech Republic*, „Fuel Process. Technol.” 2021, 212, 106628, <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106628>.
- [7] WysokieNapiecie.pl, <https://wysokienapiecie.pl/81733-produkcja-energii-elektrycznej-w-polsce/> [accessed: 17. 07.2023].
- [8] Globenergia, <https://globenergia.pl/ponad-21-energii-pochodzilo-z-oze-miks-energetyczny-i-struktura-produkcji-energii-w-polsce-w-2022-r/> [accessed: 17.07.2023].
- [9] Burmistrz P., Kogut K., Marczak M., Zwoździak J., *Lignites and subbituminous coals combustion in Polish power plants as a source of anthropogenic mercury emission*, „Fuel Processing Technology.” 2016, 152, 250–258, <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.06.011>.
- [10] Pešek J., Bencko V., Sýkorová I., Vašíček M., Michna O., Martínek K., *Some trace elements in coal of the Czech Republic, Environment and Health Protection Implications*, “Central European Journal of Public Health” 2005, 13(3), 153–158.
- [11] Czaplicka M., Pyta H., *Transformations of mercury in processes of solid fuel combustion – review*, „Archives of Environmental Protection” 2017, 43(4), 82–93, <https://doi.org/10.1515/aep-2017-0041>.
- [12] WSZYSTKOoEMISJACH.pl, <https://wszystkooemisjach.pl/342/konkluzje-bat-dla-duzych-objektow-energetycznego-spalania-lcp>, [accessed: 17.07.2023].
- [13] Ministerstvo Prumyslu a Obchodu, *Assessment of the potential for the application of high-efficiency cogeneration and efficient district heating and cooling in the Czech Republic*, Praga 2020.
- [14] Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02009L0125-20121204> [accessed: 18.07.2023].
- [15] GUS, *Energy consumption in households in 2018*, Warsaw 2019.
- [16] Matuszek K., Hrycko P., Stelmach S., Sobolewski A., *Carbonaceous smokeless fuel and modern small-scale boilers limiting the residential emission. Part 1. General aspects*, „Przemysł Chemiczny” 2016, 95(2), 223–227, <https://doi.org/10.15199/62.2016.2.8>.
- [17] Matuszek K., Hrycko P., Stelmach S., Sobolewski A., *Carbonaceous smokeless fuel and modern small-scale boilers limiting the residential emission. Part 2. Experimental tests of a new carbonaceous smokeless fuel*, „Przemysł Chemiczny” 2016, 95(2), 228–230, <https://doi.org/10.15199/62.2016.2.9>.
- [18] PN-EN 303-5+A1:2023-05 *Kotły grzewcze – Część 5: Kotły grzewcze na paliwa stałe z ręcznym i automatycznym zasypem paliwa o mocy nominalnej do 500 kW – Terminologia, wymagania, badania i oznakowanie*.
- [19] Wichliński M., Kobyłecki R., Bis Z., *Emisja rtęci podczas termicznej obróbki paliw*, „Polityka Energetyczna” 2011, 14, 191–202.
- [20] Misztal E., Chmielniak T., Mazur I., Sajdak M., *The release and reduction of mercury from solid fuels through thermal treatment prior to combustion*, „Energies” 2022, 15(21), 7987, <https://doi.org/10.3390/en15217987>.
- [21] Wichliński M., Kobyłecki R., Bis Z., *Niskotemperaturowa obróbka termiczna węgla wzbogaconych i niewzbogaconych w celu obniżenia zawartości rtęci*, „Polityka Energetyczna” 2015, 18, 113–124.
- [22] Chmielniak T., Głód K., Kopczyński M., *Piroliza węgla dla obniżenia emisji rtęci z procesów spalania do atmosfery*, in: *Nowe technologie spalania i oczyszczania spalin*, Nowak W., Pronobis M., (red.), Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2010, 389–411.
- [23] Dziok T., *Production of low-mercury solid fuel by mild pyrolysis process*, „Energies” 2023, 16(7), 3046, <https://doi.org/10.3390/en16073046>.
- [24] Dziok T., Grzywacz P., Bochenek P., *Assessment of mercury emissions into the atmosphere from the combustion of hard coal in a home heating boiler*, „Environ Sci Pollut Res Int.” 2019, 26(22), 22254–22263; <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05432-3>.
- [25] Fernández-Miranda N, Rodríguez E., Lopez-Anton M.A., García R., Martínez-Tarazona M.R., *A new approach for retaining mercury in energy generation processes: regenerable carbonaceous sorbents*, „Energies” 2017, 10(9), 1311, <https://doi.org/10.3390/en10091311>.
- [26] Telenga-Kopczyńska J., Koniecznyński J., Sobolewski A., *Emisja rtęci z procesu koksowania węgla*, in: *Proceedings of the KOKSOWNICTWO Conference*, Poland 2012.

ŚLAWOMIR STELMACH, D.SC. – currently serves as scientific secretary of the Institute of Energy and Fuel Processing Technology (formerly Institute for Chemical Processing of Coal) in Zabrze. Involved primarily in research, development and commercialisation of thermal conversion of solid fuels using pyrolysis, gasification and combustion. He has a publication output in national and international journals, monographs and conference proceedings (more than 130 items). He is the author and co-author of several patented technical solutions. He has participated in the implementation of many national and international scientific and R&D projects.

KATARZYNA MATUSZEK, PH.D. – graduated in 2000 from the Faculty of Environmental Engineering and Power Engineering at the Silesian University of Technology in Gliwice, where she also obtained her doctoral degree in 2007. Since January 2011, she is the head of the Laboratory of Combustion Technologies and Power Generation and deputy head of the Department of Air Protection at the Institute of Energy and Fuel Processing Technology in Zabrze. She is the author or co-author of dozen scientific and specialist papers on pollutant emissions and fuel combustion in residential heating.

PIOTR HRYCKO, M.SC., ENG. – graduated in 2002 from the Faculty of Environmental Engineering and Power Engineering of the Silesian University of Technology. Since January 2011, he is the deputy head of the Laboratory of Combustion Technologies and Power Generation at the Institute of Energy and Fuel Processing Technology in Zabrze. In his work he deals with energy and emission tests of heating devices for a specific type of fuel with determination of heat output, energy efficiency, concentrations of dust, OGC, CO₂, CO, NO_x, SO₂ in exhaust gases, evaluation of solid fuels, including smokeless fuels for individual heating. He is the author or co-author of dozen scientific and specialist papers on pollutant emissions and fuel combustion in residential heating.

PAWEŁ WOLNY, PH.D. – research and teaching assistant professor at The Faculty of Process and Environmental Engineering. He graduated from the Main School of Fire Service, the Finance Academy in Warsaw and Central Institute for Labour Protection – National Research Institute. His research and professional interests include safety, fire protection, technical fire protection systems (mostly modern active system like mist extinguishing systems). He is the author or co-author of several scientific and specialist papers on safety, fire protection, modern technologies in safety and risk management.

JIŘÍ HORÁK, PH.D. – head of the research group Modern Heating Systems at the Energy Research Centre, Centre for Energy and Environmental Technologies at the VŠB-TU Ostrava, Czech Republic. He graduated his master degree in the study program Mechanical Engineering Technology at the VŠB-TU Ostrava, Czech Republic and his doctoral degree in the study program Environmental Protection in Industry at the VŠB-TU Ostrava, Czech Republic. His research and professional interests include modern heating systems of households, quality of solid fuels combustion, efficiency of combustion devices, pollutant emissions, dimensional characteristics of dust particles – nanoparticles and education of operators of small boilers and stoves. He is known as Smokeman with his educational show presented in the Czech Republic and abroad. He is the author or co-author of more than one hundred of manuscripts in international and national journals on combustion technologies and pollutant emissions from solid fuels combustion in households.

LENKA KUBOŇOVÁ, PH.D. – researcher at the Energy Research Centre, Centre for Energy and Environmental Technologies at the VŠB-TU Ostrava, Czech Republic. She graduated her master degree in the study program Chemical Engineering at the VŠB-TU Ostrava, Czech Republic and her doctoral degree in the study program Nanotechnology at the VŠB-TU Ostrava, Czech Republic. During her studies, she had several international experiences and she has focused on cooperation with international partners during her professional life as well. Her current research and professional interests include pollutant emissions, secondary cleaning of flue gases, nanoparticles and fuel analysis. She is the author or co-author of 40 manuscripts in international journals on catalysis, adsorption, combustion technologies, pollutant emissions, secondary cleaning of flue gases and fuel analysis.

TESTOWANIE WYROBÓW INNOWACYJNYCH CNBOP-PIB



CEL

Sprawdzanie przydatności urządzeń i sprzętu do stosowania w działaniach ratowniczo-gaśniczych

Użytkowanie wyrobów innowacyjnych w ochronie przeciwpożarowej i na rzecz ochrony ludności

Inspirowanie innowacyjności producentów wyrobów



KORZYŚCI

Jakość oraz funkcjonalność wyrobów stosowanych w ochronie przeciwpożarowej

Opinie i sugestie dla producenta stymulujące rozwój wyrobów

Baza sprawdzonych wyrobów i rozwiązań – wykaz wydanych Opinii i Rekomendacji



ZAŁOŻENIA

Praktyczne testowanie podczas ćwiczeń i/lub działań ratowniczo-gaśniczych

Wyroby przekazywane do testowania w drodze umowy użyczenia

Standardowy czas testowania
– 2 miesiące od dostarczenia do jednostki testującej

Transparentna współpraca
producent ↔ użytkownik końcowy



CENTRUM NAUKOWO-BADAWCZE
OCHRONY PRZECIWPÓŻAROWEJ
im. Józefa Tuliszkowskiego
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY



Bogdan Kołcz^{a)*}

^{a)} *The Jan Grodek State University in Sanok / Uczelnia Państwowa im. Jana Grodka w Sanoku*

* *Corresponding author / Autor korespondencyjny: bkolcz@up-sanok.edu.pl*

Categorisation of Hazards Caused by Chemical Accidents and Disasters in Terms of Rescue Efforts

Kategoryzacja zagrożeń spowodowanych awariami i katastrofami chemicznymi w aspekcie podejmowanych działań ratowniczych

ABSTRACT

Aim: The main objectives of this article are to characterise chemical hazards and to identify the factors (circumstances) affecting the effectiveness of responses to them, the cooperation of rescue units and the local community. The article details the methods and principles of rescue operations undertaken when various hazards are present.

Introduction: With the increasing chemicalisation of the economy, at the same time indispensable in people's daily lives, the associated chemical and environmental risks are increasing. The article presents their typology based on the sources of potential incidents. The categorisation was narrowed down to hazards caused by industrial plants using chemicals and their mixtures and transport units transporting dangerous goods. The typology also includes references to selected organisational elements of rescue and firefighting operations affecting their effectiveness.

Methodology: The typology also includes references to selected organisational elements of rescue and firefighting operations affecting their effectiveness. The research also used a diagnostic survey with a questionnaire, system observation and own experience from the current organisation of WPOR, ZPOR exercises in ZDR in cooperation with PSP. Materials published by the Headquarters of the National Fire Service were used to collect the data. An analysis of possible emergency events involving chemical agents posing a potential threat to human life, property and the environment was carried out.

Conclusions: The essence of actions in the context of chemical rescue is to minimise the hazard, to establish the location of the source of the emission in a short time and to stop the releasing chemical substance. These elements are influenced by the even distribution of forces and resources across the country. Recognition of chemical emissions is also an important element, which will be facilitated by the participation of a representative of the engineering and technical team representing the plant. On the other hand, an important step in recognising the threat will be the implementation by SGRChem – in all provinces – of readiness level C on conducting imaging reconnaissance using advanced technical means. This is particularly the case in the provinces of the eastern part of Poland, where chemical groups mostly only implement A and B levels.

Keywords: chemical hazard, hazardous substance, chemical rescue, high risk facility, high risk facility

Type of article: review article

Received: 31.10.2023; Reviewed: 21.11.2023; Accepted: 29.11.2023;

Author's ORCID ID: B. Kołcz – 0000-0002-2113-2905;

Please cite as: SFT Vol. 62 Issue 2, 2023, pp. 64–85, <https://doi.org/10.12845/sft.62.2.2023.4>;

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

ABSTRAKT

Cel: Głównie cele niniejszego artykułu obejmują charakterystykę zagrożeń chemicznych oraz identyfikację czynników (okoliczności) wpływających na skuteczność podejmowanych w związku z nimi akcji, współpracę jednostek ratowniczych oraz społeczność lokalną. W artykule wyszczególniono metody i zasady podejmowanych działań ratowniczych w przypadku występowania różnych zagrożeń.

Wprowadzenie: Wraz z postępującą chemizacją gospodarki, jednocześnie niezbędną w życiu codziennym człowieka, rośnie liczba związanych z nią zagrożeń chemicznych i ekologicznych. W artykule przedstawiona została ich typologia oparta na źródłach potencjalnych zdarzeń. Kategoryzację zawężono do zagrożeń powodowanych przez zakłady przemysłowe stosujące substancje chemiczne i ich mieszaniny oraz jednostki transportowe przewożące towary niebezpieczne. W typologii zawarto również odniesienia do wybranych elementów organizacyjnych działań ratowniczo-gaśniczych mających wpływ na ich skuteczność.

Metodologia: W związku z realizacją celu pracy analizie poddana została literatura z zakresu badanego problemu, a także obowiązujące akty prawne dotyczące ochrony środowiska, przewozu materiałów niebezpiecznych oraz właściwości substancji chemicznych i ich mieszanin. W badaniach wykorzystano również sondaż diagnostyczny z ankietą, obserwację systemową oraz doświadczenie własne z bieżącej organizacji ćwiczeń WPOR, ZPOR w ZDR

we współdziałaniu z PSP. W celu zgromadzenia danych wykorzystano materiały publikowane przez Komendę Główną Państwowej Straży Pożarnej. Dokonano analizy możliwych zdarzeń awaryjnych z udziałem czynników chemicznych stwarzających potencjalne zagrożenie dla życia ludzkiego, mienia oraz środowiska naturalnego.

Wnioski: Istotą działań w kontekście ratownictwa chemicznego jest ograniczanie do minimum zagrożenia, ustalenie w krótkim czasie lokalizacji źródła emisji oraz zatrzymanie uwalniającej się substancji chemicznej. Wpływ na te elementy ma równomierne w skali kraju rozmieszczenie sił i środków. Istotnym elementem jest także rozpoznanie emisji substancji chemicznej, które usprawni udział przedstawiciela zespołu inżynierijno-technicznego reprezentującego dany zakład. Z kolei ważnym krokiem w rozpoznaniu zagrożenia będzie realizacja przez SGRChem – we wszystkich województwach – poziomu gotowości C dotyczącego prowadzenia rozpoznania obrazowego przy użyciu zaawansowanych środków technicznych. W szczególności dotyczy to województw wschodniej części Polski, w których grupy chemiczne w większości realizują wyłącznie poziomy A i B.

Słowa kluczowe: zagrożenie chemiczne, substancja niebezpieczna, ratownictwo chemiczne, zakład o dużym ryzyku, zakład zwiększonego ryzyka

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 31.10.2023; **Zrecenzowany:** 21.11.2023; **Zaakceptowany:** 29.11.2023;

Identyfikator ORCID autora: B. Kołcz – 0000-0002-2113-2905;

Proszę cytować: SFT Vol. 62 Issue 2, 2023, pp. 64–85, <https://doi.org/10.12845/sft.62.2.2023.4>;

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

Introduction

Combating chemical and environmental hazards is one of the primary tasks of the state administration and its subordinate emergency services. Effective action in this regard is possible provided that there is a proper flow of information, that activities are carried out efficiently and that services are properly coordinated in anticipation of the development of a given emergency situation.

Rescue determinants are understood as relatively constant factors that have a significant impact on the nature of chemical-ecological rescue in Poland. These are mainly due to the characteristics of contemporary threats, the state of the organisation and the technical capacity to deal with a given threat. Rescue should be seen as a dynamic process that is constantly changing. Chemical rescue is directly linked to the progress of civilisation and the needs of people.

According to the Act of 18 April 2002 on the state of natural disasters, a technical failure is defined as “sudden, unforeseen damage or destruction of a building, a technical facility or a system of technical facilities causing interruption of their use or loss of their properties” [1]. The most universal definition of a failure may be a condition in which there is a malfunction of a particular process, system, equipment, device that prevents it from operating, occurring suddenly, mostly unexpectedly and causing it to malfunction or become completely inoperable. On the other hand, a chemical disaster is defined as “an extraordinary event with a significant number of casualties and widespread ecological effects, the consequences of which cannot be controlled by the resources at hand and external assistance is required” [2]. A chemical accident or disaster is also described in chemical emergency response as “a sudden uncontrolled release of a chemical substance posing a fire, toxic or explosive hazard” [3]. A chemical catastrophe arises unexpectedly, its course is violent, of very high intensity, triggering

Wprowadzenie

Zwalczanie zagrożeń chemicznych i ekologicznych jest jednym z podstawowych zadań administracji państwowej oraz podległych jej służb ratowniczych. Skuteczne działanie w tym zakresie jest możliwe pod warunkiem właściwego przepływu informacji, efektywnego wykonywania czynności oraz odpowiedniej koordynacji służb uwzględniającej przewidywanie rozwoju danej sytuacji zagrożenia.

Przez uwarunkowania ratownictwa rozumie się względnie stałe czynniki, które mają istotny wpływ na charakter ratownictwa chemiczno-ekologicznego w Polsce. Wynikają one głównie z cech współczesnych zagrożeń, stanu organizacji i możliwości technicznych likwidacji danego zagrożenia. Ratownictwo należy traktować jako dynamiczny proces, który podlega ciągłym zmianom. Ratownictwo chemiczne wiąże się bezpośrednio z postępem cywilizacyjnym oraz potrzebami ludzi.

W myśl ustawy z dnia 18 kwietnia 2002 r. o stanie klęski żywiołowej awarię techniczną rozumie się jako „gwałtowne, nieprzewidziane uszkodzenie lub zniszczenie obiektu budowlanego, urządzenia technicznego lub systemu urządzeń technicznych powodujące przerwę w ich używaniu lub utratę ich właściwości” [1]. Najbardziej uniwersalną definicją awarii może być taki stan, w którym występuje niesprawność danego procesu, systemu, sprzętu, urządzenia uniemożliwiający jego działanie, pojawiający się nagle, przeważnie niespodziewanie i powodujący jego niewłaściwe funkcjonowanie lub całkowite unieruchomienie. Katastrofa chemiczna natomiast określana jest jako „nadzwyczajne zdarzenie ze znaczną liczbą poszkodowanych i rozległymi skutkami ekologicznymi, których następstw nie można opanować za pomocą posiadanych środków i jest potrzebna pomoc z zewnątrz” [2]. Awarię lub katastrofę chemiczną opisuje się również w ratownictwie chemicznym jako „nagłe niekontrolowane uwolnienie się substancji chemicznej, stwarzającej zagrożenie pożarowe, toksyczne lub

all sorts of physico-chemical reactions. Such an event is difficult to predict, as it can occur during transport by road or rail, as well as during the process or storage itself at an establishment with a major or high risk of a major accident or at an establishment below the major accident risk threshold. The consequence can be the release of a hazardous substance and create a high risk to human health and life, the environment and property.

Today, significant quantities of substances with a wide range of physical and chemical properties are used in transport and industrial plants. The risk is mainly due to the increase in the number of such substances on the market, but also to their properties, e.g. acutely toxic, corrosive, irritant, environmentally hazardous or highly flammable [4].

Examples of substances with the above-mentioned physico-chemical properties are:

- ammonia – toxic, gas, corrosive with a pungent odour, freely soluble in water, mixture of ammonia with oxygen may be explosive, above a concentration of 15%,
- chlorine – a highly irritant gas, corrosive when producing hydrogen chloride in contact with moist mucous membranes or damp skin,
- hydrogen chloride – poisonous, highly irritant and corrosive, fuming gas with a pungent suffocating odour, heavier than air, non-flammable, freely soluble in water,
- hydrogen cyanide – highly toxic, slightly lighter than air, well soluble in water,
- phosgene – a highly toxic gas with an irritant effect, poorly soluble in water,
- hydrogen sulphide – a highly toxic gas, heavier than air, soluble in water.

Substances that react exothermically are also a challenge for the emergency services. The release of large amounts of heat can become the cause of a fire or explosion. The rapid emission of heat energy can also lead to a loss of leakage in a process or storage installation. Uncontrolled thermal decomposition of the material can also result in damage to the tanks or packaging in which the substances are transported. An example is ammonium(V) nitrate, which can react violently with flammable substances, eventually leading to an explosion.

Most often, hazards are caused by inappropriate human economic activities, resulting from the use of outdated technologies in industry or means of transport. The consequence is usually the release of hazardous substances or mixtures that are highly toxic, flammable or explosive. The effects of the impact are either immediate or reveal themselves with a delay. In the latter situation, they can prove to be long-lasting and often irreversible.

Risks from chemical accidents and disasters have a major impact on human and environmental safety. It should be emphasised that the primary sources of risk are industrial plants using dangerous substances and mixtures and means of transport with dangerous goods. Other risks also need to be considered, which in today's circumstances are highly likely. In this respect, hazards – due to their (nature of) type – can be divided into fires of hazardous substances and emissions of hazardous substances into the atmosphere.

wybuchowe” [3]. Katastrofa chemiczna powstaje niespodziewanie, jej przebieg jest gwałtowny, o bardzo dużej intensywności, wywołujący różnego rodzaju reakcje fizykochemiczne. Takie zdarzenie jest trudne do przewidzenia, gdyż może wystąpić w trakcie transportu drogowego lub kolejowego, jak również podczas procesu technologicznego czy samego magazynowania w zakładzie o zwiększonym lub dużym ryzyku wystąpienia poważnej awarii przemysłowej bądź w zakładzie poniżej progu ryzyka poważnej awarii. Następstwem może być uwolnienie substancji niebezpiecznej i stworzenie dużego zagrożenia dla zdrowia i życia ludzkiego, środowiska naturalnego i stanu materialnego.

Obecnie w transporcie i w zakładach przemysłowych używane są znaczne ilości substancji o różnorodnych właściwościach fizykochemicznych. Zagrożenie wynika przede wszystkim ze wzrostu ilości takich substancji znajdujących się w obrocie, ale również z ich właściwości, np. ostro toksycznych, żrących, drażniących, niebezpiecznych dla środowiska czy wysoce łatwopalnych [4].

Przykładami substancji o ww. właściwościach fizykochemicznych są:

- amoniak – toksyczny gaz, żrący, o ostrej woni, dobrze rozpuszczalny w wodzie, jego mieszanina z tlenem może być wybuchowa, powyżej stężenia 15%,
- chlor – gaz silnie drażniący, żrący przy wytworzeniu chlorowodoru w zetknięciu z wilgotnymi błonami śluzowymi lub wilgotną skórą,
- chlorowodór – trujący, wywierający silne działanie drażniące i żrące, dymiący gaz o ostrej duszącej woni, cięższy od powietrza, niepalny, dobrze rozpuszczający się w wodzie,
- cyjanowodór – bardzo toksyczny, nieco lżejszy od powietrza, dobrze rozpuszczający się w wodzie,
- fosgen – bardzo toksyczny gaz o działaniu drażniącym, słabo rozpuszczający się w wodzie,
- siarkowodór – bardzo toksyczny gaz, cięższy od powietrza, rozpuszczający się w wodzie.

Wyzwaniem dla służb ratowniczych są także substancje wchodzące w reakcje egzotermiczne. Wydzielanie dużych ilości ciepła może stać się przyczyną pożaru lub wybuchu. Gwałtowna emisja energii cieplnej może także doprowadzić do utraty szczelności instalacji procesowej czy magazynowej. Wskutek niekontrolowanego rozkładu cieplnego materiału może również dochodzić do uszkodzenia cystern czy opakowań, w których substancje te są przewożone. Przykładem jest azotan(V)amoniaku, który może gwałtownie reagować z substancjami łatwopalnymi, w efekcie prowadząc do wybuchu.

Najczęściej zagrożenia powodowane są przez niewłaściwą działalność gospodarczą człowieka, wynikającą ze stosowania w przemyśle czy środkach transportu przestarzałych technologii. Następstwem jest przeważnie uwolnienie się substancji lub mieszanin niebezpiecznych o dużej toksyczności, łatwopalności czy wybuchowości. Skutki oddziaływania są natychmiastowe albo ujawniają się z opóźnieniem. W tej drugiej sytuacji mogą okazać się długotrwałe i często nieodwracalne.

Zagrożenia wynikające z awarii i katastrof chemicznych mają zasadniczy wpływ na bezpieczeństwo ludzi i środowisko. Podkreślić należy, że podstawowym źródłem zagrożeń są zakłady

Given these considerations, it remains a research problem to analyse emergency events that may cause various consequences due to the presence of chemical agents that pose a potential threat to human life, property and the environment. The second major research problem remains the question of the extent to which these hazards become apparent, what factors to look out for when chemical hazards occur, and what impact they have on the action taken by emergency responders. The main objectives of this publication include the characterisation of chemical hazards and the identification of factors (circumstances) arising during these incidents and affecting the effectiveness of operations, the cooperation of emergency services with other services and the impact on the local community. The research was carried out using a diagnostic survey method and data published by the Headquarters of the National Fire Service. With a view to achieving the main objective of the study, the literature on the problem studied was analysed, as well as the legal acts in force in the areas of environmental protection and transport of hazardous materials, and the properties of chemical substances and their mixtures. The article was reviewed in the areas of issues relating to the hazards posed by hazardous substances in a real-world setting, the possibility of identifying the factors causing the hazard and affecting the surrounding environment, including those taking action to reduce and eliminate the hazard present.

Fire hazards involving dangerous substances

A significant proportion of hazardous substances belong to flammable and explosive compounds, which in practice is confirmed by the occurrence of fires during chemical accidents and disasters. Industrial fires release large quantities of toxic and other substances. The amount of them depends on a number of factors, the most important being the chemical structure of the fuel. For example, burning small amounts of methyl alcohol produces a flame without smoke particles. In case of hydrocarbon fuels, e.g. hexane, naphthalene, the density of the combustion products will increase with increasing molecular weight. The intensity of the combustion products will also depend on the thermal decomposition rate of the fuel, the ignition temperature, and the chemical composition. The heat that comes from the flame to the surface of the liquid is used to heat that surface to its boiling point and vaporise it. If the rate of evaporation of the liquid (equivalent to the rate of combustion) is not great, such as in case of crude oil, the heat received from the flame will be

przemysłowe stosujące substancje i mieszaniny niebezpieczne oraz środki transportu z towarami niebezpiecznymi.

Należy również rozważyć inne zagrożenia, które we współczesnych uwarunkowaniach są wysoce prawdopodobne. W tym zakresie zagrożenia – ze względu na ich (charakter) rodzaj – można podzielić na pożary substancji niebezpiecznych oraz emisje substancji niebezpiecznych do atmosfery.

Biorąc pod uwagę powyższe uwarunkowania, problemem badawczym pozostaje analiza zdarzeń awaryjnych, które mogą powodować różne następstwa wynikające z obecności czynników chemicznych stwarzających potencjalne zagrożenie dla życia ludzkiego, mienia i środowiska naturalnego. Drugim istotnym problemem badawczym pozostaje odpowiedź na pytanie, w jakim zakresie zagrożenia te się uwidaczniają, na jakie czynniki należy zwracać uwagę podczas wystąpienia zagrożeń chemicznych oraz jaki mają one wpływ na podjęcie działań przez podmioty ratownicze. Cele główne niniejszej publikacji obejmują charakterystykę zagrożeń chemicznych oraz identyfikację czynników (okoliczności) powstających podczas tych zdarzeń, a mających wpływ na skuteczność działań, współpracę służb ratowniczych z innymi służbami oraz oddziaływanie na społeczność lokalną. Badania przeprowadzone zostały z wykorzystaniem metody sondażu diagnostycznego oraz danych publikowanych przez Komendę Główną Państwowej Straży Pożarnej. W związku z realizacją celu głównego pracy, analizie poddana została literatura z zakresu badanego problemu, jak również obowiązujące akty prawne w obszarach ochrony środowiska i przewozu materiałów niebezpiecznych, a także właściwości substancji chemicznych i ich mieszanin. Artykuł został zweryfikowany w obszarach zagadnień dotyczących zagrożeń stwarzanych przez substancje niebezpieczne w uwarunkowaniach rzeczywistych, możliwości identyfikacji czynników powodujących zagrożenie i oddziałujących na otaczające środowisko, w tym na podmioty podejmujące działania ograniczające i likwidację występującego zagrożenia.

Zagrożenia pożarami z udziałem substancji niebezpiecznych

Znaczna część substancji niebezpiecznych należy do związków łatwopalnych i wybuchowych, co w praktyce potwierdza się występowaniem pożarów podczas awarii i katastrof chemicznych. Pożary przemysłowe powodują wydzielanie się dużych ilości substancji o właściwościach toksycznych i innych. Ilość ich uzależniona jest od wielu czynników, najważniejszym jest budowa chemiczna paliwa. Przykładowo spalanie małych ilości alkoholu metylowego daje płomień bez cząstek dymu. W przypadku paliw węglowodorowych, np. heksanu, naftalenu, gęstość produktów spalania będzie wzrastać wraz ze wzrostem ciężaru cząsteczkowego. Intensywność produktów spalania będzie również uzależniona od szybkości rozkładu termicznego paliwa, temperatury zapalenia oraz składu chemicznego. Ciepło, które dochodzi z płomienia do powierzchni cieczy, jest zużywane na ogrzanie tej powierzchni do temperatury wrzenia i jej odparowania. Jeśli szybkość parowania cieczy (równoznaczna z szybkością spalania) jest nieduża, np. w przypadku ropy naftowej, to

consumed to heat the liquid, causing it to superheat in depth. Thus, the lower the rate of combustion, the greater the overheating of the liquid into the depths, e.g. of an oil tank, causing what is known as the liquid ejection phenomenon or the ejection of the liquid outside the tank. Such a phenomenon causes great damage and additional risks not only to the emergency services but also to the environment. This situation is possible for a liquid in which water is present, an example being the crude oil mentioned earlier, which contains about 1% water. Then, as the liquid heats up, the water molecules in the liquid fall (due to the reduced viscosity of the top layer of the liquid) to the bottom of the tank and, when they reach a certain temperature, evaporate, causing the contents of the flammable liquid to be ejected from the tank to the outside and the fire to spread. Flammable liquids and substances that melt when exposed to heat (e.g. petrol, paraffin and its derivatives, alcohol, acetone, ether, oils, varnishes, fats, paraffin, stearin, naphthalene, tar) ignite when a vapour-air mixture forms over the top of the liquid under the influence of evaporation. This is why it is such an important tactical factor during firefighting operations not to apply water as an extinguishing agent to flammable liquids. An example is the 1971 fire at the Czechowice-Dziedzice refinery. In this incident, tens of thousands of litres of water entered the tank while the fire was being extinguished and was heated by the oil burning in the tray. After some time, this water reached its boiling point and began to move towards the top of the tank. By lifting the lighter crude oil, it has caused it to eject over a distance of up to more than 200m in some places. The incident resulted in the deaths of firefighters, soldiers and OSP members.

The combustion of gases (e.g. methane, acetylene, propane, hydrogen, town gas) takes place in the contact layer between the gas stream and the air. Flammable gases are easily ignited from the slightest heat source, even from a spark or the embers of a cigarette. They pose a high risk especially if they mix with air and are set on fire in an enclosed space. An explosion of a gas-air mixture can cause serious damage to buildings (e.g. blocks of flats) and even beyond.

Another hazard occurring during fires is the formation of so-called smog (fog intensified by smoke) [5]. It is an unnatural atmospheric phenomenon involving the co-occurrence of man-made air pollution and unfavourable natural atmospheric phenomena, high humidity and lack of wind [6]. The harmful chemicals, dust and significant humidity that are part of smog are a health hazard. This is because they are allergenic agents and can trigger asthma and cause exacerbation of chronic bronchitis, respiratory failure or paralysis of the circulatory system.

Industrial fires produce a lot of smoke-forming compounds that pose a risk to nearby residents. In this respect, the emergency plans being prepared should include, in accordance with the Act of 27 April 2001 Environmental Protection Law, proposals for methods and measures to protect people and the environment from the effects of an industrial accident, as well as information about the existing hazards, the preventive measures taken and the actions that will be implemented during an industrial accident. Fires cause atmospheric contamination often over a wide area and necessitate an immediate

ciepło otrzymane z płomienia będzie zużywane na ogrzanie cieczy, co spowoduje jej przegrzewanie w głąb. Zatem im mniejsza szybkość spalania, tym większe jest przegrzewanie się cieczy w głąb, np. w zbiorniku ropy naftowej, powodujące tzw. zjawisko wykipienia cieczy lub wyrzutu cieczy na zewnątrz zbiornika. Zjawisko takie powoduje duże zniszczenia i dodatkowe zagrożenia nie tylko dla służb ratowniczych, ale również dla środowiska. Sytuacja taka jest możliwa dla cieczy, w której występuje woda, a przykładem może być tutaj wspomniana wcześniej ropa naftowa, w skład której wchodzi ok. 1% wody. Wówczas podczas nagrzewania się cieczy, zawarte w niej cząsteczki wody opadają (w związku ze zmniejszeniem się lepkości górnej warstwy cieczy) na dno zbiornika i gdy osiągną określoną temperaturę, wyparowują, powodując wyrzucenie zawartości cieczy palnej ze zbiornika na zewnątrz i rozprzestrzenianie się pożaru. Ciecze palne i substancje topiące się pod wpływem ciepła (np. benzyna, nafta i jej pochodne, alkohol, aceton, eter, oleje, lakiery, tłuszcze, parafina, stearyna, naftalen, smoła) ulegają zapaleniu, gdy pod wpływem parowania nad górną warstwą cieczy utworzy się mieszanina par z powietrzem. Dlatego tak ważnym czynnikiem taktycznym podczas działań gaśniczych jest niepodawanie wody jako środka gaśniczego na ciecze palne. Przykładem może być pożar w 1971 r. rafinerii w Czechowicach-Dziedzicach. W tym zdarzeniu podczas gaszenia pożaru do zbiornika dostało się kilkadziesiąt tysięcy litrów wody, które były podgrzewane przez palącą się na tacy ropę. Po pewnym czasie woda ta osiągnęła temperaturę wrzenia i rozpoczęła przemieszczanie się ku górze zbiornika. Podnosząc lżejszą ropę naftową, spowodowała ona jej wyrzut na odległość w niektórych miejscach nawet ponad 200 m. W wyniku tego zdarzenia zginęli strażacy, żołnierze oraz członkowie OSP.

Spalanie gazów (np. metanu, acetyleny, propanu, wodoru, gazu miejskiego) odbywa się w warstwie stykania się strumienia gazu z powietrzem. Gazy palne ulegają łatwemu zapaleniu od najmniejszego źródła ciepła, nawet od iskry lub żaru papierosa. Stanowią duże zagrożenie szczególnie wtedy, gdy wymieszają się z powietrzem i zostaną podpalone w pomieszczeniu zamkniętym. Wybuch mieszaniny gazowo-powietrznej może dokonać poważnych zniszczeń w budynkach (np. blokach mieszkalnych), a nawet poza ich obrębem.

Innym zagrożeniem występującym podczas pożarów jest tworzący się tzw. smog (ang. *fog intensified by smoke*, mgła wzmocniona przez dym) [5]. To nienaturalne zjawisko atmosferyczne polegające na współwystępowaniu zanieczyszczeń powietrza spowodowanych działalnością człowieka oraz niekorzystnych naturalnych zjawisk atmosferycznych, dużej wilgotności powietrza i braku wiatru [6]. Wchodzące w skład smogu szkodliwe związki chemiczne, pyły i znaczna wilgotność są zagrożeniem dla zdrowia. Stanowią bowiem czynniki alergizujące i mogą wywołać astmę, a także powodować zaostrzenie przewlekłego zapalenia oskrzeli, niewydolność oddechową lub paraliż układu krwionośnego.

Podczas pożarów przemysłowych powstaje dużo związków dymotwórczych, które stwarzają zagrożenie dla przebywających w pobliżu mieszkańców. W tym zakresie opracowywane plany operacyjno-ratownicze powinny zawierać, w myśl ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, propozycje metod

response in terms of warning the population and evacuating those at risk.

Fires in road or rail transport do not occur often, but when they do, they pose a serious threat to the environment. This is especially true if a hazardous substance is leaked at the same time. Most fires are caused by vehicles colliding with or striking objects in their path. Depending on the type of substance being transported, there may be a risk of explosion and, depending on the location of the incident, the consequences of such an explosion can be very high. However, the greatest danger is for people who become trapped inside cars, buses or trains. Experience shows that, most often, it is very difficult to reach these people due to external hazards caused by the presence of a hazardous substance, the possibility of a sudden explosion, high temperatures, limited visibility, but also due to extensive damage to vehicles.

Particularly dangerous are large goods train fires involving tankers carrying dangerous goods, when many lives are at risk. These activities are very dangerous for a number of reasons. Usually, after a fire starts at an unfavourable point on a railway route, the first rescue units arrive within a few minutes to a few tens of minutes. Until then, the effectiveness of the rescue operation depends only on the efficient operation of the railway services (alarming, disconnecting and rolling the train, evacuating passengers). It is very important to stop the train quickly. It is also important to bear in mind that there may be difficulties with the water supply on site. During a train fire involving a chemical substance, a great many people may be exposed to danger. The rate of spread of a fire in wagons will depend on a number of factors, including the speed of the train, the location of the fire, the design of the wagons, weather conditions, terrain, and the loads carried in the wagons concerned. If the rescue services arrive at the scene of a fire before the overhead line is switched off, they may proceed with limited extinguishing, i.e. only inside the rolling stock and only with hand-held fire-fighting equipment containing suitable extinguishing agents, taking special precautions. External extinguishing shall not be allowed until authorised by the power supply dispatcher handed over to the action commander by the driver, the on-call traffic officer or the network emergency foreman or other authorised railway employee. In exceptional cases, this information can be confirmed by the control desk after receiving prior confirmation from the said power dispatcher. Rail tank cars containing flammable liquids and gases or other hazardous chemicals pose a very high risk, so prompt recognition of the danger in this type of situation is enormously important. Such tanks can explode, causing a fire to spread. In such an incident, it is important to effectively apply foam currents to contain and extinguish the fire and, very importantly, using a suitable foaming agent that is resistant to alcohols, e.g. AFFF for polar liquid fires. It should be remembered that extinguishing a fire with an unrecognised medium involves the risk of emission [7], e.g. of a hazardous substance or mixture, and the only form of neutralisation would be incineration. Due to the existence of various hazards, emergency services take special care when extinguishing fires on or near live electrical equipment. Fires damage electrical cables and spills of water created during operations can promote

i środków służących ochronie ludzi i środowiska przed skutkami awarii przemysłowej, jak również informacje o występujących zagrożeniach, podjętych środkach zapobiegawczych i działaniach, które będą realizowane podczas wystąpienia awarii przemysłowej. Pożary wywołują skażenia atmosfery niejednokrotnie na dużym obszarze i powodują konieczność natychmiastowej reakcji w zakresie ostrzegania ludności i ewakuacji osób zagrożonych.

Pożary w transporcie drogowym lub kolejowym nie występują często, jeżeli jednak do nich dochodzi, stanowią poważne zagrożenie dla otoczenia. Dotyczy to szczególnie sytuacji, gdy jednocześnie następuje wyciek substancji niebezpiecznej. Najczęściej pożary powstają w wyniku zderzenia się pojazdów lub uderzenia przez nie w znajdujące się na ich drodze obiekty. W zależności od rodzaju przewożonej substancji może wystąpić zagrożenie wybuchem, a w zależności od miejsca zdarzenia, skutki takiego wybuchu mogą być bardzo duże. Na największe niebezpieczeństwo narażone są jednak osoby, które zostają uwięzione wewnątrz samochodów, autobusów lub pociągów. Doświadczenie wskazuje, że najczęściej dotarcie do tych osób jest bardzo utrudnione ze względu na zagrożenie zewnętrzne spowodowane obecnością substancji niebezpiecznej, możliwością nagłego wybuchu, wysoką temperaturą, ograniczoną widocznością, ale również z uwagi na duże zniszczenia pojazdów.

Szczególnym zagrożeniem są duże pożary pociągów towarowych z udziałem cystern przewożących towary niebezpieczne, kiedy narażone jest życie wielu osób. Działania te są bardzo niebezpieczne z wielu powodów. Zwykle po powstaniu pożaru w niekorzystnym punkcie szlaku kolejowego pierwsze jednostki ratownicze przybywają w czasie od kilku do kilkudziesięciu minut. Do tego czasu skuteczność akcji ratowniczej zależy tylko od sprawnego działania służb kolejowych (alarmowanie, rozłączenie i przetoczenie pociągu, ewakuacja pasażerów). Bardzo istotną sprawą jest szybkie zatrzymanie pociągu. Należy także pamiętać o tym, że na miejscu zdarzenia mogą wystąpić trudności z zaopatrzeniem w wodę. Podczas powstania pożaru pociągu z substancją chemiczną na niebezpieczeństwo może być narażone bardzo wiele osób. Szybkość rozprzestrzeniania się pożaru w wagonach zależy będzie od wielu czynników, m.in. od szybkości poruszania się pociągu, miejsca powstania pożaru, konstrukcji wagonów, warunków atmosferycznych, ukształtowania terenu, przewożonych w danych wagonach ładunków. Jeżeli służby ratownicze przybędą na miejsce pożaru przed wyłączeniem napięcia w sieci trakcyjnej, mogą przystąpić do gaszenia w ograniczonym zakresie, to znaczy tylko wewnątrz taboru i tylko przy użyciu podręcznego sprzętu gaśniczego zawierającego odpowiednie środki gaśnicze, z zachowaniem szczególnych środków ostrożności. Dopuszczenie do gaszenia z zewnątrz może nastąpić dopiero po otrzymaniu zezwolenia od dyspozytora zasilania przekazanego dowódcy akcji przez maszynistę, dyżurnego ruchu lub brygadzystę pogotowia sieciowego bądź innego uprawnionego pracownika kolei. W wyjątkowych przypadkach informację tę może potwierdzić stanowisko kierowania po otrzymaniu uprzednio potwierdzenia od wspomnianego dyspozytora zasilania. Cysterny kolejowe zawierające ciecze i gazy łatwopalne lub inne niebezpieczne chemikalia stanowią bardzo duże zagrożenie, dlatego też szybkie rozpoznanie niebezpieczeństwa w tego typu sytuacji jest niezwykle ważne. Cysterny takie mogą eksplodować, powodując rozprzestrzenienie

electrocution. During fires, discharges can occur between the live catenary and the ground in an ionised layer of heated air. It is very important to carry out an early reconnaissance of whether there are any tankers containing flammable substances or other hazardous materials on the train. Warming by the heat of a fire of tanks with liquids or gases will cause an increase in pressure, leading to the risk of physical and chemical explosions. Liquids can then be expelled and create spills. During such incidents, it is essential to cover spills with foam, to cool tankers and tanks and to carry out preventive measures so that leaked substances do not contaminate the soil and the atmosphere. Before extinguishing a spill or leak, careful consideration should be given to whether extinguishing the fire will increase the risk and whether it would not be more beneficial to take action to separate and relocate the undamaged stockpile and carry out defensive action while controlling the burning of the substance.

Hazards caused by emissions of hazardous substances

An increasing number of chemical and environmental incidents can be observed in the recent years. In 2010, a total of 2267 such incidents were recorded, while in 2015 there were already 6518, with 8169 in 2022 [8]. The growing chemical industry gives society consumerism on the one hand and unpredictable risks on the other. The inadequacy of the progress of civilisation is most often the cause of incidents that pose a threat to public safety. Emerging risks are caused by the natural unreliability of equipment, non-compliance with technological regimes, improper storage and transport of hazardous materials. Hazards caused by activities are mainly chemical accidents or disasters. The number of incidents involving a hazardous substance between 2019 and 2022 is shown in Figure 1.

się pożaru. W takim zdarzeniu ważne jest skuteczne podanie prądów piany w celu zabezpieczenia i ugaszenia pożaru i – co bardzo ważne – z zastosowaniem odpowiedniego środka pianotwórczego, który jest odporny na alkohole np. AFFF do pożarów cieczy polarnych. Pamiętać należy, że gaszenie pożaru z nierozpoznanym medium wiąże się z ryzykiem emisji [7], np. niebezpiecznej substancji lub mieszaniny, a jedyną formą neutralizacji byłoby spalanie.

Ze względu na istnienie różnych zagrożeń służby ratownicze zachowują szczególną ostrożność podczas gaszenia pożarów urządzeń elektrycznych pod napięciem lub pożarów w pobliżu tych urządzeń. Pożary niszczą przewody elektryczne, a rozlewiska wody powstałe w trakcie prowadzenia akcji mogą sprzyjać porażeniu prądem. Podczas pożarów mogą wystąpić wyładowania między siecią trakcyjną będącą pod napięciem a ziemią w zjonizowanej warstwie ogrzanego powietrza. Bardzo ważne jest przeprowadzenie wczesnego rozpoznania, czy w składzie pociągu nie znajdują się cysterny zawierające łatwopalne substancje lub inne materiały niebezpieczne. Ogrzewanie przez ciepło pożaru cystern z cieczami lub gazami będzie powodować wzrost ciśnienia, prowadząc do ryzyka wybuchów fizycznych i chemicznych. Ciecze mogą zostać wtedy wyrzucone i tworzyć rozlewiska. Podczas tego typu zdarzeń niezbędne jest pokrywanie rozlewisk pianą, chłodzenie cystern i zbiorników oraz prowadzenie działań zapobiegawczych, aby wyciekające substancje nie zanieczyściły gleby i atmosfery. Przed podjęciem gaszenia wycieku lub rozlewiska powinno się przeanalizować dokładnie, czy ugaszenie pożaru nie zwiększy zagrożenia i czy nie korzystniej będzie prowadzić działania ukierunkowane na oddzielenie i przemieszczenie niezniszczonego składu oraz na obronę z jednoczesnym kontrolowaniem procesu spalania substancji.

Zagrożenia spowodowane emisją substancji niebezpiecznych

W ostatnich latach można zauważyć rosnącą liczbę zdarzeń chemicznych i ekologicznych. W 2010 r. zanotowano łącznie 2267 takich incydentów, w 2015 r. było ich już 6518, z kolei w 2022 r. – 8169 [8]. Rozwijający się przemysł chemiczny daje z jednej strony społeczeństwu konsumpcyjność, natomiast z drugiej nieprzewidywalne zagrożenia. Niedoskonałość postępu cywilizacyjnego jest najczęściej przyczyną zdarzeń, które stwarzają zagrożenie dla bezpieczeństwa powszechnego. Powstające zagrożenia powodowane są przez zawodność naturalną urządzeń, nieprzestrzeganie reżimów technologicznych, niewłaściwe magazynowanie oraz transport materiałów niebezpiecznych. Zagrożenia wywołane działalnością to przede wszystkim awarie lub katastrofy chemiczne. Liczbę zdarzeń z udziałem substancji niebezpiecznej w latach 2019–2022 przedstawia rycina 1.

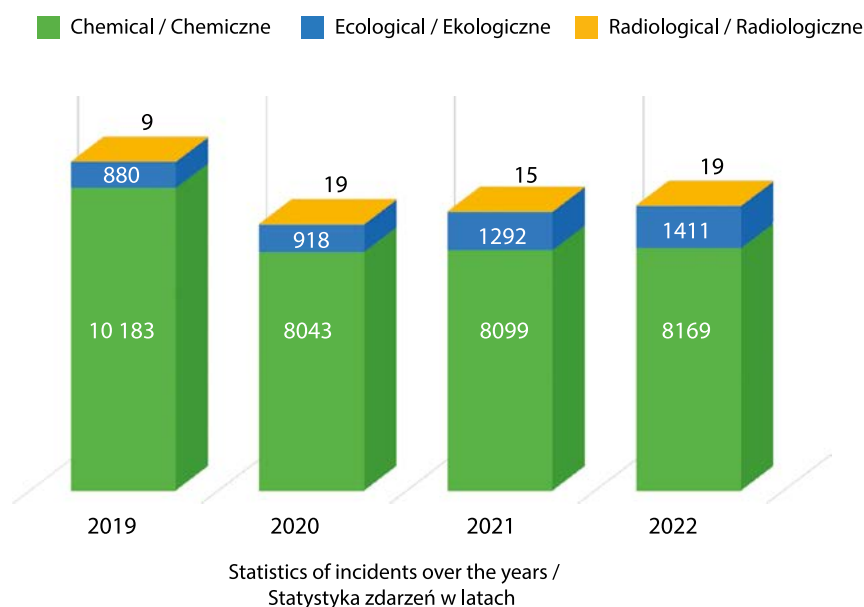


Figure 1. Number of incidents involving a hazardous substance in Poland
Rycina 1. Liczba zdarzeń z udziałem substancji niebezpiecznej w Polsce

Source: Own elaboration based on statistical data of KG PSP, www.gov.pl/kgpsp [access: 16.10.2023].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych statystycznych KG PSP, www.gov.pl/kgpsp [dostęp: 16.10.2023].

The above analysis of incidents shows that the overall occurrence of situations involving hazardous substances over several years is quite irregular, and statistical analysis of recorded incidents shows an upward rather than a downward trend. When it comes to the number of total incidents recorded in a given year, weather conditions (floods, high winds, snowfall) are usually the determining factors. On the other hand, in case of chemical events, it is not possible to list the factors that determine their occurrence. The most common causes are random situations that cannot be excluded or foreseen.

The chemical industry uses hazardous substances and mixtures with poisonous, flammable, explosive, corrosive properties in technological processes that pose a risk to humans and the environment. The aforementioned factors mean that there is a potential risk not only to the workers in the facilities, but also to the environment.

In order to reduce the action time of the units when locating and eliminating the source of danger, it becomes necessary to consider the possibility of introducing organisational elements that will improve the process of chemical rescue implementation. One of these is the first task contained in the regulation of 17 September 2021 on the detailed organisation of the national rescue and firefighting system concerning hazard recognition and identification [9]. Referring in this respect to selected safety elements in relation to the prevention of major industrial accidents, empirical research was undertaken in the second quarter of 2023 using the method of a diagnostic survey and questionnaires among employees of management teams and engineering and technical groups of high-risk establishments (ZDR) of a major industrial accident and rescuers of a specialised chemical-ecological rescue group. The survey included closed-ended questions that

Z powyższej analizy zdarzeń wynika, że występowanie sytuacji z udziałem substancji niebezpiecznych na przestrzeni kilku lat jest dość nieregularne, a analiza statystyczna odnotowywanych zdarzeń wykazuje tendencję wzrostową, a nie spadkową. W przypadku liczby wszystkich zdarzeń, które odnotowuje się w danym roku, czynnikami decydującymi są zazwyczaj warunki pogodowe (powodzie, silny wiatr, opady śniegu). Natomiast w przypadku zdarzeń chemicznych nie możemy wymienić czynników, które warunkują ich występowanie. Najczęściej przyczynami są niedające się wykluczyć lub przewidzieć sytuacje losowe.

Przemysł chemiczny wykorzystuje w procesach technologicznych substancje niebezpieczne i mieszaniny o właściwościach trujących, palnych, wybuchowych, żrących, stanowiących zagrożenie dla ludzi i środowiska. Wymienione czynniki powodują, że potencjalne zagrożenie może występować nie tylko dla pracowników zatrudnionych w zakładach, ale również dla otoczenia.

Aby skrócić czas działania jednostek podczas lokalizowania i likwidacji źródła zagrożenia, koniecznością staje się rozważenie możliwości wprowadzenia elementów organizacyjnych, które usprawnią proces realizacji ratownictwa chemicznego. Jednym z nich jest pierwsze zadanie zawarte w rozporządzeniu z dnia 17 września 2021 r. w sprawie szczegółowej organizacji krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego dotyczące rozpoznania i identyfikacji zagrożenia [9]. Odnosząc się w tym zakresie do wybranych elementów bezpieczeństwa wobec przeciwdziałania poważnym awariom przemysłowym, w II kwartale 2023 r. zostały podjęte badania empiryczne z wykorzystaniem metody sondażu diagnostycznego i ankiet wśród pracowników zespołów kierowania i grup inżynierjno-technicznych zakładów dużego ryzyka (ZDR) wystąpienia poważnej awarii przemysłowej oraz ratowników specjalistycznej grupy ratownictwa chemiczno-ekologicznego. W ankiecie zawarto pytania

required the selection of one or more answers about prevention, response and interaction in an emergency. Of the 19 questions, one concerned whether a trained, prepared and protected specialist plant operator familiar with the installation should join the PSP reconnaissance team to determine the source of the leak and chemical emissions, which could help reduce reconnaissance time. Respondents' indications regarding the introduction of a prepared plant specialist to assist the team in identifying the source of the hazard are shown in Figure 2.

zamknięte, które wymagały wybrania jednej lub kilku odpowiedzi na temat zapobiegania, reagowania i współdziałania w sytuacji awaryjnej. Spośród 19 pytań jedno dotyczyło rozstrzygnięcia kwestii, czy w celu ustalenia źródła rozszczelnienia i emisji substancji chemicznej do zespołu rozpoznania PSP powinien dołączyć przeszkolony, przygotowany i zabezpieczony specjalista-operator zakładu znający instalację, co mogłoby przyczynić się do skrócenia czasu rozpoznania. Wskazania respondentów w zakresie wprowadzenia przygotowanego specjalisty zakładu do pomocy zespołu rozpoznania źródła zagrożenia przedstawia rycina 2.

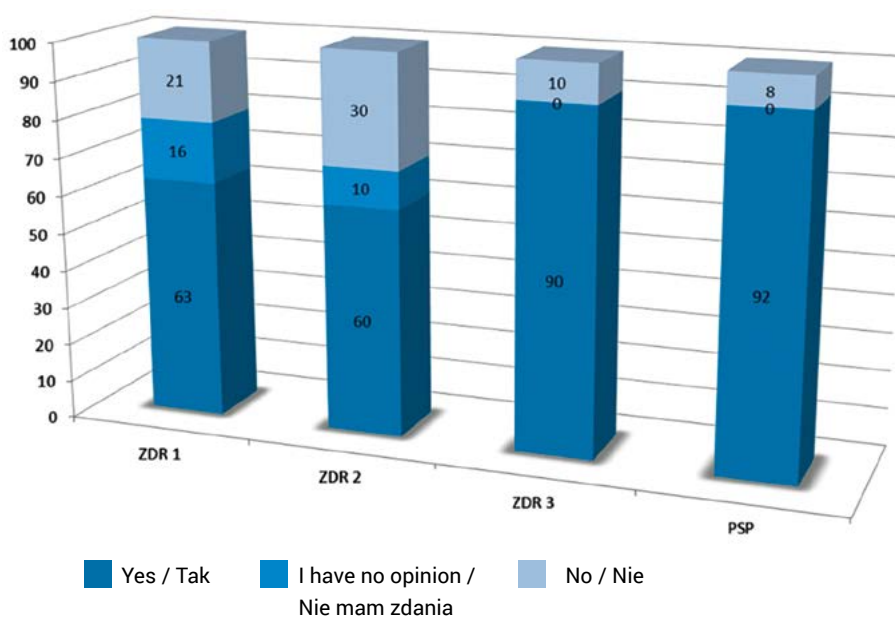


Figure 2. Percentage distribution of responses to the question: should the PSP reconnaissance team be joined by a trained, prepared and protected plant specialist familiar with the installation in order to quickly determine the location of the chemical release, thus reducing the reconnaissance time and the danger zone?

Rycina 2. Procentowy rozkład odpowiedzi na pytanie: czy do zespołu rozpoznania PSP powinien dołączyć przeszkolony, przygotowany i zabezpieczony specjalista zakładu znający instalację w celu szybkiego ustalenia miejsca uwolnienia substancji chemicznej, co wpłynęłoby na skrócenie czasu rozpoznania i zmniejszenie strefy zagrożenia?

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

The vast majority of respondents see the need for a plant employee trained to join the source identification team at an installation in order to reduce the time it takes to find the location of a chemical emission and prevent the hazard from escalating. This result is the stimulus for all management teams to bet on such a solution. Therefore, in accordance with the system for dealing with major industrial accidents in upper-tier establishments (ZDR), an internal emergency plan (WPOR) should be implemented, specifying, in accordance with § 6(5b) of the organisational part, tasks not only for the plant services but also for the organisational units of the establishment and the employees of the establishment [10]. This scope includes the mitigation and elimination of the consequences of a major industrial accident resulting from the analysis of the scenarios contained in WPOR, taking into account rescue operations, including the provision of

Zdecydowana większość respondentów dostrzega potrzebę dołączenia do zespołu rozpoznania źródła zagrożenia w danej instalacji przeszkolonego pracownika zakładu – w celu skrócenia czasu znalezienia miejsca emisji substancji chemicznej i niedopuszczenia do eskalacji zagrożenia. Ten wynik jest impulsem dla wszystkich zespołów kierowania, aby postawić na takie rozwiązanie. Dlatego zgodnie z systemem przeciwdziałania poważnym awariom przemysłowym w zakładach o dużym ryzyku ich wystąpienia (ZDR) należy wdrożyć wewnętrzny plan operacyjno-ratowniczy (WPOR), określając – zgodnie z § 6 pkt 5b części organizacyjnej – zadania nie tylko dla służb zakładowych, ale również dla komórek organizacyjnych zakładu i jego pracowników [10]. Zakres ten obejmuje ograniczenie i likwidację skutków poważnej awarii przemysłowej wynikającej z analizy scenariuszy zawartych w WPOR z uwzględnieniem podjęcia czynności

first aid prior to the arrival of the first fire protection unit or medical rescue team.

In this case, according to the plant management teams and specialist groups, employees are not required to take rescue action at the scene of the incident, but only to provide assistance and point out a possible leak site, the source of the danger due to his/her knowledge, experience and familiarity with the various installations, technological processes, chemical reactions and the operation of equipment including shut-off valves of the danger site in question. On the other hand, taking into account the participation of rescue operators in the exercises, the analysis indicates the need to supervise the rescuers taking part in the exercises at the facilities, so that everyone from the fire brigade's duty shift is present at the plant installation in question, including those who are on slow duty, leave delegation, etc. Overlooking this aspect could result in a situation where a chemical firefighter absent from the exercise is conducting reconnaissance in an actual major accident and determining the source of a chemical release. Such a situation will result in longer operating times and thus more serious consequences of risk to life, health of workers, residents and the environment.

The spread of a hazardous substance leads to contamination of the environment, living organisms and alters natural processes. The majority of chemical accidents and disasters are local in nature, but broader incidents also occur. The greatest threat to human health and life is posed by toxic industrial agents (TSP). The term TSP appeared in military nomenclature in the early 1990s. At the time, two criteria were used as a measure for classifying individual hazardous substances into this group of compounds: high toxicity and sufficiently high production levels. However, these criteria were not precisely specified, resulting in considerable freedom of interpretation. It was not until the development of the Memorandum of Understanding on Chemical and Biological Defence [11] that the criteria were defined under which individual hazardous substances could be classified as TSPs. The term TSP was also used in the environmental literature, with a slightly different meaning at the time. It should be emphasised that TSP should include all chemical compounds, flammable and explosive materials, biologically active substances, radioactive preparations and various types of waste, materials and compounds that can produce substances that directly or indirectly poison the environment. Nowadays, the term TSP is unlikely to be used in the naming of chemicals anymore. It has been replaced by names in line with those appearing in the relevant legislation. For transport, the term dangerous goods is used, and for industry, chemicals and their mixtures.

The extensive list of chemicals and their mixtures makes it impossible to edit an exhaustive compilation on their physicochemical and toxic properties. Among the most common we can include: chlorine, formaldehyde, ammonia, ethylene oxide, hydrogen fluoride, hydrogen cyanide, nitric acid and hydrogen sulphide. There are currently more than 500 industrial plants producing, processing or storing chemicals and their mixtures in Poland. Depending on the type and quantity of hazardous substances, these establishments are classified as being at high or increased risk of a major industrial accident. More than 60 of these are

ratowniczych, w tym udzielania pierwszej pomocy przed przybyciem pierwszej jednostki ochrony przeciwpożarowej lub zespołu ratownictwa medycznego.

W tym przypadku według zespołów kierowania zakładem i grup od pracowników nie wymagałoby się podejmowania działań ratowniczych na miejscu zdarzenia, a jedynie udzielenia pomocy i wskazania ewentualnego miejsca rozszczelnienia (źródła zagrożenia). Kluczowe znaczenie w tym zadaniu będzie miała posiadana przez nich wiedza, a także doświadczenie i znajomość poszczególnych instalacji, procesów technologicznych, reakcji substancji chemicznych oraz obsługi urządzeń, w tym zaworów odcinających dane miejsce zagrożenia. Z drugiej strony, biorąc pod uwagę udział w ćwiczeniach podmiotów ratowniczych, analiza wskazuje na potrzebę nadzoru ratowników uczestniczących w ćwiczeniach na obiektach, aby każdy ze zmiany służbowej JRG był obecny na danej instalacji zakładu, również te osoby, które są na wolnej służbie, w delegacji, na urlopie itp. Pominięcie tego aspektu może spowodować sytuację, w której nieobecny na ćwiczeniach strażak chemik będzie prowadził rozpoznanie w rzeczywistej poważnej awarii i ustalał źródło uwolnienia substancji chemicznej. Taka okoliczność spowoduje wydłużenie czasu działania, a tym samym poważniejsze konsekwencje zagrożenia dla życia, zdrowia pracowników, mieszkańców oraz środowiska.

Rozprzestrzenianie się substancji niebezpiecznej prowadzi do skażenia środowiska, organizmów żywych i wprowadza zmiany w procesach naturalnych. Większość awarii i katastrof chemicznych ma charakter lokalny, lecz pojawiają się również zdarzenia o szerszym zasięgu. Największe zagrożenie dla zdrowia i życia ludzkiego stwarzają toksyczne środki przemysłowe (TSP). Termin TSP pojawił się w nomenklaturze wojskowej na początku lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku. Jako miarę zakwalifikowania poszczególnych substancji niebezpiecznych do tej grupy związków przyjmowano wówczas dwa kryteria: wysoką toksyczność oraz dostatecznie duży poziom produkcji. Nie były to jednak kryteria dokładnie sprecyzowane, co powodowało znaczną dowolność ich interpretacji. Dopiero w opracowaniu *Memorandum of Understanding on Chemical and Biological Defence* [11] określono kryteria, na podstawie których poszczególne substancje niebezpieczne można było zaliczyć do TSP. Termin TSP stosowany był również w literaturze poświęconej ochronie środowiska, przy czym miał on wówczas nieco inne znaczenie. Podkreślić należy, że do TSP powinno zaliczać się wszelkie związki chemiczne, materiały łatwopalne i wybuchowe, substancje biologiczne czynne, preparaty promieniotwórcze oraz różnego rodzaju odpady, materiały i związki, które mogą powodować powstawanie substancji zatruwających bezpośrednio lub pośrednio środowisko naturalne. Obecnie w nazewnictwie substancji chemicznych raczej nie używa się już określenia TSP. Zostało ono zastąpione nazwami występującymi w odpowiednich aktach prawnych. W odniesieniu do transportu używa się określenia towary niebezpieczne, a w odniesieniu do przemysłu – substancje chemiczne i ich mieszaniny.

Obszerna lista substancji chemicznych i ich mieszanin uniemożliwia zredagowanie wyczerpującej kompilacji na temat ich właściwości fizykochemicznych i toksycznych. Do najczęściej spotykanych możemy zaliczyć: chlor, formaldehyd, amoniak, tlenek etylenu, fluorowodór, cyjanowodór, kwas azotowy oraz siarkowodór. Na terenie Polski znajduje się obecnie ponad 500 zakładów przemysłowych produkujących, przetwarzających lub

classified as particularly dangerous. Most of these are concentrated along the Vistula, along its entire bank and along the upper reaches of the Oder. It is important to emphasise that the risk of chemical release is not only present in areas of production or processing. These compounds are present, among others, in water purification and treatment plants, cold storage facilities, etc. Very large quantities of dangerous goods are moved every day in tankers and shipments, using road and rail transport. Small quantities of such goods can also be transported by air. The number of incidents involving hazardous substances in Poland is shown in Table 1.

magazynujących substancje chemiczne i ich mieszaniny. W zależności od rodzaju i ilości substancji niebezpiecznych, zakłady te zaliczone są do grupy zakładów o dużym lub zwiększonym ryzyku wystąpienia poważanej awarii przemysłowej. Ponad 60 z nich zalicza się do szczególnie groźnych. Najwięcej z nich skupia się nad Wisłą, wzdłuż całego jej brzegu oraz wzdłuż górnego biegu Odry. Podkreślenia wymaga fakt, że ryzyko uwolnienia substancji chemicznych występuje nie tylko w rejonach ich produkcji lub przetwarzania. Związki te obecne są między innymi w oczyszczalniach i stacjach uzdatniania wody, w chłodniach, itp. Bardzo duże ilości towarów niebezpiecznych przemieszczane są każdego dnia w cysternach i przesyłkach, przy wykorzystaniu transportu drogowego i kolejowego. Niewielkie ilości takich towarów mogą być także przewożone transportem lotniczym. Liczbę zdarzeń z udziałem substancji niebezpiecznych w Polsce przedstawia tabela 1.

Table 1. Number of incidents involving hazardous substances in 2019–2022
Tabela 1. Liczba zdarzeń z udziałem substancji niebezpiecznych w latach 2019–2022

Voivodship / Województwo	2019			2020			2021			2022		
	Type of incident / Rodzaj zdarzenia			Type of incident / Rodzaj zdarzenia			Type of incident / Rodzaj zdarzenia			Type of incident / Rodzaj zdarzenia		
	Chemical / Chemiczne	Ecological / Ekologiczne	Radiological / Radiacyjne	Chemical / Chemiczne	Ecological / Ekologiczne	Radiological / Radiacyjne	Chemical / Chemiczne	Ecological / Ekologiczne	Radiological / Radiacyjne	Chemical / Chemiczne	Ecological / Ekologiczne	Radiological / Radiacyjne
Dolnośląskie	1031	159	0	893	208	0	863	214	0	1174	558	4
Kujawsko-pomorskie	328	12	0	231	17	0	268	29	0	258	18	0
Lubelskie	261	23	1	215	28	0	222	15	0	260	22	1
Lubuskie	197	21	0	121	33	0	129	112	0	151	140	1
Łódzkie	359	19	0	334	28	0	305	27	0	295	28	0
Małopolskie	1932	31	0	1131	32	0	1085	30	1	937	37	1
Mazowieckie	917	163	4	776	138	4	601	182	6	647	92	0
Opolskie	274	53	0	239	32	0	244	17	0	288	21	0
Podkarpackie	422	21	4	316	27	15	315	57	6	341	13	5
Podlaskie	99	28	0	106	14	0	112	28	1	100	17	0
Pomorskie	355	46	0	243	65	0	296	56	1	257	36	1
Śląskie	2648	141	0	2276	162	0	2394	221	0	2268	137	5
Świętokrzyskie	245	16	0	163	13	0	166	189	0	175	47	0
Warmińsko-mazurskie	239	96	0	216	53	0	230	38	0	194	38	1
Wielkopolskie	555	28	0	450	36	0	531	44	0	532	57	0
Zachodniopomorskie	321	28	0	333	32	0	338	33	0	292	150	0

Source: Own elaboration based on statistical data of KG PSP, www.gov.pl/kgpsp [access: 10.10.2023].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych statystycznych KG PSP, www.gov.pl/kgpsp [dostęp: 10.10.2023].

Based on the above statistics, it can be observed that a large number of incidents occur in provinces with industrial plants that process, produce or use hazardous materials and substances in industrial processes. The voivodships of Śląskie, Małopolskie and Dolnośląskie are such specific examples. Their areas see the highest number of chemical interventions each year. As far as radiological hazards are concerned, the Podkarpackie Voivodeship is in first place. In contrast, the fewest incidents occur in provinces where the chemical industry does not play a major role and employment

Na podstawie powyższej statystyki można zauważyć, że duża liczba zdarzeń ma miejsce w województwach, w których występują zakłady przemysłowe przetwarzające, produkujące lub wykorzystujące w procesach przemysłowych materiały i substancje niebezpieczne. Takim szczególnym przykładem są województwa śląskie, małopolskie i dolnośląskie. Na ich obszarach corocznie odnotowuje się najwięcej interwencji o charakterze chemicznym. W przypadku zagrożeń radiacyjnych na pierwszym miejscu znajduje się województwo podkarpackie. Z kolei najmniej zdarzeń

is concentrated around agriculture and other economic sectors. The Podlaskie Voivodeship is such an example. An analysis of the register of major-accident and major-accident events for the period 2018–2021 in the context of the types of chemical hazards indicated in the study (see Table 2) in comparison with the statistics (see Table 1) shows a significant difference in the number of chemical incidents occurring. Although incidents of this kind are few in number, they pose a much greater threat in their impact – to human life as well as to property and the environment. As an example, there was an incident on 26 July 2021 in the Śląskie Voivodeship in which an explosion occurred during the transport of an acetylene cylinder. A serious failure resulted in burns and death of two people, damage to property in the amount of approximately PLN 350,000 and the evacuation of 67 people from the area of immediate danger [12]. It can be seen that the largest number of chemical events in this area occur in the Mazowiecki, Małopolski, Pomorski, Śląski i Dolnośląski voivodeships (see Table 2).

występuje w województwach, w których przemysł chemiczny nie odgrywa dużej roli, a zatrudnienie skupia się wokół rolnictwa i innych sektorów gospodarki. Przykładem takim jest województwo podlaskie. Analiza rejestru zdarzeń o znamionach poważnej awarii oraz poważnych awarii w latach 2018–2021 w kontekście wskazanych w opracowaniu rodzajów zagrożeń chemicznych (zob. tabela 2) w zestawieniu ze statystyką (zob. tabela 1) pozwala zauważyć znaczną różnicę w liczbie występujących zdarzeń chemicznych. Pomimo że zdarzeń tego rodzaju jest niewiele, to jednak w skutkach stwarzają one dużo większe zagrożenie – zarówno dla życia ludzkiego, jak i mienia oraz środowiska. Za przykład może posłużyć incydent z 26 lipca 2021 r. w województwie śląskim, w którym podczas transportu butli z acetylenem doszło do wybuchu. Poważna awaria spowodowała oparzenie i śmierć dwóch osób, uszkodzenie mienia w wysokości ok. 350 000 zł oraz ewakuację 67 osób z terenu bezpośredniego zagrożenia [12]. Można dostrzec, że największa liczba zdarzeń chemicznych w tym obszarze występuje w województwach mazowieckim, małopolskim, pomorskim, śląskim i dolnośląskim (zob. tabela 2).

Table 2. Number of incidents involving hazardous substances, including events with the characteristics of a major accident and serious accidents in 2018–2021

Tabela 2. Liczba zdarzeń z udziałem substancji niebezpiecznych z uwzględnieniem zdarzeń o znamionach poważnej awarii oraz poważnych awarii w latach 2018–2021

Voivodship / Województwo	2018				2019				2020				2021			
	Type of threat / Rodzaj zagrożenia															
	Emissions, leakage at the plant / Emissja, wyciek w zakładzie	Emissions, leakage in transport / Emissja, wyciek w transporcie	Fire, explosion at the plant / Pożar, wybuch w zakładzie	Fire, explosion in transport / Pożar, wybuch w transporcie	Fire, explosion at the plant / Emissja, wyciek w zakładzie	Emissions, leakage at the plant / Emissja, wyciek w transporcie	Fire, explosion at the plant / Pożar, wybuch w zakładzie	Fire, explosion in transport / Pożar, wybuch w transporcie	Emissions, leakage at the plant / Emissja, wyciek w zakładzie	Emissions, leakage in transport / Emissja, wyciek w transporcie	Fire, explosion at the plant / Pożar, wybuch w zakładzie	Fire, explosion in transport / Pożar, wybuch w transporcie	Emissions, leakage at the plant / Emissja, wyciek w zakładzie	Emissions, leakage in transport / Emissja, wyciek w transporcie	Fire, explosion at the plant / Pożar, wybuch w zakładzie	Fire, explosion in transport / Pożar, wybuch w transporcie
Dolnośląskie	3	-	-	-	4	1	-	-	4	2	-	-	6	-	2	-
Kujawsko-pomorskie	4	-	-	-	-	1	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Lubelskie	3	-	-	-	5	-	1	-	1	2	-	-	1	-	-	-
Lubuskie	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
Łódzkie	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Małopolskie	3	-	1	-	3	1	1	-	7	-	1	-	9	-	2	-
Mazowieckie	5	-	8	-	10	8	-	-	8	6	4	-	8	-	4	-
Opolskie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-
Podkarpackie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Podlaskie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pomorskie	6	4	2	-	3	2	3	-	2	2	1	-	4	-	1	-
Śląskie	4	1	-	-	2	-	-	-	4	1	1	-	4	2	4	1
Świętokrzyskie	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Warmińsko-mazurskie	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Wielkopolskie	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zachodniopomorskie	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Source: Own elaboration based on GIOŚ statistical data, <https://www.gov.pl/web/gios/di-wystepowanie-zdarzen-o-znamionach-powaznej-awarii> [access: 20.11.2023].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych statystycznych GIOŚ, <https://www.gov.pl/web/gios/di-wystepowanie-zdarzen-o-znamionach-powaznej-awarii> [dostęp: 20.11.2023].

Analysing the number of incidents involving hazardous substances in each province, as well as the potential for the impact of representative emergency scenarios contained in safety reports, it makes sense to adequately operate appropriate forces and resources in these areas [13]. In this regard, the most important role is played by specialized chemical and environmental rescue groups (SGRChem), which should be organized in these provinces at appropriate levels of readiness: A – chemical protection, B – chemical reconnaissance, C – special reconnaissance, D – decontamination, E – CBRN module, L – laboratory analysis. The needs for the organization of chemical and ecological rescue groups arise not only from the existing threat in a given area of operation of the national rescue and firefighting system, but also from the need for operational security of the area of operation. Thus, it seems reasonable to theorize that each voivodship should have one specialized group at the A, B, C readiness level. Such a solution reduces the time to take action and thus increases the safety of residents. This is especially important given the current international environment and the ongoing war in Ukraine. The distribution of specialized chemical and environmental rescue groups in the voivodships is shown in Figure 3.

Zasadne jest, aby do odpowiednich obszarów siły i środki były dysponowane adekwatnie do wyników analizy liczby zdarzeń z udziałem substancji niebezpiecznych w poszczególnych województwach, jak również oceny potencjału oddziaływania reprezentatywnych scenariuszy awaryjnych zawartych w raportach o bezpieczeństwie [13]. W tym zakresie najważniejszą rolę odgrywają specjalistyczne grupy ratownictwa chemiczno-ekologicznego (SGRChem), które powinny być w tych województwach zorganizowane na odpowiednich poziomach gotowości: A – zabezpieczenia chemicznego, B – rozpoznania chemicznego, C – rozpoznania specjalnego, D – dekontaminacji, E – modułu CBRN, L – analizy laboratoryjnej. Potrzeby organizacji grup ratownictwa chemicznego i ekologicznego wynikają nie tylko z występującego zagrożenia na danym obszarze działania krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego, ale również z potrzeby zabezpieczenia operacyjnego terenu działania. Zasadna wydaje się zatem teza, aby w każdym województwie funkcjonowała jedna grupa specjalistyczna na poziomie gotowości A, B, C. Takie rozwiązanie zmniejsza czas podjęcia działań, a tym samym zwiększa bezpieczeństwo mieszkańców. Jest to szczególnie istotne w obliczu obecnych uwarunkowań międzynarodowych i trwającej wojny w Ukrainie. Rozmieszczenie specjalistycznych grup ratownictwa chemiczno-ekologicznego w województwach przedstawia rycina 3.



Figure 3. Distribution of specialized chemical and environmental rescue groups between voivodships

Rycina 3. Rozmieszczenie specjalistycznych grup ratownictwa chemiczno-ekologicznego pomiędzy województwami

Source: Own elaboration based on the order No. 54 of the Chief Commander of the State Fire Service dated 29 December 2022, amending the order on the organization of the central operational detachment of the national rescue and firefighting system [14].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie rozkazu nr 54 Komendanta Głównego Państwowej Straży Pożarnej z 29 grudnia 2022 r. zmieniającego rozkaz w sprawie organizacji centralnego oddziału operacyjnego krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego [14].

Based on an analysis of the number of SGRChem in Poland (see Figure 1), one can see an uneven distribution of forces and resources. Arguably, this is conditioned by differences in the number of high- and high-risk establishments between provinces, the volume of hazardous materials transport and the level of training

Na podstawie analizy liczby SGRChem w Polsce (zob. ryc. 1) można zauważyć nierównomierne rozmieszczenie sił i środków. Zapewne jest to warunkowane różnicami w liczbie zakładów dużego i zwiększonego ryzyka pomiędzy województwami, w wielkości transportu materiałów niebezpiecznych oraz poziomie

of officers. Accordingly, the posts of rescuer-chemists (with a degree in chemistry), readiness levels B (mobile laboratory) and C (drones, robots) have gone to specific PSP units. Based on the data, it should be pointed out that only in two voivodeships SGRChem is implementing readiness level L, concerning the conduct of advanced laboratory analysis, analytical methods and means, and providing substantive support in the interpretation of event data and instrumental analysis results.

The scope includes, among other things, performing the analysis of samples provided by units incorporated in the KSRG and remotely interpreting the sent instrumental analysis results. In addition, in the voivodeships of the eastern part of Poland, only one specialized chemical-environmental rescue group from the Podkarpackie voivodeship implements levels A, B, C, D. The remaining voivodeships, i.e. Lubelskie and Podlaskie, implement only A and B levels.

Furthermore, based on the data, it can be noted that readiness level C is implemented in Poland by only four SGRChem groups. The above situation makes large protected areas one group of SGRChem, which affects the longer time in taking action.

Taking into account the current situation and ensuring adequate security, it is also reasonable that in the eastern part of Poland tasks are carried out by the SGRChem to carry out activities that require the use of advanced technical means and to undertake activities of a particular complexity that exceeds the capabilities of the SGRChem of the level of readiness of chemical reconnaissance. These activities should include, in accordance with the current rules of organization of chemical and environmental rescue in KSRG, the implementation of tasks during CBRNE events, including terrorist threats and support of other services in the area in question. Tasks should include, but are not limited to:

- conducting imaging reconnaissance using advanced technical means (including mobile robots, unmanned aerial vehicles, optoelectronic devices, remote manipulation devices),
- sampling using advanced technical means (including mobile robots, unmanned aerial vehicles, optoelectronic devices, remote manipulation devices),
- manipulating hazardous materials using advanced technical means (including mobile robots, unmanned aerial vehicles, optoelectronic devices, remote manipulation devices),
- conducting support of activities for the levels of chemical security, chemical reconnaissance, laboratory analysis and other services [15].

The execution of the aforementioned tasks is possible only with the use of appropriate equipment operated by trained and experienced personnel. For this reason, individual SGRChem should include officers with higher education (chemistry, biology, physics). This will allow them to professionally conduct instrumental analysis during chemical rescue and firefighting operations and interpret the results obtained. Moreover, they would be able to share their specialized knowledge of a particular scientific discipline with other officers in vocational training, thereby improving their professional skills.

wyszkożenia funkcjonariuszy. W związku z tym etaty ratowników-chemików (z wyższym wykształceniem chemicznym), poziomy gotowości B (mobilaby) i C (drony, roboty) trafiły do konkretnych jednostek PSP. Na podstawie danych należy zauważyć, że jedynie w dwóch województwach SGRChem realizują poziom gotowości L, dotyczący prowadzenia zaawansowanej analizy laboratoryjnej, metod i środków analitycznych oraz zapewniających wsparcie merytoryczne w zakresie interpretacji danych o zdarzeniu i wyników analizy instrumentalnej.

Zakres ten obejmuje m.in. wykonanie analizy próbek dostarczonych przez jednostki włączone do KSRG oraz zdalną interpretację przesłanych wyników analizy instrumentalnej. Ponadto w województwach wschodniej części Polski tylko jedna specjalistyczna grupa ratownictwa chemiczno-ekologicznego z województwa podkarpackiego realizuje poziom A, B, C, D. Pozostałe województwa, tj. lubelskie i podlaskie, realizują wyłącznie poziom A i B.

Ponadto na podstawie danych można zauważyć, że poziom gotowości C realizowany jest w Polsce tylko przez cztery grupy SGRChem. Sytuacja ta powoduje, że duże obszary chronione są przez jedną grupę SGRChem, co wpływa na wydłużony czas podejmowanych działań.

Biorąc pod uwagę obecną sytuację i zapewnienie odpowiedniego bezpieczeństwa, zasadne jest również, aby we wschodniej części Polski realizowane były zadania przez SGRChem w zakresie prowadzenia działań wymagających użycia zaawansowanych środków technicznych i podjęcia działań o szczególnym stopniu skomplikowania, przewyższającym możliwości SGRChem poziomu gotowości rozpoznania chemicznego. Działania te – w myśl obowiązujących zasad organizacji ratownictwa chemicznego i ekologicznego w KSRG – powinny obejmować realizację zadań podczas zdarzeń CBRNE, w tym zagrożeń terrorystycznych oraz wsparcia pozostałych służb w przedmiotowym zakresie. Należą do nich m.in.:

- prowadzenie rozpoznania obrazowego przy użyciu zaawansowanych środków technicznych (m.in. mobilne roboty, bezzałogowe statki powietrzne, urządzenia optoelektroniczne, urządzenia manipulacji zdalnej),
- pobieranie próbek (ang. *sampling*) przy użyciu zaawansowanych środków technicznych (m.in. mobilne roboty, bezzałogowe statki powietrzne, urządzenia optoelektroniczne, urządzenia manipulacji zdalnej),
- manipulację materiałami niebezpiecznymi przy użyciu zaawansowanych środków technicznych (m.in. mobilne roboty, bezzałogowe statki powietrzne, urządzenia optoelektroniczne, urządzenia manipulacji zdalnej),
- prowadzenie wsparcia działań dla poziomów zabezpieczenia chemicznego, rozpoznania chemicznego, analizy laboratoryjnej oraz pozostałych służb [15].

Realizacja ww. zadań możliwa jest jedynie przy użyciu odpowiedniego sprzętu obsługiwanego przez wyszkoloną i doświadczoną kadrę. Z tego powodu w skład poszczególnych SGRChem powinni wchodzić funkcjonariusze z wyższym wykształceniem (chemia, biologia, fizyka). Dzięki nim możliwe byłoby dokonanie profesjonalnej analizy instrumentalnej w trakcie działań ratowniczo-gaśniczych z zakresu ratownictwa chemicznego oraz interpretacji uzyskanych wyników. Dodatkowo mogliby dzielić się swoją

In case of incidents at industrial sites – especially diversionary, terrorist – or road sites, the L-level can also be used to identify and determine the threat, as well as to detect and forecast the threat. However, it should be borne in mind that the vehicles on which this level of readiness is implemented are sizable and require a lot of electrical power. For this reason, it is not possible to reach and deploy the vehicle to unpaved areas as well as narrow roads and streets without manoeuvrability. The L readiness level is currently being implemented in two rescue and firefighting units located in Poznań and Warsaw, using modern vehicles with analytical equipment.

The vehicles are built on the basis of a truck tractor with a semi-trailer. The driver's cab has a lab control system. The laboratory section consists of compartment A (analytical, pull-out), B (biological) C (chemical/cleaning), and the technical compartment (space for equipment operating the systems). Due to their equipment, they can find a number of applications. In case of CBRN threats, officers taking action at the scene have a high probability of identifying the threat. If chemicals are present, rescuers can determine chemicals that are also present in a mixture, due to high-end chromatographs and spectrometers. A new feature at SGRChem is a biological module equipped with, among other things, mobile PCR pathogen detection devices, so that rescuers during operations can identify whether an infectious agent has been used and, if detected, also determine it (10 common pathogens classified as potential bioweapons). Equipment also includes gamma-ray spectrometers with a high-resolution detector. When using them, a radioactive isotope can be determined with high probability. Such equipment can find application in a situation of diversionary activities involving the CBRN agent. In practice, it makes it possible to correctly identify danger zones, select appropriate personal protective equipment, the need to isolate or evacuate the population, limit environmental contamination (e.g. watercourses), and carry out decontamination in an optimal way. In short, readiness level L is dedicated primarily to CBRN threats (e.g. any transported unmarked shipments, packages, powders of unknown origin, etc.) as well as in road transport or industrial accidents (confirmation of the presence of the agent in question, monitoring the extent of reduction or increase of the danger zone).

specjalistyczną wiedzą z danej dyscypliny naukowej z pozostałymi funkcjonariuszami w ramach kształcenia zawodowego, podnosząc tym samym ich kwalifikacje zawodowe.

W przypadku zdarzeń na terenie zakładów przemysłowych – w szczególności dywersyjnych, terrorystycznych – lub drogowych do identyfikacji i określenia zagrożenia, jak również do detekcji i prognozowania zagrożenia można również wykorzystać poziom L. Należy jednak pamiętać, że pojazdy, na bazie których realizowany jest ten poziom gotowości, są sporych rozmiarów oraz wymagają dużej mocy elektrycznej. Z tego powodu nie ma możliwości dojechania i rozstawienia pojazdu na tereny nieutwardzone, jak również w wąskie drogi i uliczki bez możliwości manewrowania. Poziom gotowości L obecnie jest realizowany w dwóch jednostkach ratowniczo-gaśniczych znajdujących się w Poznaniu i Warszawie z użyciem nowoczesnych pojazdów z wyposażeniem analitycznym.

Pojazdy te zbudowane są na bazie ciągnika siodłowego z naczepą. Kabina kierowcy posiada system sterowania laboratorium. Część laboratoryjna składa się z przedziału A (analityczny, wysuwany), B (biologicznego), C (chemicznego/czystego) oraz przedziału technicznego (miejsca przeznaczonego na urządzenia obsługujące systemy). Ze względu na ich wyposażenie mogą one odnaleźć szereg zastosowań. W przypadku zagrożeń związanych z użyciem środków CBRN funkcjonariusze podejmujący działania na miejscu zdarzenia wykazują dużą skuteczność w identyfikacji zagrożenia. W razie obecności substancji chemicznych, dzięki wysokiej klasy chromatografom i spektrometrom, ratownicy mogą oznaczyć chemikalia występujące również w postaci mieszaniny. Nowością w SGRChem jest moduł biologiczny wyposażony m.in. w mobilne urządzenia do detekcji patogenów PCR pozwalający rozpoznać, czy użyto czynnika zakaźnego, a jeśli zostanie wykryty – to również go oznaczyć (10 popularnych patogenów sklasyfikowanych jako potencjalna broń biologiczna). Wyposażenie stanowią również spektrometry promieniowania gamma z detektorem wysokiej rozdzielczości. Przy ich użyciu można z wysokim prawdopodobieństwem określić izotop promieniotwórczy. Takie wyposażenie może znaleźć zastosowanie w sytuacji działań mających charakter dywersyjny z wykorzystaniem czynnika CBRN. W praktyce umożliwia ono prawidłowe określenie stref zagrożenia, dobrania odpowiednich środków ochrony indywidualnej, konieczności izolacji bądź ewakuacji ludności, ograniczenia skażenia środowiska (np. cieków wodnych oraz przeprowadzenie w sposób optymalny dekontaminacji). Podsumowując, poziom gotowości L jest przeznaczony przede wszystkim do zagrożeń z zakresu CBRN (np. wszelkie przewożone nieoznakowane przesyłki, paczki, proszki niewiadomego pochodzenia itp.), jak również zagrożeń w transporcie drogowym czy przy awariach przemysłowych (potwierdzenie obecności danego czynnika, monitorowanie zasięgu zmniejszania lub zwiększania strefy zagrożenia).

Chemical hazards arising from the transport of dangerous goods

The transportation of dangerous goods is increasing every year and carries a special threat to the environment due to the amount and type of materials transported, as well as the

Zagrożenia chemiczne wynikające z transportu towarów niebezpiecznych

Transport towarów niebezpiecznych wzrasta z każdym rokiem i niesie szczególne zagrożenie dla otoczenia z racji ilości i rodzaju przewożonych materiałów, a także częstotliwości przewozów.

frequency of transport. The hazards of transportation include not only transport, but also the associated loading, unloading and storage of chemicals with toxic, explosive, radioactive and other properties that have a particular impact on human life and health and environmental contamination. When transporting dangerous goods, the situation becomes much more difficult and unpredictable for the environment. This will depend on the circumstances under which the destructive event occurs, for example, in a built-up area, in the vicinity of a mass event taking place, near religious facilities. Tanker vehicles carrying fuel or gas travel to filling stations, which are often located inside settlements, next to plazas where mass events are held. During an accident, the amount of hazardous substance released will depend on, among other things, the capacity of the tank, the location of the damage and the alignment of the tanker, the size of the opening from which the emission occurs, and the time taken by emergency services. During an incident at a chemical plant, a certain time can be taken to arrive and undertake rescue operations, while in a traffic incident, the time to take action can be extended depending on the distance and location of the incident site. For some time now, we have seen significant growth in road transportation – as opposed to rail transportation. In doing so, it should be noted that the amount of substance transported by a single rail transport is much greater than by road. This is determined by the capacity of road and rail tank vehicles. In addition, trains can form a depot containing multiple tanks and multiple materials, which is not possible with road transport. Nevertheless, rail transportation is considered safer.

In case of rail transportation, the route of transportation is always known in detail and the possibilities for emergency services to arrive are identified in the rescue plans. The situation is different in road transport, where there is no obligation to designate routes of carriage, and only general carriage restrictions designated by road signs are used. In addition, many transports of dangerous goods pass through city centres.

In road, rail and inland waterway transport, the term dangerous goods is used for chemicals that pose a hazard. It means materials and objects that pose a hazard and that can only be transported in accordance with the Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR) [16], the Regulations concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail (RID) [17], the European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Inland Waterways (ADN) [18]. Goods designated as dangerous may or may not be permitted to be transported in such a manner under the terms of this agreement (Article 2, item 4 of the Act on the Transportation of Dangerous Goods of 19 August 2011, Polish Journal of Laws: Dz. U. z 2022 poz. 2147) [19]. Amendments to the Agreement are made on a biennial basis (ADR Agreement, the consolidated text of the ADR Agreement according to its legal status as of 1 January 2023 was published in the Polish Official Gazette on 11 May 2023, under item 891). As of 1 January 2023, an amendment to the provisions of the Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR) takes effect, according to which dangerous goods are divided into three groups:

Zagrożenie wynikające z przewozów obejmuje nie tylko transport, ale również związane z nim załadunek, wyładunek oraz magazynowanie substancji chemicznych o właściwościach toksycznych, wybuchowych, promieniotwórczych i innych, które mają szczególnie wpływ na życie i zdrowie ludzkie oraz skażenie środowiska naturalnego. W przypadku transportu towaru niebezpiecznego sytuacja staje się o wiele trudniejsza i bardziej nieprzewidywalna dla otoczenia. Potencjalne skutki takiego zdarzenia mogą być bardzo niebezpieczne. Będzie to zależać od okoliczności, w jakich wystąpi zdarzenie destrukcyjne, np. w terenie zabudowanym, w okolicach odbywającej się imprezy masowej, w pobliżu obiektów sakralnych. Samochodowe cysterny z paliwem lub gazem przemieszczają się do stacji paliw, które są niejednokrotnie usytuowane wewnątrz osiedli, przy placach, na których organizowane są imprezy masowe. Podczas awarii ilość uwalniającej się substancji niebezpiecznej będzie uzależniona m.in. od pojemności zbiornika, miejsca uszkodzenia i ułożenia się cysterny, wielkości otworu, z którego następuje emisja, oraz od czasu podjęcia działań przez służby ratownicze. Podczas zdarzenia w zakładzie chemicznym można przyjąć określony czas dojazdu i podjęcia działań ratowniczych, natomiast w zdarzeniu komunikacyjnym czas podjęcia działań może zostać wydłużony w zależności od odległości i lokalizacji miejsca zdarzenia. Od pewnego czasu obserwujemy znaczny rozwój przewozu drogowego – w przeciwieństwie do transportu kolejowego. Należy przy tym zwrócić uwagę na fakt, że ilość przewożonej substancji jednym transportem kolejowym jest znacznie większa niż drogowym. Jest to uwarunkowane pojemnością cystern drogowych i kolejowych. Dodatkowo pociągi mogą tworzyć skład zawierający wiele cystern i wiele materiałów, co nie jest możliwe w przypadku transportu drogowego. Niemniej jednak transport kolejowy uważany jest za bardziej bezpieczny.

W przypadku transportu kolejowego zawsze dokładnie znana jest trasa przewozu i zidentyfikowane są w planach ratowniczych możliwości dojazdu służb ratowniczych. Inaczej wygląda to w transporcie drogowym, w którym nie ma obowiązku wyznaczania tras przewozu, a stosowane są tylko ogólne ograniczenia przewozu wyznaczane za pomocą znaków drogowych. Dodatkowo wiele transportów towarów niebezpiecznych przejeżdża przez centra miast.

W transporcie drogowym, kolejowym i żegludze śródlądowej dla substancji chemicznych stwarzających zagrożenie stosuje się termin towary niebezpieczne. Oznacza on materiały i przedmioty, które stwarzają zagrożenie i które mogą być przewożone jedynie zgodnie z umową dotyczącą międzynarodowego przewozu drogowego towarów niebezpiecznych (ADR) [16], regulaminem międzynarodowego przewozu kolejami towarów niebezpiecznych (RID) [17], umową europejską dotyczącą międzynarodowego przewozu śródlądowymi drogami wodnymi towarów niebezpiecznych (ADN) [18]. Towary określone jako niebezpieczne mogą być dopuszczone lub nie do takiego przewozu na warunkach określonych w tej umowie (art. 2, pkt 4 ustawy z dnia 19 sierpnia 2011 r. o przewozie towarów niebezpiecznych, Dz. U. 2022 poz. 2147) [19]. Nowelizacja umowy odbywa się w cyklu dwuletnim (umowa ADR, tekst jednolity umowy ADR według jej stanu prawnego na dzień 1 stycznia 2023 r. opublikowany został w Dzienniku Ustaw RP w dniu 11 maja 2023 r., pod pozycją 891). Od 1 stycznia 2023 r. obowiązuje nowelizacja przepisów

- not approved for carriage,
- approved for carriage according to ADR,
- exempt from ADR.

Goods allowed to be transported are those that pose the greatest risk. Not allowed to be transported include:

- certain explosives too sensitive, or which are prone to spontaneous reaction,
- chemically unstable gases if all necessary measures have not been taken to avoid a dangerous reaction during their normal transportation, such as decomposition, disproportionation or polymerization,
- flammable liquid materials susceptible to peroxide formation, if their peroxide content, converted to hydrogen peroxide, exceeds 0.3%,
- non-stabilized hydrogen peroxide or hydrogen peroxide in non-stabilized aqueous solution containing more than 60% hydrogen peroxide,
- phosphide preparations without additives that inhibit the release of toxic, flammable gases,
- royal water,
- chemically unstable nitrating mixtures and others.

Goods approved for carriage under the ADR (more than 3,000 items on the list) are materials that meet the requirements of the ADR agreement in terms of classification, choice of packaging, choice of vehicle and type of tank cars for their carriage, labelling and other specific requirements. Despite meeting these requirements, transporting such goods can entail significant risks. Some commodities may be self-reactive materials, that is, thermally unstable substances susceptible to highly exothermic decomposition, even without oxygen (air). In such a case, as well as in the case of transporting certain organic peroxides, specially adapted vehicles are used and appropriate procedures are put in place for the drivers carrying them. For some of these substances, carriage is required at a controlled temperature, the highest temperature at which organic peroxides and self-reactive materials can be transported. When implementing such transport, an emergency temperature is also determined, i.e. a temperature at which, in the event of loss of temperature control, emergency procedures should be initiated. These procedures are designed to prevent the transported goods from reaching the temperature of self-accelerating decomposition (TSR). TSR is the lowest temperature at which self-accelerating decomposition of the material in the package used for transportation can occur. It is virtually impossible to stop such a chemical reaction until the reactants are exhausted. Some self-reactive materials can decompose explosively, especially if confined. The controlled temperature for transport is set between 5 and 10°C below the emergency temperature.

Goods exempt from ADR are those to which the requirements of the agreement do not apply. The provisions in the ADR do not apply to:

- transport of dangerous goods by individuals if the goods are in packages used for retail sale and are for personal use by such individuals,
- transport of machinery and equipment that may contain dangerous goods in their components or equipment,
- transport carried out by companies in quantities that do

umowy dotyczącej międzynarodowego przewozu drogowego towarów niebezpiecznych (ADR), zgodnie z którą towary niebezpieczne dzielą się na trzy grupy:

- niedopuszczone do przewozu,
- dopuszczone do przewozu zgodnie z ADR,
- zwolnione z ADR.

Towary niedopuszczone do przewozu to takie, które stwarzają największe zagrożenie. Niedopuszczone do przewozu są m.in.:

- niektóre materiały wybuchowe zbyt wrażliwe, lub które są podatne na samorzutną reakcję,
- niestabilne chemicznie gazy, jeżeli nie zostały podjęte wszelkie niezbędne środki dla uniknięcia niebezpiecznej reakcji podczas ich normalnego przewozu, np. rozkładu, dysproporcjonowania lub polimeryzacji,
- materiały ciekłe zapalne podatne na tworzenie nadtlentów, jeżeli zawartość w nich nadtlenu, przeliczona na nadtlenek wodoru przekracza 0,3%,
- nadtlenek wodoru niestabilizowany lub nadtlenek wodoru w roztworze wodnym niestabilizowanym, zawierającym ponad 60% nadtlenu wodoru,
- preparaty fosforów bez dodatków hamujących wydzielanie się gazów trujących, palnych,
- woda królewska,
- mieszaniny nitrujące chemicznie niestabilne i inne.

Towary dopuszczone do przewozu zgodnie z ADR (ponad 3000 pozycji w wykazie) są to materiały, które spełniają wymagania umowy ADR pod względem klasyfikacji, doboru opakowań, doboru pojazdu i rodzaju cystern do ich przewozu, oznakowania i innych wymagań szczególnych. Pomimo spełniania tych wymagań transport takich towarów może pociągać za sobą znaczne ryzyko. Niektóre towary mogą być materiałami samoreaktywnymi, czyli substancjami termicznie niestabilnymi podatnymi na rozkład silnie egzotermiczny, nawet bez udziału tlenu (powietrza). W takim przypadku, jak również w przypadku przewozu niektórych nadtlentów organicznych, wykorzystuje się specjalnie przystosowane pojazdy oraz wprowadza się odpowiednie procedury postępowania dla kierowców je przewożących. Dla niektórych z tych substancji wymagany jest przewóz w temperaturze kontrolowanej, czyli najwyższej, w której mogą być przewożone nadtlentki organiczne oraz materiały samoreaktywne. Przy realizacji takiego przewozu określa się także temperaturę awaryjną, czyli taką, po osiągnięciu której – w przypadku utraty możliwości regulacji temperatury – należy rozpocząć wykonywanie procedur awaryjnych. Procedury te mają na celu zapobieżenie osiągnięciu przez przewożony towar temperatury samoprzyspieszającego się rozkładu (TSR). TSR jest to najniższa temperatura, w której może nastąpić samoprzyspieszający się rozkład materiału znajdującego się w opakowaniu użytym do przewozu. Przerwanie takiej reakcji chemicznej jest praktycznie niemożliwe do czasu wyczerpania się reagentów. Niektóre materiały samoreaktywne mogą rozkładać się wybuchowo, szczególnie jeżeli są zamknięte. Temperatura kontrolowana dla przewozu ustalana jest w granicach od 5 do 10°C poniżej temperatury awaryjnej.

Towary zwolnione z ADR to takie, do których nie stosuje się wymagań umowy. Przepisy zawarte w ADR nie dotyczą:

not require marking of the vehicle in cases where it is ancillary to their core activities,

- transport performed or supervised by emergency services, if it is necessary due to the rescue operation being carried out,
- transport of an emergency nature, aimed at saving human life or protecting the environment.

Dangerous goods in inland transport (which includes road, rail and inland waterway transport) are divided into 13 classes (along with subclasses) distinguished on the basis of the predominant hazard. Dangerous goods have been assigned individual or group United Nations numbers referred to as UN numbers. The dominant threat corresponds to the class name. In addition to this hazard, a dangerous good may have one or more additional hazards. According to the agreement on international road transport, the following classes of dangerous goods are distinguished:

1. Class 1 – Explosive substances and articles (subclasses according to the posed hazards 1.1, 1.5, 1.2, 1.3, 1.4).
2. Class 2 – gases.
3. Class 3 – flammable liquids.
4. Class 4.1 – Flammable solids, self-reactive substances and solid desensitized explosives.
5. Class 4.2 – Substances liable to spontaneous combustion.
6. Class 4.3 – Substances which, in contact with water, emit flammable gases.
7. Class 5.1 – Oxidizing substances.
8. Class 5.2 – Organic peroxides.
9. Class 6.1 – Toxic substances.
10. Class 6.2 – Infectious substances.
11. Class 7 – Radioactive material.
12. Class 8 – Corrosive substances.
13. Class 9 – Miscellaneous dangerous substances and articles.

During transport incidents, there is a threat to human life, but also contamination of soil and surface water and the environment. Analyses show that road transport currently poses the greatest threat due to its frequency and the variety of transported substances. The above situation is also caused by the technical condition of the vehicles and tanks used for transport, the lack of segregated safe transport routes, and the failure to comply with regulations on maintaining special safety during traffic [20]. It is estimated that there are more than 20,000 vehicles moving dangerous goods in Poland every day [21]. This indicator highlights how large the scale of the threat involves road and rail transport against the areas where our society lives.

In the event of a chemical catastrophe in rail transport, before sealing and pumping, steps should be taken to maximize the safety of the operation. In the event of a chemical catastrophe in rail transport, before sealing and pumping, steps should be taken to maximize the safety of the operation. This includes, among other things, defining and marking in an appropriate manner the protection zone and the explosion hazard zone, stopping traffic on adjacent tracks, organizing a pumping station outside the overhead line, removing from the protection zone all bystanders and unnecessary rolling stock, securing the action area with fire trucks, in the case of high positive temperatures and strong

- przewozu towarów niebezpiecznych przez osoby fizyczne, jeżeli towary te znajdują się w opakowaniach stosowanych w sprzedaży detalicznej i służą tym osobom do osobistego użytku,
- przewozu maszyn i urządzeń, które mogą zawierać towary niebezpieczne w swoich podzespołach lub w wyposażeniu,
- przewozu wykonywanego przez przedsiębiorstwa w ilościach niewymagających oznakowania pojazdu w przypadkach, gdy ma on charakter pomocniczy wobec ich zasadniczej działalności,
- transportu wykonywanego lub nadzorowanego przez służby ratownicze, o ile jest on konieczny ze względu na prowadzoną akcję ratowniczą,
- transportu o charakterze ratunkowym, mającym na celu ratowanie ludzkiego życia lub ochronę środowiska.

Towary niebezpieczne w transporcie lądowym (obejmującym transport drogowy, kolejowy i śródlądowy) dzielą się na 13 klas (wraz z podklasami) wyodrębnionych na podstawie zagrożenia dominującego. Towarom niebezpiecznym zostały przypisane indywidualne lub grupowe numery Organizacji Narodów Zjednoczonych określanych jako numery UN. Zagrożenie dominujące odpowiada nazwie klasy. Poza tym zagrożeniem towar niebezpieczny może charakteryzować się dodatkowo jednym lub więcej zagrożeniami dodatkowymi. Zgodnie z umową dotyczącą międzynarodowego przewozu drogowego wyróżniamy następujące klasy towarów niebezpiecznych:

1. Klasa 1 – materiały i przedmioty z materiałami wybuchowymi (podklasy według stwarzanych zagrożeń 1.1, 1.5, 1.2, 1.3, 1.4).
2. Klasa 2 – gazy.
3. Klasa 3 – materiały zapalne ciekłe zapalne.
4. Klasa 4.1 – materiały zapalne stałe, materiały samoreaktywne, materiały polimeryzujące i materiały wybuchowe stałe odczulone stałe.
5. Klasa 4.2 – materiały podatne na samozapalenie.
6. Klasa 4.3 – materiały wydzielające w zetknięciu z wodą gazy palne.
7. Klasa 5.1 – materiały utleniające.
8. Klasa 5.2 – nadtlenki organiczne.
9. Klasa 6.1 – materiały trujące.
10. Klasa 6.2 – materiały zakaźne.
11. Klasa 7 – materiały promieniotwórcze.
12. Klasa 8 – materiały żrące.
13. Klasa 9 – różne materiały i przedmioty niebezpieczne.

Podczas zdarzeń w transporcie występuje zagrożenie dla życia ludzkiego, ale również skażenie gleby i wód powierzchniowych oraz środowiska naturalnego. Z analiz wynika, że największe zagrożenie obecnie stwarza transport drogowy ze względu na jego częstotliwość oraz różnorodność przewożonych substancji. Sytuację powyższą powoduje również stan techniczny pojazdów i zbiorników służących do transportu, brak wydzielonych, bezpiecznych tras przewozu, nieprzestrzeganie przepisów o zachowaniu szczególnego bezpieczeństwa podczas ruchu drogowego [20]. Określa się, że w Polsce dziennie przemieszcza się ponad 20 tysięcy pojazdów, które przewożą towary niebezpieczne [21]. Wskaźnik ten uwidacznia, jak dużą skalę zagrożenia obejmuje

sunshine, conduct continuous cooling of tank cars with the help of dispersed water currents, ground the tank cars, equipment and equipment connecting as a whole to the common ground in an appropriate manner, prepare equipment for proper pumping.

Summary

Recent years have seen an increase in incidents involving hazardous substances with increasing unpredictability. This is confirmed by incident statistics presented by the Headquarters of the State Fire Service. In addition, these are incidents that occur in various locations, near residential buildings, settlements, tourist centres and other infrastructure. In these places, there may be people directly exposed to danger. During these incidents, there may be difficulties not only in quickly determining where the hazardous substance is emitted, but also in the public's lack of awareness of the danger. In this case, the appearance of sparking devices in the danger zone can cause an explosion and consequently heavy civilian casualties. Taking into account the time to take action as a determinant affecting the effectiveness of any rescue operation, the rescue entities taking action in the elimination of the threat, in particular, specialized chemical and environmental rescue groups should be so distributed as to minimize the consequences of the emergence of any accident both in industrial plants and road or rail transport.

In this regard, a major advance in threat reconnaissance will be the implementation by SGRChem in all provinces of readiness level C for conducting imaging reconnaissance using advanced technical means. This is particularly true in the eastern voivodeships of Poland, where chemical groups mostly implement only A and B levels. Taking into account the current situation and ensuring adequate security, it is reasonable that in the eastern part of Poland tasks are carried out by the SGRChem in conducting operations requiring the use of advanced reconnaissance techniques. The proper distribution of emergency responders will enable actions to be taken in the shortest time, which will translate into statistics indicating that chemical hazards that occur will be eliminated at the source of the emission, preventing the spread of the hazard to a larger scale. In order to eliminate hazards in industry and transport involving hazardous substances, emergency services in the first phase of action should:

transport drogowy i kolejowy wobec obszarów, na których żyje nasze społeczeństwo.

W przypadku katastrofy chemicznej w transporcie kolejowym przed przystąpieniem do uszczelniania i przepompowywania należy wykonać czynności w celu maksymalnego zabezpieczenia operacji. Dotyczy to m.in. określenia i oznakowania w odpowiedni sposób strefy ochronnej oraz strefy zagrożenia wybuchem, wstrzymania ruchu na torach sąsiednich, organizowania stanowiska do przepompowywania poza siecią trakcyjną, usunięcia ze strefy ochronnej wszystkich osób postronnych oraz zbędnego taboru kolejowego, zabezpieczenia terenu akcji samochodami gaśniczymi, w przypadku występowania wysokich dodatknych temperatur i silnego nasłonecznienia prowadzenia ciągłego chłodzenia cystern przy pomocy rozproszonych prądów wody, uziemienia w odpowiedni sposób cysterny, urządzeń i sprzętu przyłączającego w całość do wspólnego uziomu, przygotowania sprzętu do właściwego przepompowywania.

Podsumowanie

W ostatnich latach zauważa się wzrost liczby zdarzeń z udziałem substancji niebezpiecznych o coraz większej skali nieprzewidywalności. Potwierdzają to statystyki zdarzeń przedstawiane przez Komendę Główną Państwowej Straży Pożarnej. Ponadto są to zdarzenia, które występują w różnych miejscach, w pobliżu budynków mieszkalnych, osiedli, ośrodków turystycznych i innej infrastruktury. W miejscach tych mogą przebywać osoby bezpośrednio narażone na niebezpieczeństwo. Trudności może przysporzyć nie tylko szybkie określenie miejsca emisji substancji niebezpiecznej, ale również brak świadomości społeczeństwa o zagrożeniu. W takim przypadku pojawienie się urządzeń iskrzących w strefie zagrożenia może spowodować wybuch i w konsekwencji duże straty wśród ludności cywilnej. Biorąc pod uwagę czas podjęcia działań jako determinanta wpływającego na skuteczność każdej akcji ratowniczej, podejmujące działania w likwidacji zagrożenia podmioty ratownicze – w szczególności specjalistyczne grupy ratownictwa chemiczno-ekologicznego – powinny być tak rozmieszczone, aby minimalizować skutki powstania każdej awarii – zarówno w zakładach przemysłowych, jak i transporcie drogowym czy kolejowym.

W tym zakresie dużym postępem w rozpoznaniu zagrożenia będzie realizacja przez SGRChem we wszystkich województwach poziomu gotowości C dotyczącego prowadzenia rozpoznania obrazowego przy użyciu zaawansowanych środków technicznych. W szczególności dotyczy to województw wschodniej części Polski, w których grupy chemiczne w większości realizują wyłącznie poziom A i B. Biorąc pod uwagę obecną sytuację i zapewnienie odpowiedniego bezpieczeństwa, zasadne jest, aby we wschodniej części Polski realizowane były zadania przez SGRChem w zakresie prowadzenia działań wymagających użycia zaawansowanych technik rozpoznawczych. Właściwe rozmieszczenie podmiotów ratowniczych umożliwi podjęcie działań w najkrótszym czasie, co przełoży się na statystyki wskazujące na to, że występujące zagrożenia chemiczne będą likwidowane w źródle powstania emisji, nie dopuszczając do rozprzestrzeniania się

- obtain as much information about the incident as possible;
- dispose of forces and resources, in the first phase of chemical groups, police, ambulance and other entities involved in the elimination of the threat, taking into account the direction of the wind;
- designate and mark the danger zone, notify the public administration, services, inspections and guards;
- conduct systematic reconnaissance and actual monitoring of the danger zone increasing or decreasing the danger zone from the beginning to the end of the operations with the involvement of rescue forces;
- evacuate people from the danger zone, designate medical points, implement the decontamination process;
- secure the danger zone with police forces and, if possible, the military;
- plan to use operational retreats.

Rescue and plant services involved in eliminating the threat should improve their skills. It comes down to a few very important elements that need to be improved. These are:

- rapid notice and detection of the threat using mechanisms to protect the installation, control systems;
- rapid arrival at the threat taking into account the proper distribution of forces and resources;
- rapid recognition of the threat using advanced technical means;
- rapid evacuation from the danger zone through the implementation of a digital communications system;
- rapid identification of the source of danger by joining the reconnaissance team with a representative of the engineering and technical team.

The results of the research and analysis conducted showed that there are places where special attention should be paid to such risks. Intensification of ongoing training through the implementation of various forms of exercises with the participation of not only rescue entities, but cooperating services, plant teams supporting the rescue system should be a priority task in preparing for effective rescue operations, taking into account the presence of a person from the engineering and technical group of the plant in the team conducting reconnaissance of the accident site. The situation of a hazardous substance release and uncontrolled spread in an urbanized area should become the subject of continuous exercises of a more practical than exploratory nature. The emergency system is undertaking more and more improved methods of developing and assessing hazard analysis at different levels from the basic one, which is the district, to the central level. The entirety of these undertakings should be based on practical manoeuvres, also taking into account the algorithm for proceeding outside the zone of immediate danger associated with the evacuation process, in which large numbers of forces and resources should be involved, including government and local administrations [22].

The characterization of selected chemical hazards included in the publication is based on the identification of hazardous factors that arise during the onset of a destructive situation and is intended to assist rescue entities and engineering and technical teams from plants posing a major accident hazard in taking

na większą skalę zagrożenia. W celu likwidacji zagrożeń w przemyśle i transporcie z udziałem substancji niebezpiecznych służby ratownicze w pierwszej fazie działania powinny:

- pozyskać jak najwięcej informacji o zdarzeniu;
- dysponować siłą i środkami, w pierwszej fazie grup chemicznych, policji, pogotowia ratunkowego i innych podmiotów biorących udział w likwidacji zagrożenia z uwzględnieniem kierunku wiatru;
- wyznaczyć i oznakować strefę zagrożenia, powiadomić administrację publiczną, służby, inspekcje i strażę;
- prowadzić systematycznie rozpoznanie i rzeczywiste monitorowanie strefy zagrożenia zwiększając lub zmniejszając strefę zagrożenia od początku do końca działań z zaangażowaniem sił ratowniczych;
- ewakuować osoby ze strefy zagrożenia, wyznaczyć punkty medyczne, wdrożyć proces dekontaminacji;
- zabezpieczyć strefę zagrożenia siłami policji i jeżeli jest to możliwe wojska;
- planować użycie odwodów operacyjnych.

Służby ratownicze i zakładowe biorące udział w likwidacji zagrożenia powinny doskonalić swoje umiejętności. Sprowadza się do kilku bardzo istotnych obszarów. Są to:

- szybkie zauważenie i wykrycie zagrożenia z zastosowaniem mechanizmów zabezpieczających instalację, systemów sterujących;
- szybkie dotarcie do zagrożenia uwzględniając właściwe rozmieszczenie sił i środków;
- szybkie rozpoznanie zagrożenia stosując zaawansowane środki techniczne;
- szybka ewakuacja ze strefy zagrożenia poprzez wdrożenie systemu łączności cyfrowej;
- szybka lokalizacja źródła zagrożenia poprzez dołączenie do zespołu rozpoznawczego przedstawiciela zespołu inżynierjno-technicznego.

Wyniki przeprowadzonych badań i analiz wykazały, że istnieją miejsca, gdzie szczególnie należy zwrócić uwagę na tego typu zagrożenia. Intensyfikacja prowadzonych szkoleń poprzez wdrażanie różnych form ćwiczeń z udziałem nie tylko podmiotów ratowniczych, ale służb współdziałających, zespołów zakładowych wspomagających system ratowniczy powinny być priorytetowym zadaniem w przygotowaniu do prowadzenia skutecznych działań ratowniczych z uwzględnieniem obecności osoby z grupy inżynierjno-technicznej zakładu w zespole prowadzącym rozpoznanie miejsca awarii. Sytuacja uwolnienia się substancji niebezpiecznej i niekontrolowanego rozprzestrzeniania się w obszarze zurbanizowanym powinna stać się przedmiotem ciągłych ćwiczeń – bardziej praktycznych niż o charakterze rozpoznawczym. System ratowniczy podejmuje coraz to doskonalsze metody opracowywania i dokonywania oceny analizy zagrożeń na poszczególnych poziomach począwszy od podstawowego, jakim jest powiat, a skończywszy na szczeblu centralnym. Całość tych przedsięwzięć należy opierać na praktycznych manewrach, z uwzględnieniem również algorytmu postępowania poza strefą bezpośredniego zagrożenia związanego z procesem ewakuacji, w które zaangażowane powinny być duże ilości sił i środków w tym administracja rządowa i samorządowa [22].

appropriate action. It provides information on which chemical factors to pay attention to in order to improve efficiency and effectiveness in the course of rescue proceedings. It contributes to proper preparation in the face of hazards through the use of appropriate organizational changes and rescue techniques affecting, among other things, the distribution of forces and resources to reduce protected areas, continuous monitoring of the size of the danger zone, verifying it by reducing or increasing or at least reducing the time to determine the location of the source of emissions, chemical spills.

The classification of chemical hazards highlighted in the article points those taking action to the sources of emergency situations, to which existing operational and technical capabilities must be adapted in the face of new conditions occurring in the industrial and transportation areas. The recalled chemical hazards can turn into emergencies and cause restrictions on the activities of public administrations due to the inadequacy of forces and resources. The answer to the indicated threats should be an efficient rescue system, as well as a system for preventing major industrial accidents that takes into account organizational aspects and practical solutions to minimize the effects of modern threats. The indicated classification of hazards has been carried out according to its own study resulting from system observation and is intended to be a starting point for learning the essence of the issue at hand and creating a more effective mechanism of action for rescue entities, particularly specialized chemical-ecological rescue groups, in planning, organizing and carrying out rescue operations necessary to reduce or eliminate direct hazards posed by hazardous materials.

The research issue of chemical hazards and their elimination remains constantly topical and important for ensuring the safety of the population in connection with which it requires continuous research and analysis. The research should be aimed at detailing the methods and principles of rescue operations undertaken when various hazards are present. It is also necessary to carefully analyse the possibility of interaction of services with other entities that may participate in the elimination of threats. A separate research topic is the problem concerning the leadership of rescue operations and the designation of lead services for various types of emergencies. A challenge, for example, will be an event in which a radiation and chemical hazard occurs simultaneously. The lead service for radiation interventions is the State Atomic Energy Agency, and for chemical incidents the State Fire Service.

Charakterystyka wybranych zagrożeń chemicznych zawarta w publikacji polega na identyfikacji czynników niebezpiecznych pojawiających się w trakcie powstania sytuacji destrukcyjnej i ma służyć podmiotom ratowniczym oraz zespołom inżynierjno-technicznym z zakładów stwarzających zagrożenie poważnej awarii w podejmowaniu właściwych działań. Dostarcza ona informacji, na jakie czynniki chemiczne należy zwracać uwagę, żeby poprawić efektywność i skuteczność w toku postępowania ratowniczego. Przyczynia się do właściwego przygotowania wobec zagrożeń poprzez zastosowanie odpowiednich zmian organizacyjnych i technik ratowniczych wpływających na m.in. rozmieszczenie sił i środków celem zmniejszenia obszarów chronionych, stałe monitorowanie wielkości strefy zagrożenia, weryfikację jej poprzez zmniejszanie lub zwiększanie lub chociażby skrócenia czasu ustalenia miejsca źródła emisji, wycieku substancji chemicznej.

Wyeksponowana w artykule kategoryzacja zagrożeń chemicznych wskazuje podejmującym działania na źródła sytuacji awaryjnych, do których należy dostosować istniejące możliwości operacyjno-techniczne wobec nowych uwarunkowań występujących w obszarze przemysłu i transportu. Przywołane zagrożenia chemiczne mogą przekształcić się w sytuacje kryzysowe i wywołać ograniczenia w działalności organów administracji publicznej ze względu na nieadekwatność sił i środków. Odpowiedzią na wskazane zagrożenia powinien być sprawnie działający zarówno system ratowniczy, jak również system przeciwdziałania poważnym awariom przemysłowym uwzględniający aspekty organizacyjne i rozwiązania praktyczne minimalizujące skutki współczesnych zagrożeń. Wskazana kategoryzacja zagrożeń przeprowadzona została według własnego opracowania wynikającego z obserwacji systemowej i ma być punktem wyjścia do poznania istoty przedmiotowej problematyki i stworzenia skuteczniejszego mechanizmu działania podmiotów ratowniczych w szczególności specjalistycznych grup ratownictwa chemiczno-ekologicznego w planowaniu, organizowaniu i realizacji działań ratowniczych niezbędnych do zmniejszenia lub likwidacji bezpośrednich zagrożeń stwarzanych przez materiały niebezpieczne.

Problematyka badawcza dotycząca zagrożeń chemicznych i ich likwidacji pozostaje ciągle aktualna i istotna dla zapewnienia bezpieczeństwa ludności w związku z tym wymaga ciągłych badań i analiz. Badania powinny być ukierunkowane na wyszczególnienie metod i zasad podejmowanych działań ratowniczych w przypadku występowania różnych zagrożeń. Należy także dokładnie przeanalizować możliwości współdziałania służb z innymi podmiotami, które mogą uczestniczyć w likwidacji zagrożeń. Odrębnym tematem badawczym jest problem dotyczący kierowania działaniami ratowniczymi i wyznaczania służb wiodących w przypadku różnych rodzajów zagrożeń. Wyzwaniem będzie np. zdarzenie, w którym równocześnie wystąpi zagrożenie radiacyjne i chemiczne. Służbą wiodącą w przypadku interwencji radiacyjnych jest Państwowa Agencja Atomistyki, a w przypadku zdarzeń chemicznych – Państwowa Straż Pożarna.

Literature / Literatura

- [1] Ustawa z dnia 18 kwietnia 2002 r. o stanie kłęski żywiołowej (Dz.U. 2017 poz. 1897).
- [2] Konieczny J., *Zarządzanie w sytuacjach kryzysowych, wypadkach i katastrofach*, GOW, Poznań-Warszawa 2001.
- [3] Obolewicz-Pietrusiak A., Wojnarowski A., *Podstawy ratownictwa chemicznego*, Firex, Warszawa 2001.
- [4] Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 22 lipca 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o substancjach chemicznych i ich mieszaninach (Dz.U. 2022 poz. 1816).
- [5] Kożuchowski K. (red.), *Meteorologia i klimatologia*. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2009.
- [6] <https://ios.edu.pl/wp-content/uploads/2018/02/stop-smog.pdf> [dostęp: 10.10.2023].
- [7] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, (Dz.U. 2022 poz. 2556 z późn. zm.).
- [8] KG PSP, <https://www.gov.pl/web/kgpsp/interwencje-psp> [dostęp: 05.10.2023].
- [9] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 17 września 2021 r. w sprawie szczegółowej organizacji krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego (Dz.U. 2021 poz. 1737).
- [10] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 8 czerwca 2016 r. w sprawie wymagań jakim powinny odpowiadać plany operacyjno-ratownicze (Dz.U. 2016 poz. 821).
- [11] Steumpfle A.K., Howells D.J., Armour S.J., Boulet C.A., *Final Report of ITF-25 Hazard from Industrial Chemicals*, US/UK/CA, Memorandum of Understanding on Chemical and Biological Defense, 18 march 1996.
- [12] GIOŚ, <https://www.gov.pl/web/gios/di-wystepowanie-zdazren-o-znamionach-powaznej-awarii> [dostęp: 20.11.2023].
- [13] KW PSP Kraków, <https://www.gov.pl/web/kwpsp-krakow/instrukcje-postepowania-mieszkanow-na-wypadek-wystapienia-awarii> [dostęp: 20.11.2023].
- [14] Rozkaz nr 54 Komendanta Głównego Państwowej Straży Pożarnej z dnia 29 grudnia 2022 r. zmieniający rozkaz w sprawie organizacji centralnego odvodu operacyjnego krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego (Dz.Urz. 2023 poz. 3).
- [15] KG PSP, Zasady organizacji ratownictwa chemicznego i ekologicznego w krajowym systemie ratowniczo-gaśniczym, <https://www.gov.pl/web/kgpsp/dokumenty-rchem> [dostęp: 12.11.2022].
- [16] Oświadczenie rządowe z dnia 13 marca 2023 r. w sprawie wejścia w życie zmian do załączników A i B do Umowy dotyczącej międzynarodowego przewozu drogowego towarów niebezpiecznych (ADR), sporządzonej w Genewie dnia 30 września 1957 r. (Dz.U. 2023 poz. 891).
- [17] Oświadczenie rządowe z dnia 13 marca 2023 r. w sprawie wejścia w życie zmian do Regulaminu międzynarodowego przewozu kolejami towarów niebezpiecznych (RID), stanowiącego załącznik C do Konwencji o międzynarodowym przewozie kolejami (COTIF), sporządzonej w Bernie dnia 9 maja 1980 r. (Dz.U. 2023 poz. 789).
- [18] Oświadczenie rządowe z dnia 31 maja 2023 r. w sprawie wejścia w życie zmian do Przepisów załączonych do Umowy europejskiej dotyczącej międzynarodowego przewozu śródlądowymi drogami wodnymi towarów niebezpiecznych (ADN), zawartej w Genewie dnia 26 maja 2000 r., obowiązujących od dnia 1 stycznia 2023 r. (Dz.U. 2023 poz. 1167).
- [19] Ustawa z dnia 19 sierpnia 2011 r. o przewozie towarów niebezpiecznych (Dz.U. 2022 poz. 2147).
- [20] Kopczewski R., Nowacki G., *Analiza zabezpieczenia przewozu drogowego towarów niebezpiecznych w Polsce oraz UE*, Instytut Naukowo Wydawniczy „Spatium”, 2018.
- [21] Polska Izba Paliw Płynnych, <https://www.paliwa.pl/strona-startowa/aktualnosci> [dostęp: 17.10.2023].
- [22] Kołcz B., *Wymagania formalnoprawne wobec podmiotów ratowniczych dotyczące rozpoznawania zagrożeń chemicznych w Polsce*, „Safety & Fire Technology”, SFT Vol. 61 Issue 1, 2023, pp. 64–84, <https://doi.org/10.12845/sft.61.1.2023.6>.

BOGDAN KOŁCZ, PH.D. ENG. – doctor of Social Sciences in the area of defence sciences. He received his degree in 2012 from the Department of Management and Command at the National Defence Academy in Warsaw. Graduate of the Main School of Fire Service in Warsaw. From 2009 to 2018, District Fire Chief of the State Fire Service, provincial coordinator for CBRNE threat recognition. University lecturer, advisor on prevention of major industrial accidents at a high-risk chemical plant. Organizer and co-organizer of scientific conferences, training courses, practical exercises in high-risk industrial plants. Author of publications in the area of chemical rescue in particular chemical reconnaissance, prevention of major industrial accidents.

DR INŻ. BOGDAN KOŁCZ – doktor nauk społecznych w zakresie nauk o obronności. Stopień naukowy uzyskał w 2012 roku na Wydziale Zarządzania i Dowodzenia w Akademii Obrony Narodowej w Warszawie. Absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarnej w Warszawie. W latach 2009–2018 Komendant Powiatowy Państwowej Straży Pożarnej, koordynator wojewódzki ds. rozpoznawania zagrożeń CBRNE. Wykładowca akademicki, doradca ds. przeciwdziałania poważnym awariom przemysłowym w zakładzie chemicznym dużego ryzyka. Organizator i współorganizator konferencji naukowych, szkoleń, ćwiczeń praktycznych w zakładach przemysłowych dużego ryzyka. Autor publikacji z zakresu ratownictwa chemicznego w szczególności rozpoznania chemicznego, przeciwdziałania poważnym awariom przemysłowym.



Tłumaczenie na język angielski artykułów naukowych (także ich streszczeń), w tym artykułów recenzyjnych, w półroczniku „Safety & Fire Technology” – zadanie finansowane ze środków Ministerstwa Edukacji i Nauki w ramach programu „Rozwój Czasopism Naukowych” (umowa nr RCN/SP/0560/2021/1).

Ilona Majka^{a)*}, Jacek Zboina^{a)}

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

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

Testing the Fire Safety of Electric Vehicles

Badania bezpieczeństwa pożarowego pojazdów elektrycznych

ABSTRACT

Aim: The aim of the article is to discuss, using literature on the subject, the results of scientific research and fire tests devoted to lithium-ion batteries and electric-powered vehicles, as well as various methods and techniques for extinguishing them. The presentation of these issues is important in terms of identifying the hazards present in construction objects where electric vehicles are parked and charged, as well as conducting effective and safe rescue operations during incidents involving them.

Introduction: The development of electromobility, including the growing number of electric vehicles, poses new challenges for fire protection, both in the context of conducting rescue operations and the safety of parking and charging these vehicles at construction objects. Fires on lithium-ion batteries used in electric vehicles follow a different pattern than fires on conventional energy sources. This includes the causes of their origin, the course and methods of extinguishing them, as well as the dangers to those in their zone, including from the toxic products of combustion that are emitted. Consideration of the occurrence of these risks is particularly important in underground infrastructure, where firefighting is more difficult and the ability to eliminate the toxic products is limited. The article discusses the results of scientific research and fire tests involving lithium-ion batteries and electric vehicles, taking into account different methods and techniques for extinguishing them, conducted in Germany, Austria, Switzerland, Sweden, South Korea, the United States of America and Poland, among others.

Methodology: The authors prepared the article based on a review and analysis of the results of scientific and experimental research, as well as on the literature.

Conclusions: The growing number of electric vehicles increases the likelihood of accidents and fires involving them. This poses a challenge for rescue operations involving the vehicles mentioned above. An analysis of the literature on the subject leads to the conclusion that the catalogue of risks during rescue operations involving electric vehicles is different from that of conventionally powered vehicles. These risks require research, analysis, evaluation and validation.

Keywords: fire safety, fire protection, electric vehicles, lithium-ion battery, rescue operations

Type of article: review article

Received: 22.11.2023; **Reviewed:** 01.12.2023; **Accepted:** 01.12.2023;

Authors' ORCID IDs: I. Majka – 0000-0001-6705-7165; J. Zboina – 0000-0002-9436-5830;

Percentage contribution: I. Majka – 60%; J. Zboina – 40%;

Please cite as: SFT Vol. 62 Issue 2, 2023, pp. 86–111, <https://doi.org/10.12845/sft.62.2.2023.5>;

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

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest omówienie – z wykorzystaniem literatury przedmiotu – wyników badań naukowych i testów pożarowych poświęconych bateriom litowo-jonowym oraz pojazdom z napędem elektrycznym, a także różnym metodom i technikom ich gaszenia. Przedstawienie tych zagadnień jest istotne z punktu widzenia identyfikacji zagrożeń występujących w obiektach budowlanych, w których parkowane i ładowane są pojazdy elektryczne, a także prowadzenia skutecznych i bezpiecznych działań ratowniczych podczas zdarzeń z ich udziałem.

Wprowadzenie: Rozwój elektromobilności, w tym rosnąca liczba pojazdów elektrycznych, stawia przed ochroną przeciwpożarową nowe wyzwania, zarówno w kontekście prowadzenia działań ratowniczych, jak i bezpieczeństwa parkowania i ładowania tych pojazdów w obiektach budowlanych. Pożary baterii litowo-jonowych stosowanych w pojazdach elektrycznych przebiegają inaczej niż pożary konwencjonalnych źródeł energii. Dotyczy to przyczyn ich powstania, przebiegu i metod gaszenia oraz zagrożeń dla osób przebywających w ich strefie, m.in. ze strony wydzielających się toksycznych produktów spalania. Rozważenie wystąpienia tych zagrożeń jest szczególnie istotne w podziemnej infrastrukturze, gdzie gaszenie pożarów jest trudniejsze, a możliwości eliminowania toksycznych produktów spalania są ograniczone. W artykule omówiono wyniki badań naukowych i testów

pożarowych z udziałem baterii litowo-jonowych oraz pojazdów elektrycznych, uwzględniających różne metody i techniki ich gaszenia, prowadzonych m.in. w Niemczech, Austrii, Szwajcarii, Szwecji, Korei Południowej, Stanach Zjednoczonych Ameryki oraz Polsce.

Metodologia: Autorzy opracowali artykuł, opierając się na przeglądzie i analizie wyników badań naukowych, eksperymentalnych, a także na literaturze przedmiotu.

Wnioski: Rosnąca liczba pojazdów elektrycznych zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia wypadków i pożarów z ich udziałem. Stanowi to wyzwanie w zakresie działań ratowniczych prowadzonych z udziałem pojazdów, o których mowa powyżej. Analiza literatury przedmiotu prowadzi do wniosku, iż katalog zagrożeń podczas prowadzenia działań ratowniczych z udziałem pojazdów elektrycznych jest inny niż w przypadku pojazdów z napędem konwencjonalnym. Zagrożenia te wymagają badań, analizy, oceny i walidacji. Na podstawie przeprowadzonej analizy dostępnych wyników badań naukowych, danych empirycznych i rzeczywistych zdarzeń można stwierdzić, iż w porównaniu z pożarami pojazdów spalinowych pożary pojazdów elektrycznych mają inną dynamikę rozwoju i mogą w związku z tym stanowić inne, nieznanne dotąd strażakom zagrożenia.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo pożarowe, ochrona przeciwpożarowa, pojazdy z napędem elektrycznym, bateria litowo-jonowa, działania ratownicze
Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 22.11.2023; **Zrecenzowany:** 01.12.2023; **Zaakceptowany:** 01.12.2023;

Identyfikator ORCID autorów: I. Majka – 0000-0001-6705-7165; J. Zboina – 0000-0002-9436-5830;

Procentowy wkład merytoryczny: I. Majka – 60%; J. Zboina – 40%;

Proszę cytować: SFT Vol. 62 Issue 2, 2023, pp. 86–111, <https://doi.org/10.12845/sft.62.2.2023.5>;

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

Introduction

Alternative propulsion technologies are becoming increasingly common. The market share of electric vehicles powered by lithium-ion batteries is growing worldwide with the global trend of green technology [1]. In Poland, according to press reports, 87,724 electric passenger cars were registered at the end of September 2023, of which 45,198 were all-electric cars (up 51.04% year-on-year) and 42,526 were plug-in hybrid cars (up 26.35% year-on-year). In contrast, the number of electric vans and trucks was 5212 units, and hybrid cars and vans numbered 619,122 units. At the end of September 2023, 18,922 mopeds and motorcycles and 1006 electric buses were also registered [2].

The increase in the number of electric-powered vehicles currently being observed worldwide, including in Poland, also poses a challenge in terms of fire safety, among other things, both in terms of the rescue operations being carried out and parking safety, and most importantly the charging of these vehicles using charging stations located at construction sites. Currently, there are no additional requirements in Poland's fire protection regulations for construction facilities where parking and charging of electric vehicles is expected.

The actual dangers that can occur in the event of an accident or fire involving an electric vehicle are still relatively unknown. On the other hand, it is known that the energy storage systems used in electric vehicles, based on lithium-ion technology, behave differently in the event of a fire than conventional vehicle drive sources. In order to expand the knowledge of the behaviour of electric-powered vehicles and their batteries under fire conditions and to determine their impact on safety, including the fire protection of garages, research work of various subject areas is being carried out in Poland and around the world. It can be expected that they will be further popularized, as the problem of operating

Wprowadzenie

Alternatywne technologie napędowe są coraz bardziej powszechne. Udział w rynku pojazdów z napędem elektrycznym, zasilanych bateriami litowo-jonowymi, rośnie na całym świecie wraz z globalnym trendem ekologicznej technologii [1]. W Polsce, według informacji podanych w prasie, pod koniec września 2023 r. zarejestrowanych było 87 724 samochodów osobowych z napędem elektrycznym, z czego 45 198 stanowiły samochody w pełni elektryczne (co oznacza wzrost o 51,04% w skali rocznej), a 42 526 samochody hybrydowe plug-in (co oznacza wzrost o 26,35% w skali rocznej). Liczba samochodów dostawczych i ciężarowych z napędem elektrycznym wynosiła natomiast 5212 sztuk, a hybrydowych samochodów osobowych i dostawczych było 619 122 sztuki. Na koniec września 2023 r. zarejestrowano również 18 922 motorowery i motocykle oraz 1006 autobusów elektrycznych [2].

Obserwowany obecnie na świecie, w tym w Polsce, wzrost liczby pojazdów z napędem elektrycznym stanowi także wyzwanie między innymi w aspekcie bezpieczeństwa pożarowego, zarówno w odniesieniu do prowadzonych działań ratowniczych, jak i bezpieczeństwa parkowania, a przede wszystkim ładowania tych pojazdów z wykorzystaniem stacji ładowania zlokalizowanych w obiektach budowlanych. Aktualnie w przepisach dotyczących ochrony przeciwpożarowej w Polsce nie ma dodatkowych wymagań dla obiektów budowlanych, w których przewiduje się parkowanie i ładowanie pojazdów z napędem elektrycznym.

Rzeczywiste zagrożenia mogące wystąpić w przypadku wypadku lub pożaru z udziałem pojazdu z napędem elektrycznym są jeszcze stosunkowo mało znane. Wiadomo natomiast, że stosowane w pojazdach elektrycznych systemy magazynowania energii, oparte na technologii litowo-jonowej, w przypadku pożaru zachowują się inaczej niż źródła napędów pojazdów konwencjonalnych. W celu poszerzenia wiedzy na temat zachowania się pojazdów

electric vehicles is extremely important. The analysis of literature allows us to conclude that the results of the research so far have a large spectrum and include a range of data on hazards, safeguards, parameters, dangerous incidents, firefighting activities, as well as losses and revealed problems.

Accordingly, the remainder of this article presents the results of scientific, experimental and actual fire tests conducted with lithium-ion batteries and electric vehicles, respectively, by research teams in various countries such as Germany, Austria, Switzerland, Sweden, South Korea and the United States of America. Various techniques and methods were used to extinguish these fires. Also presented are the results of research in this area conducted in Poland by CNBOP-PIB in cooperation with partners.

Definitions and abbreviations

Lithium batteries – batteries with substances containing lithium. There is a basic difference between lithium-metal and lithium-ion batteries. Lithium-metal batteries contain pure lithium in small amounts, while lithium-ion batteries usually contain lithium dissolved in other substances [3].

BEV – battery electric vehicle.

FCEV – fuel cell electric vehicle.

HF – hydrogen fluoride.

HEV – hybrid electric vehicle.

HCl – hydrochloric acid.

HCN – hydrogen cyanide.

HRR – heat release rate.

IR – infrared radiation.

ICEV – internal combustion engine vehicle.

LFP – lithium-iron-phosphate battery.

LIB – lithium-ion battery.

LTO – lithium-titanium-oxide battery.

Charging – electricity consumption for propulsion by: electric vehicle, plug-in hybrid vehicle, zero-emission bus,

z napędem elektrycznym i ich baterii w warunkach pożaru oraz określenia ich wpływu na bezpieczeństwo, w tym ochronę przeciwpożarową garaży, w Polsce i na świecie prowadzone są prace badawcze o różnym zakresie przedmiotowym. Można oczekiwać, że będą one dalej upowszechniane, ponieważ problem eksploatacji pojazdów z napędem elektrycznym jest niezwykle ważny. Analiza literatury pozwala stwierdzić, że dotychczasowe wyniki badań mają duże spektrum i zawierają szereg danych dotyczących zagrożeń, zabezpieczeń, parametrów, groźnych zdarzeń, działań straży pożarnej, a także strat i ujawnianych problemów.

W związku z powyższym w dalszej części artykułu zaprezentowano wyniki badań naukowych, doświadczalnych oraz rzeczywistych testów pożarowych prowadzonych z udziałem baterii litowo-jonowych i pojazdów z napędem elektrycznym odpowiednio przez zespoły badawcze w różnych państwach takich jak: Niemcy, Austria, Szwajcaria, Szwecja, Korea Południowa, Stany Zjednoczone Ameryki. Wykorzystano w nich różne techniki i metody gaszenia tych pożarów. Przedstawiono również wyniki badań w tym zakresie prowadzone w Polsce przez CNBOP-PIB we współpracy z partnerami.

Definicje i skróty

Baterie litowe – baterie z substancjami zawierającymi lit. Istnieje podstawowa różnica pomiędzy bateriami litowo-metalowymi, a litowo-jonowymi. Baterie litowo-metalowe zawierają czysty lit w małych ilościach, natomiast baterie litowo-jonowe zwykle zawierają lit rozpuszczony w innych substancjach [3].

BEV – pojazd elektryczny.

FCEV – pojazd elektryczny z ogniwem paliwowym.

HF – fluorowodór.

HEV – pojazd hybrydowy.

HCl – kwas solny.

HCN – cyjanowodór.

HRR – szybkość wydzielania ciepła.

IR – promieniowanie podczerwone.

ICEV – pojazd z napędem konwencjonalnym.

LFP – bateria litowo-żelazowo-fosforanowa.

LIB – bateria litowo-jonowa.

LTO – bateria litowo-tytanowo-tlenkowa.

Ładowanie – pobór energii elektrycznej na potrzeby napędu przez: – pojazd elektryczny, pojazd hybrydowy plug-in, autobus

non-electric vehicle motor vehicle, moped, bicycle or bicycle cart, as defined by the Law of 20 June 1997 – Traffic Law [5].

Thermal runaway – a phenomenon that leads to the uncontrolled decomposition of batteries due to the release of a large amount of heat and gases resulting from chemical reactions occurring in the battery cell. The phenomenon can occur as a result of damage (e.g. fire or mechanical impact), excessive or insufficient discharge and overheating of the battery. As a result, the battery may burn or explode [4].

NMC – nickel-manganese-carbide battery.

PH₃ – phosphine.

PHEV – plug-in hybrid electric vehicle.

pHRR – peak heat release rate.

Electric vehicle – a vehicle with a battery as the only energy storage, equipped with an electric motor or several such motors and having a connection for charging the battery from an external power source [3].

Hybrid vehicle – a vehicle with an electric drive and an internal combustion engine, in which a high-voltage energy storage system is charged by the internal combustion engine [3].

Plug-in hybrid vehicle – a type of hybrid vehicle in which the high-voltage battery can be charged from an external power source.

SOC – state of charge.

THR – total heat released.

TR – thermal runaway.

Research work

Not as of today, numerous scientific researches and fire tests have been conducted around the world to analyse the impact that electrically powered vehicle fires have on the fire safety of structures (including underground infrastructure) and the safety of rescue operations, as well as to evaluate methods and techniques for extinguishing such fires. Some of them are discussed in this article.

The German research project entitled "SUVEREN – Enhancing Safety in Underground Urban Areas with New Energy Sources" (German: *Erhöhung der Sicherheit in unterirdischen urbanen Räumen bei Einsatz neuer Energieträger*), funded by the Federal Ministry for Research and Education (German: *Bundesministerium für Forschung und Bildung*, BMBF), addressed new risks and future safety concepts for alternative energy sources in vehicles. One of its

zeroemisyjny, niebędący pojazdem elektrycznym pojazd silnikowy, motorower, rower lub wózek rowerowy, w rozumieniu ustawy z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym [5].

Niestabilność termiczna – zjawisko prowadzące do niekontrolowanego rozkładu 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 baterii. W rezultacie bateria może ulec spaleni lub wybuchnąć [4].

NMC – bateria niklowo-manganowo-kolbatowa.

PH₃ – fosforowodór.

PHEV – pojazd hybrydowy plug-in.

pHRR – szczytowa szybkość wydzielania ciepła.

Pojazd elektryczny – pojazd z baterią jako jedynym magazynem energii, wyposażony w silnik elektryczny lub kilka takich silników oraz posiadający przyłącze do ładowania baterii z zewnętrznego źródła zasilania [3].

Pojazd hybrydowy – pojazd z napędem elektrycznym i silnikiem spalinowym, w którym wysokonapięciowy system magazynowania energii jest ładowany przez silnik spalinowy [3].

Pojazd hybrydowy plug-in – typ pojazdu hybrydowego, w którym wysokonapięciowa bateria może być ładowana z zewnętrznego źródła zasilania.

SOC – stan naładowania baterii.

THR – całkowite wydzielone ciepło.

TR – niestabilność termiczna.

Prace badawcze

Nie od dziś na całym świecie prowadzone są liczne badania naukowe oraz testy pożarowe mające na celu analizę wpływu, jaki na bezpieczeństwo pożarowe obiektów budowlanych (w tym infrastruktury podziemnej) i bezpieczeństwo działań ratowniczych mają pożary pojazdów z napędem elektrycznym, a także ocenę metod i technik gaszenia tego rodzaju pożarów. Część z nich omówiono w niniejszym artykule.

Realizowany w Niemczech projekt badawczy pt. „SUVEREN – Zwiększenie bezpieczeństwa w podziemnych obszarach miejskich z wykorzystaniem nowych źródeł energii” (niem. *Erhöhung der Sicherheit in unterirdischen urbanen Räumen bei Einsatz neuer Energieträger*), finansowany przez Federalne Ministerstwo Badań i Edukacji (niem. *Bundesministerium für Forschung und Bildung*, BMBF) dotyczył nowych zagrożeń i przyszłych koncepcji bezpieczeństwa

main points was to conduct fire tests with lithium-ion batteries. The purpose of the ongoing research was to determine whether and what effect the behaviour of lithium-ion batteries under conditions similar to a real fire has on the safety and fire protection of underground garages. A total of three series of tests have been conducted, resulting in data on the fire behaviour of modern vehicles, including electric vehicles and their batteries [6].

The first series of research was conducted in May and June of 2019. Its main objective was to study the behaviour of lithium-ion batteries during a fire, in terms of heat release rate (HRR) and the resulting combustion products. The tests were performed in a specially configured calorimeter that was mechanically ventilated. Spatial and temporal temperature distribution was measured using thermocouples placed inside the calorimeter and on the applied fire load. The research was recorded using two optical cameras and two infrared cameras. Various combustion product detection systems were also used, including an FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy) spectrometer. A high-pressure water mist system has been installed in the calorimeter in order to gain knowledge of effective methods for extinguishing electric vehicle fires. The lithium-ion batteries tested contained prismatic or cylindrical cells with a capacity of 24 kWh and were from the same manufacturer [7]. As part of the ongoing research, several methods of battery ignition were tested. Mechanical penetration into the link using a drill proved to be the most effective. Overcharging and spot flame heating during these tests did not ignite the batteries, or were not sufficiently reproducible [8].

Conducted tests have shown large differences in the behaviour of lithium-ion batteries during a fire. Prismatic cell batteries underwent much slower thermal decomposition than cylindrical cell batteries. The cylindrical cell battery (A) reached a high temperature in a very short time interval and completely burned up in less than 20 minutes after ignition. In case of prismatic cell batteries (B), lower temperatures and much longer burn times were achieved. This battery burned with several temperature spikes and contained low-temperature phases until it burned completely (see Figure 1). These phases were caused by the combustion of components made of plastic, i.e. the battery cover or other parts of the battery compartment [9].

alternatywnych źródeł energii w pojazdach. Jednym z jego głównych punktów było przeprowadzenie testów pożarowych z bateriami litowo-jonowymi. Celem prowadzonych badań było określenie, czy i jaki wpływ na bezpieczeństwo oraz na ochronę przeciwpożarową garaży podziemnych ma zachowanie się baterii litowo-jonowych w warunkach zbliżonych do rzeczywistego pożaru. Przeprowadzono w sumie trzy serie badań, w wyniku których uzyskano dane na temat zachowania się w warunkach pożaru nowoczesnych pojazdów, w tym pojazdów elektrycznych i ich baterii [6].

Pierwszą serię badań przeprowadzono w maju i czerwcu 2019 r. Jej głównym celem było zbadanie zachowania się baterii litowo-jonowych podczas pożaru, pod względem szybkości wydzielania ciepła (HRR) oraz powstających produktów spalania. Badania wykonano w specjalnie skonfigurowanym kalorymetrze, który był wentylowany mechanicznie. Przestrzenny i czasowy rozkład temperatury mierzono za pomocą termopar umieszczonych wewnątrz kalorymetru i na zastosowanym obciążeniu ogniowym. Badania rejestrowane były za pomocą dwóch kamer optycznych oraz dwóch kamer na podczerwień. Zastosowano również różne systemy wykrywania produktów spalania, w tym spektrometr FTIR (spektroskopia w podczerwieni z transformacją Fouriera). W celu uzyskania wiedzy na temat skutecznych metod gaszenia pożarów pojazdów z napędem elektrycznym, w kalorymetrze zainstalowano system wysokociśnieniowej mgły wodnej. Badane baterie litowo-jonowe zawierały pryzmatyczne lub cylindryczne ogniwa o pojemności 24 kWh i pochodziły od tego samego producenta [7]. W ramach prowadzonych badań przetestowano kilka metod zapłonu baterii. Najskuteczniejszą z nich okazała się mechaniczna penetracja w ogniwo za pomocą wiertarki. Przeładowanie i punktowe ogrzewanie płomieniem podczas tych badań nie spowodowało zapłonu baterii, bądź nie było wystarczająco powtarzalne [8].

Przeprowadzone badania wykazały duże różnice w zachowaniu baterii litowo-jonowych podczas pożaru. Baterie z ogniwami pryzmatycznymi ulegały znacznie wolniejszemu rozkładowi termicznemu niż baterie z ogniwami cylindrycznymi. Bateria z ogniwami cylindrycznymi (A) osiągnęła wysoką temperaturę w bardzo krótkim przedziale czasu i w mniej niż 20 minut po zapłonie uległa całkowitemu spalaniu. W przypadku baterii z ogniwami pryzmatycznymi (B) osiągnięto niższe temperatury i znacznie dłuższy czas spalania. Bateria ta spalała się z kilkoma skokami temperatury i zawierała fazy niskich temperatur, aż do jej całkowitego spalania (zob. ryc. 1). Fazy te spowodowane były spalaniem elementów wykonanych z tworzyw sztucznych, tj. pokrycia baterii lub innych części komory baterii [9].

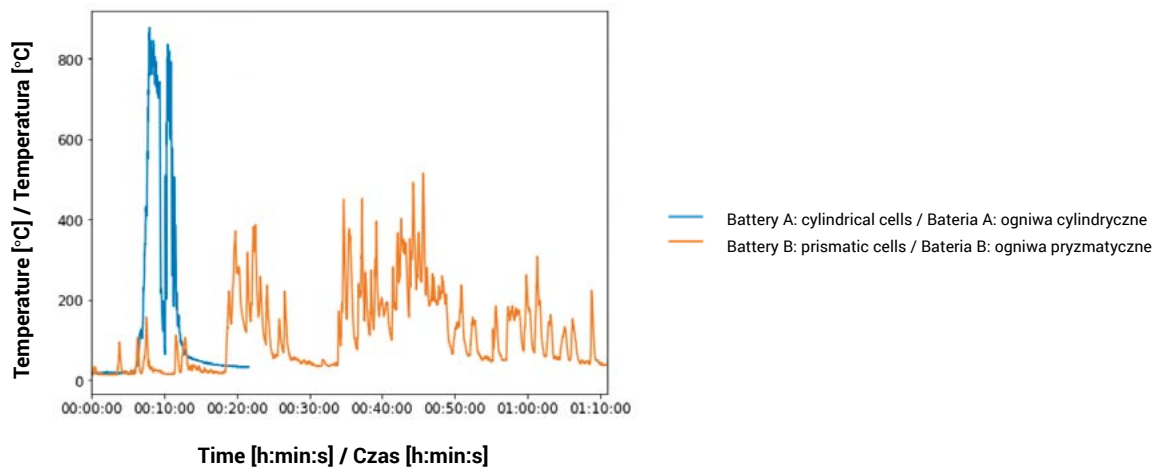


Figure 1. Temperature inside the outlet channel during fire tests of lithium-ion batteries with cylindrical and prismatic cells
Rycina 1. Temperatura wewnątrz kanału wylotowego podczas testów pożarowych baterii litowo-jonowych z ogniwami cylindrycznymi i pryzmatycznymi
Source / Źródło: Kutschenreuter M., Klüh S., Fast L., Lakkonen M., Rothe R., Leismann F., *Fire Safety of Lithium-Ion Traction Batteries*, International Conference on Fires in Vehicles (FIVE), 2020 [9].

The tests also proved that the battery cover has an impact on at least the early spread of fire. The heat released by the first cracked cells was trapped inside the battery, as the cover was still in place at the time – even though it was starting to burn itself. The development of a lithium-ion battery fire also depended on ventilation conditions. In addition, it was observed that in the absence of fire extinguishing measures, the uncontrolled temperature rise spread to all cells and battery modules. This propagation was interrupted using a water mist system [6]. Moreover, FTIR-measured concentrations of toxic substances in the exhaust air stream confirmed high concentrations of hydrofluoric acid (HF), hydrogen cyanide (HCN) and hydrochloric acid (HCl) (see Figure 2). However, the obtained data did not reflect real-world conditions. This is because the flow of air through the calorimeter (a total of 8325 m³) during testing caused dilution of the emitted gases [7]. Measured concentrations can be considered critical by comparing, for example, the measured HF concentration to the threshold value of 500 ppm given in [10].

W testach dowiedziono także, że osłona baterii ma wpływ przynajmniej na wczesne rozprzestrzenianie się ognia. Ciepło uwalniane przez pierwsze pękające ogniwa było zatrzymywane wewnątrz baterii, ponieważ w tym czasie osłona nadal znajdowała się na swoim miejscu – pomimo że sama zaczynała się palić. Rozwój pożaru baterii litowo-jonowej uzależniony był również od warunków wentylacji. Dodatkowo zaobserwowano, że w przypadku braku zastosowania środków gaśniczych niekontrolowany wzrost temperatury rozprzestrzeniał się na wszystkie ogniwa i moduły baterii. Propagacja ta została przerwana przy zastosowaniu systemu mgły wodnej [6]. Ponadto zmierzone za pomocą spektrometru FTIR stężenia substancji toksycznych w strumieniu powietrza wylotowego potwierdziły wysokie stężenia kwasu fluorowodorowego (HF), cyjanowodoru (HCN) i kwasu solnego (HCl) (zob. ryc. 2). Uzyskane dane nie odzwierciedlały jednak warunków rzeczywistych. Przepływ powietrza przez kalorymetr (łącznie 8325 m³) podczas testów powodował bowiem rozcieńczenie emitowanych gazów [7]. Zmierzone stężenia można uznać za krytyczne, porównując na przykład zmierzone stężenie HF do wartości progowej 500 ppm podanej w [10].

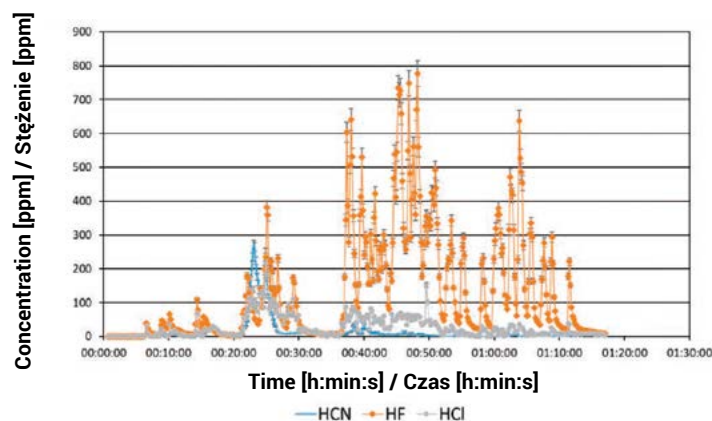


Figure 2. Measured concentrations of hydrogen cyanide (HCN), hydrofluoric acid (HF) and hydrochloric acid (HCl) with error factors
Rycina 2. Zmierzone stężenia cyjanowodoru (HCN), kwasu fluorowodorowego (HF) i kwasu solnego (HCl) ze współczynnikami błędów
Source / Źródło: Kutschenreuter M., Feltmann A., Usner T., Leismann F., *Brandschutz in Tunnelanlagen bei Fahrzeugen mit neuen Energieträgern (NET): Erste Erkenntnisse aus Realbrandversuchen*, Forschung + Praxis 53, STUVA-Tagung 2019 in Frankfurt am Main, 2019, s. 396 [7].

The second series of tests, conducted in December 2019 and January 2020, compared the effectiveness of various fire extinguishing and systems agents in extinguishing lithium-ion battery fires. These included sprinklers, high and low pressure water mist, F-500, firefighting foam, aerosol, inert gases (nitrogen and carbon dioxide) and NOVEC [8]. Several commercial detection systems were installed during the fire tests. This made it possible to compare and calibrate the results of commercial detection systems with scientific measurements [9]. For this series of tests, the calorimeter was modified and equipped with a flat roof to provide a more realistic scenario for detection systems. In addition, the walls of the calorimeter were equipped with openings – the test stand could be used as a closed or open room – thus allowing passive ventilation. Artificial ventilation was also not provided. The battery's fire load was identical in all the tests. Lithium-ion batteries consisting of two adjacent cylindrical cell modules with a total capacity of 5 kWh were studied [8]. During the tests, one module was ignited by forced electrical overload, while the spread of fire to an adjacent module was to be prevented by the fire extinguishing agents tested [6].

A total of 13 fire tests were conducted with identical fire loads, including two free burning tests – one in a closed and the other in an open test room. Before the activation of the extinguishing systems, the conditions in all battery fire tests were the same as in the free burning test [9]. Testing of various extinguishing agents (gas and water) has shown the particular effectiveness of water in extinguishing lithium-ion battery fires, due to its high cooling effect. It is particularly relevant to fires involving lithium-ion batteries [11].

The third series of surveys was conducted in October 2020. It focuses on examining the impact of an electric car fire on the building structure and evacuation conditions, as well as evaluating stationary firefighting. In order to obtain reference data, a design fire load consisting of a mock-up loaded with 24 wooden pallets was used to evaluate the numerical models developed in this project. The model reproduced a passenger car with a roof and front cover made of sheet steel [8]. The energy content of the car's reference fire load followed the fire curve developed in this project, with a maximum heat release of 7 MW. The vehicle fire was triggered using a reference battery fire load. The fire tests compared different extinguishing systems: sprinklers and high-pressure water mist, as well as automatic and open systems. In order to assess the spread of fire, or rather the possibility of limiting it, a target fire load was distributed around the vehicle and temperatures were measured near the vehicle, especially under the ceiling [6].

Conducted tests showed that a sprinkler system and a high-pressure water mist system with four nozzles were able to control the spread of fire. During the conducted tests, the development of the temperature under the ceiling was observed (see Figures 3 and 4). The temperature distribution shown in Figure 3 over time, at measurement points about 10 cm below the ceiling, illustrates the lower temperatures when high-pressure water mist was applied, measured over the entire test time considered (after 30 minutes, manual extinguishing had already begun). The high-pressure water mist system was able to keep the temperature below 200 degrees Celsius and thus protect the ceiling structure.

W drugiej serii badań, przeprowadzonej w grudniu 2019 r. i w styczniu 2020 r., porównano skuteczność różnych środków i systemów gaśniczych w gaszeniu pożarów baterii litowo-jonowych. Były to: tryskacze, mgła wodna pod wysokim i niskim ciśnieniem, F-500, piana gaśnicza, aerosol, gazy obojętne (azot i dwutlenek węgla) oraz NOVEC [8]. Podczas testów pożarowych zainstalowano kilka komercyjnych systemów detekcji. Umożliwiło to porównanie i kalibrację wyników komercyjnych systemów detekcji z pomiarami naukowymi [9]. Na potrzeby tej serii badań kalorymetr został zmodyfikowany i wyposażony w płaski dach, aby zapewnić bardziej realistyczny scenariusz dla systemów detekcji. Ponadto ściany kalorymetru zostały wyposażone w otwory – stanowisko testowe mogło być używane jako pomieszczenie zamknięte lub otwarte – umożliwiając tym samym bierną wentylację. Nie zapewniano również sztucznej wentylacji. Obciążenie ogniowe baterii było identyczne we wszystkich testach. Badano baterie litowo-jonowe składające się z dwóch sąsiadujących modułów z ogniwami cylindrycznymi o łącznej pojemności 5 kWh [8]. Podczas badań jeden z modułów był zapalany poprzez wymuszone przeładowanie elektryczne, natomiast rozprzestrzenianiu się ognia na sąsiedni moduł miały zapobiegać testowane środki gaśnicze [6].

Łącznie przeprowadzono 13 testów pożarowych z identycznymi obciążeniami ogniowymi, w tym dwa testy swobodnego spalania – jeden w zamkniętym, a drugi w otwartym pomieszczeniu testowym. Przed aktywacją systemów gaszenia warunki we wszystkich testach pożarowych baterii były takie same, jak w teście swobodnego spalania [9]. Przetestowanie różnych środków gaśniczych (gazowych i wodnych) wykazało szczególną skuteczność wody w gaszeniu pożarów baterii litowo-jonowych, co wynika z jej wysokiego efektu chłodzenia. Ma ono wyjątkowo duże znaczenie w przypadku pożarów baterii litowo-jonowych [11].

Trzecią serię badań przeprowadzono w październiku 2020 r. Skupiono się w niej na zbadaniu wpływu pożaru samochodu elektrycznego na konstrukcję budynku i warunki ewakuacji oraz ocenie stacjonarnego gaszenia pożaru. W celu uzyskania danych referencyjnych, do oceny modeli numerycznych opracowanych w ramach przedmiotowego projektu zastosowano projektowe obciążenie ogniowe składające się z makiety załadowanej 24 drewnianymi paletami. Makieta odwzorowała samochód osobowy z dachem i przednią pokrywą z blachy stalowej [8]. Zawartość energetyczna referencyjnego obciążenia ogniowego samochodu była zgodna z krzywą pożaru opracowaną w niniejszym projekcie, z maksymalnym wydzielaniem ciepła 7 MW. Pożar pojazdu wywołano za pomocą referencyjnego obciążenia ogniowego baterii. W testach pożarowych porównano różne systemy gaśnicze: tryskacze i wysokociśnieniową mgłę wodną oraz systemy automatyczne i otwarte. W celu oceny rozprzestrzeniania się ognia, a raczej możliwości jego ograniczenia, wokół pojazdu rozmieszczono docelowe obciążenie ogniowe i zmierzono temperatury w pobliżu pojazdu, zwłaszcza pod sufitem [6].

Przeprowadzone badania wykazały, że instalacja tryskaczowa oraz system wysokociśnieniowej mgły wodnej z czterema dyszami były w stanie zapewnić kontrolę rozprzestrzeniania się ognia. Podczas prowadzonych testów obserwowano rozwój temperatury pod stropem (zob. ryc. 3 i 4). Przedstawiony na rycinie 3 rozkład temperatury w czasie, w punktach pomiarowych około

10 cm poniżej sufitu, obrazuje niższe temperatury w przypadku zastosowania wysokociśnieniowej mgły wodnej, mierzone przez cały rozpatrywany czas testów (po 30 minutach przystąpiono już do gaszenia ręcznego). System wysokociśnieniowej mgły wodnej był w stanie utrzymać temperaturę poniżej 200°C, a tym samym zapewnić ochronę konstrukcji stropu.

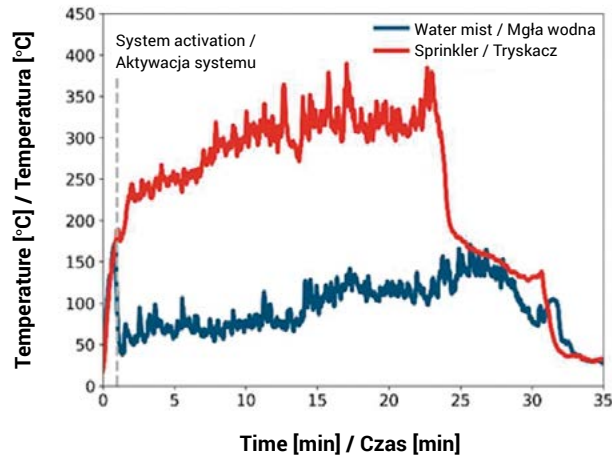


Figure 3. Temperature curve under the ceiling during a simulated electric vehicle fire (solid fuel fire), using a system of fixed firefighting equipment
Rycina 3. Krzywa temperatury pod sufitem podczas symulowanego pożaru pojazdu elektrycznego (pożar paliwa stałego), przy zastosowaniu systemu stałych urządzeń gaśniczych

Source / Źródło: *Fire Protection Guideline for Car Parks*, IFAB Ingenieure für angewandte Brandschutzforschung GmbH, Version: 2.0, 2023, s. 6 [11].

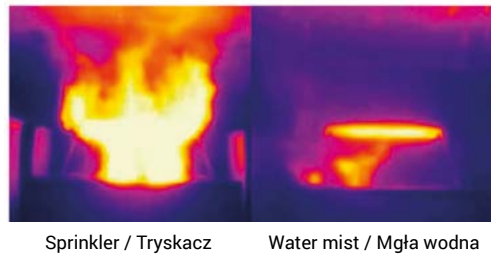


Figure 4. Comparison of sprinkler and high-pressure water mist system performance – thermal imaging (IR) image taken about 10 minutes after the start of extinguishing a simulated electric vehicle fire

Rycina 4. Porównanie działania instalacji tryskaczowej i wysokociśnieniowej mgły wodnej – obraz termowizyjny (IR) wykonany około 10 minut po rozpoczęciu gaszenia symulowanego pożaru pojazdu elektrycznego

Source / Źródło: *Fire Protection Guideline for Car Parks*, IFAB Ingenieure für angewandte Brandschutzforschung GmbH, Version: 2.0, 2023, s. 7 [11].

The use of a high-pressure water mist system also resulted in the use of significantly less firefighting water, which can be contaminated with various heavy metals in the event of a lithium-ion battery fire. Research conducted as part of the SUVEREN project has confirmed that the firefighting water (which comes from the high-pressure water mist system) is contaminated with various heavy metals that come from the battery cells. Analyses of water samples from firefighting tests (collected at 3 different locations – next to the faucet, on the floor, and directly under the faucet) showed concentrations of some heavy metals (especially cobalt and manganese) well above standards. Table 1 shows the measured values of the substances in the firefighting water with a coefficient (in parentheses) indicating how many times they were higher compared to the reference sample [8].

Zastosowanie systemu wysokociśnieniowej mgły wodnej skutkowało również wykorzystaniem znacznie mniejszej ilości wody gaśniczej, która w przypadku pożaru baterii litowo-jonowej może być zanieczyszczona różnymi metalami ciężkimi. Badania przeprowadzone w ramach projektu SUVEREN potwierdziły, że woda gaśnicza (z systemu wysokociśnieniowej mgły wodnej) jest zanieczyszczona różnymi metalami ciężkimi, które pochodzą z ogniw baterii. Analizy próbek wody z testów gaśniczych (zbieranych w 3 różnych miejscach – obok baterii, na podłodze oraz bezpośrednio pod baterią) wykazały stężenia niektórych metali ciężkich (zwłaszcza kobaltu i manganu) znacznie przekraczające normy. Tabela 1 zawiera zmierzone wartości substancji w wodzie gaśniczej ze współczynnikiem (w nawiasie) oznaczającym, ile razy były one wyższe w porównaniu z próbką odniesienia [8].

Table 1. Amount of substances measured in firefighting water during research conducted as part of the SUVEREN project
Tabela 1. Ilość substancji zmierzonych w wodzie gaśniczej podczas badań prowadzonych w ramach projektu SUVEREN

Substance / Substancja	Next to the battery / Obok baterii	Floor / Podłoga	Under the battery / Pod baterią
Fluoride / Fluor [mg/l (-)]	20.1 (104)	18.0 (89)	35.0 (174)
Cobalt / Kobalt [mg/l (-)]	48.0 (639)	22.1 (294)	20.8 (276)
Nickel / Nikiel [mg/l (-)]	47.9 (162)	26.9 (90)	24.6 (82)
Manganese / Mangan [mg/l (-)]	43.0 (433)	22.0 (221)	26.0 (262)

Source / Źródło: Kutschenreuter M., Klüh 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, Germany, 2020, s. 415 [8].

On the other hand, the results of research conducted within the framework of the "ETOX – Toxic Gases from Electric Vehicle Fires" research project, funded by the Swedish Energy Agency (SEA) also showed the release of higher amounts of hydrogen fluoride (HF) and some metals – nickel, cobalt, lithium and manganese – during an electric vehicle fire [12].

In contrast, research conducted as part of the AGT 2018/006 research project of the Swiss Tunnel Research Working Group (German: *Arbeitsgruppe Tunnelforschung*, AGT) found that electric vehicle fires lead to new forms of emissions and alter toxicological risks in underground infrastructure (in underground parking lots and road tunnels). The results of the NMC battery test showed that the pollutants produced during an electric vehicle fire differ from the emissions produced by a conventional vehicle fire – special attention should be paid to additional toxic and partially carcinogenic substances, such as fluorine phosphate salts in the electrolyte, which are non-flammable but hazardous to health. It should also be emphasized that the toxic substances generated by an electric vehicle fire can cause severe soiling of the clothes and protective equipment of firefighters [13, 14].

Research on the impact of fires caused by electric vehicles on the safety of tunnel users was also conducted in Austria in 2019–2021. Within the framework of the BRAFA research project – *Effects of Fire on Vehicles with Alternative Propulsion Systems* (German: *Brandauswirkungen von Fahrzeugen mit alternativen Antriebssystemen*), various methods of extinguishing electric car fires were tested. Single-cell battery tests were conducted, followed by larger-scale fire tests of battery modules and full-scale fire tests of electric vehicles. All experiments took place in a full-size research tunnel under realistic ventilation conditions [15].

As a result of the tests, a clear difference was observed between the NMC battery set fire (13 cells per module with a capacity of 60 Ah; 27 modules in total) and the LFP battery set fire (40 cells per module with a capacity of 20 Ah; 18 modules in total). The state of charge (SOC) of the NMC battery modules was 100%, while that of the LFP battery modules was not precisely known. Compared to nickel-manganese-cobalt batteries, lithium-iron-phosphate batteries had much lower fire dynamics. In case of LFP cells, the phenomenon of thermal instability (thermal runaway) occurred about 40 minutes after the battery was exposed to an external heat source, while in NMC modules, thermal instability began after just 10 minutes of battery exposure

Z kolei wyniki badań prowadzonych w ramach projektu badawczego „ETOX – Toksyczne gazy pochodzące z pożarów pojazdów elektrycznych”, finansowanego przez Szwedzką Agencję Energii (SEA) również wykazały wydzielanie się podczas pożaru pojazdu elektrycznego większych ilości fluorowodoru (HF) oraz niektórych metali – niktu, kobaltu, litu i manganu [12].

Natomiast badania przeprowadzone w ramach projektu badawczego AGT 2018/006 Grupy Roboczej ds. Badań Tuneli w Szwajcarii (niem. *Arbeitsgruppe Tunnelforschung*, AGT) dowiodły, że pożary pojazdów elektrycznych prowadzą do nowych form emisji zanieczyszczeń i zmieniają ryzyko toksykologiczne w podziemnej infrastrukturze (w parkingach podziemnych i tunelach drogowych). Wyniki badań baterii NMC wykazały, że zanieczyszczenia powstałe podczas pożaru pojazdu z napędem elektrycznym różnią się od emisji zanieczyszczeń powstałych w przypadku pożaru pojazdu z napędem konwencjonalnym – szczególną uwagę należy zwrócić na dodatkowe substancje toksyczne i częściowo rakotwórcze, np. sole fosforanu fluoru w elektrolicie, które są niepalne, ale niebezpieczne dla zdrowia. Podkreślenia wymaga również fakt, iż powstające w wyniku pożaru pojazdów elektrycznych toksyczne substancje mogą powodować silne zabrudzenie ubrań oraz sprzętu ochronnego strażaków [13, 14].

Badania w zakresie wpływu pożarów wywołanych przez pojazdy elektryczne na bezpieczeństwo użytkowników tunelu prowadzono również w Austrii w latach 2019–2021. W ramach projektu badawczego pt. „BRAFA – Skutki pożaru pojazdów z alternatywnymi układami napędowymi” (niem. *Brandauswirkungen von Fahrzeugen mit alternativen Antriebssystemen*) testowano różne metody gaszenia pożarów samochodów elektrycznych. Przeprowadzono badania na pojedynczych ogniach baterii, a w kolejnym etapie – na większą skalę – testy pożarowe modułów bateryjnych oraz pełnowymiarowe testy pożarowe pojazdów z napędem elektrycznym. Wszystkie eksperymenty miały miejsce w pełnowymiarowym tunelu badawczym w realistycznych warunkach wentylacji [15].

W wyniku przeprowadzonych badań zaobserwowano wyraźną różnicę pomiędzy pożarem zestawu baterii NMC (13 ogni w moduł o pojemności 60 Ah; łącznie 27 modułów) a pożarem zestawu baterii LFP (40 ogni w moduł o pojemności 20 Ah; łącznie 18 modułów). Stan naładowania (SOC) modułów baterii NMC wynosił 100%, natomiast w przypadku modułów baterii LFP nie był dokładnie znany. W porównaniu do baterii niklowo-manganowo-kobaltowych, baterie litowo-żelazowo-fosforanowe miały

to the same external heat source. The NMC battery fire lasted about 30 minutes, and the LFP battery modules lasted more than 3 hours [16].

The research also showed that in battery electric vehicle (BEV) fires, the heat release rate (HRR) increases slightly compared to fires of similar-sized internal combustion engine vehicles (ICEVs). The maximum heat release rate of the BEV observed during the tests was about 1.0–1.5 MW higher than that of an ICEV of the same size (see Figure 5). In addition, tests have shown that higher battery charge levels correspond to faster total heat release (THR) and higher peak heat release rate (pHRR) [16].

znacznie mniejszą dynamikę pożaru. W przypadku ogniw LFP do zjawiska niestabilności termicznej doszło po ok. 40 minutach od ekspozycji baterii na zewnętrzne źródło ognia, natomiast w modułach NMC niestabilność termiczna rozpoczęła się już po 10 minutach ekspozycji baterii na to samo zewnętrzne źródło ciepła. Pożar baterii NMC trwał około 30 minut, a modułów baterii LFP ponad 3 godziny [16].

Badania wykazały również, że w przypadku pożarów samochodów elektrycznych osobowych (BEV) szybkość wydzielania ciepła (HRR) wzrasta nieznacznie w porównaniu do pożarów podobnej wielkości samochodów konwencjonalnych (ICEV). Maksymalna szybkość wydzielania ciepła pojazdu BEV zaobserwowana podczas badań była wyższa o około 1,0–1,5 MW w porównaniu z pojazdem ICEV o tej samej wielkości (zob. ryc. 5). Ponadto przeprowadzone testy dowiodły, że wyższy poziom naładowania baterii odpowiada szybszemu całkowitemu wydzielaniu ciepła (THR) i wyższej szczytowej szybkości wydzielania ciepła (pHRR) [16].

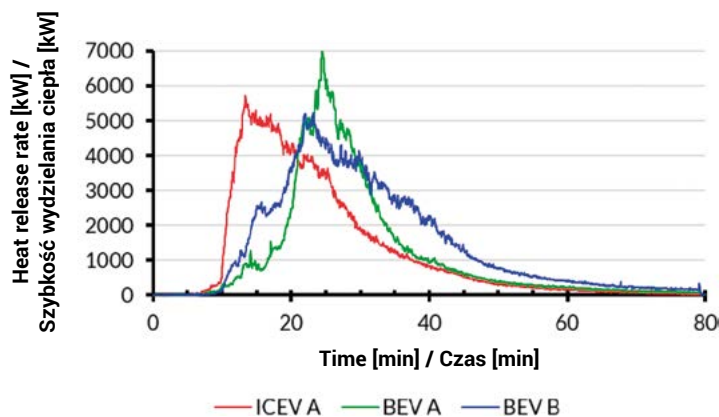


Figure 5. Diagram of the dependence of the rate of heat from time release during a fire of a conventional vehicle (red line) and an electric vehicle (green and blue lines)

Rycina 5. Wykres zależności szybkości wydzielania ciepła od czasu podczas pożaru pojazdu konwencjonalnego (linia czerwona) oraz pojazdu z napędem elektrycznym (linia zielona i niebieska)

Source / Źródło: Sturm P., Föbleitner P., Fruhwirt D., Galler R., Wenighofer R., Heindl S. F., Krausbar S., Heger O., *Fire tests with lithium-ion battery electric vehicles in road tunnels*, "Fire Safety Journal" 2022, Vol. 134, 103695, s. 6 [16].

Studies conducted as part of the BRAFA research project also showed that an electric vehicle fire produces about 60–80% more hydrogen fluoride than a conventional vehicle fire. Therefore, hydrogen fluoride is an additional critical component of fire gases produced during electric vehicle fires. In addition to HF, cobalt, lithium, manganese, F-aerosols and hydrogen phosphide (PH₃) were also found [16].

In all fire tests of electric vehicles conducted under the BRAFA project, fire suppression was attempted. Water proved to be the most effective extinguishing agent, as was the case with the SUVEREN project. The experiments also showed that lithium-ion batteries will be fully extinguished if water reaches their interior. External cooling of a burning but only slightly damaged battery is not very effective. If water manages to penetrate the battery housing, the cooling effect increases and the water demand decreases [16].

Fire blankets and extinguishing lances were also tested as alternative methods for extinguishing an electric vehicle fire. Fire

Przeprowadzone w ramach projektu badawczego BRAFA badania wykazały również, iż podczas pożaru pojazdu elektrycznego powstaje ok. 60–80% więcej fluorowodoru niż w przypadku pożaru pojazdu z napędem konwencjonalnym. Fluorowódor jest zatem dodatkowym krytycznym składnikiem gazów pożarowych wytwarzanych podczas pożarów pojazdów elektrycznych. Poza HF stwierdzono również obecność kobaltu, litu, manganu, F-aerozoli i fosforowodoru (PH₃) [16].

We wszystkich testach pożarowych pojazdów elektrycznych, prowadzonych w ramach projektu BRAFA, podejmowano próby gaszenia pożaru. Najskuteczniejszym środkiem gaśniczym, podobnie jak w przypadku projektu SUVEREN, okazała się woda. Przeprowadzone eksperymenty pokazały również, że baterie litowo-jonowe zostaną w pełni ugaszone, jeżeli woda dotrze do ich wnętrza. Zewnętrzne chłodzenie płonącej, lecz tylko nieznacznie uszkodzonej baterii jest mało skuteczne. Jeżeli woda zdoła przeniknąć do wnętrza obudowy baterii, efekt chłodzenia wzrasta, a zapotrzebowanie na wodę maleje [16].

blankets minimize the oxygen content in the fire area, thereby suppressing the fire. The conducted tests showed that the use of a fire blanket has an effect on reducing the rate of heat release during an electric vehicle fire (see Figure 6). However, in case of a fully developed fire, due to its dynamics and the battery's oxygen self-sufficiency, it is not an effective method of extinguishing a BEV [16].

Jako alternatywne metody gaszenia pożaru pojazdu elektrycznego testowane były również koce gaśnicze oraz lance gaśnicze. Koce gaśnicze minimalizują zawartość tlenu w obszarze pożaru, a tym samym tłumią ogień. Przeprowadzone badania wykazały, że zastosowanie koca gaśniczego wpływa na zmniejszenie szybkości wydzielania ciepła podczas pożaru pojazdu elektrycznego (zob. ryc. 6). Jednak w przypadku pożaru w pełni rozwiniętego, z uwagi na jego dynamikę i samowystarczalność tlenową baterii, nie stanowi on skutecznej metody gaszenia pojazdu BEV [16].

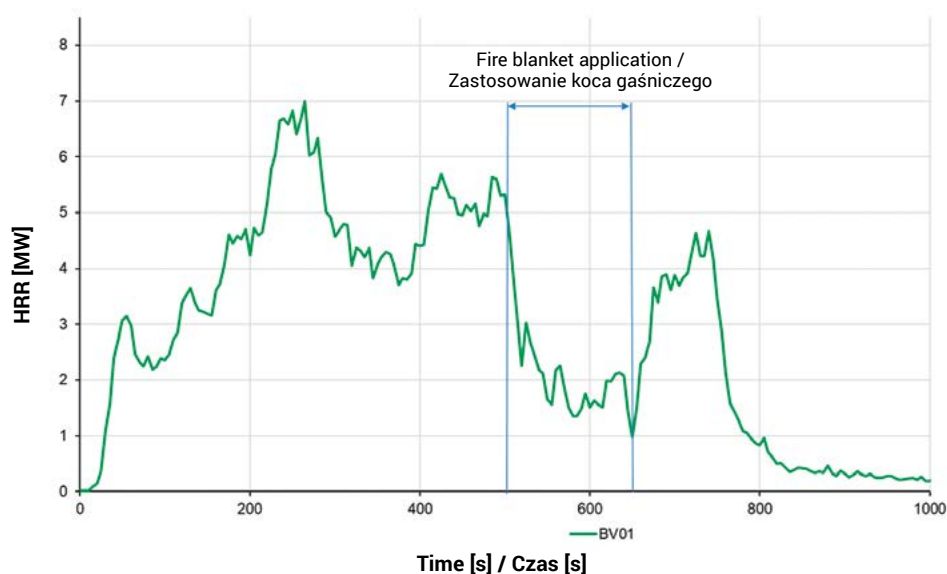


Figure 6. Effect of using a fire blanket on the rate of heat release during an electric vehicle fire

Rycina 6. Wpływ zastosowania koca gaśniczego na szybkość wydzielania ciepła podczas pożaru pojazdu elektrycznego

Source / Źródło: Sturm P., Föbleitner P., Fruhwirt D., Galler R., Wenighofer R., Heindl S. F., Krausbar S., Heger O., *Fire tests with lithium-ion battery electric vehicles in road tunnels*, "Fire Safety Journal" 2022, Vol. 134, 103695, s. 9 [16].

The use of an extinguishing lance, with which the battery housing was pierced and a small amount of water was introduced, allowed the fire to be completely extinguished in 2 minutes [16]. However, operating the firefighting lance proved difficult and proved that it is necessary to have practical experience and knowledge of its operation, as well as the possible dangers. Thus, the conducted tests proved that the use of a firefighting lance is an effective method for extinguishing electric car fires, but it requires adequate preparation and training of firefighters [15].

Real-world testing of electric vehicles has also been conducted in South Korea as part of a research and development program funded by the National Fire Agency (NTA) and the Korea Evaluation Institute of Industrial Technology (KEIT). Three electric vehicles (BEVs) manufactured in 2020 were tested (with battery capacities of 39 kWh and 64 kWh), an internal combustion engine vehicle (ICEV) and a hydrogen fuel cell electric vehicle (FCEV). The electric vehicle model was developed on an identical production platform to that used in the ICEV version. A total of six full-scale fire tests were conducted using large-scale cone

Zastosowanie lancy gaśniczej, za pomocą której przebito obudowę baterii i wprowadzono do jej wnętrza niewielką ilość wody, pozwoliło na całkowite ugaszenie pożaru w ciągu 2 minut [16]. Operowanie lancą gaśniczą okazało się jednak trudne i dowiodło, że konieczne jest posiadanie doświadczenia praktycznego oraz wiedzy na temat jej obsługi, a także możliwych zagrożeń. Przeprowadzone testy dowiodły zatem, że zastosowanie lancy gaśniczej stanowi skuteczną metodę gaszenia pożarów samochodów elektrycznych, jednak wymaga odpowiedniego przygotowania i wyszkolenia strażaków [15].

Badania pojazdów elektrycznych w warunkach rzeczywistych przeprowadzono również w Korei Południowej w ramach programu badawczo-rozwojowego finansowanego przez Krajową Agencję Straży Pożarnej (NTA) i Koreański Instytut Oceny Technologii Przemysłowych (KEIT). Testowano trzy pojazdy elektryczne (BEV) wyprodukowane w 2020 r. (z pojemnością baterii 39 kWh i 64 kWh), pojazd z silnikiem spalinowym (ICEV) oraz pojazd elektryczny z wodorowym ogniwem paliwowym (FCEV). Model pojazdu elektrycznego został opracowany na identycznej platformie produkcyjnej, jak ta stosowana

calorimetry on an instrumented test stand at the Korea Conformity Laboratories (KCL). In the first and second tests, the lithium-ion battery packs (LIB packs) and the BEV body were tested individually after physically removing the fully charged batteries. The third and fourth tests examined fires generated by two fully charged BEVs (BEV#2 and BEV#3) with different energy capacities. ICEVs and FCEVs were tested in the fifth and sixth experiments to investigate differences in thermal characteristics between BEVs, ICEVs and FCEVs [1].

The duration of the BEV test fires was about 70 min, until complete burnout in an open-air environment. The maximum heat release rates (pHRR) during fires on these vehicles were measured. They ranged from 6.51 to 7.25 MW and were slightly lower than the ICEV fire (7.66 MW), but higher than the FCEV fire (5.99 MW). The values of total heat release (THR) from the BEV fires ranged from 8.45 to 9.03 GJ and were higher than those of the ICEV vehicle fire (8.08 GJ) and smaller than the values measured for the FCEV vehicle fire (10.82 GJ). The dependence of heat release rate (HRR) and total heat release (THR) from time during the fires of the test vehicles is shown in Figure 7.

At a very early stage of the fire (about 1–2 min), a rapid increase in HRR was observed in the case of a vehicle body (BEV body) fire, as well as BEV#2 and ICEV vehicles. These rapid increases were due to the activation of the ignition stimuli (propane burner or heptane tray), rather than the rapid combustion of the samples. During the growth phase of the fire, the ignited vehicles generated gradually increasing heat and peaked (pHRR) after about 11–17 minutes. The fully developed stages of the fire were not maintained for long, except for the FCEV. The fires then went into a fading phase with a gradual decrease in HRR. At this stage, HRR fluctuations were observed in the BEV#2 and BEV#3 vehicle tests – due to a series of thermal runaway (TR) instability events. The HRR and THR values of the battery pack were lower than in the case of the fires of the vehicles tested, but here, too, there were fluctuations due to the phenomenon of thermal instability.

w wersji pojazdu ICEV. Łącznie przeprowadzono sześć testów pożarowych w pełnej skali przy użyciu wielkoskalowej kalymetrii stożkowej na oprzyrządowanym stanowisku testowym w Koreańskim Laboratorium Zgodności (KCL). W pierwszym i drugim teście pakiety baterii litowo-jonowych (ang. *LIB pack*) i nadwozie pojazdu BEV (ang. *BEV body*) zostały przetestowane indywidualnie po fizycznym demontażu całkowicie naładowanych baterii. W trzecim i czwartym teście badano pożary generowane przez dwa w pełni naładowane pojazdy BEV (BEV#2 i BEV#3) o różnych pojemnościach energetycznych. Pojazdy ICEV i FCEV zostały przetestowane w piątym i szóstym eksperymencie, celem zbadania różnic w charakterystyce termicznej między pojazdami BEV, ICEV i FCEV [1].

Czas trwania pożarów testowych pojazdów BEV wynosił około 70 minut, aż do całkowitego wypalenia w środowisku otwartej przestrzeni. Zmierzono maksymalne wartości szybkości wydzielania ciepła (pHRR) podczas pożarów tych pojazdów. Zawierały się one w zakresie od 6,51 do 7,25 MW i były nieco niższe niż w przypadku pożaru pojazdu ICEV (7,66 MW), ale wyższe niż w przypadku pożaru pojazdu FCEV (5,99 MW). Wartości całkowitego wydzielonego ciepła (THR) z pożarów pojazdów BEV wynosiły od 8,45 do 9,03 GJ i były większe niż w przypadku pożaru pojazdu ICEV (8,08 GJ) oraz mniejsze od wartości zmierzonych w przypadku pożaru pojazdu FCEV (10,82 GJ). Zależność szybkości wydzielania ciepła (HRR) i całkowitego wydzielonego ciepła (THR) od czasu podczas pożarów testowanych pojazdów przedstawiono na rycinie 7.

Na bardzo wczesnym etapie pożaru (około 1–2 min) szybki wzrost HRR zaobserwowano w przypadku pożaru nadwozia pojazdu oraz pojazdów BEV#2 i ICEV. Te szybkie wzrosty były spowodowane aktywacją bodźców zapłonowych (palnika propanowego lub tacy z heptanem), a nie szybkim spalaniem próbek. W fazie wzrostu pożaru zapalone pojazdy generowały stopniowo rosnące ciepło i osiągały wartości szczytowe (pHRR) po około 11–17 minutach. W pełni rozwinięte stadia pożaru nie były utrzymywane przez długi czas, za wyjątkiem pojazdu FCEV. Następnie pożary przeszły w fazę zaniku ze stopniowym spadkiem HRR. Na tym etapie zaobserwowano wahania HRR w testach pojazdów BEV#2 i BEV#3 – z powodu serii zdarzeń niestabilności termicznej (TR). Wartości HRR i THR pakietu baterii były mniejsze niż w przypadku pożarów badanych pojazdów, ale również i tu odnotowano wahania spowodowane zjawiskiem niestabilności termicznej.

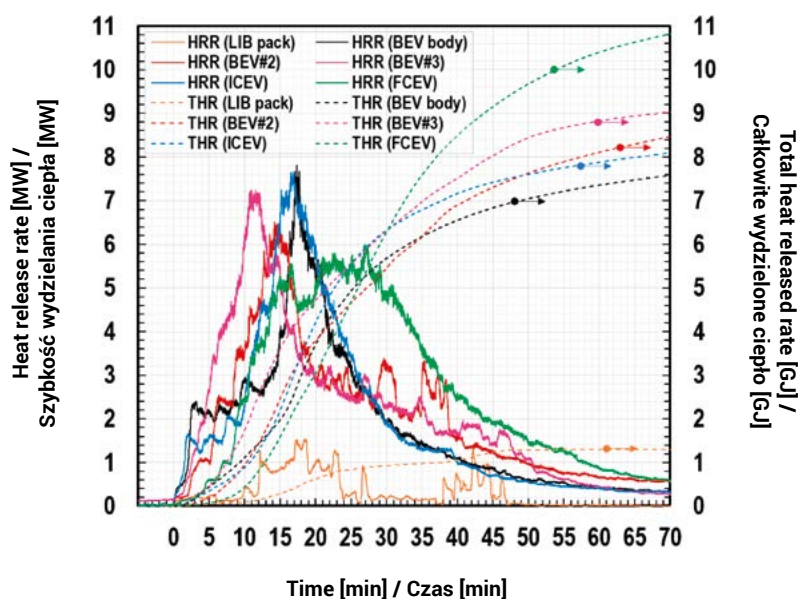


Figure 7. Dependence of HRR and THR on the fire run time of the tested BEV, ICEV, FCEV and battery pack.

Rycina 7. Zależność HRR i THR od czasu przebiegu pożaru badanych pojazdów BEV, ICEV, FCEV i pakietu baterii

Source / Źródło: Kang S., Kwon M., Choi J. Y., Choi S., *Full-scale fire testing of battery electric vehicles*, „Applied Energy” 2023, Vol. 332, 120497, s. 7 [1].

Observation of the research in question led to the conclusion that the body of the electric vehicle had a greater impact on the fire in terms of pHRR and THR than the lithium-ion battery pack. However, the intense jetting of flames from the LIB package accelerated the spread of the fire to neighbouring combustible components, thus leading to the rapid growth of the entire vehicle fire.

The research concludes that first responders should exercise far-reaching caution when approaching the scene of an electric vehicle accident. This is because damage to a lithium-ion battery is impossible to observe from outside the vehicle, and the activation of thermal instability (TR) is unpredictable. Moreover, once it is triggered, the fire develops very quickly.

Project fire curve of a passenger vehicle

Observation, analysis and scientific studies of modern cars have shown that they burn more intensely and can release large amounts of heat in a short period of time. This is mainly due to the larger size of the cars, as well as a change in their production technology. In modern vehicles, heavy metals have been replaced by lightweight materials (plastics, composite materials, light metal alloys), which has increased the amount of combustible materials. Nowadays, plastics and composite materials account for about 50% of a car's volume. These changes are also reflected in the increased risk of fire spreading to neighbouring vehicles and the occurrence of increased fire load in garages [11]. The issue of the increasing amount of plastics in modern cars has been addressed in many publications [11, 17, 18, 19]. The U.S. National Fire Protection Association (NFPA), in its report on the fire hazards of modern vehicles [17], stresses that older units should not be used to assess fires in garages.

Obserwacja przedmiotowych badań doprowadziła do wniosku, że większy wpływ na pożar pojazdu elektrycznego pod względem pHRR i THR miało jego nadwozie aniżeli pakiet baterii litowo-jonowych. Jednak intensywny wyrzut płomieni z pakietu LIB przyspieszył rozprzestrzenianie się pożaru na sąsiednie elementy palne, prowadząc w ten sposób do szybkiego wzrostu pożaru całego samochodu.

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano wniosek, iż osoby udzielające pierwszej pomocy powinny zachować daleko idącą ostrożność podczas zbliżania się do miejsca wypadku pojazdu elektrycznego. Wynika to z faktu, iż uszkodzenie baterii litowo-jonowej jest niemożliwe do zaobserwowania z zewnątrz pojazdu, a aktywacja niestabilności termicznej (TR) jest nieprzewidywalna. Ponadto po jej wyzwoleniu pożar rozwija się bardzo szybko.

Projektowa krzywa pożaru pojazdu osobowego

Obserwacje, analizy i badania naukowe nowoczesnych samochodów wykazały, że palą się one intensywniej i w krótkim czasie mogą uwolnić duże ilości ciepła. Spowodowane jest to przede wszystkim większym rozmiarem samochodów, jak również zmianą technologii ich produkcji. W nowoczesnych pojazdach metale ciężkie zostały zastąpione materiałami lekkimi (tworzywami sztucznymi, materiałami kompozytowymi, stopami metali lekkich), co wpłynęło na wzrost ilości materiałów palnych. Obecnie tworzywa sztuczne i materiały kompozytowe stanowią około 50% objętości samochodu. Te zmiany mają również odzwierciedlenie w zwiększonym ryzyku rozprzestrzeniania się pożaru na sąsiednie pojazdy oraz występowaniu zwiększonego obciążenia ogniowego w garażach [11]. Problematyka rosnącej ilości tworzyw sztucznych w nowoczesnych samochodach poruszana jest w wielu publikacjach [11, 17, 18, 19]. Amerykańskie

Based on fire test data and analysis of combustible materials – as part of the SUVEREN research project mentioned above – a new design fire curve was developed for conventionally and electrically powered passenger cars (see Figure 8). This curve illustrates the time dependence of the heat release rate (HRR). The peak heat release rate (pHRR) value of 7 MW is reached in 420 seconds.

stowarzyszenie (ang. NFPA) w swoim raporcie na temat zagrożeń pożarowych nowoczesnych pojazdów [17] podkreśla, że starsze egzemplarze nie powinny być wykorzystywane do oceny pożarów w garażach.

Na podstawie danych z testów pożarowych oraz analizy materiałów palnych – w ramach wspomnianego powyżej projektu badawczego SUVEREN – opracowano nową projektową krzywą pożaru dla samochodów osobowych z napędem konwencjonalnym i elektrycznym (zob. ryc. 8). Krzywa ta obrazuje zależność szybkości wydzielania ciepła (HRR) w czasie. Wartość szczytowa szybkości wydzielania ciepła (pHRR) wynosząca 7 MW jest osiągnięta w ciągu 420 sekund.

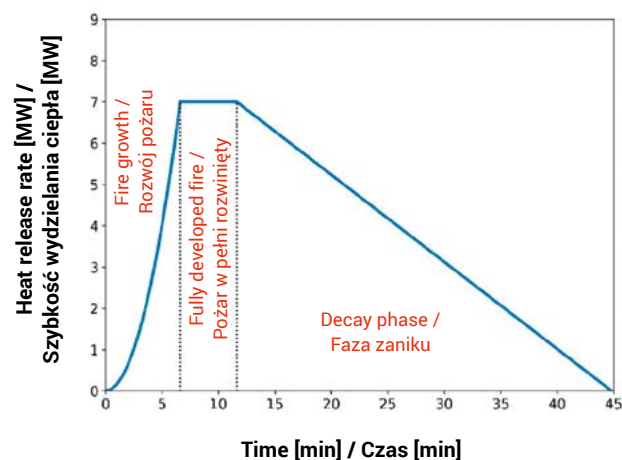


Figure 8. Projected fire curve for vehicles with conventional and electric propulsion systems

Rycina 8. Projektowa krzywa pożaru dla pojazdów z napędem konwencjonalnym i elektrycznym

Source / Źródło: IFAB Ingenieure für angewandte Brandschutzforschung GmbH, *Fire Protection Guideline for Car Parks*, Version: 2.0, 2023, s. 3 [11].

Data obtained from fire tests conducted with conventionally powered and electrically powered vehicles provided a reference point for the new design fire curve (see Figure 9) [8].

Dane otrzymane z testów pożarowych prowadzonych z udziałem pojazdów z napędem konwencjonalnym oraz z napędem elektrycznym stanowiły punkt odniesienia dla nowej projektowej krzywej pożaru (zob. ryc. 9) [8].

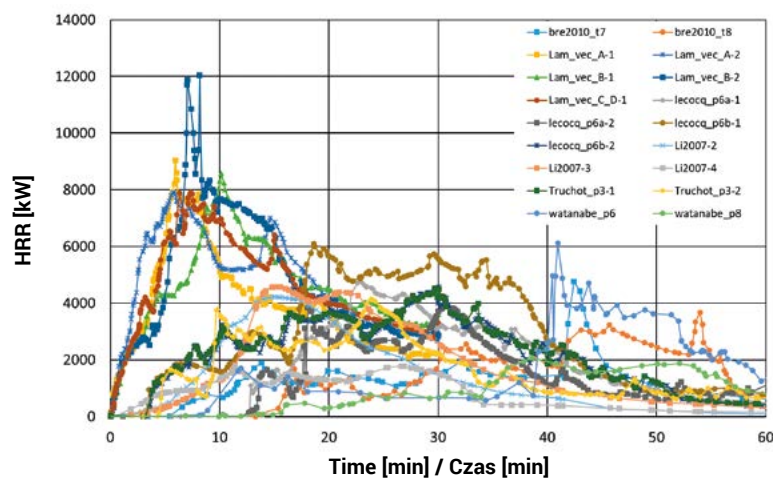


Figure 9. Dataset of fire tests of heat release rates of vehicles with conventional and electric propulsion systems based on literature studies [20–26].

Rycina 9. Zbiór danych z testów pożarowych szybkości wydzielania ciepła pojazdów z napędem konwencjonalnym i elektrycznym na podstawie badań literaturowych [20–26].

Source / Źródło: Kutschenreuter M., Klüh 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, Germany, 2020, s. 409 [8].

In turn, the figure below shows a comparison of the new design fire curve and HRR values from selected reference test fires. More than 90% of the experimental data is covered by the new design fire curve in terms of the rate of heat release and its maximum value [8].

Z kolei poniższa rycina przedstawia porównanie nowej projektowej krzywej pożaru i wartości HRR z wybranymi referencyjnymi pożarami testowymi. Ponad 90% danych eksperymentalnych jest objętych nową projektową krzywą pożaru pod względem szybkości wydzielania ciepła i jej wartości maksymalnej [8].

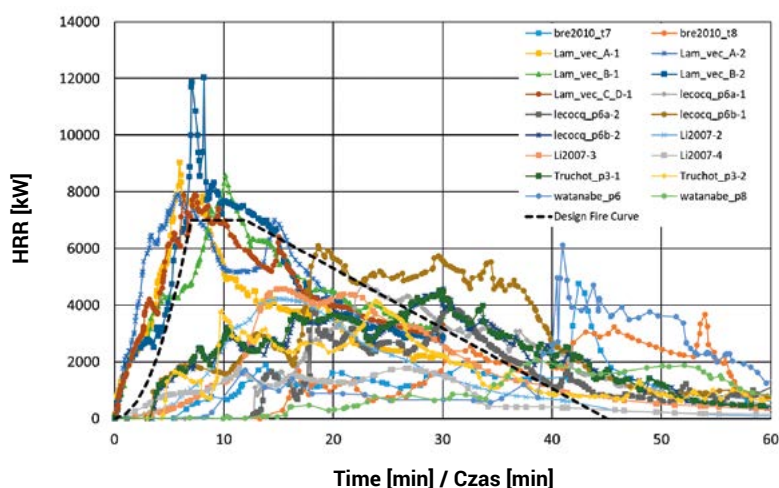


Figure 10. Comparison of the new projected fire curve and literature survey data

Rycina 10. Porównanie nowej projektowej krzywej pożaru oraz danych z badań literaturowych

Source / Źródło: Kutschenreuter M., Klüh 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, Germany, 2020, s. 409 [8].

CNBOP-PIB's own research

The Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute in Józefów conducts tests on electric vehicle batteries in terms of fire safety. The purpose of this research is, among other things, to evaluate the possibility of damage to batteries subjected to prolonged charging, external flame heating and hotplate heating, as well as to assess the possibility of extinguishing them using water, firefighting equipment and fire blankets. Research has mainly focused on NMC and LTO type modules, which have a long life and very high energy density [27].

The first series of tests was conducted with the LTO module. One of the three tests conducted was to overload the LTO module with 10C current. During the test, an initial light smoke could be observed coming out of the cells, followed by a burst, which was followed by sparks and then flame. The average velocity of gas outflow was 3–5 m/s, while the maximum explosion pressure generated when the safety valve was opened was about 6 bar.

In another test, the LTO module was exposed to a 12–15 kW propane burner fire (the flame from the burner was directed at the side wall of the prismatic cell). During the test, temperatures were measured at 3 points. Its maximum values were respectively:

- $T_{1max} = 369^{\circ}\text{C}$ – for the outer wall of the cell housing on the opposite side of the burner,
- $T_{2max} = 375^{\circ}\text{C}$ – for ejection gases (measurement at a height of 200 mm above the surface of the safety valve),
- $T_{3max} = 121^{\circ}\text{C}$ – for the bottom wall of the cell housing.

As in the previous test, smoke, sparks, flame and a large

Badania własne CNBOP-PIB

Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwożarowej – Państwowy Instytut Badawczy w Józefowie prowadzi badania baterii pojazdów elektrycznych pod kątem bezpieczeństwa pożarowego. Celem tych badań jest m.in. ocena możliwości wystąpienia uszkodzenia baterii poddawanych długotrwałemu ładowaniu, ogrzewaniu płomieniem zewnętrznym oraz ogrzewaniu płytą grzewczą, jak również ocena możliwości ich ugaszenia z wykorzystaniem wody, urządzeń gaśniczych, płacht/koców gaśniczych. Badania skupiają się głównie na modułach typu NMC oraz LTO, które charakteryzują się dużą żywotnością i bardzo wysoką gęstością energii [27].

Pierwszą serią badań przeprowadzono z modulem LTO. Jednym z trzech przeprowadzanych testów było przeładowanie modułu LTO prądem 10C. Podczas badania można było zaobserwować wstępnie lekkie zadymienie wydobywające się z ognia, po czym doszło do jego rozerwania, w następstwie czego pojawiły się iskry, a następnie płomień. Średnia prędkość wypływu gazu wyniosła 3–5 m/s, natomiast ciśnienie maksymalne wybuchu wygenerowane podczas otwarcia zaworu bezpieczeństwa wyniosło około 6 barów.

W kolejnym teście moduł LTO został poddany oddziaływaniu ognia z palnika propanowego o mocy 12–15 kW (płomień z palnika został skierowany na boczną ścianę ogniwa pryzmatycznego). W trakcie badania dokonywano pomiaru temperatur w 3 punktach. Jej maksymalne wartości wyniosły odpowiednio:

- $T_{1max} = 369^{\circ}\text{C}$ – dla zewnętrznej ściany obudowy ogniwa po przeciwnej stronie palnika,

release of gas could be seen. At the end of the test, the cell was not damaged, although it remained “swollen” following exposure to thermal radiation. Based on this, it can be concluded that the safety valve used in the cell worked properly.

In the third test, the LTO module was heated using a 5 kW hotplate set up under the module. The obtained results showed an increase in flame temperature during the test to about 950°C. The maximum temperature of the module’s outer casing was 183°C. At the beginning of the test, the release of gaseous thermal decomposition products was evident, followed by ignition and the spread of flame to adjacent cells. The flame reached about 3 meters in height during the test [27].

A second series of tests was conducted with the NMC module. In the first test, a 12–15 kW propane burner was used to verify the effects of fire on the underside of the module. The test was accompanied by a lot of noise created by the flowing gas. The gas emission velocity reached about 12 m/s (measured at a distance of 500 mm). After the test was completed, the module housing was not “swollen” and the module itself remained undamaged.

Another test involved heating the NMC module with a 5 kW hotplate. Measured at 5 measurement points, the maximum temperature values were respectively:

- $T_{1max} = 460^{\circ}\text{C}$ – for the outer casing of the module,
- $T_{2max} = 600^{\circ}\text{C}$ – for the outer wall of the cell,
- $T_{3max} = 932^{\circ}\text{C}$ – for the flame and 300–450°C for the ejection gases (measurement 200 mm above the surface of the safety valve),
- $T_{4max} = 730^{\circ}\text{C}$ – for the outer casing of the module;
- $T_{5max} = 900^{\circ}\text{C}$ – for the module heater from the heating system.

During the test, there were significant volumes of gases coming out of the module, then the safety valve was activated to reduce the internal pressure. Moreover, a violent flame appeared, and after it was blown out, re-ignition occurred due to the escaping gases [27].

The next stage of the research involved evaluating the effectiveness of the extinguishing methods and agents used during the fire of LTO and NMC modules on the production line. The obtained results are shown in Table 2.

Based on the results of the extensive battery testing

- $T_{2max} = 375^{\circ}\text{C}$ – dla gazów wyrzutowych (pomiar na wysokości 200 mm nad powierzchnią zaworu bezpieczeństwa),
- $T_{3max} = 121^{\circ}\text{C}$ – dla dolnej ściany obudowy ogniwa.

Podobnie jak w poprzednim teście, można było dostrzec zadymienie, iskry, płomień i duże uwolnienie gazu. Po zakończeniu badania ogniwo nie było uszkodzone, mimo że pozostało „spęczniałe” w następstwie oddziaływania promieniowania cieplnego. Na tej podstawie można stwierdzić, że zastosowany w ogniwie zawór bezpieczeństwa zadziałał prawidłowo.

W trzecim teście moduł LTO został podgrzany za pomocą płyty grzewczej o mocy 5 kW, ustawionej pod modułem. Otrzymane wyniki wykazały wzrost temperatury płomienia w trakcie testu do około 950°C. Maksymalna temperatura zewnętrznej obudowy modułu wyniosła 183°C. Na początku badania widoczne było uwolnienie gazowych produktów rozkładu termicznego, następnie doszło do zapłonu i rozprzestrzenienia się płomienia na przyległe ogniwa. Płomień w trakcie badania osiągnął około 3 m wysokości [27].

Drugą serię badań przeprowadzono z modułem NMC. W pierwszym teście, do weryfikacji oddziaływania ognia na spodnią część modułu, wykorzystano palnik propanowy o mocy 12–15 kW. Badaniu towarzyszył duży hałas tworzący się wskutek wypływającego gazu. Prędkość emisji gazu dochodziła do około 12 m/s (pomiar w odległości 500 mm). Po zakończonym badaniu obudowa modułu nie była „spuchnięta”, a sam moduł pozostał nieuszkodzony.

Kolejny test polegał na podgrzaniu modułu NMC za pomocą płyty grzewczej o mocy 5 kW. Zmierzone w 5 punktach pomiarowych maksymalne wartości temperatur wyniosły odpowiednio:

- $T_{1max} = 460^{\circ}\text{C}$ – dla zewnętrznej obudowy modułu,
- $T_{2max} = 600^{\circ}\text{C}$ – dla zewnętrznej ścianki ogniwa,
- $T_{3max} = 932^{\circ}\text{C}$ – dla płomienia oraz 300–450°C dla gazów wyrzutowych (pomiar 200 mm nad powierzchnią zaworu bezpieczeństwa),
- $T_{4max} = 730^{\circ}\text{C}$ – dla zewnętrznej obudowy modułu;
- $T_{5max} = 900^{\circ}\text{C}$ – dla grzejnika modułu z układu grzewczego.

W trakcie badania pojawiły się znaczne objętości gazów wydobywających się z modułu, następnie uruchomił się zawór bezpieczeństwa, który redukowało ciśnienie wewnętrzne. Ponadto pojawił się gwałtowny płomień, a po jego zdmuchnięciu doszło do ponownego zapłonu z uwagi na wydobywające się gazy [27].

Następny etap badań dotyczył oceny skuteczności zastosowanych metod i środków gaśniczych podczas pożaru modułów LTO i NMC na linii produkcyjnej. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 2.

Table 2. Results of tests conducted on LTO and NMC modules
Tabela 2. Wyniki badań przeprowadzonych na modułach LTO i NMC

Test No. / Nr testu	Module type / Rodzaj modułu	Description of firefighting activities / Opis działań gaśniczych	Results / Wyniki
I	LTO	<p>A dense stream of water was applied to the burning module for 2 minutes, the average water output from the \varnothing 25 mm hose was 55 dm³/min, water fed from three sides of the module / Na płonący moduł podano przez 2 minuty zwarty strumień wody, średni wydatek wody z węża \varnothing 25 mm wynosił 55 dm³/min, woda podawana z trzech stron modułu</p>	<ul style="list-style-type: none"> – there was a flame covering the surface of the module, – during the fire, flames appeared with a range of about 80–150 cm, resulting from the unsealing of the cells, <ul style="list-style-type: none"> – fire was extinguished in less than 2 s, – after the flame was extinguished, the module emitted a limited volume of white-coloured gases, the amount of which decreased with time, – after 2 minutes of water administration, the volume of gases formed did not increase (decreasing trend), – the temperature of the module after extinguishing increased to a maximum value approximately 70°C, <ul style="list-style-type: none"> – in two consecutive tests, similar results were obtained / – występował płomień obejmujący powierzchnię modułu, – w trakcie pożaru pojawiały się płomienie o zasięgu około 80–150 cm, powstające wskutek rozszczelnienia się ogniw, <ul style="list-style-type: none"> – pożar został ugaszony w czasie poniżej 2 s, – po ugaszeniu płomienia moduł wydzielał ograniczoną objętość gazów koloru białego, których ilość zmniejszała się z czasem, <ul style="list-style-type: none"> – po 2 minutach podawania wody objętość powstających gazów nie zwiększała się (tendencja malejąca), – temperatura modułu po zakończeniu gaszenia wzrosła do maksymalnej wartości około 70°C, – w dwóch kolejnych testach uzyskano zbliżone efekty
II	NMC	<p>A diffuse/constant stream of water was applied to the burning module for 2 minutes, average water output from the hose \varnothing 25 mm was 55 dm³/min, water fed from three sides of the module, water was administered 2 times / Na płonący moduł podano przez 2 minuty rozproszony/zwarty strumień wody, średni wydatek wody z węża \varnothing 25 mm wynosił 55 dm³/min, woda podawana z trzech stron modułu, wodę podawano 2 razy</p>	<ul style="list-style-type: none"> – during the fire, there were flames with a range of about 120–150 cm, resulting from the unsealing of the cells, accompanied by a loud, high-pitched sound, <ul style="list-style-type: none"> – fire was extinguished in less than 5 s, – after the flame was extinguished, the module emitted a significant volume of white-coloured gases, the volume of which increased over time, – during the administration of water, the cells were unsealed, accompanied by an explosion effect, – after 5.5 minutes after the end of the water supply, the cell was unsealed and the discharge of gases formed from the decomposing electrolyte, the volume of the resulting gases increases (increasing trend), – the temperature of the module after extinguishing increased to a maximum value approximately 350°C, – after about 8.5 minutes, water was administered a second time to cool the module./ <ul style="list-style-type: none"> – w trakcie pożaru pojawiały się płomienie o zasięgu około 120–150 cm, powstające wskutek rozszczelnienia się ogniw, towarzyszył temu głośny, wysoki dźwięk, – pożar został ugaszony w czasie poniżej 5 s, – po ugaszeniu płomienia moduł wydzielał znaczną objętość gazów koloru białego, których objętość zwiększała się w czasie, – podczas podawania wody nastąpiło rozszczelnienie ogniw, towarzyszył temu efekt wybuchu, – po 5,5 minutach od zakończenia podawania wody nastąpiło rozszczelnienie się ogniw i wyrzut gazów powstających z rozkładającego się elektrolitu, objętość powstających gazów zwiększa się (tendencja rosnąca), – temperatura modułu po zakończeniu gaszenia wzrosła do maksymalnej wartości około 350°C, – po około 8,5 minutach podano po raz drugi wodę w celu schłodzenia modułu

Source / Źródło: Pietrzak M., Bąk D., Twardowski M., Majka I., Chmiel M., Zboina J., *Raport z I Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Bezpieczeństwo pożarowe instalacji fotowoltaicznych, magazynów energii, pojazdów elektrycznych, ich punktów i stacji ładowania, rozwiązań inteligentnego domu”*. Wnioski i rekomendacje, Wydawnictwo CNBOP-PIB, Józefów 2023, s. 11 [27].

conducted by the Laboratory of Combustion Processes and Explosions at CNBOP-PIB, the following conclusions have been made.

- NMC modules, compared to LTO modules, burn more violently and are more difficult to extinguish regardless of the type of action taken and the extinguishing agents used,
- a relatively short distance between the nozzle and the source of the fire is required to achieve effective extinguishment with an extinguishing device. Increasing the number of firefighting currents reduces the time it takes to extinguish a battery fire. Experience in extinguishing this type of fire is required (there are physical explosions, fragmentation),
- water makes it possible to extinguish a module fire in a few seconds (LTO modules) or tens of seconds (NMC modules) with a visible cooling effect,
- after extinguishing the fire of NMC and LTO modules with water, there was no re-ignition of “exhaust” gases (no fire appeared),
- the tight application of a fire blanket (intended for batteries) on the module requires personal protective equipment and the presence of at least two trained persons (physical explosions and minor fragmentation occur),
- covering the pre-extinguished module with a fire blanket is an effective way to reduce thermal radiation, the physical effects of cell leakage and, to some extent, the spread of gases,
- fiberglass fire blanket does not exhibit characteristics useful for reducing the effect of fire for NMC modules [27].

Another study conducted by CNBOP-PIB was aimed at acquiring selected fire parameters, i.e. temperatures and thermal radiation fluxes. The tests were conducted for two vehicle fire scenarios simulating an electric vehicle, located in a three-station facility replicating a garage room. Four NMC-type battery modules with a capacity of 102 Ah (each) were used to orchestrate an electric vehicle fire, which were placed under the vehicle. In both scenarios, the simulated electric vehicle was located in the middle position. The neighbouring sites were occupied by conventionally powered vehicles. The first test scenario involved an electric vehicle fire with the participation of an automatically activated local firefighting system, consisting of water distribution piping, a water control and supply system, sprinklers and fire detection, while the second involved an electric vehicle fire without the participation of a firefighting system. The results of the conducted tests authorize the conclusion that the effect of the extinguishing system was a significant reduction in the values of the measured parameters (i.e. temperature and heat flux, along with visible band and IR imaging), relative to the reference fire. As a result, the fire developed in a controlled manner and did not spread to vehicles parked nearby [4].

CNBOP-PIB also tested fire blankets (as part of the assessment of their suitability for use in rescue operations – according to the procedure for testing innovative products) and conducted prototype tests of these products.

The subject of the test was a fire blanket made of silicone-coated fiberglass, which, according to the manufacturer’s statement, can be used as equipment for surface and underground parking lots,

Na podstawie wyników szeroko zakrojonych badań baterii prowadzonych przez Zespół Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości w CNBOP-PIB sformułowano następujące wnioski:

- moduły NMC, w porównaniu z modułami LTO, palą się gwałtowniej i są trudniejsze do ugaszenia bez względu na rodzaj podejmowanych działań i użyte środki gaśnicze,
- do osiągnięcia skutecznego gaszenia za pomocą urządzenia gaśniczego wymagana jest stosunkowo niewielka odległość dyszy od źródła ognia. Zwiększenie liczby prądów gaśniczych skraca czas ugaszenia pożaru baterii. Wymagane jest doświadczenie w gaszeniu tego typu pożarów (występują wybuchy fizyczne, odłamkowanie),
- woda umożliwia ugaszenie pożaru modułów w ciągu kilku sekund (moduły LTO) lub kilkudziesięciu sekund (moduły NMC) z widocznym efektem chłodzącym,
- po ugaszeniu pożaru modułów NMC i LTO wodą nie dochodziło do ponownego zapłonu gazów „wylotowych” (nie pojawiał się ogień),
- nałożenie w sposób szczelny koca gaśniczego/płachty gaśniczej (przeznaczonej do baterii) na moduł wymaga zastosowania środków ochrony osobistej i obecności co najmniej dwóch przeszkolonych osób (występują wybuchy fizyczne i drobne odłamkowanie),
- przykrycie płachtą wstępnie ugaszonego modułu jest skutecznym sposobem ograniczenia promieniowania cieplnego, fizycznych efektów rozszechnienia ogniw oraz w pewnym stopniu rozprzestrzeniania się gazów,
- koc gaśniczy wykonany z włókna szklanego nie wykazuje cech przydatnych do ograniczenia efektu pożaru dla modułów NMC [27].

Kolejne badania przeprowadzone przez CNBOP-PIB miały na celu akwizycję wybranych parametrów pożarowych, tj. temperatur i strumieni promieniowania cieplnego. Badania przeprowadzono dla dwóch scenariuszy pożarów pojazdów symulujących pojazd elektryczny, zlokalizowanych w trzystanowiskowym obiekcie odwzorowującym pomieszczenie garażu. Do zaaranżowania pożaru pojazdu elektrycznego użyto czterech modułów baterii typu NMC o pojemności 102 Ah (każdy), które zostały ustawione pod pojazdem. W obu scenariuszach symulowany pojazd elektryczny umiejscowiony był na stanowisku środkowym. Na miejscach sąsiednich znajdowały się pojazdy zasilane konwencjonalnie. Pierwszy scenariusz badań przewidywał pożar pojazdu elektrycznego z udziałem automatycznie uruchomionego miejscowego systemu gaśniczego, składającego się z rurociągów rozprowadzających wodę, systemu sterowania i zasilania w wodę, zraszaczy oraz detekcji pożaru, natomiast drugi dotyczył pożaru pojazdu elektrycznego bez udziału systemu gaśniczego. Wyniki przeprowadzonych badań 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 [4].

CNBOP-PIB testowało również płachty gaśnicze (w ramach oceny ich przydatności do stosowania w działaniach ratowniczych – według procedury testowania wyrobów innowacyjnych) oraz prowadziło badania prototypowe tych produktów.

tunnels and electric vehicle charging stations, among other things. The “dry” testing of the fire blanket took place on the premises of the Fire and Rescue Unit of the State Fire Service in Oława, while the fire tests were carried out on the premises of the Centrozłom Plant in Oława. In both cases, the same fire blanket was tested [28].

The testing schedule included:

- placing the fire blanket over vehicles parked in different arrangements – to simulate situations possible in reality, for example, in parking lots or garages,
- multiple unfolding and folding of the fire blanket into the transport package,
- conducting fire tests of passenger cars using fire suppression sheeting and evaluating the performance of the fire blanket,
- washing the fire blanket after application, followed by visual inspection and evaluation of its reusability [28].

The fire drill included fires in two passenger cars. The first test involved a conventional passenger vehicle fire. The wrecked Fiat Siena was used for the project. The car was complete, except for the removed fuel tank. In order to increase the fire load and burning intensity, a tire was placed inside the vehicle, and the rear seat was soaked in about 3 dm³ of unleaded gasoline. Another car was parked nearby so as to impede access to the test vehicle [28].

The fire was initiated by setting fire to the rear couch with a gas burner. Approximately 4 minutes into the test, when the fire was developed and its temperature exceeded 650°C (the maximum measurement range of the thermal imaging camera), a fire blanket was applied to the vehicle and then pressed against the vehicle and the ground to seal the cover and limit oxygen access (the first method of application). The fire blanket was kept on the vehicle for 30 minutes (as recommended by the manufacturer). During this time, the temperature was measured at 5-minute intervals using a thermal imaging camera. After 30 minutes, the fire blanket was removed and the vehicle was observed for visible flames and recurrence of burning. The flames were not visible, but after about 30 seconds a recurrence of flame combustion was noticed in the tire, which was on the rear bench seat. No recurrence of flame combustion was observed on other vehicle components. After the fire test, the fire blanket was visually inspected to detect any damage or burn-through. It was then washed with water and prepared for reuse in a second test fire [28].

A Seat Toledo vehicle (complete, but with the fuel tank removed) was used for the second fire test. No additional combustible materials were put inside it, nor was the rear bench seat soaked in flammable liquid, but in order to make it look like an electric vehicle fire, 4 NMC-type lithium-ion batteries with a capacity of 102 Ah were placed under the wrecked vehicle on concrete pedestals. The batteries were set up so that the safety valves, hidden under a plastic cover, were arranged in different directions – to allow observation during a fire of the gases escaping from them. A hole was made in the body of the test vehicle, under the rear bench seat, so that the fire gases escaping from one battery would cause the fire to spread to the interior of the vehicle (this was a simulation of fire entering the interior, since electric vehicles have batteries with a larger capacity than those used in the tests). The fire was initiated by acting on the batteries with

Przedmiotem testowania była płachta wykonana z włókna szklanego pokrytego silikonem, która zgodnie z deklaracją producenta może stanowić m.in. wyposażenie parkingów naziemnych i podziemnych, tuneli oraz stacji ładowania pojazdów elektrycznych. Testowanie płachty „na sucho” odbyło się na terenie Jednostki Ratowniczo-Gaśniczej PSP w Oławie, natomiast testy pożarowe przeprowadzono na terenie Zakładu Centrozłom w Oławie. W obu przypadkach testowano tę samą płachtę gaśniczą [28].

Program testowania przewidywał:

- nakładanie płachty na pojazdy zaparkowane w różnych układach – w celu zasymulowania możliwych w rzeczywistości sytuacji np. na parkingach lub garażach,
- wielokrotne rozkładanie i składanie płachty gaśniczej do opakowania transportowego,
- przeprowadzenie testów pożarowych samochodów osobowych z zastosowaniem płachty gaśniczej do tłumienia pożaru oraz ocenę właściwości użytkowych płachty,
- mycie płachty po zastosowaniu, a następnie jej oględziny i ocenę możliwości ponownego wykorzystania [28].

Ćwiczenia pożarowe obejmowały pożary dwóch samochodów osobowych. Pierwszy test dotyczył pożaru pojazdu osobowego z napędem konwencjonalnym. Wykorzystano do niego wrak Fiata Sieny. Samochód był kompletny, z wyjątkiem wymontowanego zbiornika paliwa. Celem zwiększenia obciążenia ogniowego oraz intensywności palenia do wnętrza pojazdu włożono oponę, a tylną kanapę nasączono benzyną bezołowiową w ilości ok. 3 dm³. W pobliżu zaparkowany został inny samochód, tak by utrudnić dostęp do testowanego pojazdu [28].

Pożar zainicjowany został przez podpalenie tylnej kanapy palnikiem gazowym. Po około 4 minutach od rozpoczęcia testu, kiedy pożar był rozwinięty, a jego temperatura przekraczała 650°C (maksymalny zakres pomiaru kamery termowizyjnej), na samochód nałożono płachtę gaśniczą, a następnie dociśnięto ją do pojazdu i podłoża, by uszczelnić przykrycie i ograniczyć dostęp tlenu (pierwszy sposób zastosowania). Płachta była utrzymywana na pojeździe przez 30 minut (zgodnie z zaleceniami producenta). W tym czasie za pomocą kamery termowizyjnej mierzono temperaturę w odstępach 5-minutowych. Po 30 minutach płachtę zdjęto i obserwowano pojazd pod kątem widocznych płomieni oraz nawrotu palenia. Płomienie nie były widoczne, ale po upływie około 30 sekund zauważono nawrót spalania płomieniowego opony, która znajdowała się na tylnej kanapie. Na pozostałych elementach pojazdu nawrotów spalania płomieniowego nie zaobserwowano. Po przeprowadzonym teście pożarowym płachtę poddano oględzinom, celem wykrycia ewentualnych uszkodzeń i przepaleń. Następnie przemyto ją wodą oraz przygotowano do ponownego użycia w drugim pożarze testowym [28].

Do drugiego testu pożarowego wykorzystano pojazd marki Seat Toledo (kompletny, lecz z wymontowanym zbiornikiem paliwa). Do jego wnętrza nie wkładano dodatkowych materiałów palnych, ani nie nasączono tylnej kanapy cieczą palną, jednak celem upozorowania pożaru pojazdu elektrycznego, pod wrakiem pojazdu, na betonowych cokołach, ustawiono 4 baterie litowo-jonowe typu NMC o pojemności 102 Ah. Baterie ustawiono w taki sposób, aby zawory bezpieczeństwa, ukryte pod pokrywą z tworzywa sztucznego, były ułożone w różną stronę – celem umożliwienia obserwacji podczas

three gas burners for about 3.5 minutes. After a minute of heating, the phenomenon of thermal instability (TR) was observed in one of the batteries, and the process followed in subsequent cells stacked under the vehicle. After about 4 minutes, the burners were moved away and the fire was observed to develop, and after another 3 minutes, the car's right front window was broken to bring oxygen to the vehicle's interior and cause the fire to develop further. Approximately 7 minutes into the test, when the vehicle's fire was already developed and the fire temperature exceeded 650°C¹, a fire blanket was applied to the vehicle and spread on the ground to increase the tightness of the cover and limit the access of oxygen (the second method of application). The same blanket was used a second time, applying it with the same side. The fire blanket was kept on the vehicle for 30 minutes. During this time, temperature measurements were taken with a thermal imaging camera at 5-minute intervals. After 30 minutes, the fire blanket was removed and the vehicle was observed for visible flames and recurrence of burning. The flames were not visible, and there was no recurrence of burning for 5 minutes and 30 seconds. The batteries underneath the vehicle continued to maintain a temperature of more than 350°C and required further cooling. For this purpose, they were immersed in a metal tank with water (volume of 1 m³) for about 24 hours [28].

Fire tests have shown that the fire blanket effectively isolates oxygen access to the combustion zone and suppresses the vehicle fire, as well as isolating the impact of the fire on the surrounding area. In addition, it was not damaged or burned (the fire blanket showed traces of sooting and exposure to high temperatures) and, after cleaning, is reusable – it can be used repeatedly for rescue operations. Once the blanket is removed, it is necessary to observe the vehicle for recurring smoke and, if necessary, cool it down and extinguish it with water. In case of electrically-powered vehicles, further temperature monitoring and battery cooling is required after the blanket is removed [28].

Prototype tests of fire blankets conducted at CNBOP-PIB consisted of covering the fire source with them and measuring temperature and thermal radiation. Several fire tests were performed – on test stands with a cage and on a test stand with a wrecked vehicle [30].

The first test was conducted on a testing ground with a cage. The test used 20 litres of heptane, which burned freely for 1 minute. After that, a fire blanket was applied and then removed after 10 minutes. The flame did not appear.

The second test was carried out on a cage testing ground, using 20 litres of heptane, 2 lithium-ion batteries (charged to 60%) and several pine beams. Heptane burned freely for 90 seconds, after which the batteries began to burn. After that, a fire blanket was applied, which was removed after about 22 minutes. After the fire blanket was removed, flames appeared.

The third test was conducted in the testing hall, using the same combustible materials as the second test, with a fire blanket used to extinguish the fire. In this test, the heptane burned freely for more than 2 minutes, after which the batteries began

pożaru wydostających się z nich gazów. W karoserii testowanego pojazdu, pod tylną kanapą wykonano otwór, tak aby gazy pożarowe wydostające się z jednej baterii spowodowały rozprzestrzenienie się pożaru do wnętrza pojazdu (była to symulacja przedostania się ognia do wnętrza, ponieważ pojazdy elektryczne mają baterie o większej pojemności, niż te wykorzystane podczas testów). Pożar zainicjowany został poprzez oddziaływanie na baterie trzema palnikami gazowymi przez około 3,5 minuty. Po minucie ogrzewania zaobserwowano zjawisko niestabilności termicznej (TR) jednej z baterii, po czym proces ten następował w kolejnych ogniach ułożonych pod pojazdem. Po upływie około 4 minut palniki odsunięto i obserwowano rozwój pożaru, a po kolejnych 3 minutach wybito przednią prawą szybę samochodu, aby doprowadzić tlen do wnętrza pojazdu i spowodować dalszy rozwój pożaru. Po około 7 minutach od rozpoczęcia testu, kiedy pożar pojazdu był już rozwinięty, a temperatura pożaru przekraczała 650°C¹, na pojazd nałożono płachtę gaśniczą i rozłożono ją na podłożu, aby zwiększyć szczelność przykrycia oraz ograniczyć dostęp tlenu (drugi sposób zastosowania). Po raz drugi wykorzystano tę samą płachtę, nakładając ją tą samą stroną. Płachta gaśnicza była utrzymywana na pojeździe przez 30 minut. W tym czasie w odstępach 5-minutowych dokonywano pomiarów temperatury za pomocą kamery termowizyjnej. Po 30 minutach płachtę zdjęto i obserwowano pojazd pod kątem widocznych płomieni oraz nawrotu palenia. Płomienie nie były widoczne, a przez 5 minut i 30 sekund nie doszło do nawrotu palenia. Baterie znajdujące się pod pojazdem nadal utrzymywały temperaturę ponad 350°C i wymagały dalszego chłodzenia. W tym celu zanurzono je w metalowym zbiorniku z wodą (objętość 1 m³) na około 24 godzin [28].

Testy pożarowe wykazały, że płachta gaśnicza skutecznie izoluje dostęp tlenu do strefy spalania i tłumi pożar pojazdu, a także izoluje oddziaływanie pożaru na otoczenie. Ponadto nie uległa uszkodzeniu, ani przepaleniu (na płachcie widoczne były ślady okopcenia oraz oddziaływania wysokiej temperatury) i po oczyszczeniu nadaje się do ponownego użycia – może być wielokrotnie wykorzystywana do działań ratowniczych. Po zdjęciu płachty konieczna jest obserwacja pojazdu pod kątem nawrotów palenia i w razie potrzeby schładzanie oraz dogaszanie go wodą. W przypadku pojazdów z napędem elektrycznym, po zdjęciu płachty konieczna jest dalsza obserwacja temperatury oraz schładzanie baterii [28].

Przeprowadzone w CNBOP-PIB badania prototypowe płacht/koców gaśniczych polegały na przykrywaniu nimi źródła ognia i pomiarach temperatury oraz promieniowania cieplnego. Wykonano kilka testów pożarowych – na stanowiskach badawczych z klatką oraz na stanowisku badawczym z wrakiem pojazdu [30].

Pierwszy test przeprowadzono na poligonie badawczym z klatką. Do badania wykorzystano 20 litrów heptanu, który palił się swobodnie przez 1 minutę. Po tym czasie nałożono płachtę gaśniczą, a następnie zdjęto ją po 10 minutach. Płomień nie pojawił się.

Test drugi przeprowadzono na poligonie badawczym z klatką, przy wykorzystaniu 20 litrów heptanu, 2 baterii litowo-jonowych (naładowanych do 60%) i kilku sosnowych belek. Heptan palił się swobodnie przez 90 sekund, po czym zaczęły palić się baterie.

¹ The evaluation criterion adopted on the basis of the Latvian standard no. LVS 1071:2022 Car fire blankets [29].

¹ Kryterium oceny przyjęte na podstawie lotewskiej normy nr LVS 1071:2022 Car fire blankets [29].

to burn. After that, a fire blanket was applied, which was removed after about 25 minutes. After the fire blanket was removed, the flames reappeared.

Another fire test was conducted on a testing ground using a wrecked economy-class car, which used a tire (located in the trunk), wood and heptane (placed in trays in place of the removed seats) as fuel. Fire blankets, including one made of fiberglass, were used to extinguish the simulated fire [30].

The results of the tests confirmed that fire blankets reduce radiant heat and temperature to control the fire and prevent its spread. The tested products exhibited suppression properties – they did not extinguish the fire, but suppressed the fire source [30].

Main conclusions and generalizations based on the analysis of survey results

Scientific studies and fire tests involving lithium-ion batteries and electric-powered vehicles conducted in many countries, including Poland, show that the rate of heat release during an electric vehicle fire is similar to that of a similarly sized conventionally powered vehicle. However, it should be noted that modern cars (both conventionally and electrically powered) burn more intensely – due to the increased amounts of combustible materials used in their production. Therefore, the test results for “older” and those currently manufactured vehicles should be reflected in the fire risk assessment of garages. In order to consider the fire behaviour of modern passenger cars, a design fire curve developed by a research team within the SUVEREN research project can be used, which assumes that a peak heat release rate of 7 MW should be expected in the event of a fire in modern passenger cars (both conventionally and electrically powered).

Scientific studies have also shown that higher battery charge levels correspond to faster total heat release (THR) and higher peak heat release rate (pHRR). However, due to design differences, including the coverage of the vehicle’s battery, the development of an electric vehicle fire may be different from those of the already well-known conventionally powered vehicles. Observation of ongoing research has shown that to a greater extent, an electric vehicle’s fire – in terms of THR and pHRR – comes from its body, not from the lithium-ion battery. However, the intense jetting of flames from the battery pack accelerates the spread of the fire to adjacent combustible components, thus leading to the rapid development of a fire involving the entire electric vehicle. Tests conducted on lithium-ion batteries have shown that the thermal instability phenomenon occurring in the battery is accompanied by: an increase in temperature, great noise - due

Po tym czasie nałożono płachtę gaśniczą, którą zdjęto po około 22 minutach. Po zdjęciu płachty gaśniczej pojawiły się płomienie.

Trzeci test przeprowadzono w hali badawczej, z wykorzystaniem takich samych materiałów palnych jak w przypadku testu drugiego, przy czym do gaszenia pożaru użyto koca gaśniczego. W tej próbie heptan palił się swobodnie ponad 2 minuty, po czym zaczęły palić się baterie. Po tym czasie nałożono koc gaśniczy, który zdjęto po około 25 minutach. Po zdjęciu koca gaśniczego ponownie pojawiły się płomienie.

Kolejne testy pożarowe przeprowadzono na poligonie badawczym z wykorzystaniem wraku samochodu klasy ekonomicznej, w którym jako paliwo zastosowano oponę (umieszczoną w bagażniku), drewno oraz heptan (umieszczony na tacach w miejscu wymontowanych foteli). Do gaszenia zasymulowanego pożaru wykorzystano płachty gaśnicze, w tym jedną wykonaną z włókna szklanego [30].

Uzyskane wyniki badań potwierdziły, że płachty/koc gaśnicze ograniczają promieniowanie ciepłe oraz temperaturę, co pozwala na kontrolę pożaru i zabezpieczenie przed jego rozprzestrzenieniem się. Badane produkty wykazywały właściwości tłumiące – nie gasiły pożaru, lecz tłumiły źródło ognia [30].

Główne wnioski i uogólnienia na podstawie analizy wyników badań

Przeprowadzone w wielu państwach, w tym w Polsce, badania naukowe oraz testy pożarowe z udziałem baterii litowo-jonowych oraz pojazdów z napędem elektrycznym dowodzą, że szybkość wydzielania ciepła podczas pożaru pojazdu elektrycznego jest zbliżona do szybkości wydzielania się ciepła podczas pożaru podobnej wielkości pojazdu z napędem konwencjonalnym. Zwrócenia uwagi wymaga natomiast fakt, iż nowoczesne samochody (zarówno te z napędem konwencjonalnym, jak i z napędem elektrycznym) palą się intensywniej – z uwagi na zwiększone ilości materiałów palnych wykorzystywanych do ich produkcji. Dlatego też wyniki badań dla „starszych” i tych aktualnie produkowanych pojazdów powinny znajdować odzwierciedlenie w ocenie zagrożenia pożarowego w garażach. W celu uwzględnienia zachowania się podczas pożaru nowoczesnych samochodów osobowych można wykorzystać projektową krzywą pożaru, opracowaną przez zespół badawczy w ramach projektu badawczego SUVEREN, która zakłada, iż w przypadku pożaru nowoczesnych samochodów osobowych (z napędem konwencjonalnym oraz z napędem elektrycznym) należy spodziewać się szczytowej szybkości wydzielania ciepła wynoszącej 7 MW.

Badania naukowe wykazały także, że wyższy poziom naładowania baterii odpowiada szybszemu całkowitemu wydzielaniu ciepła (THR) i wyższej szczytowej szybkości wydzielania ciepła (pHRR). Z uwagi na różnice konstrukcyjne, w tym objęcie pożarem baterii pojazdu, rozwój pożaru pojazdu elektrycznego może być jednak inny niż tych dobrze już znanych pojazdów z napędem konwencjonalnym. Obserwacja prowadzonych badań dowiodła, że w większym stopniu pożar pojazdu elektrycznego – pod względem THR i pHRR – pochodzi z jego nadwozia, a nie z baterii litowo-jonowej. Jednak intensywny wyrzut płomieni z pakietu baterii przyspiesza rozprzestrzenianie się pożaru na sąsiednie elementy palne, prowadząc

to gases escaping from the battery, and intense flame ejection, which can reach heights of up to 2–3 meters. Studies have also shown that NMC-type batteries burn more violently and are more difficult to extinguish, compared to LTO and LFP batteries. Differences were also shown in the fire behaviour of prismatic and cylindrical cell batteries – prismatic cell batteries burned much longer and reached lower temperatures, compared to cylindrical cell batteries, which burned out completely in a short time (20 minutes) during testing. The results of the tests also confirm that the battery cover has an impact on at least the early spread of a fire – the heat released by the first cracked cells is trapped inside the battery – and that the development of a lithium-ion battery fire (particularly the speed of its spread) depends on ventilation conditions.

Scientific studies and fire tests conducted in many countries also prove that the pollutants emitted during an electric vehicle fire are different from the emissions emitted during a conventional vehicle fire. Electrically powered vehicle fires cause more hydrogen fluoride emissions than conventionally powered vehicle fires. Moreover, other toxic compounds such as hydrogen phosphide, F-aerosols, fluorine phosphate salts in the electrolyte, and the metals nickel, cobalt, lithium, manganese from the battery chemistry are also released during an electric vehicle fire, which can cause severe staining of firefighters' clothing and protective equipment, as well as contamination of firefighting water. This poses a major threat to the rescuers, especially in underground infrastructure, where firefighting of these vehicles is more difficult and the ability to dilute the toxic products of combustion is limited.

During the research, it was proven that water is the most effective extinguishing agent in extinguishing electric vehicles and lithium-ion batteries, due to its cooling properties. Significant amounts are needed to extinguish an electric vehicle fire and cool the battery. The research and fire tests carried out confirm that fire suppression systems, including dedicated equipment, by reducing the temperature and heat flux, are able to ensure control of the spread of fire and meet the required protection objectives in the event of an electric vehicle fire in a building facility. The ongoing research confirms the ability not only to control the spread of an electric vehicle fire to neighbouring vehicles, but also to provide structural protection for the facility.

New methods and techniques are being refined and proposed for extinguishing electric vehicle fires. Among them studied were: the use of a fire extinguishing lance to directly cool the modules in the battery case. Studies have shown that this solution requires dedicated preparation and training of firefighters, as well as the ability to directly approach/access the fire vehicle. Research has confirmed that improper handling and use of the firefighting lance can lead to electrocution of firefighters, so additional research and training are still needed to make this extinguishing technique more widespread. An additional formal problem that needs to be solved for the use of these firefighting techniques is the interference with the design of the batteries in the vehicle – the manufacturers of batteries, as well as electric vehicles currently mostly do not specify conditions for the use of such firefighting devices.

w ten sposób do szybkiego rozwoju pożaru, obejmującego cały pojazd elektryczny. Przeprowadzone badania baterii litowo-jonowych wykazały, że zachodzącemu w baterii zjawisku niestabilności termicznej towarzyszą: wzrost temperatury, duży hałas – wskutek wydostających się z baterii gazów oraz intensywny wyrzut płomieni, które mogą osiągnąć wysokość nawet 2–3 m. Badania dowiodły również, że baterie typu NMC palą się gwałtowniej i są trudniejsze do ugaszenia, w porównaniu z bateriami LTO i LFP. Różnice wykazano także w zachowaniu się podczas pożaru baterii z ogniwami pryzmatycznymi i cylindrycznymi – baterie z ogniwami pryzmatycznymi spalają się znacznie dłużej i osiągają niższe temperatury, w porównaniu z bateriami z ogniwami cylindrycznymi, które podczas badań w niedługim czasie (20 minut) ulegały całkowitemu wypaleniu. Wyniki przeprowadzonych badań potwierdzają także, że osłona baterii ma wpływ przynajmniej na wczesne rozprzestrzenianie się pożaru – ciepło uwalniane przez pierwsze pękające ogniwa jest zatrzymywane wewnątrz baterii – oraz że rozwój pożaru baterii litowo-jonowej (w szczególności prędkość jego rozprzestrzeniania się) uzależniony jest od warunków wentylacji.

Przeprowadzone w wielu państwach badania naukowe oraz testy pożarowe dowodzą również, że zanieczyszczenia powstałe podczas pożaru pojazdu z napędem elektrycznym różnią się od emisji zanieczyszczeń wydzielających się podczas pożaru pojazdu z napędem konwencjonalnym. Pożary pojazdów z napędem elektrycznym powodują większą niż pożary pojazdów z napędem konwencjonalnym emisję fluorowodoru. Ponadto podczas pożaru pojazdu elektrycznego wydzielają się też inne toksyczne związki takie jak: fosforowódór, F-aerozole, sole fosforanu fluoru w elektrolicie oraz pochodzące ze składu chemicznego baterii metale: nikiel, kobalt, lit, mangan, które mogą powodować silne zabrudzenie ubrań oraz sprzętu ochronnego strażaków, jak również zanieczyszczenie wody gaśniczej. Stanowi to duże zagrożenie dla ratowników, szczególnie w podziemnej infrastrukturze, gdzie gaszenie pożarów tych pojazdów jest trudniejsze, a możliwości rozcieńczania toksycznych produktów spalania są ograniczone.

Podczas badań udowodniono, że woda jest najskuteczniejszym środkiem gaśniczym w gaszeniu pojazdów elektrycznych oraz baterii litowo-jonowych, z uwagi na jej właściwości chłodzące. Do ugaszenia pożaru pojazdu elektrycznego i schładzania baterii potrzebne są jej znaczne ilości. Przeprowadzone badania i testy pożarowe potwierdziły, że instalacje gaśnicze, w tym dedykowane urządzenia, poprzez obniżenie temperatury i strumienia ciepłego, są w stanie zapewnić kontrolę rozprzestrzeniania się pożaru i spełnić wymagane cele ochrony w przypadku pożaru pojazdu elektrycznego w obiekcie budowlanym. Prowadzone badania potwierdzają możliwość nie tylko kontroli rozprzestrzeniania się pożaru pojazdu elektrycznego na sąsiednie pojazdy, lecz również zapewnienia ochrony konstrukcji obiektu.

Do gaszenia pożarów pojazdów z napędem elektrycznym doskonalone i proponowane są nowe metody i techniki. Wśród nich badano m.in. zastosowanie lancy gaśniczej do bezpośredniego chłodzenia modułów w obudowie baterii. Przeprowadzone badania dowiodły, że rozwiązanie to wymaga dedykowanego przygotowania i wyszkolenia strażaków, jak również możliwości bezpośredniego podejścia/dostępu do pojazdu objętego pożarem. Badania potwierdziły, że niewłaściwa obsługa i użycie lancy gaśniczej może

Fire blankets tested in Poland and around the world have demonstrated their ability to suppress and control an electric vehicle fire, but in the case of a developed fire, they may no longer be an effective means of fire control. Furthermore, after removing the fire blanket, it is necessary to continue to monitor the vehicle for recurrence of smoke, as well as to monitor the temperature of the vehicle battery and cool it down with water. In case of extinguishing a battery module fire, the fire blanket did not show characteristics useful for reducing the effect of fire for NMC battery modules. It should also be emphasized that applying a fire blanket in an airtight manner to a burning lithium-ion battery or electric vehicle involved in a fire requires the use of appropriate protective measures and teamwork by at least two trained rescuers.

Conclusion

An analysis of the available results of scientific research, experimental studies, CNBOP-PIB's own research and the literature on the subject leads to the reasonable conclusion that the dangers of electrically powered vehicles are not greater than those of conventionally powered vehicles, but are to some extent different due to their use of a different power source, namely batteries. Based on an analysis of the literature on the subject and the results of research, these risks undoubtedly include fire, electrocution, inhalation and dermal penetration of toxic combustion products and compounds emitted from batteries involved in a fire, as well as the explosion of chemical compounds resulting from reactions occurring during battery failure [4]. Additional risks may also come from the charging infrastructure. In addition to the risk of electrocution or negative electrical effects on the charging vehicle (which can lead to thermal instability of the battery), a fire can also occur due to a short circuit, overload or surge at the vehicle charging site [4]. All of these risks must be taken into account both in the conduct of rescue operations involving electric vehicles and in fire safety requirements for building facilities where electric vehicles are parked and charged.

Conducting rescue operations during fires involving electrically-powered vehicles requires a new approach from the emergency services – taking into account the risks already known to conventionally-powered vehicles, as well as those completely new ones arising from the design and operation of electric propulsion. Firefighters should know these risks and how to deal with them. Properly preparing them to carry out such activities is important both in terms of helping those involved in such incidents and increasing their chances of survival, as well as ensuring their own safety.

In Poland, emergency services do not yet have much experience in carrying out this type of operation, if only because the number of fires involving electrically powered vehicles is not large

doprowadzić do porażenia prądem strażaka, dlatego dla upowszechnienia tej techniki gaszenia nadal potrzebne są dodatkowe badania i szkolenia. Dodatkowy problem formalny wymagający rozwiązania dla stosowania tych technik gaśniczych stanowi ingerencja w konstrukcję baterii w pojeździe – producenci baterii, jak i pojazdów z napędem elektrycznym aktualnie w większości nie określają warunków dla użycia takich urządzeń gaśniczych.

Testowane w Polsce i na świecie płachty/koce gaśnicze wykazały się zdolnością tłumienia i kontroli pożaru pojazdu elektrycznego, jednak w przypadku pożaru rozwiniętego mogą nie stanowić już skutecznego środka kontroli pożaru. Ponadto po zdjęciu płachty/koca gaśniczego konieczna jest dalsza obserwacja pojazdu pod kątem nawrotów palenia, a także monitorowanie temperatury baterii pojazdu i schładzanie jej wodą. W przypadku gaszenia pożaru modułu baterii koc gaśniczy nie wykazywał cech przydatnych do ograniczenia efektu pożaru dla modułów baterii NMC. Podkreślenia wymaga również fakt, iż nałożenie w sposób szczelny płachty/koca gaśniczego na palącą się baterię litowo-jonową lub pojazd elektryczny objęty pożarem wymaga zastosowania odpowiednich środków ochronnych oraz pracy zespołowej co najmniej dwóch przeszkolonych ratowników.

Podsumowanie

Analiza dostępnych wyników badań naukowych, eksperymentalnych, badań własnych CNBOP-PIB i literatury przedmiotu prowadzi do uzasadnionego wniosku, iż zagrożenia ze strony pojazdów z napędem elektrycznym nie są większe niż w przypadku pojazdów z napędami konwencjonalnymi, lecz są w pewnym zakresie odmienne z uwagi na zastosowanie w nich innego źródła zasilania, czyli baterii. Opierając się na analizie literatury przedmiotu oraz wynikach badań, do zagrożeń tych niewątpliwie zaliczyć można pożar, porażenie prądem elektrycznym, wnikanie przez drogi oddechowe oraz skórę toksycznych produktów spalania i związków wydzielających się z objętych pożarem baterii, jak również wybuch związków chemicznych powstałych w wyniku reakcji zachodzących podczas awarii baterii [4]. Dodatkowe zagrożenia mogą również pochodzić od infrastruktury ładowania. Poza zagrożeniem porażenia prądem elektrycznym bądź negatywnego oddziaływania elektrycznego na ładujący się pojazd (które może doprowadzić do niestabilności termicznej baterii), z powodu zwarcia, przeciążenia lub przepięcia, w miejscu ładowania pojazdu również może dojść do pożaru [4]. Wszystkie te zagrożenia muszą być uwzględnione zarówno podczas prowadzenia działań ratowniczych z udziałem pojazdów z napędem elektrycznym, jak i w wymaganiach w zakresie bezpieczeństwa pożarowego dla obiektów budowlanych, w których parkowane oraz ładowane są pojazdy z napędem elektrycznym.

Prowadzenie działań ratowniczych podczas pożarów pojazdów z napędem elektrycznym wymaga od służb ratowniczych nowego podejścia – uwzględnienia zagrożeń już znanych w przypadku pojazdów z napędami konwencjonalnymi, jak i tych całkowicie nowych, wynikających z konstrukcji i sposobu działania napędu elektrycznego. Strażacy powinni znać te zagrożenia i umieć sobie z nimi radzić. Odpowiednie przygotowanie ich do prowadzenia tego typu działań ma istotne znaczenie zarówno w kontekście udzielania pomocy osobom uczestniczącym w takich zdarzeniach

on a national scale [31]. Therefore, it is worthwhile to highlight the experience already gathered and the results of studies and research carried out in other countries. Undoubtedly, such a compendium of basic knowledge for rescuers can be a guide entitled *Conducting rescue operations during incidents involving electrically powered vehicles*, developed by CNBOP-PIB in cooperation with the representatives of the Headquarter of the State Fire Service, the Polish Alternative Fuels Association and the Faraday Institution of Newcastle University in the UK [4], as well as the *Standard rules of conduct during incidents with electric and hybrid vehicles* published by the National Fire Service Headquarters [32].

It should also be emphasized that the technology for the production of lithium-ion batteries that equip electric vehicles is changing dynamically, so it is crucial to continue scientific research and fire testing in the subject area.

i zwiększenia ich szans na przeżycie, jak i zapewnienia bezpieczeństwa im samym.

W Polsce służby ratownicze nie mają jeszcze zbyt bogatego doświadczenia w prowadzeniu tego rodzaju działań, chociażby z uwagi na niedużą w skali kraju liczbę pożarów z udziałem pojazdów z napędem elektrycznym [31]. Dlatego warto przybliżyć zebrane już doświadczenia i wyniki badań oraz analiz przeprowadzonych w innych państwach. Niewątpliwie takie kompendium podstawowej wiedzy dla ratowników może stanowić poradnik pt. *Prowadzenie działań ratowniczych podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z napędem elektrycznym*, opracowany przez pracowników CNBOP-PIB we współpracy z przedstawicielami Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej, Polskiego Stowarzyszenia Paliw Alternatywnych i Instytucji Faradaya Uniwersytetu Newcastle w Wielkiej Brytanii [4] oraz opublikowane przez Komendę Główną Państwowej Straży Pożarnej *Standardowe zasady postępowania podczas zdarzeń z samochodami z napędem elektrycznym i hybrydowym* [32].

Zwrócenia uwagi wymaga również fakt, iż technologia produkcji baterii litowo-jonowych, stanowiących wyposażenie pojazdów z napędem elektrycznym dynamicznie się zmienia, dlatego kluczowe jest kontynuowanie badań naukowych i testów pożarowych w przedmiotowym zakresie.

Literature / Literatura

- [1] Kang S., Kwon M., Choi J.Y., Choi S., *Full-scale fire testing of battery electric vehicles*, „Applied Energy” 2023, Vol. 332, 120497.
- [2] <https://wysokienapiecie.pl/krotkie-spiecie/pspa-pzpm-liczba-rejestracji-aut-osobowych-z-wtyczk-wzros-a-o-39-r-r-w-i-ix-2023/> [dostęp: 03.11.2023].
- [3] 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, 8–40.
- [4] Kielin J., Kołodziejczyk T., Majka I., Tępiński J., Zboina J., *Prowadzenie działań ratowniczych podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z napędem elektrycznym*, Wydawnictwo CNBOP-PIB, Józefów 2023.
- [5] Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz.U. 2023 poz. 875 z późn. zm.).
- [6] <https://www.suveren-nec.info/suveren-brandversuche/> [dostęp: 25.10.2023].
- [7] Kutschenreuter M., Feltmann A., Usner T., Leismann F., *Brandschutz in Tunnelanlagen bei Fahrzeugen mit neuen Energieträgern (NET): Erste Erkenntnisse aus Realbrandversuchen*, Forschung + Praxis 53, STUVA-Tagung 2019 in Frankfurt am Main, 2019, 392–397.
- [8] Kutschenreuter M., Klüh 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, Germany, March 11–13, 2020, 405–418.
- [9] Kutschenreuter M., Klüh S., Fast L., Lakkonen M., Rothe R., Leismann F., *Fire Safety of Lithium-Ion Traction Batteries*, International Conference on Fires in Vehicles (FIVE), 2020.
- [10] Technischer Bericht vfdb TB 04-01 *Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes*, Vorversion 01, Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb), 2020.
- [11] IFAB Ingenieure für angewandte Brandschutzforschung GmbH, *Fire Protection Guideline for Car Parks*, Version: 2.0, February 2023.
- [12] Hynynen 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.), RISE Research Institutes of Sweden, Goteborg 2022, 44.
- [13] 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, 2020.
- [14] 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, Vol. 165, 112474.
- [15] Sturm P.J., Föbtleitner P., Fruhwirt D., Heindl S., Kohl B., Heger O., Galler R., Wenighofer R., Krausbar S., *BRAFA Brandauswirkungen von Fahrzeugen mit alternativen Antriebssystemen*, 2021.
- [16] Sturm P., Föbtleitner P., Fruhwirt D., Galler R., Wenighofer R., Heindl S.F., Krausbar S., Heger O., *Fire tests with lithium-ion battery electric vehicles in road tunnels*, „Fire Safety Journal” 2022, Vol.134, 103695.
- [17] Boehmer H., Olenick S., Klassen M., *Modern vehicle fire hazards*, Fire Protection Research Foundation, Columbia, Maryland, USA, 2020.
- [18] Boehmer H.R., Klassen M.S., Olenick S.M., *Fire Hazard Analysis of Modern Vehicles in Parking Facilities*, „Fire Technology” 2021, Vol. 57, 2097–2127.
- [19] Boehmer H., Klassen M., Olenick S., *Modern Vehicle Hazards in Parking Structures and Vehicle Carriers*, Fire Protection Research Foundation, 2020.
- [20] 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*, Proceedings from 2nd International Conference on Fires in Vehicles – FIVE 2012, Chicago, USA, September 27–28, 2012, 195-205.
- [21] Lam C., MacNeil D., Kroeker R., Loughheed G., Lalime G., *Full-Scale Fire Testing of Electric and Internal Combustion Engine and Vehicles*, Proceedings from 2th International Conference on Fire in Vehicles, October 5–6, 2016, Baltimore, USA, 2016, 95–106.
- [22] Lecocq A., Bertana M., Marlair G., *Comparison of the fire consequences of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle*, 2014.
- [23] Truchot B., Marlair G., *Shall we consider new design fire scenarios in tunnel fires studies to take account of fast development of electro mobility?*, Proceedings of the Second International Conference on Fires in Vehicles, September 27–28, 2012, Chicago, USA, 2012, 319–322.
- [24] Li Y., Spearpoint M., *Analysis of vehicle fire statistics in New Zealand parking building*, „Fire Technology” 2007, Vol. 43, No. 2, 93–106.
- [25] Fire spread in car parks BD2552, BRE, 2010.
- [26] Babrauskas V., *Heat Release Rates, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, ed. 3, 3–1-3–37, 2002.
- [27] Pietrzak M., Bąk D., Twardowski M., Majka I., Chmiel M., Zboina J., *Raport z I Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Bezpieczeństwo pożarowe instalacji fotowoltaicznych, magazynów energii, pojazdów elektrycznych, ich punktów i stacji ładowania, rozwiązań inteligentnego domu”*. Wnioski i rekomendacje, Wydawnictwo CNBOP-PIB, Józefów 2023.
- [28] Książkiewicz P., Marcinów B., Mroczo G., Zboina J., *Płachtą w cztery koła*, „Przegląd Pożarniczy” 2023, 6, 27–29.
- [29] LVS 1071:2022 Car fire blankets.
- [30] Mortka P., *Badania prototypowe płacht*, referat I Międzynarodowej Konferencji Naukowej pt. „Bezpieczeństwo pożarowe instalacji fotowoltaicznych, magazynów energii, pojazdów elektrycznych, ich punktów i stacji ładowania, rozwiązań inteligentnego domu”, CNBOP-PIB, Józefów 2023.
- [31] <https://motoryzacja.interia.pl/raport-samochody-elektryczne/news-pozary-samochodow-elektrycznych-to-plaga-raporty-strazakow-n,1d,7108936> [dostęp: 17.11.2023].
- [32] KG PSP, *Standardowe zasady postępowania podczas zdarzeń z samochodami z napędem elektrycznym oraz hybrydowym*, wydanie drugie, Warszawa 2023.

ILONA MAJKA, M.SC. ENG. – Graduated with an engineering degree and a master’s degree from the Department of Fire Safety Engineering at the Main School of Fire Service (currently the Fire Academy). Main engineering and technical specialist at the Certification Department of the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute. Co-author of CNBOP-PIB publications and standards, as well as articles in the area of marketing and admittance for use of products applied in fire protection, published in trade magazines.

SEN. BRIG. JACEK ZBOINA, D.SC. – Deputy Director for Certification and Acceptance at CNBOP-PIB. He graduated from the Main School of Fire Service, the Warsaw School of Economics and the Polish Naval Academy in Gdynia. In 2023 he obtained habilitation in the field of social sciences in the discipline of health sciences at the Faculty of Command and Naval

MGR INŻ. ILONA MAJKA – absolwentka studiów inżynierskich i magisterskich na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej (aktualnie Akademii Pożarniczej). Główny specjalista inżynierijno-techniczny w Jednostce Certyfikującej Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwożarowej – Państwowego Instytutu Badawczego. Współautor publikacji i standardów CNBOP-PIB oraz artykułów z zakresu wprowadzania do obrotu oraz dopuszczania do użytkowania wyrobów stosowanych w ochronie przeciwpożarowej, wydawanych na łamach czasopism branżowych.

ST. BRYG. DR HAB. INŻ. JACEK ZBOINA – Z-ca Dyrektora ds. Certyfikacji i Dopuszczeń CNBOP-PIB. Absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej, Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie oraz Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni. W 2023 roku uzyskał stopień doktora habilitowanego w dziedzinie nauk społecznych w dyscyplinie nauk o bezpieczeństwie na

Operations of the Naval Academy in Gdynia. He worked as Fire Risk Surveyor under the Chief Commandant of the State Fire Service. His research and professional interests include safety, fire protection, technical fire security systems, and compliance assessment. He is the author or co-author of several dozen scientific and specialist papers on safety, fire protection, technical security systems, product testing and certification, the practical use of new technologies, and the development of innovations. He has been involved in the implementation and management of research and research & development projects.

Wydziale Dowodzenia i Operacji Morskich Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni. Rzecznik Komendanta Głównego PSP ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych. Jego zainteresowania badawcze oraz praca zawodowa obejmują: bezpieczeństwo, ochronę przeciwpożarową, techniczne systemy zabezpieczeń przeciwpożarowych oraz ocenę zgodności. Autor i współautor kilkudziesięciu publikacji naukowych oraz branżowych w zakresie bezpieczeństwa, ochrony przeciwpożarowej, technicznych systemów zabezpieczeń, badań, testowania i certyfikacji wyrobów, a także wykorzystania w praktyce nowych technologii i tworzenia innowacji. W działalności badawczej i zawodowej uczestniczy w pracach w projektach badawczych i badawczo-rozwojowych – zarówno w roli wykonawcy, jak i kierownika.

Monika Wyszomirska^{a)*}

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

^{*} *Corresponding author / Autor korespondencyjny: mwyszomirska@cnbop.pl*

Technological Developments as a New Challenge for Modern Legislation

Rozwój technologii jako nowe wyzwanie dla współczesnego prawodawstwa

ABSTRACT

Purpose: The aim of the article is to present the legal aspects of the use of new technologies. Accelerating the progress of civilization through the rapid development of technology is a challenge for both the legislator and entities who, when applying the law, interpret imperfect regulations or have to deal with the lack of regulations on a daily basis. In this publication, the author discusses legal aspects related to the development and implementation of new technologies and answers the question whether the applicable regulations combine the intentions of the creators of the regulations with social and economic needs.

Introduction: The essence of all development is the improvement and expansion of human and technological capabilities and potential. Civilizational development is a system of interconnected vessels based on mutual social, cultural and technological interdependencies, and all these spheres of public life are inextricably linked with legal regulations. Without elementary knowledge of regulations, it would be difficult to make rational decisions regarding everyday life, therefore legal standards should include solutions adequate to the needs of citizens and the economy. In case of new technologies, which are subject to continuous and dynamic changes, the traditional norm-setting model known as hard law does not fully achieve its goals, and what is more, the applicable law does not keep up with the development of new technologies.

Methodology: The article describes the current state of knowledge in the field of selected aspects of new technology law. The work uses theoretical research methods, including the analysis of applicable regulations and the literature and views of the doctrine, as well as the results of the research work of the author of the publication.

Conclusions: Current legal regulations do not keep up with new technologies. The legislative process itself is complicated and very long. The introduction of new regulations and legislative changes requires, among others, inter-ministerial and social arrangements, work in Sejm and Senate committees, voting in Parliament, and finally the signature of the President of the Republic of Poland. The above-mentioned legal activities take time, and new technologies mean variability and dynamism – a constant fight against time. The development of technology is certainly a new challenge for legislators, for whom cooperation with the scientific community and representatives of various technological industries is an opportunity to create regulations that support rather than limit the development of 21st century technologies.

Keywords: law of new technologies, technological revolution, security, implementation of innovations

Type of article: review article

Received: 14.11.2023; Reviewed: 28.11.2023; Accepted: 28.11.2023;

Author's ORCID ID: M. Wyszomirska – 0000-0002-7780-2699;

Please cite as: SFT Vol. 62 Issue 2, 2023, pp. 112–118, <https://doi.org/10.12845/sft.62.2.2023.6>;

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

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest przybliżenie aspektów prawnych stosowania nowych technologii. Ich szybki rozwój, wynikający z dynamicznego postępu cywilizacyjnego, stanowi wyzwanie zarówno dla prawodawców, jak i podmiotów, które interpretują niedoskonałe przepisy lub na co dzień muszą sobie radzić z brakiem regulacji. W niniejszej publikacji omówiono aspekty prawne związane z rozwojem i wdrażaniem nowych technologii oraz udzielono odpowiedzi na pytanie, czy obowiązujące przepisy łączą intencje twórców przepisów z potrzebami społecznymi i gospodarczymi. Procesem badawczym objęto również kwestie dotyczące przeszkód prawnych we wdrażaniu innowacji.

Wprowadzenie: Istotą wszelkiego rozwoju jest ulepszanie i rozszerzanie możliwości oraz potencjału ludzkiego i technologicznego. Rozwój cywilizacyjny to system naczyń połączonych, opartych na wzajemnych zależnościach społecznych, kulturowych i technologicznych, przy czym wszystkie te sfery życia publicznego są nierozzerwalnie związane z regulacjami prawnymi. Bez elementarnej znajomości przepisów trudno byłoby podejmować racjonalne decyzje dotyczące życia codziennego, dlatego też normy prawne powinny zawierać rozwiązania adekwatne do potrzeb obywateli i gospodarki. W przypadku nowych technologii, które podlegają ciągłym i dynamicznym zmianom, tradycyjny model normotwórczy nie realizuje w pełni swoich celów, co więcej – obowiązujące prawo nie nadąża za rozwojem nowych technologii.

Metodologia: Artykuł opisuje aktualny stan wiedzy w zakresie wybranych aspektów prawa nowych technologii. W pracy wykorzystano teoretyczne metody badawcze, w tym analizę obowiązujących przepisów oraz literatury i poglądów doktryny, a także wyniki pracy badawczej autorki publikacji.

Wnioski: Obowiązujące regulacje prawne nie nadążają za nowymi technologiami. Już sam proces ustawodawczy jest skomplikowany i bardzo długi. Wprowadzenie nowych przepisów oraz zmian legislacyjnych wymaga m.in. uzgodnień międzyresortowych i społecznych, prac w komisjach sejmowych i senackich, głosowania w Parlamencie, a finalnie podpisu Prezydenta RP. Wymienione wyżej działania prawne są czasochłonne, a nowe technologie to przecież zmienność i dynamizm, ciągła walka z czasem. Rozwój technologii stanowi z pewnością nowe wyzwanie dla legislatorów, dla których współpraca ze środowiskami naukowymi oraz przedstawicielami różnych branż technologicznych stanowi szansę na stworzenie przepisów wspierających, a nie ograniczających rozwój technologii XXI wieku.

Słowa kluczowe: prawo nowych technologii, rewolucja technologiczna, bezpieczeństwo, wdrażanie innowacji

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 14.11.2023; **Zrecenzowany:** 28.11.2023; **Zaakceptowany:** 28.11.2023;

Identyfikator ORCID autora: M. Wyszomirska – 0000-0002-7780-2699;

Proszę cytować: SFT Vol. 62 Issue 2, 2023, pp. 112–118, <https://doi.org/10.12845/sft.62.2.2023.6>;

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

Introduction

The scientific and technological revolution, the most recent catalyst of which was the COVID-19 pandemic¹, has set in motion processes of transformation – both in science, technology, means of production and in the way human resources are managed [1–2]. However, the technological revolution is primarily about new technologies that are changing the socio-cultural picture of the world through increased innovation. The acceleration of the progress of civilisation through the dynamic development of technology is a challenge not only for the legislator, but also for those who, in the application of the law, have to interpret imperfect regulations or deal with the lack of regulation on a daily basis.

As the effectiveness of legislation depends on the degree of development of the legislation, this article discusses the legal aspects related to the development and implementation of new technologies and answers the question of whether the current legislation combines the intentions of the lawmakers with social and economic needs. The paper analyses regulations that, as common and crucial for all industries using new technologies, require special attention from both the legislator and those applying the law. The research process also covered issues relating to legal obstacles to the implementation of innovations, at the same time indicating postulated areas of change in the law regulating new technologies.

New technologies as a result of the fourth industrial revolution

“New technologies” are understood to be technological solutions that mark a change in the economic and industrial model, while at the same time becoming a breakthrough in the flow of

¹ According to the World Economic Forum, pandemic-driven technological developments will lead to a situation by 2025 where the division of working time between humans and machines will be almost equal. This will mean the loss of as many as 85 million jobs globally. For more on this topic, see the report Forecast Changes in the Labour Market. A review of scenarios commissioned by the Polish Agency for Enterprise Development [accessed: 10.11.2022].

Wprowadzenie

Rewolucja naukowo-techniczna, której najnowszym katalizatorem stała się pandemia COVID-19¹, uruchomiła procesy przemian – zarówno w nauce, technice, środkach produkcji, jak i w sposobie zarządzania zasobami ludzkimi [1–2]. Jednak rewolucja technologiczna to przede wszystkim nowe technologie, które poprzez zwiększenie innowacyjności zmieniają społeczno-kulturowy obraz świata. Przyspieszenie postępu cywilizacyjnego poprzez dynamiczny rozwój technologii to wyzwanie nie tylko dla prawodawcy, ale również dla podmiotów, które w ramach stosowania prawa muszą interpretować niedoskonałe przepisy lub na co dzień radzić sobie z brakiem regulacji.

W związku z tym, że skuteczność przepisów zależy od stopnia rozwoju ustawodawstwa, w niniejszym artykule omówiono aspekty prawne związane z rozwojem i wdrażaniem nowych technologii oraz udzielono odpowiedzi na pytanie, czy obowiązujące przepisy łączą intencje twórców przepisów z potrzebami społecznymi i gospodarczymi. W pracy przeanalizowano przepisy, które jako wspólne i kluczowe dla wszystkich branż wykorzystujących nowe technologie, wymagają szczególnej uwagi zarówno ustawodawcy, jak i podmiotów stosujących prawo. Procesem badawczym objęto również kwestie dotyczące przeszkód prawnych we wdrażaniu innowacji, równocześnie wskazując postulowane obszary zmian prawa regulującego nowe technologie.

Nowe technologie jako efekt czwartej rewolucji przemysłowej

Pod pojęciem „nowe technologie” rozumiemy rozwiązania technologiczne, które wyznaczają zmianę modelu ekonomicznego i przemysłowego, stając się równocześnie przełomem

¹ Według danych Światowego Forum Ekonomicznego do 2025 roku rozwój techniki napędzany pandemią doprowadzi do sytuacji, że podział czasu pracy pomiędzy ludzi a maszyny będzie niemal równy. Oznacza to likwidację w skali globalnej aż 85 mln miejsc pracy. Szerzej na ten temat w raporcie Prognozowane zmiany na rynku pracy. Przegląd scenariuszy opracowanym na zlecenie Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości [dostęp: 10.11.2022].

information and social communication. It is assumed that “new” technologies are solutions that were introduced no more than five years ago, primarily including knowledge “protected” by patents, licences, trademarks or laws regulating competition and consumer rights and e-services.

New technologies are the foundation of a new technological era, referred to as the fourth industrial revolution. This concept, now widely used, was formulated by Klaus Schwab, President of the World Economic Forum in Davos. Speaking at the Forum on 18 January 2016, he pointed out, among other things, that “the first industrial revolution used water and steam power to mechanise production. The second used electricity to mass produce. The third used electronics and information technology to automate production. Today, the fourth industrial revolution (...) is characterised by a fusion of technologies that blurs the boundaries between the physical, digital and biological realms. (...) The fourth industrial revolution will change not only what we do, but also who we are. It will affect our identity and all the things that go with it: our sense of privacy, our sense of ownership, our consumption patterns, the time we devote to work and leisure, and how we develop our careers, cultivate our skills, meet people and nurture relationships” [3].

Klaus Schwab’s statement sparked a number of discussions and, despite the passage of years, is still being developed and analysed, as the new technological era is today’s discoveries in artificial intelligence, robotics, biotechnology, quantum computing, nanotechnology or, for example, fifth-generation (5G) wireless network technology. The essence of all development is the improvement and expansion of human and technological capabilities and potential. Civilisational development is a system of interconnected vessels, based on social, cultural and technological interdependencies, with all these spheres of public life inextricably linked to regulation.

Legislation in the face of technological progress. Legal barriers to the implementation of innovation

Regardless of the regime and legal system, in any case, legal norms are the foundation of social life and economic activity, carried out on any scale and in all areas. Without a rudimentary knowledge of the rules, it would be difficult to make rational decisions concerning everyday life, therefore legal norms should contain solutions adequate to the needs of citizens and the economy. In various areas of life, the process of lawmaking has taken place gradually through the creation of new laws, their ordering or amendment to adapt to current conditions.

In the author’s opinion, in the case of new technologies, which are subject to constant and dynamic change, this traditional standard-setting model does not fully achieve its objectives. What, then, should be the regulations dedicated to modern society and the technologies of the fourth industrial revolution? Finding an answer to this question generates the need to pose

w przepływie informacji i komunikacji społecznej. Przyjmuje się, że technologie „nowe” to rozwiązania wprowadzone nie później niż pięć lat temu, obejmujące przede wszystkim wiedzę „zabezpieczoną” patentami, licencjami, znakami towarowymi czy też przepisami regulującymi prawo konkurencji i konsumentów oraz prawo usług świadczonych drogą elektroniczną.

Nowe technologie stanowią fundament nowej ery technologicznej, określanej mianem czwartej rewolucji przemysłowej. To pojęcie, obecnie powszechnie używane, zostało sformułowane przez Klause Schwaba, Przewodniczącego Światowego Forum Ekonomicznego w Davos. Przemawiając na Forum w dniu 18 stycznia 2016 r. wskazał on m.in., że „pierwsza rewolucja przemysłowa wykorzystwała energię wodną i parową do zmechanizowania produkcji. Druga wykorzystywała energię elektryczną do produkcji masowej. Trzecia wykorzystywała elektronikę i technologie informatyczne do automatyzacji produkcji. Obecnie czwarta rewolucja przemysłowa (...) charakteryzuje się fuzją technologii, która zaciera granice między sferą fizyczną, cyfrową i biologiczną. (...) Czwarta rewolucja przemysłowa zmieni nie tylko to, co robimy, ale także to, kim jesteśmy. Będzie miała wpływ na naszą tożsamość i wszystkie związane z nią kwestie: nasze poczucie prywatności, nasze poczucie własności, nasze wzorce konsumpcyjne, czas poświęcany pracy i wypoczynkowi oraz to, jak rozwijamy naszą karierę, kultywujemy nasze umiejętności, spotykamy ludzi i pielęgnujemy relacje” [3].

Wypowiedź Klause Schwaba wywołała szereg dyskusji i mimo upływu lat jest nadal rozwijana i analizowana, gdyż nowa era technologiczna to współczesne odkrycia w dziedzinie sztucznej inteligencji, robotyki, biotechnologii, obliczeń kwantowych, nanotechnologii czy np. bezprzewodowej technologii sieci piątej generacji (5G). Istotą wszelkiego rozwoju jest ulepszanie i rozszerzanie możliwości i potencjału ludzkiego oraz technologicznego. Rozwój cywilizacyjny to system naczyń połączonych, opartych na wzajemnych zależnościach społecznych, kulturowych i technologicznych, przy czym wszystkie te sfery życia publicznego są nierozdzielnie związane z regulacjami prawnymi.

Ustawodawstwo w obliczu postępu technologicznego. Bariery prawne we wdrażaniu innowacji

Niezależnie od ustroju oraz systemu prawnego w każdym przypadku normy prawne stanowią fundament życia społecznego oraz działalności gospodarczej, prowadzonej w każdej skali i na wszystkich obszarach. Bez elementarnej znajomości przepisów trudno byłoby podejmować racjonalne decyzje dotyczące życia codziennego, dlatego też normy prawne powinny zawierać rozwiązania adekwatne do potrzeb obywateli i gospodarki. W różnych dziedzinach życia proces stanowienia prawa następował stopniowo poprzez tworzenie nowych przepisów, ich porządkowanie, czy też nowelizowanie w celu dostosowania do aktualnych warunków.

W ocenie autorki, w przypadku nowych technologii, które podlegają ciągłym i dynamicznym zmianom, ten tradycyjny model normotwórczy nie realizuje w pełni swoich celów. Jakże zatem powinny być przepisy dedykowane nowoczesnemu społeczeństwu oraz technologiom czwartej rewolucji przemysłowej?

further key questions and seek answers, which will serve the author to formulate *de lege ferenda* postulates regarding changes in the area of new technologies.

There is no doubt that the law is constantly evolving, responding to changes in the economic and cultural space. However, in view of the dynamics of new technologies, it is important to establish:

1. Has regulation kept pace with scientific and technological progress and, if not, why not?
2. Which is better? Lack of law or perhaps over-regulation?
3. Is there any point at all in legislating for new technologies?
4. What should the law of new technologies be?

Domestic market research (although this principle also has a global dimension) indicates that the problem for economic entities is not the generation of innovative solutions, but rather their effective implementation. Analysing this aspect, it is possible to point to three fundamental problems in the implementation of innovation, i.e.: high costs of implementing new technologies, lack of capital and legal barriers. Research conducted by Ernst & Young in November 2019 shows that over 90% of companies in Poland believe that the law has not kept up with the development of new technologies². It is difficult to disagree with this position. According to the author, the following factors can be listed among the main legal obstacles to the implementation of innovation:

- excessively long legal procedures, e.g. for obtaining approvals, permits, patents, concessions, etc;
- too often changing regulations;
- lack of regulation of certain areas.

Additional legal barriers that significantly impede the development of new technologies also include:

- an excess of diffuse law;
- law disproportionate to the stage of development of the technology or industry in question;
- the practice of law application by administrative authorities.

In the light of legal theory, the legal system is constituted by ordered, interrelated legal norms that apply at a given time and in a given territory. According to the traditional understanding of law, only the legislature has the legitimacy to create law, with the sources of this law, also known as 'hard law', being the constitution, laws and regulations. Traditional lawmaking depends on complex and lengthy legislative procedures, as a result of which established social and economic phenomena are 'dressed up' in legal norms. New technologies, through their dynamism and rapid development, require equally rapid and adequate legal regulations. Therefore, in the author's opinion, it is worth using the so-called 'soft law' in this area. In the author's opinion, it is therefore worthwhile to use *soft law*, which, unlike *hard law*, is able to develop principles and rules to support the development of technology. An extensive legal analysis of the application of *hard law* and *soft law* in the area of new technologies was presented in the paper entitled *Selected aspects of the application of nanotechnology – solutions and challenges in the security and*

Znalezienie odpowiedzi na to pytanie generuje konieczność postawienia kolejnych kluczowych pytań i szukania odpowiedzi, które posłużą autorce do sformułowania postulatów *de lege ferenda* odnośnie zmian w obszarze nowych technologii.

Nie ulega wątpliwości, że prawo podlega ciągłej ewolucji, reagując na zmiany zachodzące w przestrzeni gospodarczej i kulturowej. Jednak wobec dynamiki nowych technologii należy ustalić:

1. Czy regulacje prawne nadążają za postępem naukowo-technicznym, a jeśli nie – to dlaczego?
2. Co jest lepsze? Brak prawa czy może nadregulacja?
3. Czy w ogóle zasadne jest tworzenie przepisów normujących nowe technologie?
4. Jakie powinno być prawo nowych technologii?

Badania rynku krajowego (choć ta zasada ma również wymiar globalny) wskazują, że dla podmiotów gospodarczych problemem nie jest generowanie innowacyjnych rozwiązań, ale raczej ich skuteczne wdrażanie. Analizując ten aspekt, można wskazać na trzy zasadnicze problemy przy wdrażaniu innowacji, tj.: wysokie koszty wdrażania nowych technologii, brak kapitału oraz bariery prawne. Z badań przeprowadzonych przez Ernst & Young w listopadzie 2019 r. wynika, że ponad 90% firm w Polsce uważa, że prawo nie nadąża za rozwojem nowych technologii². Trudno nie zgodzić się z takim stanowiskiem. Zdaniem autorki wśród głównych przeszkód prawnych we wdrażaniu innowacji można wymienić następujące czynniki:

- zbyt długie procedury prawne, dotyczące np. uzyskiwania zgód, pozwoleń, patentów, koncesji itp.;
- zbyt często zmieniające się przepisy;
- brak uregulowania pewnych obszarów.

Do dodatkowych barier prawnych, które w znacznym stopniu utrudniają rozwój nowych technologii, należą również:

- nadmiar rozproszonego prawa;
- prawo niewspółmierne do etapu rozwoju danej technologii lub branży;
- praktyka stosowania prawa przez organy administracji.

W świetle teorii prawa system prawny tworzą uporządkowane, powiązane ze sobą normy prawne, które obowiązują w danym czasie i na danym terytorium. Zgodnie z tradycyjnym rozumieniem prawa wyłącznie ustawodawca posiada legitymację do kształtowania prawa, przy czym źródłem tego prawa, zwanego także „twardym prawem” (ang. *hard law*) jest konstytucja, ustawy oraz rozporządzenia. Tworzenie tradycyjnego prawa uzależnione jest od skomplikowanych i długotrwałych procedur legislacyjnych, w wyniku których utrwalone zjawiska społeczne i gospodarcze „ubierane są” w normy prawne. Nowe technologie, poprzez swój dynamizm i szybki rozwój, wymagają równie szybkich i adekwatnych przepisów prawnych. W związku z powyższym, zdaniem autorki, warto w tym zakresie wykorzystać tzw. „miękkie prawo” (ang. *soft law*), które w przeciwieństwie do *hard law* jest w stanie wypracować zasady i reguły wspierające rozwój technologii. Obszerna analiza prawna dotycząca stosowania *hard law* i *soft law* w obszarze nowych technologii została zaprezentowana w referacie pt. *Wybrane aspekty stosowania nanotechnologii – rozwiązania*

² The survey was conducted by Ernst & Young in November 2019 among representatives of 596 companies. Respondents included members of the board of directors (46%), as well as executives from IT, legal and finance departments; https://www.ey.com/pl_pl/news/2020/08/72 [accessed: 10.11.2023].

² Badanie zostało przeprowadzone przez Ernst & Young w listopadzie 2019 r. wśród przedstawicieli 596 firm. Respondentami byli członkowie zarządu (46%), a także osoby na kierowniczych stanowiskach w IT, działach prawnych i działach finansów; https://www.ey.com/pl_pl/news/2020/08/72 [dostęp: 10.11.2023].

regulatory area. The author pointed out, inter alia, that nanotechnology, which is subject to constant change – being an important part of new technologies – is a matter difficult to proceed in the traditional legislative process. Therefore, in the case of nanotechnology (new technologies), mainly “soft law” is applicable in the form of, inter alia, guidelines, declarations, resolutions, ethical principles, standards or opinions developed by various bodies, associations, business and scientific organisations, manufacturers’ associations and many other national and international entities interested in the development and use of new technologies [4].

When discussing the legal barriers accompanying new technologies, it should be pointed out that an important constraint is legislation that is not commensurate with the level of development of a particular industry or technology. Legal norms primarily regulate those areas of social and economic life that are already functioning, putting them in order and giving them a normative dimension. The essence of new technologies is dynamism and change, so it is difficult for traditional law to create norms that are appropriate for a given moment of technological development.

Another aspect should also be noted, which makes standardisation of new technologies difficult. The field of new technologies is very broad and diverse and therefore there is no single codification common to new technologies in national and EU legislation. New technologies operate within the existing legal system and benefit greatly from laws that regulate, for example, patent and trademark law [5], competition and consumer law [6], or the law on electronically provided services [7]. For all industries that want to develop new technologies, common and key areas for legislative change are certainly investment in new technologies [8], protection of intellectual property and security issues in the broadest sense including cyber security, security of persons and property [9] or security of monuments [10] and cultural heritage sites [11].

De lege ferenda conclusions

To summarise the issues analysed in this article, the author’s thesis is that the law has not and will not keep up with new technologies. The legislative process itself is complicated and very long. The introduction of new regulations and legislative changes requires, inter alia, inter-ministerial and social arrangements, work in parliamentary and senate committees, voting in Parliament and, finally, the signature of the President of the Republic of Poland. The above-mentioned legal actions take time, and new technologies are, after all, changeable and dynamic – a constant struggle against time. The development of technology certainly poses a new challenge to contemporary legislation and lawyers, who should also include broadly understood science in the law-making process. The development of science is the foundation of technical and social progress and a source of dynamic economic growth. Without scientific and research

i wyzwania w dziedzinie bezpieczeństwa oraz w obszarze regulacyjnym. Autorka wskazała m.in., że podlegająca ciągłym zmianom nanotechnologia – będąca istotną częścią nowych technologii – jest materią trudną do procedowania w tradycyjnym procesie legislacyjnym. Dlatego też w przypadku nanotechnologii (nowych technologii) ma zastosowanie przede wszystkim „miękkie prawo” w postaci m.in. wytycznych, deklaracji, rezolucji, zasad etyki, standardów, czy też opinii opracowanych przez różnego rodzaju organy, stowarzyszenia, organizacje biznesowe i naukowe, zrzeszenia producentów oraz wiele innych podmiotów krajowych i międzynarodowych, zainteresowanych rozwojem i wykorzystaniem nowych technologii [4].

Omawiając bariery prawne towarzyszące nowym technologiom, należy wskazać, że istotnym ograniczeniem są przepisy niewspółmierne do poziomu rozwoju danej branży bądź technologii. Normy prawne regulują przede wszystkim te obszary życia społecznego i gospodarczego, które już funkcjonują, porządkując je i nadając im wymiar normatywny. Istotą nowych technologii jest dynamizm i zmiana, dlatego też tradycyjnie rozumianemu prawu trudno jest stworzyć normy, które byłyby odpowiednie na dany moment rozwoju technologii.

Należy również zwrócić uwagę na kolejny aspekt, utrudniający normowanie nowych technologii. Obszar nowych technologii jest bardzo szeroki i zróżnicowany, dlatego też w prawie krajowym i ustawodawstwie unijnym nie ma jednej kodyfikacji wspólnej dla nowych technologii. Nowe technologie funkcjonują w obowiązującym systemie prawa i korzystają w dużej mierze z przepisów, które regulują m.in. prawo patentowe i znaki towarowe [5], prawo konkurencji i konsumentów [6], czy też prawo dotyczące usług świadczonych drogą elektroniczną [7]. Dla wszystkich branż, które chcą rozwijać nowe technologie, wspólnymi i kluczowymi obszarami wymagającymi zmian legislacyjnych są z całą pewnością inwestycje w nowe technologie [8], ochrona własności intelektualnej oraz kwestie dotyczące szeroko rozumianego bezpieczeństwa obejmującego cyberbezpieczeństwo, bezpieczeństwo osób i mienia [9] czy też bezpieczeństwo zabytków [10] i obiektów dziedzictwa kulturowego [11].

Wnioski de lege ferenda

Podsumowując zagadnienia analizowane w niniejszym artykule autorka stawia tezę, że prawo nie nadąga i nie będzie nadągać za nowymi technologiami. Już sam proces ustawodawczy jest skomplikowany i bardzo długi. Wprowadzenie nowych regulacji oraz zmian legislacyjnych wymaga m.in. uzgodnień międzyresortowych i społecznych, prac w komisjach sejmowych i senackich, głosowania w Parlamencie, a finalnie podpisu Prezydenta RP. Wymienione wyżej działania prawne wymagają czasu, a nowe technologie to przecież zmienność i dynamizm – ciągła walka z czasem. Rozwój technologii stanowi z całą pewnością nowe wyzwanie dla współczesnego prawodawstwa oraz prawników, którzy do procesu tworzenia prawa powinni włączyć również szeroko rozumianą naukę. Rozwój nauki jest fundamentem postępu technicznego i społecznego oraz źródłem dynamicznego wzrostu gospodarczego. Bez działalności naukowo-badawczej

activities, it is difficult to imagine the development of civilisation, as in the current form of technological advancement it requires in-depth scientific knowledge [12].

In order to meet the challenges mentioned above, the author formulates the following postulates with regard to the law of new technologies:

1. Identification of areas in need of regulation and diagnosis of the current legal status.
2. To attempt to define a system of new technology law using state regulatory policy and strategy and EU guidelines.
3. The need to construct 'abstract' law so that it can be applied to as many new technologies as possible.
4. Avoiding over-regulation, which by its inadequacy can limit or even prevent the development of technology.

In conclusion, when creating regulations dedicated to innovative solutions, legal norms should be constructed in such a way that they do not hinder the development of new technologies. This poses a major challenge for legislators, for whom cooperation with the scientific community and representatives of various technology industries is an opportunity to create legislation that supports, rather than hinders, the development of 21st century technologies.

trudno wyobrazić sobie rozwój cywilizacji, gdyż w obecnej formie zaawansowania technologicznego wymaga ona pogłębionej wiedzy naukowej [12].

Wychodząc naprzeciw wspomnianym wyżej wyzwaniom, autorka formułuje następujące postulaty w odniesieniu do prawa nowych technologii:

1. Określenie obszarów wymagających regulacji oraz diagnoza aktualnego stanu prawnego.
2. Podjęcie próby zdefiniowania systemu prawa nowych technologii przy wykorzystaniu polityki regulacyjnej i strategii państwa oraz wytycznych UE.
3. Konieczność konstruowania prawa „abstrakcyjnego”, aby mogło znaleźć zastosowanie do jak największej liczby nowych technologii.
4. Unikanie nadregulacji, która przez swoją nieadekwatność może ograniczać lub wręcz uniemożliwiać rozwój technologii.

Konkludując, przy tworzeniu przepisów dedykowanych innowacyjnym rozwiązaniom należy tak konstruować normy prawne, aby nie przeszkadzały w rozwoju nowych technologii. Stanowi to duże wyzwanie dla legislatorów, dla których współpraca ze środowiskami naukowymi oraz przedstawicielami różnych branż technologicznych stanowi szansę na stworzenie przepisów wspierających, a nie ograniczających rozwój technologii XXI wieku.

Literature / Literatura

- [1] Instytut Analiz Rynku Pracy, *Prognozowane zmiany na rynku pracy. Przegląd scenariuszy*, raport opracowany w oparciu o przegląd literatury przedmiotu na zlecenie Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości, Warszawa 2022, https://www.parp.gov.pl/storage/publications/pdf/Prognozowane-zmiany-na-ryнку-pracy_przegld-scenariuszy.pdf [dostęp: 10.11.2022].
- [2] Wyszomirska M., *Outline of the activities of research institutes and their impact on the development of innovation in the polish economy*, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach” 2022, 59, 25–32, <https://doi.org/10.34739/zn.2022.59.03>.
- [3] Przemówienie Przewodniczącego Forum Klausa Schwaba podczas Światowego Forum Ekonomicznego w Davos, 18.01.2016, <https://www.euractiv.pl> [dostęp: 10.11.2023].
- [4] Rabajczyk A., Wyszomirska M., Zboina J., *Wybrane aspekty stosowania nanotechnologii – rozwiązania i wyzwania w dziedzinie bezpieczeństwa oraz w obszarze regulacyjnym*, referat wygłoszony podczas Konferencji Naukowej pt. Bezpieczeństwo strażaków w działaniach ratowniczych, Akademia Pożarnicza, Warszawa 17–18.10.2023.
- [5] Ustawa z dnia 30 czerwca 2000 – Prawo własności przemysłowej (Dz.U. 2023 poz. 1170).
- [6] Ustawa z dnia 16 lutego 2007 r. o ochronie konkurencji i konsumentów (Dz.U. 2023 poz. 1689 z późn. zm.).
- [7] Ustawa z dnia 18 lipca 2002 r. o świadczeniu usług drogą elektroniczną (Dz.U. 2020 poz. 344).
- [8] Śledziwska K., Włoch R., *Gospodarka cyfrowa. Jak nowe technologie zmieniają świat*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2020, <https://delab.uw.edu.pl/wp-content/uploads/2020/04> [dostęp: 10.11.2023].
- [9] Kosowski B., Luzar A., *Wybrane media społecznościowe w komunikacji kryzysowej na przykładzie pożaru katedry Notre Dame*, SFT Vol. 56 Issue 2, 2020, pp. 6–20, <https://doi.org/10.12845/sft.56.2.2020.1>.
- [10] Zboina J., *Wybrane zagadnienia bezpieczeństwa pożarowego obiektów zabytkowych. Wyniki badań i rekomendacje*, CNBOP-PIB, Józefów 2017.
- [11] Koss A., Wyszomirska M., Zambrzycki P., *Wybrane aspekty ochrony zabytków w kontekście działalności Międzyuczelnianego Instytutu Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki na rzecz ochrony, konserwacji i zabezpieczania dzieł sztuki oraz zabytków i obiektów zabytkowych*, „Ochrona Ludności i Dziedzictwa Kulturowego” 2023, 2, 31–50, <https://doi.org/10.4467/29563763.OLDK.23.003.17761>.
- [12] Wyszomirska M., *Prawnopodatkowe aspekty działalności instytutów badawczych. Rozważania na gruncie nauki i praktyki*, CNBOP-PIB, Józefów 2022, <https://doi.org/10.17381/2022.2>.

MONIKA WYSZOMIRSKA, PH.D. – Doctor of Laws at the University of Warsaw, legal counsel, economist; specialises in tax, financial, administrative and civil law. Author of 8 books on tax issues, published by the C.H.BECK Publishing House, and more than 250 press articles on issues relating to substantive and procedural tax and administrative law. She has extensive experience in preparing legal opinions and analyses, as well as in representing parties before the Provincial and Supreme Administrative Court and common courts of all instances. She also appears before the Constitutional Tribunal in subsidy and tax cases.

DR MONIKA WYSZOMIRSKA – doktor nauk prawnych Uniwersytetu Warszawskiego, radca prawny, ekonomista; specjalizuje się w prawie podatkowym, finansowym, administracyjnym i cywilnym, w tym m.in. w zakresie projektów naukowych i prac rozwojowych oraz dużych projektów informatycznych. Autorka 8 książek o tematyce podatkowej, wydanych przez Wydawnictwo C.H.BECK oraz ponad 250 artykułów prasowych poruszających kwestie dotyczące materialnego oraz procesowego prawa podatkowego i administracyjnego. Posiada bogate doświadczenie zarówno w sporządzaniu opinii i analiz prawnych, jak i reprezentowaniu stron przed Wojewódzkim i Naczelnym Sądem Administracyjnym oraz sądami powszechnymi wszystkich instancji. Występuje również przed Trybunałem Konstytucyjnym w sprawach dotyczących dotacji oraz podatków.

W sprzedaży nowość wydawnicza:

INŻYNIERYJNE METODY ochrony przeciwpożarowej

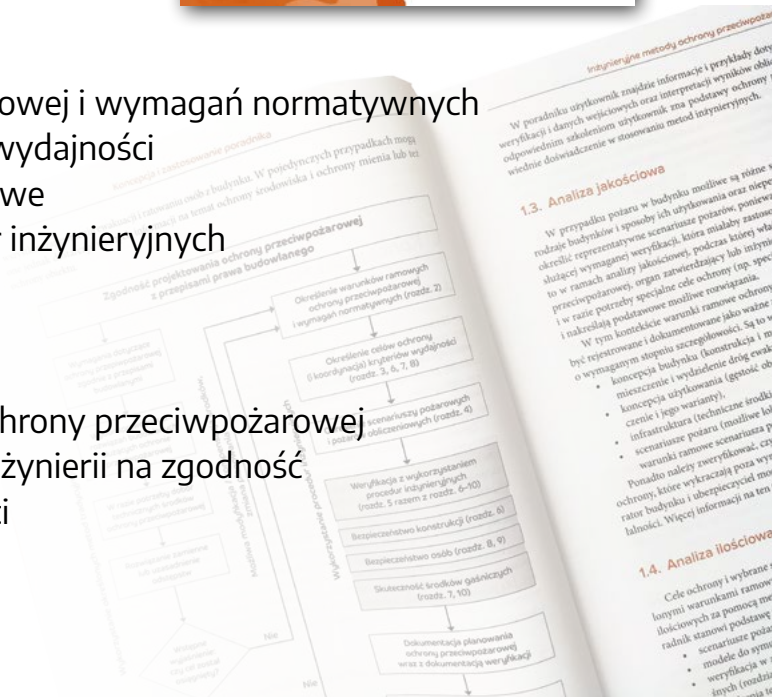
Ponad 400 stron z praktyczną wiedzą inżynierską na temat: wentylacji pożarowej, symulacji pożarów, pożarów obliczeniowych i ewakuacji

Publikacja, która posłuży specjalistom w projektowaniu bezpieczeństwa pożarowego budynków na każdym etapie tego procesu



W środku między innymi:

- ✓ warunki ramowe ochrony przeciwpożarowej i wymagań normatywnych
- ✓ cele ochrony (i koordynacja) kryteriów wydajności
- ✓ scenariusze pożarów i pożary obliczeniowe
- ✓ weryfikacja z wykorzystaniem procedur inżynierskich
- ✓ bezpieczeństwo konstrukcji
- ✓ bezpieczeństwo osób
- ✓ skuteczność środków gaśniczych
- ✓ dokumentacja dotycząca planowania ochrony przeciwpożarowej
- ✓ test akceptacyjny zgodnie z zasadami inżynierii na zgodność z celami ochrony i kryteriami wydajności



**CENTRUM NAUKOWO-BADAWCZE
OCHRONY PRZECIWPOŻAROWEJ**
im. Józefa Tuliszkowskiego
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

ZAPRASZAMY DO ZAKUPU
online.cnbop.pl

oraz do zapoznania się
z pełną ofertą wydawniczą
w zakładce WYDAWNICTWA
na stronie cnbop.pl

Marta Iwańska^{a)*}, Ewa Sobór^{a)}, Michał Chmiel^{a)}

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

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

Analysis and Formal and Substantive Evaluation of the Proposal of the European Regulation Authorizing the Marketing of Construction Products in the Harmonized Area

Analiza i ocena formalno-merytoryczna wybranych aspektów projektu europejskiego rozporządzenia dopuszczającego do obrotu wyroby budowlane w obszarze zharmonizowanym

ABSTRACT

Aim: The aim of the article is to discuss issues related to the functioning of the current Regulation of the European Parliament and of the Council (EU) No. 305/2011 establishing harmonized conditions for the marketing of construction products and the problems identified in this regard, as well as to discuss the assumptions of the proposal of the European regulation for construction products in the harmonized area. This article analyses and indicates the links of the proposal in question to the “European Green Deal” manifested in its inclusion of the assessment and communication of information on the environmental performance of construction products and the promotion of the circulation of construction products.

Introduction: The area of conformity assessment of construction products in the EU is currently regulated by the Regulation 305/2011. Its main objective was to improve the functioning of the single market and improve the free movement of construction products in the EU by establishing harmonized conditions for their marketing. In practice, this meant allowing construction products to be legally marketed in one member state. However, the European Commission, after its analysis, identified some shortcomings in its implementation, which required further analysis and discussion. As a consequence, a draft of a new regulation establishing harmonized conditions for the marketing of construction products, amending Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Regulation (EU) 305/2011 was developed to address a significant number of issues related to standardization, simplification for micro-enterprises, market surveillance and the enforcement of regulations.

Methodology: The article uses theoretical research methods, including an analysis of the EC’s report on the ongoing analyses of Regulation 305/2011 and reports from entities directly involved in the opinion of the proposed regulation. The publication also includes the authors’ own formal and substantive interpretation of selected passages of the proposed regulation, which establishes harmonized conditions for the marketing of construction products.

Conclusion: The proposal of the new regulation has both strengths and opportunities from the revision, as well as weaknesses and threats, or poses new challenges. Identifying the problems hindering the functioning of the single market for construction products, the EC pointed to two general goals of the CPR revision, i.e. to create a smoothly functioning single market for construction products and to contribute to the goals of green and digital transformation. The implementation of measures resulting from the entry into force of the new regulation will only show in practice whether the changes introduced have had the intended effect.

Keywords: construction products, standardization, harmonized area, European Green Deal, sustainable environment, CPR

Type of article: review article

Received: 11.05.2023; **Reviewed:** 03.10.2023; **Accepted:** 16.10.2023;

Authors’ ORCID IDs: M. Iwańska – 0000-0003-4815-7296; M. Chmiel – 0000-0002-7515-9011;

Percentage contribution: M. Iwańska – 40%; E. Sobór – 40%; M. Chmiel – 20%;

Please cite as: SFT Vol. 62 Issue 2, 2023, pp. 120–134, <https://doi.org/10.12845/sft.62.2.2023.7>;

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

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest analiza wybranych zagadnień i problemów związanych z funkcjonowaniem aktualnego rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 ustanawiającego zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych. W pracy autorzy dokonali syntezy założeń projektu europejskiego rozporządzenia dla wyrobów budowlanych w obszarze zharmonizowanym, w tym jego celów i metod ich osiągnięcia. Przeanalizowano i wskazano powiązania przedmiotowego projektu z „Europejskim Zielonym Ładem” przejawiające się uwzględnieniem w nim oceny i przekazywania informacji o ekologiczności wyrobów budowlanych oraz promowaniem obiegu tego rodzaju wyrobów.

Wprowadzenie: Obszar oceny zgodności wyrobów budowlanych na terenie UE regulowany jest obecnie rozporządzeniem nr 305/2011. Akt ten miał usprawnić funkcjonowanie jednolitego rynku oraz poprawić swobodny przepływ wyrobów budowlanych w UE poprzez ustanowienie zharmonizowanych warunków wprowadzania ich do obrotu. W praktyce oznaczało to umożliwienie legalnego wprowadzenia do obrotu wyrobów budowlanych w państwie członkowskim UE. Jednakże Komisja Europejska (KE), po przeprowadzonej analizie, wskazała pewne uchybienia we wdrażaniu dokumentu oraz – co za tym idzie – potrzebę dalszej analizy i dyskusji. W konsekwencji przeprowadzonej oceny opracowany został projekt nowego rozporządzenia ustanawiającego zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych, zmieniającego rozporządzenie (UE) 2019/1020 i uchylającego rozporządzenie (UE) 305/2011. Nowy dokument ma rozwiązać znaczną liczbę problemów związanych m.in. z normalizacją, nadzorem rynku, egzekwowaniem przepisów oraz wprowadzić uproszczenia dla mikroprzedsiębiorstw.

Metodologia: W pracy wykorzystano teoretyczne metody badawcze, w tym analizę sprawozdania KE dotyczącego rozporządzenia 305/2011 oraz raportów jednostek zaangażowanych bezpośrednio w opiniowanie projektu nowego rozporządzenia. W publikacji dokonano również własnej wykładni formalno-merytorycznej wybranych fragmentów przedmiotowego projektu rozporządzenia.

Wnioski: Projekt nowego rozporządzenia posiada zarówno mocne, jak i słabe strony. Oferuje dodatkowe możliwości wynikające z rewizji, ale jednocześnie wiąże się z zagrożeniami i nowymi wyzwaniami. Identyfikując problemy utrudniające funkcjonowanie jednolitego rynku wyrobów budowlanych, KE wskazała dwa ogólne cele aktualizacji CPR, tj. stworzenie sprawnie funkcjonującego jednolitego rynku wyrobów budowlanych oraz przyczynienie się do realizacji celów ekologicznej i cyfrowej transformacji. Dopiero praktyczna realizacja działań wynikających z wejścia w życie nowego rozporządzenia pokaże, czy wprowadzane zmiany przyniosą zamierzone efekty.

Słowa kluczowe: wyroby budowlane, normalizacja, obszar zharmonizowany, Europejski Zielony Ład, zrównoważone środowisko, CPR

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 11.05.2023; **Zrecenzowany:** 03.10.2023; **Zaakceptowany:** 16.10.2023;

Identyfikatory ORCID autorów: M. Iwańska – 0000-0003-4815-7296; M. Chmiel – 0000-0002-7515-9011;

Procentowy wkład merytoryczny: M. Iwańska – 40%; E. Sobór – 40%; M. Chmiel – 20%;

Proszę cytować: SFT Vol. 62 Issue 2, 2023, pp. 120–134, <https://doi.org/10.12845/sft.62.2.2023.7>;

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

Introduction

The area of construction products within the European Union is currently regulated by Regulation (EU) No. 305/2011 of the European Parliament and of the Council establishing harmonized conditions for the marketing of construction products (also known as the Construction Products Regulation or the CPR) [1], which was adopted in 2011 and became fully applicable in July 2013. Its main objective, like the earlier Construction Products Directive (CPD), was to improve the functioning of the single market and improve the free movement of construction products in the EU by establishing harmonized conditions for their marketing.

When considering the issue at hand, it is important to remember that the primary goal of EU legislation on construction products is to “achieve the proper functioning of the internal market for construction products.” However, EU regulations on construction products often do not follow the common “new approach to technical harmonization” applicable to most of the internal market regulations of the community and individual member states. This situation is due to a combination of two important factors: the nature of these products and the fact that construction objects and permits for their operation are the responsibility of the member states. In fact, the CPR does not specify any requirements that construction

Wstęp

Obszar wyrobów budowlanych na terenie Unii Europejskiej regulowany jest obecnie rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 ustanawiającym zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych (nazywane również rozporządzeniem w sprawie wyrobów budowlanych lub CPR) [1], które zostało przyjęte w 2011 r. i zaczęło w pełni obowiązywać od lipca 2013 r. Jego głównym celem, podobnie jak wcześniejszej dyrektywy w sprawie wyrobów budowlanych (CPD), było usprawnienie funkcjonowania jednolitego rynku i poprawa swobodnego przepływu wyrobów budowlanych w UE poprzez ustanowienie zharmonizowanych warunków wprowadzania ich do obrotu.

Prowadząc rozważania w przedmiotowej kwestii, należy pamiętać, że nadrzędnym celem prawodawstwa UE w zakresie wyrobów budowlanych jest „osiągnięcie właściwego funkcjonowania rynku wewnętrznego wyrobów budowlanych”. Jednakże regulacje UE dotyczące wyrobów budowlanych często nie są zgodne ze wspólnym „nowym podejściem do harmonizacji technicznej” mającym zastosowanie do większości przepisów dotyczących rynku wewnętrznego wspólnoty i poszczególnych państw członkowskich. Sytuacja ta wynika z połączenia dwóch istotnych czynników: charakteru tych

products would have to meet. Instead, it establishes harmonized rules on how to express their performance with respect to their essential characteristics (e.g., reaction to fire, thermal conductivity or sound insulation) and provides harmonized rules for the CE marking of these products. Member states remain fully responsible for the safety, environmental and energy requirements applicable to buildings and structures for civil engineering.

Regarding the division of competencies between the EU and member states, construction is an area subject to the principle of subsidiarity. This means that member states have exclusive competence over building regulations (i.e., rules for the design and construction of buildings and construction objects), while EU legislation is introduced to ensure the free circulation in the internal market of products used in these buildings and construction objects. Member states retain full control over the rules of construction design in their territories, particularly concerning public safety and security, energy efficiency and worker protection.

The system established first by CPD and then by the CPR was aimed at creating conditions for the proper functioning of the internal market for construction products. In practice, this made it possible to legally market construction products in EU member states. However, this has not made it possible for a product bearing the CE marking to be systematically used (i.e. incorporated into construction objects) in any member state. This is because the regulation of construction and civil engineering works remains within the broad competence of member states, implemented at national, regional and even local levels, in accordance with relevant EU secondary legislation and the Treaty on the Functioning of the European Union (TFEU).

Like its CPD predecessor, the CPR was also intended to ensure adequate conditions for the free movement of construction products throughout the EU (and associated countries). This was achieved by ensuring that CE-marked construction products undergo uniform testing and require a uniform declaration of performance (DoP) – regardless of where within the EU market they are made available. Through a common technical language expressing the performance of construction products, the CPR established harmonized conditions for the marketing of construction products.

Analysis of the status of CPR regulation

Thus, the CPR Regulation provided national public authorities with the means to set performance requirements for buildings and construction objects and to verify compliance within their national competence. The CPR was intended to enable member states to meet the goals of “fire safety”, “energy management”

wyrobów oraz faktu, że obiekty budowlane i zezwolenia na ich eksploatację należą do kompetencji państw członkowskich. W rzeczywistości rozporządzenie w sprawie wspólnych przepisów nie określa żadnych wymagań, które musiałyby spełniać wyroby budowlane. Zamiast tego ustanawia zharmonizowane zasady dotyczące sposobu wyrażania ich właściwości użytkowych w odniesieniu do ich zasadniczych charakterystyk (np. reakcja na ogień, przewodność cieplna lub izolacyjność akustyczna) oraz zapewnia zharmonizowane zasady dotyczące oznakowania CE tych wyrobów. Państwa członkowskie pozostają w pełni odpowiedzialne za wymagania dotyczące bezpieczeństwa, środowiska i energii mające zastosowanie do budynków i obiektów inżynierii lądowej i wodnej.

Jeśli chodzi o podział kompetencji między UE a państwami członkowskimi, budownictwo jest dziedziną podlegającą zasadzie pomocniczości. Oznacza to, że państwa członkowskie mają wyłączną kompetencję w zakresie przepisów budowlanych (tj. zasad projektowania i wznoszenia budynków oraz obiektów budowlanych), natomiast prawodawstwo UE wprowadza się w celu zapewnienia swobodnego obrotu na rynku wewnętrznym produktami stosowanymi w tych budynkach i obiektach budowlanych. Państwa członkowskie zachowują pełną kontrolę nad zasadami projektowania budowlanego na swoich terytoriach, dotyczącymi w szczególności bezpieczeństwa i ochrony publicznej, efektywności energetycznej oraz ochrony pracowników.

System ustanowiony najpierw przez CPD, a następnie przez CPR, miał na celu stworzenie warunków dla właściwego funkcjonowania rynku wewnętrznego wyrobów budowlanych. W praktyce umożliwiło to legalne wprowadzenie do obrotu wyrobów budowlanych w państwach członkowskich UE. Nie sprawiło to jednak, że wyrób opatrzony oznakowaniem CE może być systematycznie stosowany (tj. włączany do obiektów budowlanych) w każdym państwie członkowskim. Przepisy dotyczące obiektów budowlanych oraz obiektów inżynierii lądowej i wodnej pozostają bowiem w szerokim zakresie kompetencji państw członkowskich, realizowanych na szczeblu krajowym, regionalnym, a nawet lokalnym, zgodnie z odpowiednim prawem wtórnym UE oraz Traktatem o funkcjonowaniu Unii Europejskiej (TFEU).

Podobnie jak jego poprzednik CPD, CPR miał zapewnić również odpowiednie warunki dla swobodnego przepływu wyrobów budowlanych w całej UE (i krajach stowarzyszonych). Cel ten osiągnięto poprzez zapewnienie, że wyroby budowlane ze znakiem CE przechodzą jednolite badania i wymagają sporządzenia jednolitej deklaracji właściwości użytkowych (DoP) – niezależnie od tego, gdzie w obrębie rynku UE są udostępniane. Poprzez wspólny język techniczny wyrażający właściwości użytkowe wyrobów budowlanych, CPR ustanowiło zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych.

Analiza stanu funkcjonowania regulacji CPR

Rozporządzenie CPR udostępniło zatem krajowym organom publicznym środki do określania wymagań dotyczących właściwości użytkowych budynków i obiektów budowlanych oraz do sprawdzania zgodności w zakresie ich kompetencji krajowych. CPR miał umożliwić państwom członkowskim realizację celów

and “sustainable use of natural resources” (which are among the seven basic requirements for construction objects set forth in Annex I of the CPR). However, the Commission’s report on the implementation and operation of the CPR published in 2016 [2] identified some deficiencies in its implementation and a significant number of problems related to standardization, the issue of simplification for microenterprises, market surveillance and law enforcement, among others. The need for further analysis and discussion was identified. The Commission concluded that further work is needed to improve the implementation of the CPR. This report also identified a number of issues that go beyond implementation itself and merit further in-depth analysis and discussion. Among them are:

- the need to clarify simplification provisions and the limited evidence that microenterprises are benefiting from simplified/softer procedures;
- relationship with Regulation 1025/2012 [3] on standardization;
- the need for a faster and more efficient standardization process due to the required use of standards in the processes of assessment and verification of constancy of performance of a construction product;
- the need for sector-specific market surveillance and regulation enforcement;
- the need to establish detailed rules for notified bodies and
- streamline procedural rules for finalizing European assessment documents by the European Organization for Technical Assessment (EOTA).

To address these aspects, the Commission has launched further analyses and engaged in extensive stakeholder consultations. They were implemented through both technical platforms that bring together member state authorities, professionals and industry representatives, as well as technical bodies working in the area of standardization. On the whole, the research and analysis used in this evaluation confirmed that the issues cited above are the key ones.

Decision on the revision of the CPR

Identifying the problems hindering the functioning of the single market for construction products and thus preventing the full achievement of the original goals of the CPR, the European Commission identified two general objectives for the revision of the CPR:

- 1) creating a smoothly functioning single market for construction products;
- 2) contributing to the goals of green and digital transformation, in particular a modern, resource-efficient and competitive economy.

In contrast, the European Commission identified as specific objectives of the legislative proposal in question – the Draft Regulation of 30.03.2022 [4]:

związanych z „bezpieczeństwem pożarowym”, „gospodarką energetyczną” i „zrównoważonym wykorzystaniem zasobów naturalnych” (które należą do siedmiu podstawowych wymagań dotyczących obiektów budowlanych określonych w załączniku I do CPR). Jednakże w sprawozdaniu Komisji z realizacji i funkcjonowania CPR opublikowanym w 2016 r. [2] wskazano pewne uchybienia we wdrażaniu tego aktu oraz znaczną liczbę problemów związanych m.in. z normalizacją, kwestią uproszczeń dla mikroprzedsiębiorstw, nadzorem rynku i egzekwowaniem przepisów. Zidentyfikowano potrzebę dalszej analizy i dyskusji. Komisja doszła do wniosku, że konieczne są dalsze prace w celu poprawy wdrożenia CPR. W omawianym sprawozdaniu wskazano również wiele kwestii wykraczających poza samo wdrożenie i zasługujących na dalszą pogłębioną analizę i dyskusję. Wśród nich można wymienić:

- konieczność wyjaśnienia przepisów dotyczących uproszczenia oraz ograniczone dowody na to, że mikroprzedsiębiorstwa korzystają z przepisów dotyczących uproszczenia / łagodniejszych systemów;
- związek z rozporządzeniem 1025/2012 [3] w sprawie normalizacji;
- potrzeba szybszego i sprawniejszego procesu normalizacji z uwagi na wymagane stosowanie norm w procesach oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych wyrobu budowlanego;
- konieczność wprowadzenia nadzoru rynku dla poszczególnych sektorów i egzekwowania przepisów;
- konieczność ustanowienia szczegółowych przepisów dotyczących jednostek notyfikowanych oraz
- usprawnienie zasad proceduralnych dotyczących finalizowania europejskich dokumentów oceny przez Europejską Organizację Oceny Technicznej (EOTA).

Aby zająć się tymi aspektami, Komisja rozpoczęła dalsze analizy i zaangażowała się w szerokie konsultacje z zainteresowanymi stronami. Realizowano je za pośrednictwem zarówno platform technicznych skupiających organy państw członkowskich, specjalistów i branżowych przedstawicieli sektora, jak i organów technicznych działających w zakresie normalizacji i standaryzacji. Ogólnie rzecz biorąc, badania i analizy wykorzystane w tej ocenie potwierdziły, że przytoczone powyżej kwestie są tymi kluczowymi.

Decyzja dotycząca rewizji CPR

Identyfikując problemy utrudniające funkcjonowanie jednolitego rynku wyrobów budowlanych, a tym samym uniemożliwiające pełne osiągnięcie pierwotnych celów CPR, Komisja Europejska wskazała dwa ogólne cele rewizji CPR:

- 1) stworzenie sprawnie funkcjonującego jednolitego rynku wyrobów budowlanych;
- 2) przyczynienie się do realizacji celów ekologicznej i cyfrowej transformacji, w szczególności nowoczesnej, zasobooszczędnej i konkurencyjnej gospodarki.

Natomiast jako cele szczegółowe omawianego wniosku legislacyjnego – Projektu Rozporządzenia PEiR z dnia 30.03.2022 [4] – Komisja Europejska wskazała:

- 1) unblocking the technical harmonization system;
- 2) reducing domestic barriers to trade in products covered by the CPR;
- 3) improving regulation enforcement and market surveillance;
- 4) providing greater clarity (more comprehensive definitions, reducing overlap, conflict of laws with other legislation) and simplification;
- 5) reducing the administrative burden, including through simplification of procedures and digitization;
- 6) ensuring safe construction products;
- 7) contributing to reducing the overall climate and environmental impact of construction products, including through the use of digital tools (digital passport).

In presenting the issue at hand, it should be noted that despite the ongoing work on the draft in question and the numerous comments and proposals made at this stage by the European Parliament and the Council of the EU, both the general and specific objectives of the revision remain unchanged, as do the methods of achieving them, which are discussed later in the article.

The new regulation [5] is intended to be aligned with the “new approach to technical harmonization” and to streamline the publication of harmonized standards. The Common Technical Language (which is the operational goal of the CPR) consists of harmonized technical specifications, i.e.:

- harmonized European standards being prepared by CEN/CENELEC;
- European Technical Assessments (ETAs) prepared by EOTA and Technical Assessment Bodies (TABs), which are alternatives to harmonized standards for products that are not or not fully covered by harmonized standards.

The aim of the CPR revision is to improve the internal market for construction products by facilitating their free circulation. During the revision, greater emphasis was placed on raising the level of environmental protection, which will be linked to regulations on the sustainability of construction products and the sustainable use of natural resources.

From an analysis of the draft CPR and related documents, it appears that the European Commission (EC) plans to introduce legal solutions to all the problems that have been faced for years by the entities and individuals affected by this provision. But the result is a legal text that is extremely difficult to read and understand. It can also be noted that the revised CPR will result in increased powers for the European Commission to influence and direct standardization work. The proposed regulation contains numerous delegations to the EC to issue delegated and implementing acts, some of which may affect business freedom and competitiveness. In view of the above, it became reasonable to carry out an analysis of the possibility of achieving the objectives with solutions other than delegated and implementing acts.

- 1) odblokowanie systemu harmonizacji technicznej;
- 2) zmniejszenie krajowych barier w handlu wyrobami objętymi CPR;
- 3) poprawę egzekwowania przepisów i nadzoru rynku;
- 4) zapewnienie większej jasności (bardziej wyczerpujące definicje, ograniczenie nakładania się przepisów, kolizja przepisów z innymi aktami prawnymi) i uproszczenie;
- 5) zmniejszenie obciążeń administracyjnych, w tym poprzez uproszczenie procedur i cyfryzację;
- 6) zapewnienie bezpiecznych wyrobów budowlanych;
- 7) przyczynianie się do zmniejszenia ogólnego wpływu wyrobów budowlanych na klimat i środowisko, w tym dzięki stosowaniu narzędzi cyfrowych (cyfrowego paszportu).

Prezentując przedmiotową kwestię, należy zauważyć, że pomimo toczących się prac nad rzeczonym projektem oraz licznych uwag i propozycji zgłoszonych na obecnym etapie przez Parlament Europejski oraz Radę UE, zarówno cele ogólne, jak i szczegółowe rewizji nie ulegają zmianie, podobnie jak metody ich osiągnięcia, które omówiono w dalszej części artykułu.

Nowe rozporządzenie [5] ma zostać dostosowane do „nowego podejścia do harmonizacji technicznej” oraz usprawnić publikację norm zharmonizowanych. Wspólny język techniczny (będący celem operacyjnym CPR) składa się ze zharmonizowanych specyfikacji technicznych, tj.:

- zharmonizowanych norm europejskich przygotowywanych przez CEN/CENELEC;
- europejskich ocen technicznych (ETA) przygotowywanych przez EOTA i techniczne jednostki oceny (TAB), które są alternatywą dla zharmonizowanych norm dla produktów, nieobjętych lub nie w pełni objętych zharmonizowanymi normami.

Celem rewizji CPR jest poprawa rynku wewnętrznego wyrobów budowlanych poprzez ułatwienie ich swobodnego obrotu. Podczas rewizji większy nacisk został położony na podniesienie poziomu ochrony środowiska, co powiązane będzie z regulacjami dotyczącymi trwałości wyrobów budowlanych i zrównoważonego wykorzystywania zasobów naturalnych.

Z analizy projektu CPR i dokumentów związanych wynika, że Komisja Europejska (KE) planuje wprowadzić rozwiązania prawne dla wszystkich problemów, z którymi borykają się od lat podmioty i osoby, których dotyczy ten przepis. Jednak rezultatem jest niezwykle trudny do odczytania i zrozumienia tekst prawny. Zauważyć można również, że zrewidowany CPR spowoduje zwiększenie uprawnień Komisji Europejskiej do wpływania i kierowania pracami normalizacyjnymi. Propozycja rozporządzenia zawiera liczne delegacje dla KE w zakresie wydawania aktów delegowanych i wykonawczych, z których część może wpływać na swobodę działalności gospodarczej oraz konkurencyjność. W związku z powyższym zasadne stało się przeprowadzenie analizy dotyczącej możliwości osiągnięcia zakładanych celów przy pomocy innych rozwiązań niż akty delegowane i wykonawcze.

Methods for achieving the goals of the CPR revision

1. Unblocking the technical harmonization system

In order to achieve regulatory consistency, the draft regulation under discussion is based on a horizontal legal framework, i.e. Regulation (EU) No. 1025/2012 of the European Parliament and of the Council, which allows for a fallback solution when European standardization organizations do not issue harmonized standards suitable for publication in the Official Journal. The EC argues its new powers with the need to optimize the overall number of technical specifications to make up for delays in adapting them to technical progress. Moreover, the revised CPR proposes to divide technical specifications into mandatory harmonized standards – which will continue to address the assessment of performance related to the fulfillment by construction objects of the basic requirements set forth in Annex I to the CPR – and voluntary harmonized standards that contain requirements for products that are relevant but not related to the assessment of their performance (e.g., requirements for meeting the intended purpose of use; for the correct operation of the product; in terms of construction, color and function; regarding information about the product).

2. Reducing national barriers in trade of the CPR products

Currently, member states set different and even divergent requirements for construction products. This situation affects the uneven level of protection of human health and safety and the environment, and thus creates barriers to trade in products that have already been assessed. One way to reduce national barriers is to establish at the level of the European Union a harmonized framework for assessing the performance of construction products and some of the requirements set for them. In addition, the proposed provision introduces a coordination mechanism in the form of EC cooperation with the Administrative Cooperation Group („ADCO”) established under Article 30(2) of Regulation (EU) 2019/1020. The result of this cooperation will be to ensure consistent application of established obligations and requirements through, among other things, uniform interpretations of the regulation, including on issues of safety and sustainability of construction products and objects. This will translate into opening markets and ensuring equal for manufacturers.

Another measure aimed at reducing barriers to trade in products covered by the CPR is the establishment of the so-called Harmonized Zone, which is comprehensive and covers all potential product requirements (other than those covered by the rest of EU law). Importantly, member states in their national law do not establish additional requirements for products covered by the zone.

3. Improving enforcement and market surveillance

The Commission is given new powers to impose a minimum number of inspections for specific groups or families of products or in connection with specific requirements. These inspections would be carried out by market surveillance authorities, so that their scale would make it possible to guarantee effective enforcement of the provision. Such action may require an increase in the competence of market surveillance authorities, but it will better

Metody osiągnięcia celów rewizji CPR

1. Odblokowanie systemu harmonizacji technicznej

W celu osiągnięcia spójności przepisów omawiany projekt rozporządzenia opiera się na horyzontalnych ramach prawnych, tj. na rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1025/2012, które pozwala na zastosowaniu rozwiązania awaryjnego w sytuacji, gdy europejskie organizacje normalizacyjne nie wydają norm zharmonizowanych, nadających się do opublikowania w Dzienniku Urzędowym. KE argumentuje swoje nowe uprawnienia potrzebą optymalizacji ogólnej liczby specyfikacji technicznych, tak aby nadrobić opóźnienia w dostosowywaniu ich do postępu technicznego. Ponadto w zmienionym rozporządzeniu CPR proponuje się podział specyfikacji technicznych na obowiązkowe normy zharmonizowane – które nadal będą dotyczyły oceny właściwości użytkowych związanych ze spełnieniem przez obiekty budowlane wymagań podstawowych określonych w załączniku I do rozporządzenia CPR – oraz dobrowolne normy zharmonizowane zawierające istotne, ale niezwiązane z oceną ich właściwości użytkowych wymagania dla wyrobów (np. wymagania w zakresie spełnienia zamierzonego celu zastosowania; poprawnego działania wyrobu; w zakresie konstrukcji, kolorystyki i funkcji; dot. informowania o wyrobie).

2. Zmniejszenie krajowych barier w handlu wyrobami objętymi CPR

Aktualnie państwa członkowskie ustanawiają różne, a wręcz rozbieżne wymogi dotyczące wyrobów budowlanych. Sytuacja ta wpływa na niejednolity poziom ochrony zdrowia i bezpieczeństwa ludzi oraz środowiska, a tym samym stwarza bariery w handlu wyrobami poddanymi już ocenie. Jedną z metod zmniejszenia krajowych barier jest ustanowienie na szczeblu Unii Europejskiej zharmonizowanych ram oceny właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz niektórych wymogów dla nich określonych. Ponadto projektowany przepis wprowadza mechanizm koordynacji w postaci współpracy KE z grupą ds. współpracy administracyjnej („ADCO”) ustanowionej na podstawie art. 30 ust. 2 rozporządzenia (UE) 2019/1020. Wynikiem tej współpracy będzie zapewnienie spójnego stosowania ustanowionych obowiązków i wymogów m.in. poprzez jednolite interpretacje rozporządzenia, w tym w kwestiach dotyczących bezpieczeństwa i równoważności wyrobów i obiektów budowlanych. Przełoży się to na otwarcie rynków i zapewnienie równych szans producentom.

Kolejnym działaniem mającym na celu zmniejszenie barier w handlu wyrobami objętymi CPR jest ustanowienie tzw. strefy zharmonizowanej, która ma charakter kompleksowy i obejmuje wszystkie potencjalne wymogi dotyczące wyrobów (inne niż objęte pozostałymi przepisami prawa Unii). Co ważne, państwa członkowskie w swoim prawie krajowym nie ustanawiają dodatkowych wymogów dotyczących wyrobów objętych tą strefą.

3. Poprawa egzekwowania przepisów i nadzoru rynku

Komisja uzyskuje nowe uprawnienia do wprowadzenia minimalnej liczby kontroli w odniesieniu do poszczególnych grup lub rodzin wyrobów lub w związku z określonymi wymogami. Kontrole te miałyby być przeprowadzane przez organy nadzoru rynku, tak aby ich skala pozwalała zagwarantować skuteczne

support member states in fulfilling their obligations with regard to ensuring the safety and sustainability of construction facilities. In addition, the proposed regulation will give market surveillance authorities the right to reimburse the costs of document inspection and testing of a product if it is found to be non-compliant. The return will be carried out by the manufacturer itself or the operator in possession of such a product. On the other hand, member states will report on their market surveillance activities for products covered by the proposed regulation, including sanctions imposed.

4. Providing greater clarity (more comprehensive definitions, reducing overlap, conflict of laws with other legislation) and simplifying the assessment process

The proposed regulation introduces more than 70 definitions to replace the existing 21, including definitions of product type, product family, used and remanufactured product, non-series production process, repair, maintenance, direct assembly, among others. The wording of selected definitions, such as construction product and product set, has also been changed. Such a move is dictated by the overlap between the Construction Products Regulation and EU directives (on eco-design and energy labeling, among others) and their use of different definitions of the same issue.

Furthermore, in order to simplify the product assessment process, i.e. to avoid duplicate assessments, the Commission is given the authority to specify the conditions under which, as a result of fulfilling obligations under other EU laws, certain obligations under the proposed regulation are also fulfilled.

5. Reducing the administrative burden, including through simplification of procedures and digitization

The proposed regulation emphasizes the use of the potential of digital transformation, i.e. documentation and all information related to the application can be processed in digital form (e.g., a digital product passport) and stored and made available in a permanent way in an information system. This will lead to greater transparency in supply chains and facilitate market surveillance. Going further, it is required that economic operators issuing declarations of performance and declarations of conformity provide them electronically, are authorized to transmit them via a direct link to a non-modifiable document, or include direct links to non-modifiable documents in these declarations.

On the other hand, for small and medium-sized enterprises, the administrative burden will be minimized by the possibility of using appropriate technical documentation to replace type testing. This will allow micro-enterprises to benefit from a more lenient verification system and reduce requirements for non-series custom-made products installed in a specific single construction object. In addition, micro-enterprises that do not trade across borders may be exempted by member states from the obligation to prepare a declaration of performance.

6. Ensuring safe construction products

To ensure the availability of safe construction products, the proposed regulation introduces inherent requirements for products in terms of safety, functionality and environmental protection, including climate, in addition to product performance. In the context of the CPR revision, safety applies to both professionals

egzekwowanie przepisu. Działanie takie może wymagać zwiększenia kompetencji organów nadzoru rynku, ale pozwoli na lepsze wsparcie państw członkowskich w wypełnianiu ich obowiązków w odniesieniu do zapewnienia bezpieczeństwa i zrównoważoności obiektów budowlanych. Dodatkowo projektowane rozporządzenie da organom nadzoru rynku prawo do zwrotu kosztów kontroli dokumentów i badania wyrobu, jeśli ten okaże się niezgodny z wymaganiami. Zwrotu dokonywał będzie sam producent lub podmiot gospodarczy będący w posiadaniu takiego wyrobu.

Z drugiej strony państwa członkowskie będą składać sprawozdania ze swojej działalności w zakresie nadzoru rynku w odniesieniu do wyrobów objętych projektowanym rozporządzeniem, w tym nałożonych sankcji.

4. Zapewnienie większej jasności (bardziej wyczerpujące definicje, ograniczenie nakładania się przepisów, kolizja przepisów z innymi aktami prawnymi) i uproszczenie procesu oceny

Projekt rozporządzenia wprowadza ponad 70 definicji w miejsce dotychczasowych 21, w tym m.in. definicje typu wyrobu, rodziny wyrobów, wyrobu używanego i poddanego regeneracji, nieseryjnego procesu produkcyjnego, naprawy, konserwacji, bezpośredniego montażu. Zmieniono także brzmienie wybranych definicji, np. wyrobu budowlanego i zestawu wyrobów. Takie działanie jest podyktowane nakładaniem się przepisów prawnych między rozporządzeniem w sprawie wyrobów budowlanych a dyrektywami UE (m.in. w sprawie ekoprojektu i w sprawie etykietowania energetycznego) i stosowaniem w nich różnych definicji tego samego zagadnienia.

Ponadto, aby uprościć proces oceny wyrobu, tj. uniknąć podwójnej oceny, Komisja uzyskuje uprawnienie do określenia warunków, na jakich w wyniku spełnienia obowiązków wynikających z innych przepisów prawa unijnego zostają również spełnione niektóre obowiązki wynikające z projektowanego rozporządzenia.

5. Zmniejszenie obciążeń administracyjnych, w tym poprzez uproszczenie procedur i cyfryzację

W projektowanym rozporządzeniu położony jest nacisk na wykorzystanie potencjału transformacji cyfrowej tj. dokumentacja i wszystkie informacje związane z wnioskiem mogą być przetwarzane w formie cyfrowej (np. cyfrowy paszport wyrobu) oraz przechowywane i udostępniane w sposób trwały w systemie informatycznym. Prowadzić to będzie do większej przejrzystości w łańcuchach dostaw i ułatwi nadzór rynku. Idąc dalej, wymagane jest, aby podmioty gospodarcze wystawiające deklaracje właściwości użytkowych i deklaracje zgodności dostarczały je drogą elektroniczną, były upoważnione do ich przekazywania za pośrednictwem odnośnika bezpośredniego do dokumentu niepodlegającego modyfikacji lub umieszczały w tych deklaracjach odnośniki bezpośrednie do dokumentów niepodlegających modyfikacji.

Natomiast, w przypadku małych i średnich przedsiębiorstw, obciążenia administracyjne będą minimalizowane poprzez możliwość stosowania odpowiedniej dokumentacji technicznej zastępującej badania typu. Umożliwi to mikroprzedsiębiorstwom korzystanie z łagodniejszego systemu weryfikacji oraz ograniczy wymogi dla nieseryjnych wyrobów wykonywanych na zamówienie, instalowanych w określonym pojedynczym obiekcie budowlanym. Ponadto mikroprzedsiębiorstwa, które nie prowadzą handlu

(employees) and laypersons (consumers, facility occupants) during transportation, installation, maintenance, use or disassembly of the product, as well as during the processing of the product at the end-of-life, reuse or recycling stage. The inherent safety requirements will be defined in the harmonized technical specifications, taking into account the following:

- a) determination of the state of scientific and technical knowledge on possible risk reduction for the relevant category of products, including risks associated with the nonconformity of various components, at least one of which is a product;
- b) providing a technical solution to avoid safety risks;
- c) if the avoidance of risks is not possible, they should be reduced, mitigated and included in the warnings on the product, its packaging and in the instructions for use.

Confirmation of a product's compliance with inherent safety requirements can be found in the declaration of performance and conformity.

At the same time, to ensure that all operators involved in the supply chain and distribution network have put in place appropriate measures to ensure that they only market or make available on the market safe construction products that comply with applicable EU requirements. The proposed regulation sets out the responsibilities of these operators – primarily manufacturers, but also authorized representatives of manufacturers, importers, distributors, as well as fulfilment service providers, brokers, online trading platforms, online merchants, online stores and online shopping malls. Moreover, responsibilities are also defined for operators involved in dismantling or processing used products for reuse or remanufacturing, as well as for suppliers and service providers involved in manufacturing the products.

7. Contributing to reducing the overall climate and environmental impact of construction products, including through the use of digital tools (digital passport)

To ensure the availability of environmentally and climate-safe construction products, the proposed regulation, in addition to the performance of products, introduces inherent requirements for products in terms of environmental protection, including climate protection. In the context of the CPR revision, environment refers to the extraction and production of materials, the manufacture of a product, its preservation, its ability to be preserved for as long as possible in a closed-loop economy, and its end-of-life stage.

The environmental requirements inherent in the product will be defined in the harmonized technical specifications, taking into account the following:

- a) to the extent possible, determining the state of scientific and technical knowledge on environmental aspects for the relevant product category, including the minimum content of recycled materials;
- b) providing technical solutions to avoid negative effects and risks to the environment, including the production of waste materials;
- c) if the avoidance of negative effects and risks is not possible, they should be reduced, mitigated and included in the warnings on the product, its packaging and in the instructions for use.

transgranicznego, mogą być zwolnione przez państwa członkowskie z obowiązku sporządzania deklaracji właściwości użytkowych.

6. Zapewnienie bezpiecznych wyrobów budowlanych

Aby zapewnić dostępność bezpiecznych wyrobów budowlanych projektowane rozporządzenie, obok właściwości użytkowych wyrobów, wprowadza nieodłączne wymogi dotyczące wyrobów w zakresie bezpieczeństwa, funkcjonalności i ochrony środowiska, w tym klimatu. W kontekście rewizji CPR bezpieczeństwo dotyczy zarówno specjalistów (pracowników), jak i laików (konsumentów, osób przebywających w obiekcie) podczas transportu, instalacji, konserwacji, użytkowania lub demontażu wyrobu, a także podczas przetwarzania wyrobu na etapie jego wycofania z użytku, ponownego użycia lub recyklingu. Wymogi nieodłącznie związane z bezpieczeństwem będą określone w zharmonizowanych specyfikacjach technicznych przy uwzględnieniu następujących elementów:

- a) określenie stanu wiedzy naukowej i technicznej na temat możliwego ograniczenia ryzyka w odniesieniu do odpowiedniej kategorii wyrobów, w tym ryzyka związanego z niezgodnością różnych elementów, z których co najmniej jeden jest wyrobem;
- b) zapewnienie rozwiązania technicznego pozwalającego uniknąć zagrożeń związanych z bezpieczeństwem;
- c) jeżeli uniknięcie ryzyka nie jest możliwe, należy je ograniczyć, złagodzić i uwzględnić w ostrzeżeniach umieszczonych na wyrobie, jego opakowaniu i w instrukcji użytkowania.

Potwierdzenie spełnienia przez wyrób wymogów nieodłącznie związanych z bezpieczeństwem znajduje się w deklaracji właściwości użytkowych i zgodności.

Jednocześnie, aby zapewnić, że wszystkie podmioty gospodarcze mające związek z łańcuchem dostaw i siecią dystrybucji wprowadziły właściwe środki w celu zagwarantowania, że wprowadzają do obrotu lub udostępniają na rynku wyłącznie bezpieczne wyroby budowlane zgodne z obowiązującymi wymogami unijnymi. W projektowanym rozporządzeniu określono obowiązki tych podmiotów gospodarczych – przede wszystkim producentów, ale również upoważnionych przedstawicieli producentów, importerów, dystrybutorów, a także dostawców usług realizacji zamówień, brokerów, internetowych platform handlowych, sprzedawców internetowych, sklepów i wyszukiwarek internetowych. Ponadto określono obowiązki również podmiotów gospodarczych zajmujących się demontażem lub przetwarzaniem wyrobów używanych w celu ich ponownego użycia lub regeneracji oraz dostawców i usługodawców zaangażowanych w wytwarzanie wyrobów.

7. Przyniesienie się do zmniejszenia ogólnego wpływu wyrobów budowlanych na klimat i środowisko, w tym dzięki stosowaniu narzędzi cyfrowych (cyfrowego paszportu)

Aby zapewnić dostępność wyrobów budowlanych bezpiecznych dla środowiska i klimatu projektowane rozporządzenie, obok właściwości użytkowych wyrobów, wprowadza nieodłączne wymogi dotyczące wyrobów w zakresie ochrony środowiska, w tym klimatu. W kontekście rewizji CPR środowisko odnosi się do wydobycia i wytwarzania materiałów, wytwarzania wyrobu, jego konserwacji, możliwości jak najdłuższego zachowania w gospodarce o obiegu zamkniętym oraz etapu jego wycofania z użytku.

The environmental goals will be met by establishing new environmental obligations for manufacturers regarding, among other things, the design and manufacture of products and their packaging, the preference for recyclable materials, the prevention of premature obsolescence of products, the use of reliable parts, the design of products so that they can be easily repaired, refurbished and upgraded, and the facilitation of their reuse, remanufacturing and recycling.

Goal 7 described above incorporates important elements of the European Green Deal – a roadmap for Europe to become a climate-neutral continent by 2050. The plan is designed to help transform the EU into a modern, resource-efficient and competitive economy that achieves zero (net) greenhouse gas emissions in 2050 and in which economic growth and resource consumption are decoupled in parallel, while ensuring that no individual or region is left behind.

Wymogi środowiskowe nieodłącznie związane z wyrobem będą określone w zharmonizowanych specyfikacjach technicznych przy uwzględnieniu następujących elementów:

- a) w miarę możliwości określenie stanu wiedzy naukowej i technicznej na temat aspektów środowiskowych w odniesieniu do odpowiedniej kategorii wyrobów, w tym minimalnej zawartości materiałów z recyklingu;
- b) zapewnienie rozwiązań technicznych, które pozwolą uniknąć negatywnych skutków i zagrożeń dla środowiska, w tym wytwarzania materiałów odpadowych;
- c) jeżeli uniknięcie negatywnych skutków i zagrożeń nie jest możliwe, należy je ograniczyć, złagodzić i uwzględnić w ostrzeżeniach umieszczonych na wyrobie, jego opakowaniu i w instrukcji użytkowania.

Realizacja celów środowiskowych będzie możliwa dzięki ustanowieniu nowych obowiązków producentów w zakresie ochrony środowiska naturalnego dotyczących m.in. projektowania oraz wytwarzania wyrobów i ich opakowań, preferowania materiałów nadających się do recyklingu, zapobiegania przedwczesnej utracie przydatności wyrobów, stosowania niezawodnych części, projektowania wyrobów w taki sposób, aby można je było łatwo naprawiać, odnawiać i modernizować oraz aby ułatwić ich ponowne użycie, regenerację i recykling.

Cel 7 opisany powyżej uwzględnia istotne elementy Europejskiego Zielonego Ładu – czyli planu działania dla Europy, aby ta mogła stać się kontynentem neutralnym dla klimatu do 2050 roku. Plan ten ma pomóc przekształcić UE w nowoczesną, zasobooszczędną i konkurencyjną gospodarkę, która w 2050 r. osiągnie zerowy poziom emisji gazów cieplarnianych (netto) i w której równoległe nastąpi oddzielenie wzrostu gospodarczego od zużycia zasobów przy jednoczesnym zapewnieniu, że żadna osoba ani żaden region nie pozostaną w tyle.



Figure 1. Sustainable environment

Rycina 1. Zrównoważone środowisko

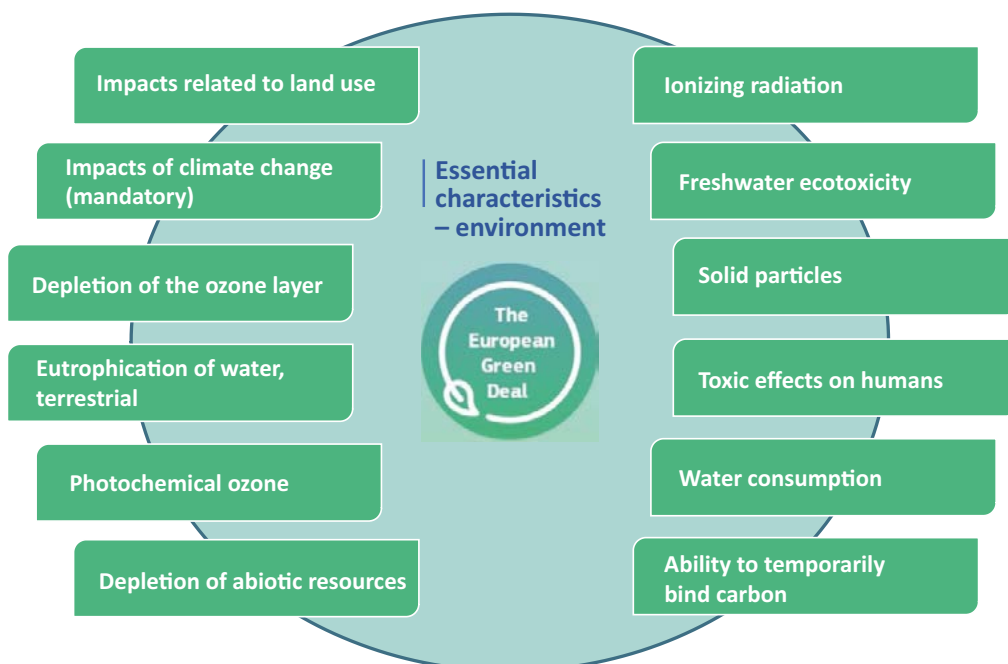
Source / Źródło: <https://www.cleanpng.com/> [dostęp/access: 25.04.2023].

This green transformation is a change that represents an opportunity for European industry by creating new markets for new green technologies and products. Therefore, the new legislative proposals will affect all value chains in sectors such as energy and transportation, as well as construction and renovation. And that's why the legislative proposal discussed in this article with the proposed amendments (the latest version dated 04/09/2023) takes into account, among other things, the principles of a circular economy. It involves the rational use of resources and reducing the negative environmental impact of manufactured products – which, like materials and raw materials, should remain in the economy as long as possible. In turn, the production of waste should be minimized as much as possible. The above was implemented not only in the CPR, but also in the working version of the Eco-design Requirements for Sustainable Products Regulation (ESPR), published the same day as the CPR legislative proposal. At the same time, in the proposed regulation under review, the Commission suggested establishing a framework for, first, assessing and communicating the environmental performance of construction products and, second, promoting the circularity of construction products. These goals are to be achieved through:

- establishing rules for how to express product performance in relation to the essential characteristics associated with the life cycle (see Figure 2);
- identification of the environmental requirements inherent in the product, i.e., relating to activities from extraction and production of materials, through manufacturing, maintenance, the ability to function as long as possible in a closed-loop economy, and the end-of-life of the product (see Figure 3).

Ta zielona transformacja jest zmianą, która stanowi szansę dla europejskiego przemysłu poprzez tworzenie nowych rynków dla nowych ekologicznych technologii i produktów. Dlatego nowe wnioski ustawodawcze będą miały wpływ na wszystkie łańcuchy wartości w sektorach, takich jak energetyka i transport oraz budownictwo i renowacja. I to dlatego omawiany w niniejszym artykule wniosek legislacyjny wraz z propozycjami zmian (ostatnia wersja z dnia 04.09.2023) uwzględni m.in. zasady gospodarki o obiegu zamkniętym. Polega ona na racjonalnym wykorzystaniu zasobów i ograniczeniu negatywnego oddziaływania na środowisko wytwarzanych produktów – które podobnie jak materiały oraz surowce – powinny pozostawać w gospodarce tak długo, jak jest to możliwe. Z kolei wytwarzanie odpadów powinno być jak najbardziej zminimalizowane. Powyższe zostało wdrożone nie tylko w ramach CPR, ale również w opublikowanej tego samego dnia co wniosek legislacyjny dot. CPR wersji roboczej rozporządzenia w sprawie wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów zrównoważonych (ESPR). Jednocześnie, w analizowanym projekcie rozporządzenia Komisja zaproponowała ustanowienie ram umożliwiających – po pierwsze – ocenę i przekazywanie informacji o ekologiczności wyrobów budowlanych oraz – po wtóre – promowanie obiegu wyrobów budowlanych. Cele te mają zostać osiągnięte poprzez:

- ustalenie zasad sposobu wyrażania właściwości użytkowych wyrobu w odniesieniu do zasadniczych charakterystyk związanych z cyklem życia (zob. ryc. 2);
- określenie wymogów środowiskowych nieodłącznie związanych z wyrobem tj. odnoszących się do działań od wydobycia i wytwarzania materiałów, przez wytwarzanie, konserwację, możliwość jak najdłuższego funkcjonowania w gospodarce o obiegu zamkniętym, aż po wycofanie wyrobu z użytku (zob. ryc. 3).



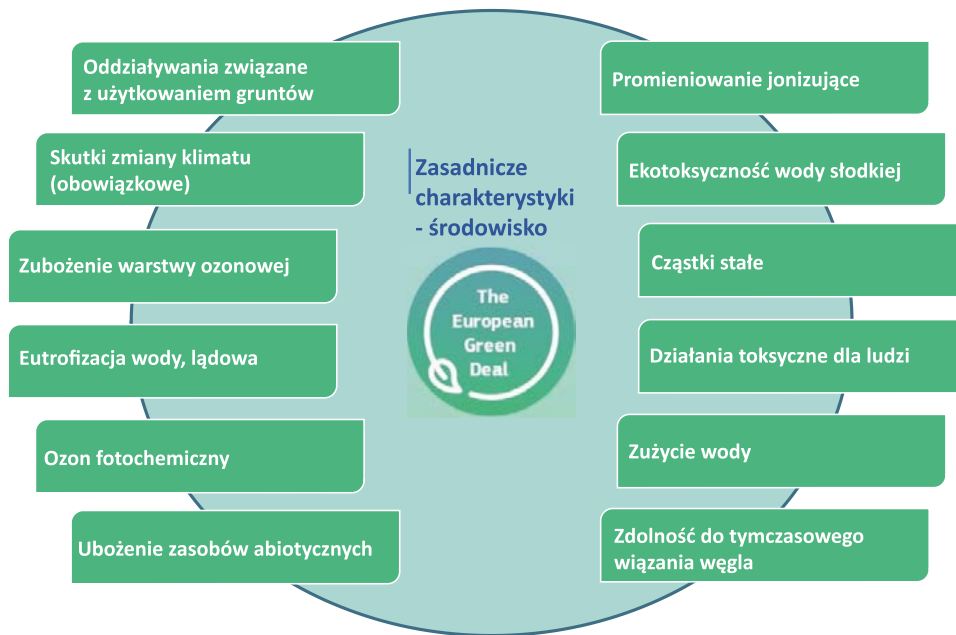
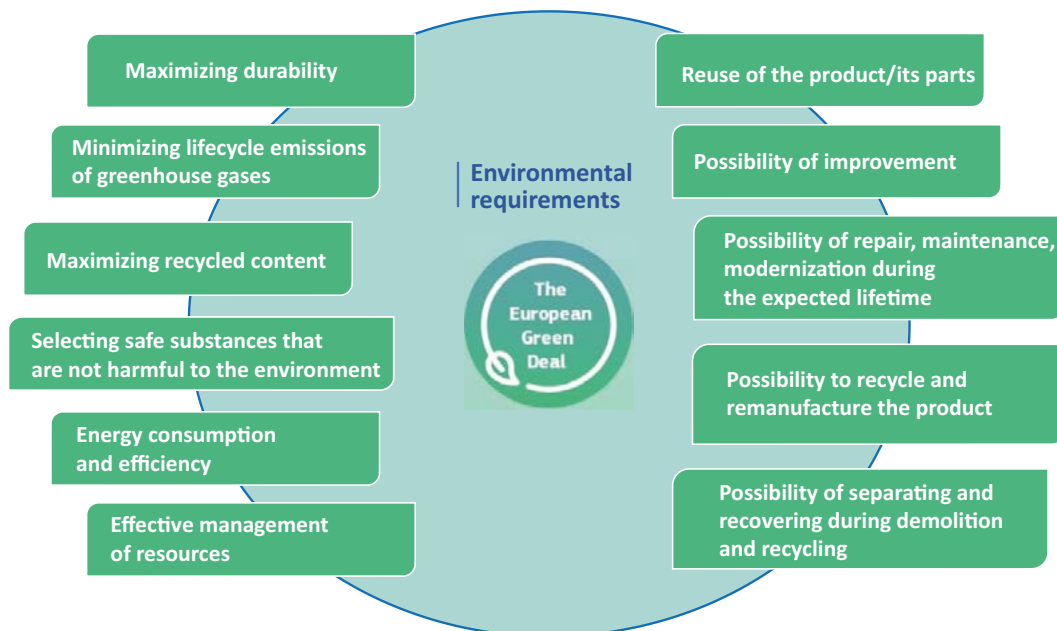


Figure 2. Essential characteristics related to assessing the life cycle
Rycina 2. Zasadnicze charakterystyki związane z oceną cyklu życia

Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.



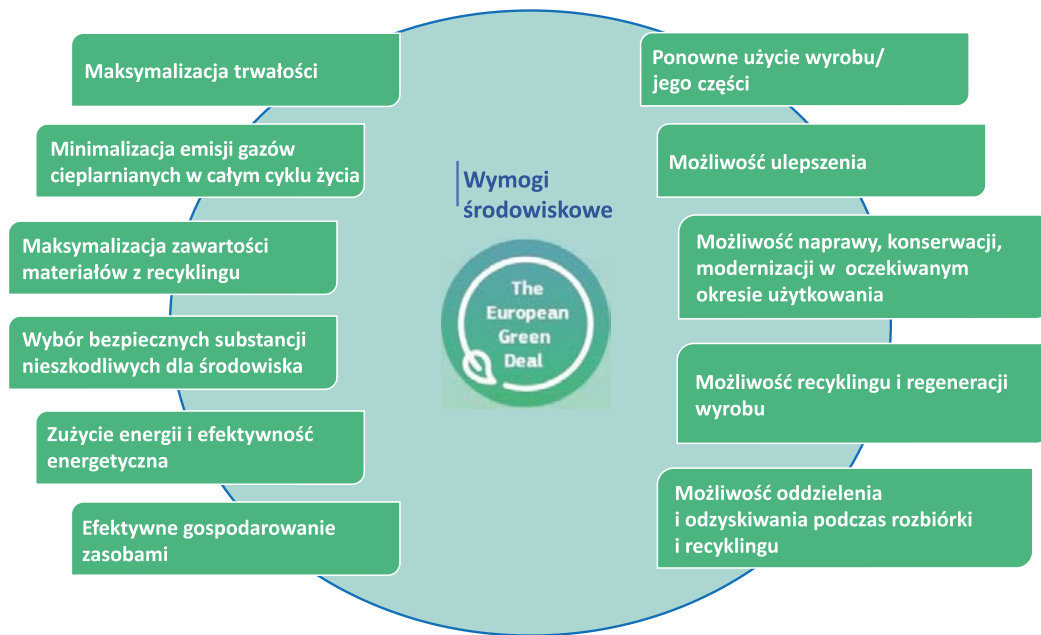


Figure 3. Environmental requirements inherent in the product
Rycina 3. Wymogi środowiskowe nieodłącznie związane z wyrobem

Source: Own elaboration.

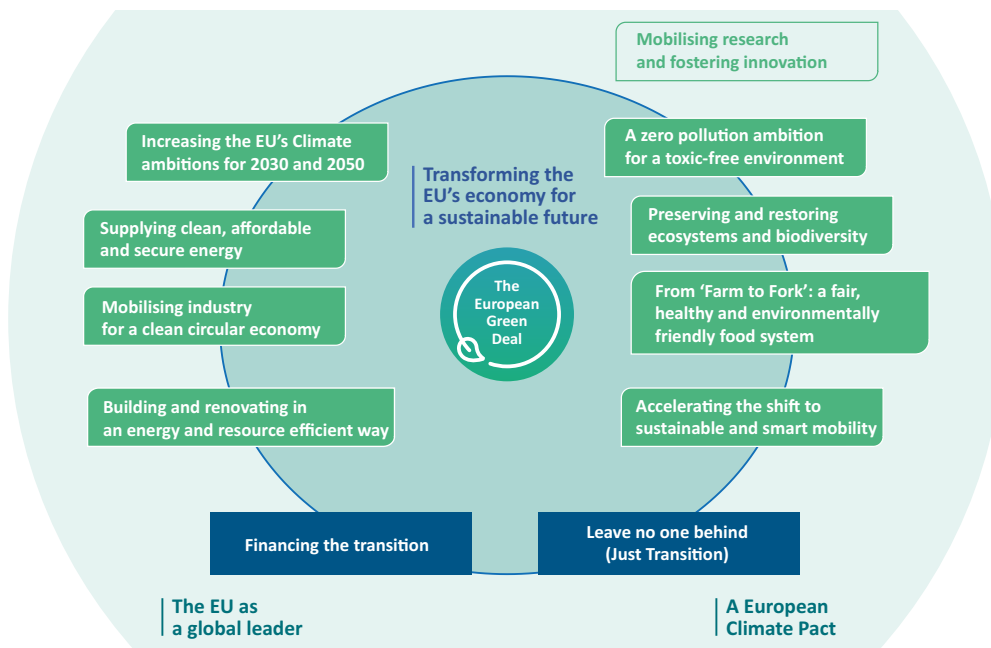
Źródło: Opracowanie własne.

Including life cycle environmental assessment indicators is a huge step forward toward achieving the EC's goals related to the European Green Deal and the circular economy.

Furthermore, CEN and CENELEC have requested that EC recognize EN 15804 [6] as the reference method for calculating the environmental performance of construction products and EN 15978 [7] as the reference method for calculating the performance of construction objects in the same area. In order to achieve the goals of the EU Green Deal, it is important that environmental performance at the product level can be aggregated to the environmental performance of the entire building.

Włączenie wskaźników oceny środowiskowej cyklu życia jest ogromnym krokiem naprzód w kierunku osiągnięcia celów KE związanych z Europejskim Zielonym Ładem i gospodarką cyrkularną.

Ponadto CEN i CENELEC zawnioskowały do KE o uznanie normy EN 15804 [6] za metodę referencyjną obliczania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych w zakresie ochrony środowiska oraz normy EN 15978 [7] jako metodę referencyjną obliczania właściwości użytkowych obiektów budowlanych w tym samym zakresie. W celu osiągnięcia celów Zielonego Ładu UE istotne jest, aby efektywność środowiskowa na poziomie produktu mogła być zagregowana do efektywności środowiskowej całego budynku.



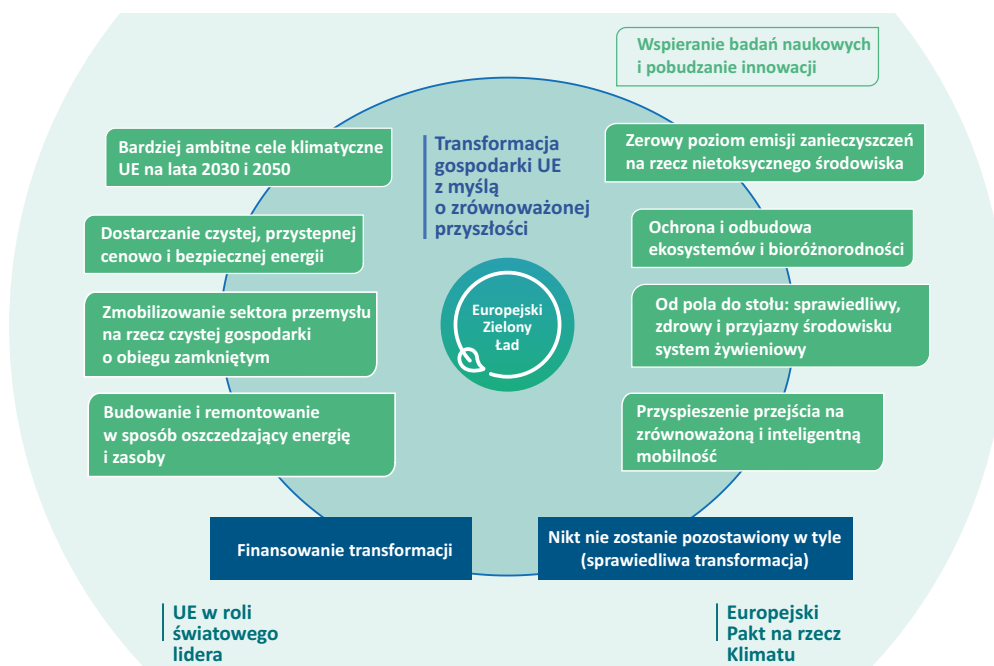


Figure 4. European Green Deal
Rycina 4. Europejski Zielony Ład

Source / Źródło: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640&from=DE> [access/dostęp: 28.04.2023].

Conclusion

In analysing the proposed new CPR regulation on the assessment of construction products, it is important to note its strengths and opportunities resulting from the revision. Strengths include the prospect of replacing old mandates with new standardization proposals in accordance with EU Regulation 1025/2012, and thus the chance to get out of the current standardization standstill. This standstill manifests itself in the lack of harmonization of standards and citations in the EU Official Journal. It can also be noted that the revision will enable the development of voluntary harmonized standards covering specific product requirements (e.g., environmental, safety and functional), which may directly lead to an increase in the number of harmonized standards developed by CEN and CENELEC in the area of construction products. In addition, updating the regulation will make it possible to improve the environmental sustainability of construction products.

However, it is important to remember that every new venture brings with it, in addition to strengths and opportunities, some weaknesses, threats or new challenges. One such weakness in the proposal under review is the powers assigned to the European Commission to establish by delegated act a technical provision in the event of delays in standardization. This will not solve some basic legal issues related to the citation of mandatory harmonized standards (e.g., no translation of hEN into all official EU languages, no citations or normative references, etc.). The proposed exemption of the few construction products that are currently covered by hEN standards supporting the CPR may also

Podsumowanie

Analizując projekt nowego rozporządzenia CPR dotyczącego oceny wyrobów budowlanych, należy zwrócić uwagę na jego mocne strony oraz możliwości wynikające z rewizji. Do mocnych stron zalicza się perspektywa zastąpienia starych mandatów nowymi wnioskami standaryzacyjnymi zgodnie z rozporządzeniem UE 1025/2012, a co za tym idzie szansa na wyjście z obecnego impasu normalizacyjnego. Impas ten przejawia się brakiem harmonizacji norm i cytowań w Dzienniku Urzędowym UE. Zauważyć można również, iż rewizja umożliwi opracowywanie dobrowolnych norm zharmonizowanych obejmujących specyficzne wymagania dotyczące wyrobów (np. środowiskowe, bezpieczeństwa i funkcjonalne), co może bezpośrednio prowadzić do zwiększenia liczby norm zharmonizowanych opracowanych przez CEN i CENELEC w obszarze wyrobów budowlanych. Aktualizacja przepisu umożliwi ponadto poprawę zrównoważenia środowiskowego wyrobów budowlanych.

Należy jednak pamiętać, że każde nowe przedsięwzięcie niesie ze sobą, oprócz mocnych stron i możliwości, również pewne słabe strony, zagrożenia lub nowe wyzwania. Jedną z takich słabych stron analizowanego projektu są przypisane Komisji Europejskiej uprawnienia do ustanowienia w drodze aktu delegowanego przepisu technicznego w przypadku opóźnień w normalizacji. Nie rozwiąże to pewnych podstawowych kwestii prawnych związanych z cytowaniem obowiązkowych norm zharmonizowanych (np. brak tłumaczenia hEN na wszystkie języki urzędowe UE, brak cytowań lub odniesień normatywnych itp.). Wyzwaniem może również okazać się proponowane wyłączenie

prove challenging. This could lead to the lack of harmonization in the single market for these products.

Furthermore, it should be pointed out that the threshold levels or classification of performance, as well as the assessment of constancy of performance, will be determined by the EC through delegated acts. The development of such delegated acts is a very long process and can take several years and delay the standardization process. According to CEN / CENELEC, harmonized standards are considered an essential tool for reducing trade barriers and providing a common technical language for construction products. CE marking of construction products has helped create guidelines for professionals, in their various areas of expertise, from designers to developers. It has made it possible to standardize some technical concepts and terminology, less regulated before the implementation of the CPR.

It should be borne in mind that the above considerations have only a theoretical dimension resulting from the analysis of the proposed amendments to the CPR. Only the implementation of measures resulting from the entry into force of the new regulation will show in practice whether the changes introduced have had the intended effect. Regardless, it will certainly be a challenge for both notified bodies and manufacturers of construction products, including those used in fire protection, to implement the requirements of the regulation that is still being developed.

List of abbreviations and definitions

CPR – Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC.

CPD – Council Directive 89/106/EEC of 21 December 1988 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to construction products.

TFEU – The Treaty on the Functioning of the European Union.

DoP – Declaration of Performance.

EOTA – European Organisation for Technical Assessment.

CEN – Comité Européen de Normalisation.

CENELEC – Comité Européen de Normalisation Electrotechnique.

ETA – European Technical Assessment.

TAB – Technical Assessment Body.

ESPR – Ecodesign for Sustainable Products Regulation.

nielicznych wyrobów budowlanych, które są obecnie objęte normami hEN wspierającymi CPR. Może to doprowadzić do braku harmonizacji na jednolitym rynku w odniesieniu do tych wyrobów.

Ponadto należy zwrócić uwagę na fakt, iż poziomy progowe lub klasyfikacja właściwości użytkowych, jak też ocena stałości właściwości użytkowych zostaną określone przez KE w drodze aktów delegowanych. Opracowanie takich aktów delegowanych jest bardzo długim procesem i może zająć kilka lat oraz opóźnić proces normalizacji. Według CEN / CENELEC normy zharmonizowane uznawane są za podstawowe narzędzie służące redukcji barier handlowych oraz zapewnieniu wspólnego języka technicznego dla wyrobów budowlanych. Oznakowanie CE wyrobów budowlanych pomogło stworzyć wytyczne dla specjalistów, w ich różnych dziedzinach wiedzy, od projektantów po deweloperów. Pozwoliło na ujednoczenie niektórych pojęć technicznych i terminologii, mniej uregulowanych przed wdrożeniem CPR.

Na uwadze należy mieć fakt, iż powyższe rozważania mają jedynie wymiar teoretyczny wynikający z analizy projektu zmian do CPR. Dopiero realizacja działań wynikających z wejścia w życie nowego rozporządzenia pokaże w praktyce, czy wprowadzone zmiany przyniosły zamierzone efekty. Niezależnie od tego na pewno wdrożenie wymagań tworzonego wciąż rozporządzenia będzie wyzwaniem zarówno dla jednostek notyfikowanych, jak i dla producentów wyrobów budowlanych, w tym stosowanych w ochronie przeciwpożarowej.

Wykaz skrótów i definicje

CPR – Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG (ang. *Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC*).

CPD – Dyrektywa Rady 89/106/EWG z dnia 21 grudnia 1988 r. w sprawie zbliżenia przepisów ustawowych, wykonawczych i administracyjnych państw członkowskich odnoszących się do wyrobów budowlanych.

TFEU – Traktat o funkcjonowaniu Unii Europejskiej.

DoP – Deklaracja właściwości użytkowych.

EOTA – Europejska Organizacja Ocen Technicznych.

CEN – Europejski Komitet Normalizacyjny.

CENELEC – Europejski Komitet Normalizacji Elektrotechnicznej.

ETA – Europejska ocena techniczna.

TAB – Jednostka Oceny Technicznej.

ESPR – Rozporządzenie w sprawie ekoprojektu dla produktów zrównoważonych

Literature / Literatura

- [1] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG.
- [2] Report from the commission to The European Parliament And The Council on the implementation of Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC.
- [3] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1025/2012 z dnia 25 października 2012 r. w sprawie normalizacji europejskiej, zmieniające dyrektywy Rady 89/686/ EWG i 93/15/EWG oraz dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 94/9/WE, 94/25/WE, 95/16/WE, 97/23/WE, 98/34/ WE, 2004/22/WE, 2007/23/WE, 2009/23/WE i 2009/105/WE oraz uchylające decyzję Rady 87/95/EWG i decyzję Parlamentu Europejskiego i Rady nr 1673/2006/WE.
- [4] Projekt Rozporządzenia PEiR ustanawiającego zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych, zmieniającego rozporządzenie (UE) 2019/1020 i uchylającego rozporządzenie (UE) nr 305/2011 opracowany i opublikowany przez Komisję Europejską dnia 30.03.2022.
- [5] Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council laying down harmonised conditions for the marketing of construction products, amending Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Regulation (EU) 305/2011, opracowany przez Council of the European Union, numer dokumentu 12572/23 z dnia 04.09.2023.
- [6] EN 15804 Zrównoważenie obiektów budowlanych – Deklaracje środowiskowe wyrobu – Podstawowe zasady kategoryzacji wyrobów budowlanych.
- [7] EN 15978 Zrównoważone obiekty budowlane – Ocena środowiskowych właściwości użytkowych budynków – Metoda obliczania.

MARTA IWAŃSKA, M.A. – a graduate of Collegium Civitas in Warsaw, majoring in NGO management. For more than ten years, a specialist of the Certification Department at CNBOP-PIB in the area of quality management systems. At the same time, she actively supports the functioning of the European Organization for Technical Assessments (EOTA). She has co-authored a number of publications related to fire protection in reputable trade and scientific journals.

EWA SOBÓR, M.SC. ENG. – a graduate of the Civil Safety Engineering Department at the Main School of Fire Service in Warsaw. A long-time employee of CNBOP-PIB Certification Department, currently deputy head of this department. Co-author of publications (books, monographs, trade articles, standards) in the areas of conformity assessment, public safety, fire protection and emergency management. Secretary of the Technical Committee No. 244 (KT 244) for Rescue and Fire-Fighting Equipment, Media and Devices.

MICHAŁ CHMIEL, PH.D. ENG. – a graduate of the Fire Safety Engineering Department of the Main School of Fire Service. A long-time employee of CNBOP-PIB Certification Department, currently head of this department. He is the co-author of CNBOP-PIB standards, as well as the author and co-author of dozens of articles and publications in the area of equipment and devices used by firefighters-rescuers, published in trade and scientific journals. He delivers numerous speeches at conferences, training courses and participates in research projects in the areas of safety engineering and fire protection.

MGR MARTA IWAŃSKA – absolwentka Collegium Civitas w Warszawie na kierunku zarządzania organizacjami pozarządowymi. Od ponad dziesięciu lat specjalista Jednostki Certyfikującej w CNBOP-PIB ds. systemów zarządzania jakością. Jednocześnie czynnie wspiera funkcjonowanie Europejskiej Organizacji Ocen Technicznych (EOTA). Jest współautorką szeregu publikacji związanych z ochroną przeciwpożarową w renomowanych czasopiśmie branżowych i naukowych.

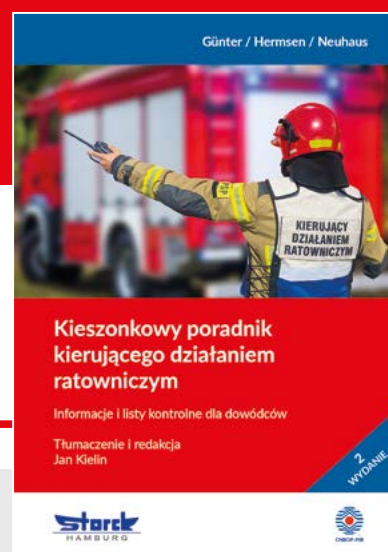
MGR INŻ. EWA SOBÓR – absolwentka Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Cywilnego w Szkole Głównej Służby Pożarnej w Warszawie. Wieloletni pracownik Jednostki Certyfikującej CNBOP-PIB, aktualnie zastępca kierownika tego działu. Współautorka publikacji (książek, monografii, artykułów branżowych, standardów) z zakresu oceny zgodności, bezpieczeństwa powszechnego, ochrony przeciwpożarowej i zarządzania kryzysowego. Sekretarz PKN KT 244 ds. Sprzętu, Środków i Urządzeń Ratowniczo-Gaśniczych.

DR INŻ. MICHAŁ CHMIEL – absolwent Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarnej. Wieloletni pracownik Jednostki Certyfikującej CNBOP-PIB, aktualnie kierownik tego działu. Jest współautorem standardów CNBOP-PIB oraz autorem i współautorem kilkudziesięciu artykułów i publikacji z zakresu sprzętu i wyposażenia wykorzystywanego przez strażaków-ratowników, wydawanych na łamach czasopism branżowych i naukowych. Prowadzi liczne wystąpienia na konferencjach, szkoleniach oraz bierze udział w projektach badawczych w zakresie inżynierii bezpieczeństwa i ochrony przeciwpożarowej.

BESTSELLER WŚRÓD RATOWNIKÓW

Kieszonkowy poradnik kierującego działaniem ratowniczym

**WKRÓTCE ZNÓW DOSTĘPNY
DLA POLSKICH CZYTELNIKÓW!**



**Wodoodporna, kompaktowa publikacja,
w której strażacy znajdują:**

- ✓ rozmaite scenariusze zdarzeń
- ✓ wskazówki dot. postępowania w obliczu różnych zagrożeń
- ✓ przejrzyste informacje i schematy działań

W tym wydaniu nowość:

- ✓ niepublikowane dotąd i zaktualizowane karty ratownicze dot. postępowania podczas działań CBRNE
- ✓ odesłania do materiałów informacyjnych KG PSP w postaci elektronicznej

Specjalna konstrukcja Poradnika sprawia, że stanowi on szybką pomoc dla ratowników w początkowej fazie działań ratowniczych... A to właśnie decyzje dowódców podejmowane na tym etapie mają kluczowe znaczenie dla efektywności całych akcji.



**CENTRUM NAUKOWO-BADAWCZE
OCHRONY PRZECIWPOŻAROWEJ**
im. Józefa Tuliszkowskiego
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Więcej na temat publikacji w zakładce WYDAWNICTWA na stronie internetowej www.cnbop.pl

Wiesław Jaszczur^{a)*}, Zofia Marciniak^{a)}

^{a)} Calisia University / Uniwersytet Kaliski im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego

* Corresponding author / Autor korespondencyjny: w.jaszczur@uniwersytetkaliski.edu.pl

Student Scientific Club in Research for Road Safety

Studenckie koło naukowe w badaniach na rzecz bezpieczeństwa ruchu drogowego

ABSTRACT

Aim: Presentation of the potential of the student scientific club for road safety in Poland. Discuss the extent to which the student scientific club in its research activities supports and implements the concepts of identifying road safety risks and submits proposals for improving its condition and related processes.

Project and methods: In the research on the visibility of vulnerable traffic participants, a theoretical method – NUR threat analysis – was used to define the research problem. A research problem was formulated in the form of a question: to what extent and under what conditions does NUR visibility affect their safety? Visibility tests were conducted in real conditions after dusk. The following recording devices were used to study the movement parameters of modern means of transportation (bicycles and electric scooters): a Gopro camera, a Sony IV RX10 camera (which realizes 4D recording), a drone with a vision camera, and a Brake Tester retarder.

Results: The study of the visibility of vulnerable traffic participants from the perspective of the driver presents parameters for the visibility of pedestrians and cyclists in conditions after dusk. Participants (students) in the visibility study were made aware of the issue of visibility, and therefore the safety of the traffic participant in the situation of illuminated vehicle (bicycle) and without lighting, as well as a pedestrian on the road without a reflective element. They formulated the conclusion that seeing does not mean being seen. The result of the single-track motion tests was that the Brake Tester Model LWS -2/MC retarder, after the performance test, does not provide a measurement of the single-track motion parameters. This is an important practical finding from the research, as vehicle inspection stations are equipped with this device. The acceleration and deceleration values of the bicycle and electric scooter were determined.

Conclusions: The research activities of the students of the scientific club in question not only make them aware of the risk factors of becoming a victim of an accident as a vulnerable traffic participant, but also allow them to deepen their knowledge, broaden their cognitive perspectives and supplement their skills through practical activities, for example, in the area of NUR visibility determinants or the characteristics of powered vehicles. The transfer of the results of the conducted research is carried out through the participation of students in seminars and scientific conferences, as well as in journalistic activities.

Keywords: scientific club, vulnerable road user, education

Type of article: preliminary report (research announcement)

Received: 24.10.2023; Reviewed: 20.11.2023; Accepted: 23.11.2023;

Authors' ORCID IDs: W. Jaszczur – 0000-0002-3756-8041; Z. Marciniak – 0000-0002-0549-1668;

Percentage contribution: W. Jaszczur – 60%; Z. Marciniak – 40%;

Please cite as: SFT Vol. 62 Issue 2, 2023, pp. 136–148, <https://doi.org/10.12845/sft.62.2.2023.8>;

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

ABSTRAKT

Cel: Przedstawienie możliwości wykorzystania potencjału studenckiego koła naukowego na rzecz bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce. Omówienie zakresu, w jakim studenckie koło naukowe w swojej działalności badawczej wspiera i wdraża koncepcje identyfikacji zagrożeń bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz przedkłada propozycje poprawy jego stanu oraz związanych z nim procesów.

Projekt i metody: W badaniach widoczności niechronionych uczestników ruchu (NUR) do zdefiniowania problemu badawczego zastosowano metodę teoretyczną – analizę zagrożenia NUR. Sformułowano problem badawczy w postaci pytania: w jakim stopniu i w jakich uwarunkowaniach widoczność NUR wpływa na ich bezpieczeństwo? Badania widoczności przeprowadzono w rzeczywistych warunkach po zmierzchu. W badaniach parametrów ruchu nowoczesnych środków transportu (rowerów i hulajnóg elektrycznych) użyto następujące urządzenia rejestrujące: kamerę Gopro, aparat fotograficzny Sony IV RX10 (realizujący zapis nagrania 4D), dron z kamerą wizyjną oraz opóźnieniomierz Brake Tester.

Wyniki: W badaniach widoczności niechronionych uczestników ruchu z perspektywy kierującego samochodem przedstawiono parametry widoczności pieszeego i rowerzysty w warunkach po zmierzchu. Uczestnikom (studentom) badania widoczności uzmysłowiono kwestię widoczności, a więc bezpieczeństwa

uczestnika ruchu w sytuacji oświetlenia pojazdu (roweru) i bez oświetlenia oraz pieszego na drodze bez elementu odblaskowego. Sformułowano konkluzję, że widzieć nie znaczy być widzianym. Efektem badań ruchu jednoślądów było stwierdzenie, że opóźnieniomierz Brake Tester Model LWS-2/MC, po teście sprawności, nie zapewnia pomiaru parametrów ruchu jednoślądu. Jest to ważna praktyczna konstatacja wynikająca z przeprowadzonych badań, bo w urządzenie to są wyposażone stacje kontroli pojazdów. Wyznaczono wartości przyspieszeń i opóźnień hamowania roweru i hulajnogi elektrycznej.

Wnioski: Działania badawcze studentów omawianego koła naukowego nie tylko uświadamiają czynniki ryzyka stania się ofiarą wypadku jako niechroniony uczestnik ruchu drogowego, ale ponadto pozwalają na pogłębienie wiedzy, poszerzenie perspektyw poznawczych i uzupełnienie umiejętności poprzez działania praktyczne np. w obszarze uwarunkowań widoczności NUR czy właściwości pojazdów zasilanych energią elektryczną. Transfer wyników prowadzonych badań realizowany jest poprzez udział studentów w seminariach i konferencjach naukowych oraz w działalności publicystycznej.

Słowa kluczowe: koło naukowe, uczestnik ruchu, edukacja

Typ artykułu: doniesienie wstępne (komunikat z badań)

Przyjęty: 24.10.2023; **Zrecenzowany:** 20.11.2023; **Zaakceptowany:** 23.11.2023;

Identyfikatory ORCID autorów: W. Jaszczur – 0000-0002-3756-8041; Z. Marciniak – 0000-0002-0549-1668;

Procentowy wkład merytoryczny: W. Jaszczur – 60%; Z. Marciniak – 40%;

Proszę cytować: SFT Vol. 62 Issue 2, 2023, pp. 136–148, <https://doi.org/10.12845/sft.62.2.2023.8>;

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

Introduction

The modern world, due to its dynamic nature, is most often perceived as volatile and unpredictable. Intense transformations are intensifying the development of the realm of modern technology in specific fields and human activities. At the same time, man is not able to meet satisfactorily the various threats and challenges posed by the development of civilization. In this context, in particular, the protection of human life and health has become the supreme need, the priority of existence and survival [1, pp. 115–118]. One of the areas of human activity that generates emergency situations is the rapid and inexorable development of motorization and the associated social expectations for the operation of road infrastructure and its safe accessibility. The social drive for ever-increasing and more efficient mobility is, unfortunately, influencing the increasing volume of traffic on our roads leading to the phenomenon of congestion (traffic jams). It is worth noting that in statistical analyses in Poland – under these conditions – especially vulnerable traffic participants like pedestrians, cyclists, and more recently users of modern means of transport (electric scooters) quite often constitute a group of victims (casualties) in traffic accidents [2, pp. 96–97]. Of particular concern is that this group includes school children and adolescents.

At the same time, among the many activities, man, acting consciously in the name of satisfying his needs, maintaining standards of quality of life and protecting basic values, attaches great importance to the gaining of knowledge, acquisition of skills and competencies. Awareness of risks and threats to life and health often becomes the impetus for ventures in the area of education in various forms and at various levels. Education and training in the area of traffic safety are provided to different age groups and at different levels of education. The core curriculum of elementary and secondary schools includes a subject on security education [3]. Considering the global assessment of its

Wstęp

Współczesny świat z uwagi na swój dynamiczny charakter postrzegany jest najczęściej jako zmienny i nieprzewidywalny. Intensywne przeobrażenia potęgują rozwój sfery nowoczesnych technologii w poszczególnych dziedzinach i aktywnościach człowieka. Jednocześnie człowiek nie jest w stanie sprostać w zadowalającym stopniu różnym zagrożeniom i wyzwaniom wynikającym z rozwoju cywilizacji. W tym kontekście szczególnie ochrona życia i zdrowia człowieka stała się jego naczelną potrzebą, priorytetem egzystencji, istnienia i przetrwania [1, s. 115–118]. Jednym z obszarów aktywności człowieka, który generuje sytuacje zagrożenia, jest szybki i nieuchronny rozwój motoryzacji oraz związane z tym oczekiwania społeczne w zakresie funkcjonowania infrastruktury drogowej i jej bezpiecznej dostępności. Społeczne dążenie do coraz większej i sprawniejszej mobilności wpływa, niestety, na rosnące na naszych drogach natężenie ruchu prowadzące do powstawania zjawiska kongestii (zatorów drogowych). Warto zauważyć, że w analizach statystycznych w Polsce – w tych uwarunkowaniach – szczególnie niechronieni uczestnicy ruchu jak piesi, rowerzyści, a ostatnio także użytkownicy nowoczesnych środków transportu (hulajnóg elektrycznych) dość często stanowią grupę poszkodowanych (ofiar) w wypadkach drogowych [2, s. 96–97]. Szczególnie niepokojące jest to, że w tej grupie znajdują się dzieci i młodzież szkolna.

Równocześnie spośród wielu aktywności, człowiek, działając świadomie w imię zaspokojenia swoich potrzeb, utrzymywania standardów jakości życia i ochrony podstawowych wartości, przykłada dużą wagę do zdobywania wiedzy, nabywania umiejętności i kompetencji. Świadomość ryzyka i zagrożeń dla życia i zdrowia często staje się impulsem do podejmowania przedsięwzięć w obszarze edukacji w różnych formach i na różnych poziomach. Edukacja i szkolenia w obszarze bezpieczeństwa ruchu drogowego realizowane są w różnych grupach wiekowych i na różnych poziomach kształcenia. W podstawie programowej

impact and effectiveness, its implementation is, in the authors' opinion, highly unsatisfactory, especially in terms of road safety. Rather, the core curriculum and school programs are linked by the logical relationship of reactive, rather than proactive, education relating to new threats linked by the relationship of consequence. In contrast, during studies in Poland, the platform for personal security education is provided by studies in the area of internal security and academic scientific clubs¹. Students in scientific clubs carry out both research and teaching objectives in addition to the core curriculum. The activities undertaken in scientific clubs create new opportunities for students, especially in the development of soft skills.

The subject of this publication is to present the research activities of the student scientific club for safety, which we consider in the discipline of safety science, in the area of social sciences. The Road Traffic Safety (BRD) Scientific Club operating at the University of Kalisz aims to facilitate the development of the scientific interests of students of the Faculty of Social Sciences and to facilitate the acquisition and popularization of their knowledge in the area of road traffic safety. The indicated subject of cognition of the research area of the students of the BRD Scientific Club should be considered primarily in terms of cognition and understanding of the challenges and threats arising from the development of civilization, and thus from the dynamic development of motorization.

An important practical goal is for students to gain knowledge, acquire skills and competencies in the area of traffic safety. Another tenth year of the BRD Scientific Club in the UK Faculty of Social Sciences has seen students taking on scientific challenges under various conditions and constraints (such as pandemics), including organizing and participating in scientific conferences and seminars. The BRD Scientific Club also aims to participate in scientific ventures – empirical research [4, pp. 50–57]. It is the perspective of empirical research carried out by the students of the scientific club and their presentation that is the subject of this publication. For the student community in the security area, both the survival factor and the conscious pursuit of development are not insignificant [5, p. 9]. These important and topical issues are an object of cognition for students, especially in the context of personal security risks, not leaving aside the formation of awareness of the broader (international) context of the reality of the occurrence of risks and threats [6, p. 29]. How students majoring in homeland security perceive BRD and how they realize their cognitive intentions defined – also in the realm of their beliefs and expectations – in this interdisciplinary area of BRD is presented in this publication.

¹ Academic scientific clubs aim to facilitate and promote the development of students' scientific interests, the acquisition and popularization of knowledge, as well as the acquisition of skills and competences and participation in scientific endeavors (research, seminars, scientific conferences).

szkół podstawowych i średnich znajduje się przedmiot dotyczący edukacji dla bezpieczeństwa [3]. Uwzględniając globalną ocenę wpływu i skuteczności, jego realizacja jest w ocenie autorów wysoce niesatysfakcjonująca, szczególnie w aspekcie bezpieczeństwa ruchu drogowego. Podstawę programową i programy szkolne raczej łączy logiczny związek reaktywnej, a nie proaktywnej edukacji odnoszącej się do nowych zagrożeń połączonych związkiem następstwa. Natomiast podczas studiów w Polsce platformę kształcenia na rzecz bezpieczeństwa personalnego stanowią studia na kierunku bezpieczeństwo wewnętrzne oraz akademickie koła naukowe¹. Studenci w ramach kół naukowych realizują uzupełniająco do podstawy programowej studiów zarówno zamierzenia badawcze, jak i dydaktyczne. Podejmowane aktywności w kołach naukowych stwarzają studentom nowe możliwości, w szczególności w zakresie rozwijania kompetencji miękkich.

Przedmiotem niniejszej publikacji jest zamierzenie prezentacji działalności badawczej studenckiego koła naukowego na rzecz bezpieczeństwa, które rozpatrujemy w dyscyplinie nauki o bezpieczeństwie, w dziedzinie nauk społecznych. Koło Naukowe Bezpieczeństwo Ruchu Drogowego (BRD) funkcjonujące na Uniwersytecie Kaliskim ma na celu ułatwić rozwój zainteresowań naukowych studentów Wydziału Nauk Społecznych oraz ułatwić zdobywanie i popularyzowanie przez nich wiedzy z zakresu bezpieczeństwa ruchu drogowego. Wskazany przedmiot poznania obszaru badawczego studentów Koła Naukowego BRD rozpatrywać należy przede wszystkim w aspekcie poznania i zrozumienia wyzwań i zagrożeń wynikających z rozwoju cywilizacyjnego, a tym samym i z dynamicznego rozwoju motoryzacji.

Ważnym celem praktycznym jest zdobycie przez studentów wiedzy, nabycie umiejętności i kompetencji w obszarze bezpieczeństwa ruchu drogowego. Kolejny, dziesiąty już rok funkcjonowania Koła Naukowego BRD w Wydziale Nauk Społecznych UK, to podejmowanie przez studentów w różnych warunkach i ograniczeniach (np. pandemii) wyzwań naukowych, między innymi organizowanie i uczestnictwo w konferencjach naukowych i seminariach. Celem działalności Koła Naukowego BRD jest też uczestniczenie w przedsięwzięciach naukowych – badaniach empirycznych [4, s. 50–57]. Właśnie perspektywa badań empirycznych realizowana przez studentów koła naukowego i ich zaprezentowania stanowi przedmiot niniejszej publikacji. Dla środowiska studenckiego w sferze bezpieczeństwa nie bez znaczenia jest zarówno czynnik przetrwania, jak i świadome dążenie do rozwoju [5, s. 9]. Te ważne i aktualne zagadnienia stanowią dla studentów przedmiot poznania, szczególnie w kontekście zagrożenia bezpieczeństwa personalnego, nie pomijając kształtowania świadomości szerszego (międzynarodowego) kontekstu rzeczywistości występowania ryzyka i zagrożenia [6, s. 29]. Jak studenci kierunku studiów bezpieczeństwo wewnętrzne postrzegają BRD i jak realizują swoje zamierzenia poznawcze zdefiniowane – też w sferze ich przekonania i oczekiwania – w tym interdyscyplinarnym obszarze BRD, prezentuje niniejsza publikacja.

¹ Akademickie koła naukowe mają na celu ułatwić i promować rozwój zainteresowań naukowych studentów, zdobywanie i popularyzowanie przez nich wiedzy, a także nabywanie umiejętności i kompetencji oraz uczestniczenie w przedsięwzięciach naukowych (badaniach, seminariach, konferencjach naukowych).

Scientific club activities in the research area

Certainly, a closer understanding and knowledge of the research problem – the determinants of the safety of vulnerable road users in particular – is made possible by the conducted empirical research. An important and timely aspect of the safety of vulnerable traffic participants was pointed out by a statistical analysis of the research problem [7, p. 34].

Studies of the visibility of vulnerable traffic participants

In Poland, the state and conditions of safety of vulnerable participants (pedestrians, cyclists), including schoolchildren, in the period 2019–2022 were the focus of interest of various institutions (police, insurance institutions). In 2019, there were 7005 accidents involving pedestrians (23.1% of the total), with 793 pedestrians killed (27.3% of the total) and 6,361 injured. At the same time, children, as pedestrian traffic participants, in the 7–14 age range in 2018 accounted for more than 16% of the total injured. Although road traffic danger in Poland has been clearly declining in recent years, the phenomenon can still cause social concern, as illustrated in the figure below.

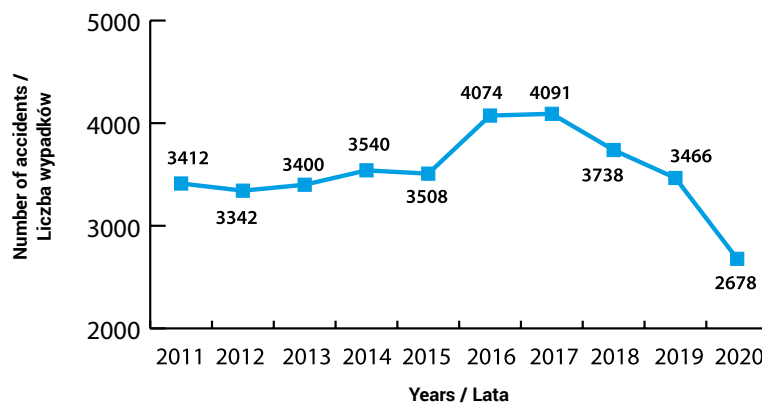


Figure 1. Accidents at pedestrian crossings

Rycina 1. Wypadki na przejściach dla pieszych

Source: KGP Accident Reports, <https://statystyka.policja.pl/download/20/361900/Wypadkidrogowe2020.pdf> [access: 10.06.2021].

Źródło: Raporty wypadki KGP, <https://statystyka.policja.pl/download/20/361900/Wypadkidrogowe2020.pdf> [dostęp: 10.06.2021].

In the study of the visibility of vulnerable traffic participants, a theoretical method was used to define the research problem: a hazard analysis of vulnerable traffic participants. A research problem was formulated in the form of a question: to what extent and under what conditions does the visibility of vulnerable traffic participants affect their safety? In the belief of the students of the scientific club in the process of learning about the problem of accidents involving vulnerable road users, there was a need to demonstrate the negative value of the impact of limited visibility factors. Certainly, theoretical research (analysis of KGP statistics) has allowed the visibility aspect of vulnerable traffic participants to be isolated and linked by a logical relationship of consequences. Their exemplification can be seen in a line graph of accidents by the months in which they were caused by vehicle drivers (see Figure 2).

Działalność koła naukowego w obszarze badawczym

Z pewnością bliższe zrozumienie i poznanie problemu badawczego – uwarunkowań bezpieczeństwa szczególnie niechronionych uczestników ruchu drogowego – umożliwiają prowadzone badania empiryczne. Na ważny i aktualny aspekt bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu wskazała analiza statystyczna problemu badawczego [7, s. 34].

Badania widoczności niechronionych uczestników ruchu

W Polsce stan i uwarunkowania bezpieczeństwa niechronionych uczestników (pieszych, rowerzystów), w tym młodzieży szkolnej, w okresie 2019–2022 stanowiły przedmiot zainteresowań różnych instytucji (policji, instytucji ubezpieczeniowych). W 2019 r. w Polsce odnotowano 7005 wypadków z udziałem osób pieszych (23,1% ogółu), w których zginęło 793 pieszych (27,3% ogółu), a 6361 odniosło obrażenia ciała. Jednocześnie dzieci jako piesi uczestnicy ruchu drogowego, w przedziale wiekowym 7–14 lat w 2018 r. stanowili ponad 16% ogółu rannych. Wprawdzie w okresie ostatnich lat zagrożenie w ruchu drogowym w Polsce wyraźnie maleje, to jednak nadal zjawisko to może budzić społeczny niepokój, co ilustruje poniższa rycina.

W badaniach widoczności niechronionych uczestników ruchu do zdefiniowania problemu badawczego zastosowano metodę teoretyczną: analizę zagrożenia niechronionych uczestników ruchu drogowego. Sformułowano problem badawczy w postaci pytania: w jakim stopniu i w jakich uwarunkowaniach widoczność niechronionych uczestników ruchu wpływa na ich bezpieczeństwo? W przekonaniu studentów koła naukowego w procesie poznania problemu wypadków z udziałem niechronionych uczestników ruchu zachodziła potrzeba wykazania negatywnej wartości wpływu czynników ograniczonej widoczności. Z pewnością badania teoretyczne (analiza statystyk KGP) pozwoliły aspekt widoczności niechronionych uczestników ruchu wyodrębnić i połączyć logicznym związkiem następstw. Ich egzemplifikacją może być wykres liniowy wypadków według miesięcy ich spowodowania przez kierujących pojazdami (zob. ryc. 2).

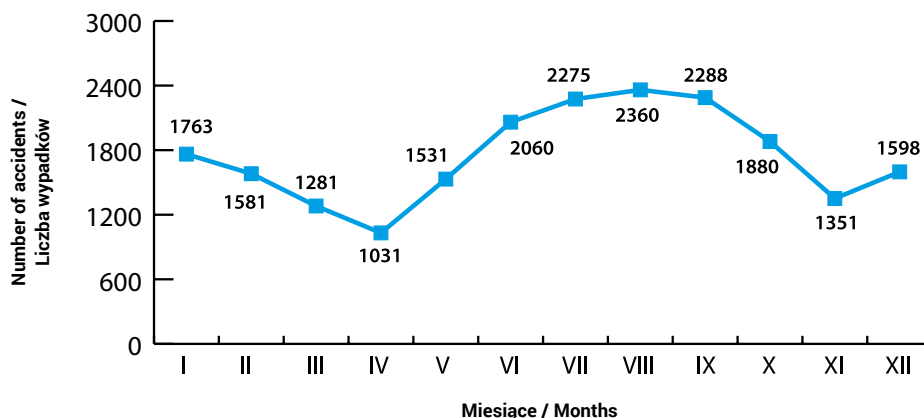


Figure 2. Traffic accidents by month of causing them

Rycina 2. Wypadki drogowe według miesięcy ich spowodowania

Source: KGP Accident Reports, <https://statystyka.policja.pl/download/20/361900/Wypadkidrogowe2020.pdf> [access: 25.06.2021].

Źródło: Raporty wypadki KGP, <https://statystyka.policja.pl/download/20/361900/Wypadkidrogowe2020.pdf> [dostęp: 10.06.2021].

Based on the above analyses taking into account the data in Figures 1 and 2, in order to clarify this problem it was assumed that visibility during the period of fast twilight during the daytime in the months of September-January significantly affects accident rates. At the same time, it was determined that the identification of this problem situation would be done through studies of the visibility of vulnerable participants (pedestrians and cyclists) under conditions of approaching dusk.

Na podstawie powyższych analiz uwzględniających dane z rycin 1 i 2, w celu wyjaśnienia tego problemu przyjęto założenie, że widoczność w okresie szybko zachodzącego zmierzchu w ciągu dnia w miesiącach wrzesień-styczeń istotnie wpływa na wypadkowość. Jednocześnie uznano, że rozpoznanie tej sytuacji problemowej nastąpi poprzez badania widoczności niechronionych uczestników (pieszych i rowerzystów) w warunkach następującego zmierzchu.

Self-study of the visibility of vulnerable traffic participants

On 23 January 2020, the students of the scientific club conducted an empirical study on traffic safety (see Figure 3).

Badania własne widoczności niechronionych uczestników ruchu

W dniu 23 stycznia 2020 r. studenci koła naukowego przeprowadzili badania empiryczne dotyczące bezpieczeństwa ruchu drogowego (zob. ryc. 3).



Figure 3. Preparations for visibility surveys of unprotected participants

Rycina 3. Przygotowania do badań widoczności niechronionych uczestników

Source: Own archive.

Źródło: Archiwum własne.

The research, which was carried out in a practical manner, dealt with the visibility of vulnerable traffic participants in actual twilight conditions. The purpose of the study stemmed from legislative intentions to implement in Poland the principle of priority of pedestrians over vehicle drivers.

Research site and conditions:

- research date: 23.01.2020, time 16.30–19.30,
- location: Kampus, Kalisz, ul. Poznańska 202–205,
- object of the study – visibility of vulnerable traffic participants (pedestrians, cyclists) in different visibility configurations,
- survey conditions: limited visibility (air clarity, dusk, no street lighting), survey limitation of the area (survey site)
 - maximum survey length on flat terrain – 140 m,
- weather: overcast, precipitation, temperature 4°C,
- vehicle lighting: dipped and high beam headlights, reflectors, position lights.
- measuring tools: distance measuring cart, Canon camera.

The study conducted at the university (interior roads) took into account the visibility of pedestrians in lights (dipped and high beam) in twilight conditions (limited air transparency) in different configurations of pedestrian clothing: in contrasting clothing, in non-contrasting clothing and with a reflective element, and in a reflective vest.

Figure 4 shows the visibility conditions for a bicyclist from the perspective of a car driver with low-beam headlights on, while the bicyclist is moving without headlights but with taillights on.



a)

Badania realizowane w sposób praktyczny dotyczyły widoczności niechronionych uczestników ruchu w rzeczywistych warunkach zmierzchu. Cel badań wynikał z zamierzeń legislacyjnych wdrożenia w Polsce zasady pierwszeństwa pieszych przed kierującymi pojazdami.

Miejsce i warunki badań:

- data badań: 23.01.2020 r., godz. 16.30–19.30,
- miejsce: Kampus, Kalisz, ul. Poznańska 202–205,
- przedmiot badań – widoczność niechronionych uczestników ruchu (pieszych, rowerzystów) w różnych konfiguracjach widoczności,
- warunki badań: ograniczona widoczność (przejrzystość powietrza, zmierzch, bez oświetlenia ulicznego), ograniczenie badawcze terenu (miejsca badań) – maksymalna długość pomiaru na płaskim terenie – 140 m,
- pogoda: zachmurzenie, opady atmosferyczne, temperatura 4°C,
- oświetlenie pojazdu: światła mijania i światła drogowe, światła odblaskowe, pozycyjne.
- narzędzia pomiarowe: wózek do pomiaru odległości, aparat fotograficzny Canon.

W przeprowadzonych badaniach na terenie uczelni (drogi wewnętrzne) uwzględniono widoczność pieszych w światłach (mijania i drogowych) w warunkach zmierzchu (ograniczonej przejrzystości powietrza) w różnych konfiguracjach ubrania pieszego: w odzieży kontrastowej, w odzieży niekontrastowej i z elementem odblaskowym oraz w kamizelce odblaskowej.

Na rycinie 4 przedstawiono warunki widoczności rowerzysty z perspektywy kierującego samochodem z włączonymi światłami mijania, podczas gdy rowerzysta porusza się bez świateł pozycyjnych przednich, ale z włączonymi tylnymi światłami.



b)

Figure 4. Visibility of a cyclist moving with: a) rear position lights on, b) no highlights rear position lights on (no headlights) in an automobile's dipped headlights

Rycina 4. Widoczność rowerzysty poruszającego się: a) z włączonymi tylnymi światłami, b) bez przednich świateł z włączonymi tylnymi światłami pozycyjnymi (bez przednich świateł) z perspektywy kierującego samochodem z włączonymi światłami mijania

Source: Own archive.

Źródło: Archiwum własne.

Participants in the research were made aware of the issue of visibility, and therefore the safety of the traffic participant in the situation of lighting the vehicle (bicycle) and without lighting. In

Uczestnikom badania uzmysłowiono kwestię widoczności, a więc bezpieczeństwa uczestnika ruchu w sytuacji oświetlenia pojazdu (roweru) i bez oświetlenia. Na rycinie ze strzałką

the figure with the arrow, the cyclist saw the car, but the driver of the passenger car unfortunately did not see the cyclist. A very important practical conclusion was made during this case study of cyclist visibility that (in traffic) seeing does not mean being seen.

The research considered the visibility of pedestrians in headlights (dipped and high beam) in twilight conditions (limited air transparency) in different configurations of pedestrian clothing: in contrast clothing, in non-contrast clothing and with a reflective element, and in a reflective vest.

rowerzysta widział samochód, ale kierowca samochodu osobowego niestety nie dostrzegł jadącego rowerzysty. Została podczas tego przypadku badania widoczności rowerzysty sformułowana bardzo ważna w praktyce konkluzja, że (w ruchu drogowym) widzieć nie znaczy być widzianym.

W badaniach uwzględniono widoczność pieszych w światłach (mijania i drogowych) w warunkach zmierzchu (ograniczonej przejrzystości powietrza) w różnych konfiguracjach ubrania pieszego: w odzieży kontrastowej, w odzieży niekontrastowej i z elementem odbłaskowym oraz w kamizelce odbłaskowej.



a)



b)

Figure 5. Visibility of pedestrians in contrasting clothing (1a) and non-contrasting clothing (2a), unlit cyclist (3a), cyclist in front (b)
Rycina 5. Widoczność pieszych w kontrastowej odzieży (1a) i niekontrastowej (2a), rowerzysty nieoświetlonego (3a), rowerzysty z przodu (b)

Source: Own archive.

Źródło: Archiwum własne.

The degree of visibility of vulnerable traffic participants is affected not only by bicycle lights, reflective elements, but also by the color of clothing or its contrast.

Table 1 presents visibility parameters from tests in different configurations.

Na stopień widoczności niechronionych uczestników ruchu wpływ mają nie tylko światła rowerowe, elementy odbłaskowe, ale także kolor odzieży czy jej kontrastowość.

W tabeli 1 zaprezentowano parametry widoczności z badań w różnych konfiguracjach.

Table 1. Pedestrian visibility in different road conditions
Tabela 1. Widoczność pieszego w różnych warunkach drogowych

Type of lights on the vehicle / Rodzaj światła w pojeździe	Visibility of pedestrian in clothing [m] / Widoczność pieszego w odzieży (m)			
	Contrasting / Kontrastowej	Non-contrasting / Niekontrastowej	Wearing a reflective vest / W kamizelce odbłaskowej	With reflective element / Z elementem odbłaskowym
Vehicle 1: halogen dipped/positioning lights Pojazd 1: światła mijania/pozycyjne	70 / 48	37 / 19	140 / 140	76 / 38
Vehicle 1: traffic lights / Pojazd 1: światła drogowe	140	73	140	140
Vehicle 2: xenon low beam/positioning lights / Pojazd 2: światła mijania/pozycyjne	73 / 33	55 / 26	140 / 140	140 / 44
Vehicle 2: traffic lights / Pojazd 2: światła drogowe	140	76	140	140

Source: Based on own research.

Źródło: Na podstawie badań własnych.

It is worth emphasizing that the terrain conditions allowed the measurement of a maximum distance of 140 m, so some results correspond to this largest possible distance to be measured.

Based on the empirical research conducted on the perception (visibility) of vulnerable traffic participants under different conditions, several factors have been defined. First of all, those factors that affect the distance from which the pedestrian is noticed by the driver of the vehicle, and therefore that have an impact on determining the level of safety of the pedestrian. Shows with an arrow the visibility of pedestrians in contrasting and non-contrasting clothing, as well as a cyclist seen from behind with a rear position light and reflector (see Figure 5a), and from the front (see Figure 5b) with a headlight – in the vehicle's dipped beam.

Two types of vehicles took part in the research: the first equipped with halogen lights, the most popular lights, and the second equipped with xenon lights, now displaced by LED lights due to innovative technology.

In empirical research, a very important role is played by the appropriate and thoughtful selection of methods, research techniques [4, pp. 50–57]. Accompanying the scientific club students' desire to learn more about the determinants of accidents involving vulnerable road users was the cognitive impetus for conducting research combining theory and research practice. Students in the research recognized the limitations of the terrain on which the study was conducted. It was important for the students to realize the importance and relevance of the factors of vehicle speed, vehicle stopping distance in the situation of an unseen traffic participant on the road. The observations were conducted in a thoughtful and careful manner. All the measurements made were systematized and subjected to system analysis, which made it possible to answer the problem questions posed and justify them with a certain degree of truthfulness. This publication presents (see Table 1) only a portion of the results from the study. This research will continue in 2024, taking into account comments due to research limitations. The results of the research on the visibility of traffic participants were presented at a scientific conference and in journalistic form – an article in a peer-reviewed scientific publication [8, pp. 303–318].

The students of the scientific club noted that the safety of vulnerable traffic participants is affected by many other factors in addition to the issue of their visibility (the subject of the study). Important issues include the construction of pedestrian and bicycle paths, the implementation of legislation to promote vulnerable users, to proper education of young people. Each of these factors can influence and be reflected in the number of accidents on Polish roads. Attention should be paid to current pedestrian regulations and knowledge should be disseminated about implemented regulations, such as the obligation for pedestrians to have reflective elements when traveling on roads outside urban areas. Such measures will certainly make the roads safer for all road users.

Study of single-track traffic parameters

The dynamic development of modern technology has also taken into account clear technological advances in the construction and operation of electric-powered unicycles. The users of

Warto podkreślić, że warunki terenowe umożliwiały pomiar max. odległości 140 m, dlatego niektóre wyniki odpowiadają tej największej możliwej do zmierzenia odległości.

Na podstawie przeprowadzonych badań empirycznych w zakresie postrzegania (widoczności) niechronionych uczestników ruchu w różnych warunkach zdefiniowano kilka czynników – przede wszystkim te, które mają wpływ na odległość, z jakiej pieszy jest zauważany przez kierującego pojazdem, a więc które są istotne dla określenia poziomu jego bezpieczeństwa. Na rycinie 5 zaznaczono strzałką widoczność pieszych w kontrastowej i niekontrastowej odzieży oraz rowerzysty widzianego od tyłu ze światłem pozycyjnym tylnym i odbłaskiem (zob. ryc. 5a) oraz z przodu (zob. ryc. 5b) ze światłem pozycyjnym przednim – w światłach mijania pojazdu.

W badaniu brały udział dwa rodzaje pojazdów: pierwszy wyposażony w światła halogenowe, czyli światła najbardziej popularne, drugi natomiast wyposażony w światła ksenonowe, obecnie ze względu na innowacyjne technologie wyparte przez światła LED.

W badaniach empirycznych bardzo ważną rolę odgrywa odpowiedni i przemyślany dobór metod, technik badawczych [4, s. 50–57]. Towarzysząca studentom koła naukowego chęć poznania uwarunkowań powstawania wypadków z udziałem niechronionych uczestników ruchu drogowego była impulsem poznawczym do przeprowadzenia badań łączących teorię z praktyką badawczą. Studenci w badaniach dostrzegli ograniczenia związane z ukształtowaniem terenu, na którym badania zostały przeprowadzone. Dla studentów ważne było uświadomienie sobie znaczenia i istotności czynników prędkości pojazdu, drogi zatrzymania pojazdu w sytuacji niewidocznego uczestnika ruchu na drodze. Obserwacje prowadzono w sposób przemyślany i staranny. Wszystkie dokonane pomiary zostały usystematyzowane oraz poddane analizie systemowej, która pozwoliła odpowiedzieć na zadane pytania problemowe oraz uzasadnić je z określonym stopniem prawdziwości. W niniejszej publikacji przedstawiono (zob. tabela 1) tylko część wyników z przeprowadzonych badań. Badania te będą w 2024 r. kontynuowane z uwzględnieniem uwag wynikających z ograniczeń badawczych. Rezultaty badań widoczności uczestników ruchu drogowego zostały przedstawione na konferencji naukowej oraz w formie publicystycznej – artykułu w recenzowanej publikacji naukowej [8, s. 303–318].

Studenci koła naukowego zauważyli, że na bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu oprócz kwestii ich widoczności (przedmiotu badań) wpływa wiele innych czynników. Istotne są m.in. kwestie budowy dróg pieszo-rowerowych, wdrażania legislacji promującej niechronionych użytkowników, po odpowiednią edukację osób młodych. Każdy z tych czynników może mieć wpływ i odzwierciedlenie w liczbie wypadków na polskich drogach. Należy zwrócić uwagę na obowiązujące przepisy dotyczące pieszych i upowszechniać wiedzę nt. wdrożonych uregulowań prawnych, np. obowiązku posiadania przez pieszych elementów odbłaskowych podczas poruszania się na drogach poza obszarem zabudowanym. Takie działania z pewnością pozwolą na bezpieczniejsze poruszanie się po drogach wszystkich uczestników ruchu drogowego.

Badanie parametrów ruchu jednośladów

Dynamiczny rozwój nowoczesnych technologii uwzględnił również wyraźny postęp technologiczny w budowie i eksploatacji jednośladów napędzanych energią elektryczną. Użytkownicy urządzeń

personal transportation devices (UTOs), such as scooters and electric bicycles, are increasingly appearing on Polish sidewalks and pedestrian and bicycle paths. Unfortunately, along with them also new dangers for pedestrian traffic participants. Knowing the traffic parameters of such vehicles makes it possible to take measures for the benefit of vulnerable traffic participants.

Statistics confirm that this topic is important and timely. The students of the BRD Scientific Club undertook to study and partially explain this completely new problem in practice. An analysis of the literature on the subject was taken as an introduction to the discussion.

Between September 2019 and July 2020, electric scooter users were involved in 83 accidents, in which four people were killed and 81 injured. Electric scooter drivers in 2022 caused 272 accidents, in which 3 people were killed and 278 injured [2, 96-97]. Statistics show that users of electric scooters are most often children and teenagers. These figures are comparable to accidents involving moped riders (385 accidents), although this group of traffic participants is certainly more numerous, has a much longer tradition in the history of human mobility, and involves basically all age groups.

The growing danger found in 2022 involving this group of users and pedestrians provided a rationale for the BRD Scientific Club students to conduct a study of the traffic parameters of bicycles and electric scooters.

Personal transportation devices in the form of electric scooters and electric bicycles were tested on internal roads on the Kalisz campus on 24 June 2022.

transportu osobistego (UTO), takich jak hulajnogi i rowery elektryczne, pojawiają się coraz częściej na polskich chodnikach oraz drogach dla pieszych i rowerów. Niestety wraz z nimi także nowe zagrożenia dla pieszych uczestników ruchu. Poznanie parametrów ruchu takich pojazdów umożliwia podejmowanie działań na rzecz niechronionych uczestników ruchu.

Dane statystyczne potwierdzają, że temat ten jest ważny i aktualny. Studenci Koła Naukowego BRD podjęli się zbadania i częściowego wyjaśnienia tego całkowicie nowego problemu w praktyce. Za wstęp do rozważań przyjęto analizę literatury przedmiotu.

W okresie od września 2019 do lipca 2020 roku użytkownicy hulajnóg elektrycznych uczestniczyli w 83 wypadkach, w których zginęły 4 osoby, a 81 osób doznało obrażeń ciała. Kierujący hulajnogą elektryczną w 2022 r. spowodowali 272 wypadki, w których 3 osoby zginęły, a 278 osób odniosło obrażenia ciała [2, 96–97]. Ze statystyk wynika, że użytkownikami hulajnóg elektrycznych najczęściej są dzieci i młodzież. Dane te są porównywalne z wypadkami z udziałem motorowerzystów (385 wypadków), chociaż ta grupa uczestników ruchu drogowego z pewnością jest bardziej liczna, ma znacznie dłuższą tradycję w historii mobilności człowieka i dotyczy w zasadzie wszystkich grup wiekowych.

Stwierdzone w 2022 r. rosnące zagrożenie z udziałem tej grupy użytkowników i pieszych stanowiło dla studentów Koła Naukowego BRD uzasadnienie do przeprowadzenia badań parametrów ruchu rowerów i hulajnóg elektrycznych.

W dniu 24.06.2022 r. na drogach wewnętrznych, na terenie kampusu w Kaliszu, przeprowadzono badania urządzeń transportu osobistego w postaci hulajnóg elektrycznych oraz rowerów elektrycznych.



Figure 6. Preparations for traffic parameter studies
Rycina 6. Przygotowania do badań parametrów ruchu

Source: Own archive.
Źródło: Archiwum własne.

As part of the activities carried out, the following personal transportation devices were tested: two Ruicanjie electric bicycles and Vsett9+ and Ninebot KickScooter Eu DoC electric scooters (see Figures 7 and 8).

W ramach przeprowadzanych czynności poddano badaniom następujące urządzenia transportu osobistego: dwa rowery elektryczne Ruicanjie oraz hulajnogi elektryczne Vsett9+ i Ninebot KickScooter Eu DoC (zob. ryc. 7 i 8).



Figure 7. Ruicanjie R 8 bicycle
Rycina 7. Rower Ruicanjie R 8
Source: Own archive.
Źródło: Archiwum własne.

By design, the research was to be carried out using devices that record motion parameters in the form of a Gopro camera, a Sony IV RX10 camera (which realizes 4D recording), a drone with a video camera, and a Brake Tester Model LWS-2/MC retarder. The Brake Tester Delayometer Model LWS-2/MC, according to the manufacturer's instructions, is a device designed to test, among other things, motorcycles and provides dynamic recording of the phenomenon of the braking process and the following parameters: maximum deceleration, average deceleration, initial braking speed, braking distance, average and maximum deceleration. In addition, the device, is suitable for any brake system, both mechanical and hydraulic. The Brake Tester Delayometer Model LWS-2/MC uses a monolithic acceleration sensor of the latest generation, The sensor keeps a record in the memory of the instrument's measurement system at a frequency of 100 times per second. Despite repeated attempts, the device indicated "measurement incorrect", although tests of the performance of the retarder device on the passenger car gave the correct result. Thus, the tests were carried out without the use of this device, and thus no graphs of the speed and braking deceleration of the aforementioned vehicles were obtained.

Methodological assumptions for the research of single-track traffic parameters

To obtain acceleration and deceleration measurements of bicycles and electric scooters, the study was conducted as follows:

1. Chalk was used to mark road sections measured with a measuring wheel and a rolling measure, with lengths of 5 m, 10 m and 15 m respectively;
2. The vehicles were accelerated over a road length of 5, 10 and 15 meters, respectively, without using the muscle power of the people driving the vehicles. Then, at a suitably marked distance, the vehicle's drivers carried out the braking maneuver with the vehicles' available brakes. The person, at the time of pressing the brake



Figure 8. Vsett9+ scooter
Rycina 8. Hulajnoga Vsett9+
Source: Own archive.
Źródło: Archiwum własne.

Z założenia badania miały być realizowane przy użyciu urządzeń rejestrujących parametry ruchu w postaci: kamery Gopro, aparatu fotograficznego Sony IV RX10 (realizującego zapis nagrania 4D), dronu z kamerą wizyjną oraz opóźniomierza Brake Tester Model LWS-2/MC. Opóźniomierz Brake Tester Model LWS-2/MC zgodnie z instrukcją producenta jest urządzeniem przeznaczonym do badania między innymi motocykli i zapewnia rejestrowanie dynamiczne zjawiska procesu hamowania oraz następujących parametrów: opóźnienie maksymalne, opóźnienie średnie, prędkość początkową hamowania, długość drogi hamowania, opóźnienie średnie i maksymalne. Ponadto urządzenie jest przystosowane do dowolnych systemów hamulców zarówno mechanicznych, jak i hydraulicznych. Opóźniomierz Brake Tester Model LWS-2/MC wykorzystuje monolityczny czujnik przyspieszenia najnowszej generacji. Czujnik prowadzi zapis w pamięci układu pomiarowego przyrządu z częstotliwością 100 razy na sekundę. Mimo wielokrotnych prób urządzenie wskazywało „pomiar niepoprawny”, chociaż próby sprawności działania urządzenia opóźniomierza na samochodzie osobowym dawały wynik poprawny. Zatem badania przeprowadzono bez użycia tego urządzenia i tym samym nie uzyskano wykresów prędkości oraz opóźnień hamowania ww. pojazdów.

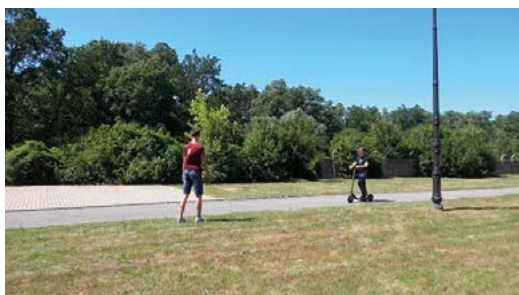
Założenia metodologiczne badań parametrów ruchu jednośladow

W celu uzyskania pomiarów przyspieszeń i opóźnień rowerów oraz hulajnóg elektrycznych badania przeprowadzono w następujący sposób:

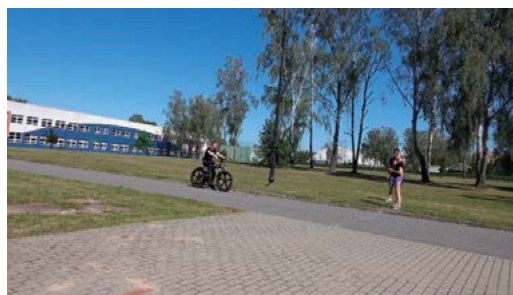
1. Kredą oznaczono odmierzone przy użyciu koła mierniczego i miary zwijanej odcinki drogi o długości odpowiednio 5 m, 10 m i 15 m;
2. Pojazdy rozpędzono na długości drogi odpowiednio 5, 10 i 15 m bez użycia siły mięśni osób prowadzących pojazdy. Następnie w odpowiednio oznaczonej odległości osoby prowadzące pojazd realizowały manewr hamowania dostępnymi hamulcami pojazdów. Osoba w momencie naciskania na dźwignie hamulców wskazywała, jaką

levers, indicated what speed he/she had at the time according to the vehicle speedometers.

3. The stopping distance of individual bicycles and scooters was then measured and the results documented.
4. The rides were recorded with a VTIN Eypro camera placed on the forehead of the person driving the vehicle in question, which recorded the speed and the braking maneuver undertaken with a Sony camera that operated as a tripod-mounted camera (perpendicular to the path of the participants) and with an unmanned aerial vehicle with a DJI Phantom 4 Pro vision camera.



a)



b)

Figure 9. Tests of movement parameters: a) electric scooter, b) bicycle
Rycina 9. Badania parametrów ruchu: a) hulajnoga elektryczna, b) rower

Source: Own archive.

Źródło: Archiwum własne.

The results of the research were compiled according to the literature according to mathematical and physical formulas. The research took place with the participation of students and University of Kalisz doctoral student Wojciech Apiecionek.

The conducted research on the movement parameters (acceleration and deceleration of scooters and electric bicycles) led to the following conclusions.

1. From the tests of bicycles and electric scooters, it is clear that the Brake Tester Model LWS-2/MC retarder, after the performance test of the device, did not indicate the results of measurements of vehicle movement parameters. It should be noted that the device's instructions indicate that it is possible to test the movement parameters of single-track vehicles.
2. The result of the study was that the Brake Tester Model LWS-2/MC retarder, which is on the equipment of many vehicle inspection stations, does not provide traffic performance measurement for single-track vehicles. This is an important practical finding from the research.
3. The results of the electric bicycle tests showed that the acceleration values of the bicycles ranged from 0.2 to 2.3 m/s², while the braking deceleration of these vehicles ranged from 0.9 to 8.8 m/s², depending on the weight, the predisposition of the people driving the vehicles and the stretch of road on which the tests were conducted.
4. It can be assumed that the results of acceleration and deceleration values of scooters and electric bicycles

miała wówczas prędkość jazdy zgodnie ze wskazaniami prędkościomierzy pojazdów.

3. Następnie mierzono drogę zatrzymania poszczególnych rowerów i hulajnóg i wyniki dokumentowano.
4. Przejazdy były nagrywane kamerą VTIN Eypro umieszczoną na czole osoby prowadzącej dany pojazd. Prędkość oraz podjęty manewr hamowania rejestrowano aparatem fotograficznym Sony, który działał w funkcji kamery umieszczonej na statywie (prostopadle do toru ruchu uczestników) oraz za pomocą bezzałogowego statku powietrznego z kamerą wizyjną DJI Phantom 4 Pro.

Wyniki badań były opracowane zgodnie z literaturą przedmiotu według wzorów matematyczno-fizycznych. Badania odbywały się z udziałem studentów i doktoranta Uniwersytetu Kaliskiego – Wojciecha Apiecioneka.

Przeprowadzone badania parametrów ruchu (przyspieszeń i opóźnienia hamowania hulajnóg i rowerów elektrycznych) pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków.

1. Z przeprowadzonych badań rowerów i hulajnóg elektrycznych wynika jednoznacznie, iż opóźnieniomierz Brake Tester Model LWS-2/MC, po przeprowadzonym teście sprawności urządzenia, nie wskazywał wyników pomiarów parametrów ruchu pojazdów. Zauważyć należy, że instrukcja urządzenia wskazuje na możliwość przeprowadzenia badania parametrów ruchu pojazdów jednośladowych.
2. Efektem badania było stwierdzenie, że opóźnieniomierz Brake Tester Model LWS-2/MC, będący na wyposażeniu wielu stacji kontroli pojazdów, nie zapewnia pomiaru parametrów ruchu dla jednośladowych. Jest to ważna praktyczna konstatacja wynikająca z przeprowadzonych badań.
3. Wyniki badań rowerów elektrycznych wykazały, iż wartości przyspieszeń rowerów wynosiły od 0,2 do 2,3 m/s², natomiast opóźnienia hamowania tych pojazdów wynosiły od 0,9 do 8,8 m/s² w zależności od wagi, predyspozycji osób kierujących pojazdami oraz odcinku drogi, na którym były przeprowadzone badania.

obtained from the experiments will be able to be a reference point of consideration and a criterion (estimation of parameter values) helpful in conducting reconstructions of accidents or traffic collisions in future analyses.

Conclusion

It should be noted that the research activity, which is very important in the functioning of the scientific club, complements (enriches) the educational function carried out by the university for students. On the other hand, the transfer of research results takes place in various forms, primarily in the course of papers delivered at organized scientific conferences and seminars. Dissemination of research results in the scientific community is also carried out through journalistic activity. Students publish their articles in scientific publications.

The research activity of the students of the BRD scientific club not only makes them aware of the risk factors of being a victim of an accident as a vulnerable road user, but also deepens their knowledge, broadens their cognitive perspective and supplements their skills through practical activities. As a consequence, academic education supports the important process of educating a person, as it provides answers to the question of how to avoid the situation of being a victim of a traffic accident as a pedestrian or a motorcycle driver. For students of the scientific club, ongoing research projects or study visits provide opportunities to deepen their knowledge in the field of homeland security, facilitate the acquisition of research skills (theoretical and empirical), teamwork skills, as well as soft skills (interpersonal). This teaching practice developed at the Faculty of Social Sciences of AK prepares students for public speaking, in which they present their results from their own research. On the formulated research problem – in the part of the visibility study – in the form of the question to what extent and under what conditions does the visibility of vulnerable road users affect their safety, it can be said that students confronted their knowledge in the study both from the position of a car driver and a bicycle driver or pedestrian. The students' knowledge of general physical characteristics, speed, psychophysical reaction time, definition of stopping distance (braking distance) of a car in comparison with the measurements taken (see Table 1) certainly facilitated understanding of the complexity of the issue of visibility of pedestrians, cyclists after dark. The general reflection of the students participating in the study amounted to the following conclusion: "certainly, in conditions of reduced pedestrian visibility, I will not travel on the road without reflective elements, and as a driver of a vehicle, I will maintain much greater attention and focus on what is happening on the road than before."

In turn, the results from the study of the traffic parameters of bicycles and electric scooters can serve in the future as a reference point in ongoing analyses (for the police in preliminary investigations) for estimating the values of parameters to assist in conducting reconstructions of accidents or traffic collisions.

- Można przyjąć, że uzyskane na podstawie przeprowadzonych eksperymentów wyniki wartości przyspieszenia i opóźnienia hamowania hulajnog i rowerów elektrycznych będą mogły być w przyszłości w prowadzonych analizach punktem odniesienia rozważań i kryterium (szacowania wartości parametrów) pomocnym przy przeprowadzaniu rekonstrukcji wypadków lub kolizji drogowych.

Zakończenie

Zauważyć należy, że bardzo istotna w funkcjonowaniu koła naukowego działalność badawcza stanowi dla studentów uzupełnienie (wzbogacenie) funkcji edukacyjnej realizowanej przez uczelnię. Natomiast transfer wyników badawczych następuje w różnych formach, przede wszystkim w czasie wygłaszanych referatów w ramach organizowanych konferencji i seminariów naukowych. Upowszechnianie wyników badawczych w środowisku naukowym odbywa się także w ramach aktywności publicystycznej. Studenci publikują swoje artykuły w wydawnictwach naukowych.

Aktywność badawcza studentów koła naukowego o profilu BRD nie tylko uświadamia czynniki ryzyka bycia ofiarą wypadku jako niechronionego uczestnika ruchu drogowego, ale ponadto pogłębia ich wiedzę, poszerza perspektywę poznawczą i uzupełnia umiejętności poprzez działania praktyczne. W konsekwencji edukacja akademicka wspomaga ważny proces kształcenia człowieka, udziela bowiem odpowiedzi na pytanie, jak uniknąć sytuacji bycia ofiarą wypadku drogowego jako pieszy czy kierujący jednośladem. Dla studentów koła naukowego realizowane projekty badawcze czy wizyty studyjne zapewniają możliwość pogłębiania wiedzy z obszaru bezpieczeństwa wewnętrznego, ułatwiają nabywanie umiejętności badawczych (teoretycznych i empirycznych), umiejętności pracy w zespole, a także kompetencji miękkich (interpersonalnych). Taka praktyka dydaktyczna wypracowana w Wydziale Nauk Społecznych AK przygotowuje studentów do wystąpień publicznych, w których prezentują swoje wyniki z badań własnych. Na problem badawczy sformułowany – w części badania widoczności – w postaci pytania, w jakim stopniu i w jakich uwarunkowaniach widoczność niechronionych uczestników ruchu drogowego wpływa na ich bezpieczeństwo, można powiedzieć, że studenci konfrontowali swoją wiedzę w badaniach zarówno z pozycji kierującego samochodem, jak i kierującego rowerem czy pieszego. Wiedza studentów w zakresie ogólnych cech fizycznych, prędkości, czasu psychofizycznej reakcji, definicji drogi zatrzymania (drogi hamowania) samochodu w zestawieniu z dokonanymi pomiarami (zob. tabela 1) z pewnością ułatwiła zrozumienie złożoności zagadnienia widoczności pieszych, rowerzystów po zmroku. Ogólna refleksja studentów biorących udział w badaniach sprowadzała się do następującej konkluzji: „z pewnością w warunkach ograniczonej widoczności pieszego nie będę się przemieszczać po drodze bez elementów odbłaskowych, a jako kierujący pojazdem zachowam dużo większą niż dotychczas uwagę i skupienie na tym, co dzieje się na drodze”.

Z kolei wyniki z badań parametrów ruchu rowerów i hulajnog elektrycznych mogą posłużyć w przyszłości jako punkt

It should be observed that the adopted cognitive approach of the addressed research area of homeland security implies the treatment and consideration of education (its essence, limitations and impact) as an issue of an interdisciplinary nature. Certainly, in the context of the functioning of academic scientific clubs, especially taking into account their proactive direction, one should agree with the thesis of E. Fuare. Indeed, the era of dynamic change provides us with the tools to meet the qualitative and quantitative tasks of education stimulated by it. What remains is to properly recognize these tools and adapt them for educational purposes [1].

odniesienia w prowadzonych analizach (dla policji w postępowaniach przygotowawczych) do szacowania wartości parametrów pomocnych przy przeprowadzaniu rekonstrukcji wypadków lub kolizji drogowych.

Zauważyć należy, że przyjęte podejście poznawcze poruszanego obszaru badawczego bezpieczeństwa wewnętrznego implikują traktowanie i uwzględnienie edukacji (jej istoty, ograniczeń i wpływu) jako zagadnienia o interdyscyplinarnym charakterze. Z pewnością w kontekście funkcjonowania akademickich kół naukowych, szczególnie uwzględniając ich proaktywny kierunek działalności, należy zgodzić się z tezą E. Fuare. Faktycznie, epoka dynamicznych przemian zapewnia nam narzędzia do sprostania pobudzonym przez nią jakościowym i ilościowym zadaniom edukacji. Pozostaje nam tylko właściwe rozpoznanie tych narzędzi i przystosowanie ich do celów oświatowych [1].

Literature / Literatura

- [1] Maslow A., *Motywacja i osobowość*, Wyd. PWN, Warszawa 2006.
- [2] Jaszczur W., *Edukacja młodzieży na rzecz bezpieczeństwa*, Wyd. KTPN, Kalisz 2020.
- [3] Rozporządzenie Ministra Edukacji i Nauki o podstawie programowej kształcenia ogólnego dla szkoły podstawowej z dnia 6 lutego 2023 r. (Dz. U. 2023, poz. 312).
- [4] Jemioło T., Dawidczyk A., *Wprowadzenie do metodologii badań bezpieczeństwa*, Wyd. AON, Warszawa 2008.
- [5] Nowak E., Nowak M., *Zarys teorii bezpieczeństwa narodowego*, Wyd. Difin, Warszawa 2015.
- [6] Polska Norma PN-ISO 31000:2012.
- [7] Pelc M., *Elementy Metodologii badań naukowych*, Wyd. AON, Warszawa 2012.
- [8] Skonieczny P., Bartczak M., *Widoczność niechronionych uczestników*, w: *Teoretyczne i praktyczne aspekty bezpieczeństwa*, P. Kamiński, W. Jaszczur, G. Grondys (red.), Wyd. Naukowe Akademii Kaliskiej, Kalisz 2021.
- [9] KGP. Wypadki drogowe – raporty roczne, <https://statystyka.policja.pl/st/ruch-drogowy/76562,Wypadki-drogowe-raporty-roczne.html> [dostęp: 10.06.2021].

WIESŁAW JASZCZUR, PH.D. ENG. – PH.D. in Social Sciences, graduate of Warsaw University of Technology, University of Wrocław. Employed at the Institute of Security Sciences of the President Stanisław Wojciechowski University of Kalisz as an assistant professor. Research interests are related to the topics of safety education for schoolchildren, emergency management, traffic safety management. Author, co-author, scientific co-editor of more than a dozen publications, co-organizer of scientific conferences and seminars. He carries out scientific research projects in the areas of security management and youth security education. He is a member of the Kalisz Society of Friends of Science.

ZOFIA MARCINIAK, PH.D. – PH.D. in security studies, assistant professor at the President Stanisław Wojciechowski University of Kalisz. Among the scientific interests prevail the topics of criminology, crisis management, community security. Author of numerous scientific publications on criminology, crisis management, personnel security. Co-organizes seminars and scientific conferences.

DR INŻ. WIESŁAW JASZCZUR – doktor nauk społecznych, absolwent Politechniki Warszawskiej, Uniwersytetu Wrocławskiego. Zatrudniony w Instytucie Nauk o Bezpieczeństwie Uniwersytetu Kaliskiego im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego na stanowisku adiunkta. Zainteresowania naukowe związane są z tematyką edukacji na rzecz bezpieczeństwa młodzieży szkolnej, zarządzania kryzysowego, zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego. Autor, współautor, współredaktor naukowy kilkunastu publikacji, współorganizator konferencji i seminariów naukowych. Realizuje projekty naukowo-badawcze z obszaru zarządzania bezpieczeństwem oraz edukacji młodzieży na rzecz bezpieczeństwa. Jest członkiem Kaliskiego Towarzystwa Przyjaciół Nauk.

DR ZOFIA MARCINIAK – doktor nauk o bezpieczeństwie, adiunkt na Uniwersytecie Kaliskim im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego. Wśród zainteresowań naukowych przeważa tematyka kryminologii, zarządzania kryzysowego, bezpieczeństwa społeczności lokalnych. Autorka licznych publikacji naukowych dotyczących kryminologii, zarządzania kryzysowego, bezpieczeństwa personalnego. Współorganizuje seminaria i konferencje naukowe.



Tłumaczenie na język angielski artykułów naukowych (także ich streszczeń), w tym artykułów recenzyjnych, w półroczniku „Safety & Fire Technology” – zadanie finansowane ze środków Ministerstwa Edukacji i Nauki w ramach programu „Rozwój Czasopism Naukowych” (umowa nr RCN/SP/0560/2021/1).



Konferencje

BEZPIECZEŃSTWO POŻAROWE



W dniu 12 października 2023 r. w siedzibie CNBOP-PIB odbyła się I Międzynarodowa Konferencja Naukowa CNBOP-PIB pt. **Bezpieczeństwo pożarowe instalacji fotowoltaicznych, magazynów energii, pojazdów elektrycznych, ich punktów i stacji ładowania, rozwiązań inteligentnego domu** pod patronatem honorowym Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej oraz pod patronatem medialnym „Przeglądu Pożarniczego”. Wydarzenie otworzyło cykl planowanych konferencji, mających służyć wymianie poglądów i doświadczeń różnych środowisk zainteresowanych bezpieczeństwem pożarowym intensywnie rozwijających się technologii. Jego adresatami są funkcjonariusze i pracownicy cywilni PSP, producenci i dostawcy wyrobów, projektanci, instalatorzy tych systemów, specjaliści i rzeczoznawcy ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych, zarządcy, użytkownicy i właściciele obiektów budowlanych, a także inne osoby zainteresowane tematyką bezpieczeństwa pożarowego.



Tytułowa tematyka oraz hybrydowa formuła przedsięwzięcia przyciągnęły liczne grono zainteresowanych gości z kraju i zagranicy. Z myślą o tych ostatnich całe wydarzenie było tłumaczone na język angielski i czeski. Konferencji towarzyszyła wystawa prezentująca nowe stanowiska badawcze i szkoleniowe w CNBOP-PIB, zbudowane w celu doskonalenia ochrony przeciwpożarowej instalacji PV, magazynów energii i stacji ładowania pojazdów elektrycznych. Stanowiska te umożliwiają badania i testy funkcjonalne różnych konfiguracji instalacji PV w zakresie bezpieczeństwa pożarowego, zgodności z warunkami ochrony przeciwpożarowej, bezpieczeństwa ekip ratowniczych. Służą one także upowszechnianiu wiedzy, dydaktyce i szkoleniom, w tym wypracowaniu wzorcowej dokumentacji projektowej instalacji PV dla obiektów budowlanych, opracowaniu standardów technicznych dotyczących ochrony przeciwpożarowej, takich jak: wytyczne, wymagania dla wyrobów, metody badań itp.

Zachęcamy do zapoznania się z raportem z wydarzenia, dostępnym na stronie internetowej CNBOP-PIB, który zawiera relację z trzech sesji konferencji oraz przedstawia wnioski wypracowane w trakcie paneli dyskusyjnych. Jednym z nich jest konieczność pilnego podjęcia tematu ochrony przeciwpożarowej magazynów energii. Już dziś zapraszamy na kolejne konferencje poświęcone bezpieczeństwu pożarowemu nowych technologii i rozwiązań.

Karolina Dwórska^{a)*}, Leszek Jurecki^{a)}, Mateusz Jakubowski^{a)}, Maksymilian Żurawski^{a)}, Łukasz Pastuszka^{a)}

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

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

Influence of External Factors on the Strength of Firefighting Hoses Used in Fire Protection Units

Wpływ czynników zewnętrznych na wytrzymałość pożarniczych węży tłocznych stosowanych w jednostkach ochrony przeciwpożarowej

ABSTRACT

Aim: The purpose of this article is to review information on firefighting hoses in terms of their division and the materials used in their production, and to determine if and how external factors affect their strength and durability.

Introduction: Firefighting hoses are one of the most important products of technical equipment of Fire Protection Units. Since they are an indispensable element during rescue and firefighting operations, conducting research on the strength of fire hoses is needed and extremely important from the point of view of fire protection.

Project and methods: Technological advances in the area of using various types of materials for fire hoses over time have had (and continue to have) a significant impact on the undertaking of rescue and firefighting operations, the speed with which these operations are carried out, as well as their effectiveness. Therefore, at the beginning of the article, a historical outline of the fire hoses used for firefighting in various countries around the world over the years was made. In the following part of the article, the influence of external factors on the adhesive strength of firefighting hoses used in fire protection units in Poland was analysed. The effect of exposure to a 3% foam solution of a fire extinguishing agent on hose tape samples placed in this solution was tested, depending on the time of direct contact of the samples with this agent. The effect of UV exposure (under wetting and drying conditions) on the hose tape samples was also studied, with time intervals of different lengths.

Results and conclusions: When testing the exposure of the hose tape samples to UV light (for 90 minutes, at $38 \pm 3^\circ\text{C}$, without water spray, followed by water exposure for 30 minutes, at $50 \pm 10\%$ humidity), decreasing trends were observed for the average values of delamination strengths. Tests were also made on a series of samples exposed to a 3% solution of aqueous foam extinguishing agent on the hose tape, both externally and internally. Declining trends were observed for the mean values of adhesive strengths (after 3 and 6 weeks). The impact of factors such as exposure to UV radiation, as well as the impact of the foam extinguishing agent solution negatively affects the hose tape, reducing its strength. The article was prepared on the basis of the authors' own research results, as well as available sources, both national and foreign, based on the available literature on the raised issues.

Keywords: firefighting hose, fire hose strength, adhesion, UV, foam extinguishing agent

Type of article: preliminary (research) report

Received: 07.11.2023; **Reviewed:** 21.11.2023; **Accepted:** 06.12.2023;

Author's ORCID ID: K. Dwórska – 0009-0008-7611-1176; L. Jurecki – 0000-0002-7117-7263; M. Jakubowski – 0009-0005-0756-943X; M. Żurawski – 0011-1100-1100-001; Ł. Pastuszka – 0000-0001-8382-2584;

Percentage contribution: K. Dwórska – 40%; L. Jurecki – 20%; M. Jakubowski – 15%; M. Żurawski – 15%; Ł. Pastuszka – 10%;

Please cite as: SFT Vol. 62 Issue 2, 2023, pp. 150–170, <https://doi.org/10.12845/sft.62.2.2023.9>;

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 przegląd informacji dotyczących pożarniczych węży tłocznych pod względem ich podziału oraz materiałów stosowanych do ich produkcji, a także określenie, czy i w jaki sposób czynniki zewnętrzne wpływają na ich wytrzymałość i trwałość.

Wprowadzenie: Węże pożarnicze to jeden z najważniejszych wyrobów technicznego wyposażenia jednostek ochrony przeciwpożarowej. Z uwagi na fakt, że stanowią one niezbędny element podczas działań ratowniczo-gaśniczych, prowadzenie badań w zakresie wytrzymałości węży pożarniczych jest potrzebne i niezwykle istotne z punktu widzenia ochrony przeciwpożarowej.

Projekt i metody: Postęp technologiczny w obszarze stosowania różnego rodzaju materiałów do produkcji węży pożarniczych z biegiem czasu miał (i ma nadal) znaczący wpływ na podejmowanie działań ratowniczo-gaśniczych, szybkość prowadzenia tych działań, a także ich skuteczność. Dlatego na początku artykułu dokonano zarysu historycznego pożarniczych węży tłocznych stosowanych do gaszenia pożarów w różnych państwach świata

na przestrzeni lat. W dalszej części pracy analizowano wpływ czynników zewnętrznych na wytrzymałość adhezyjną pożarniczych węży tłocznych stosowanych w jednostkach ochrony przeciwpożarowej w Polsce. Sprawdzano wpływ oddziaływania 3-procentowego roztworu pianotwórczego środka gaśniczego na próbki taśmy węzowej, umieszczonych w tym roztworze, w zależności od czasu bezpośredniego kontaktu próbek z tym czynnikiem. Badano również wpływ ekspozycji promieniowania UV (w warunkach zwilżenia i suszenia) na próbki taśmy węzowej, w przedziałach czasowych o różnej długości.

Wyniki i wnioski: Podczas badania ekspozycji próbek taśmy węzowej na oddziaływanie promieniowania UV (przez 90 min, w temperaturze $38 \pm 3^\circ\text{C}$, bez zraszania wodą, a następnie działaniu wody przez 30 min, przy wilgotności $50 \pm 10\%$) zaobserwowano tendencje spadkowe w przypadku średnich wartości sił wytrzymałości na rozwarstwienie. Dokonano również badań serii próbek poddanych oddziaływaniu 3-procentowego roztworu wodnego pianotwórczego środka gaśniczego na taśmę węzową, zarówno od zewnątrz, jak i od wewnątrz. Zaobserwowano tendencje spadkowe w przypadku średnich wartości sił wytrzymałości adhezyjnych (po 3 i 6 tygodniach). Czynniki takie jak ekspozycja na promieniowanie UV, a także oddziaływanie roztworu gaśniczego środka pianotwórczego negatywnie wpływają na taśmę węzową, zmniejszając jej wytrzymałość. Artykuł przygotowano na podstawie wyników badań własnych autorów, a także dostępnych źródeł zarówno krajowych, jak i zagranicznych, z wykorzystaniem literatury dotyczącej dotyczącej poruszanych zagadnień.

Słowa kluczowe: pożarniczy wąż tłoczny, wytrzymałość węży pożarniczych, adhezja, UV, pianotwórczy środek gaśniczy

Typ artykułu: doniesienie wstępne (komunikat z badań)

Przyjęty: 07.11.2023; **Zrecenzowany:** 21.11.2023; **Zaakceptowany:** 06.12.2023;

Identyfikatory ORCID autorów: K. Dwórska – 0009-0008-7611-1176; L. Jurecki – 0000-0002-7117-7263; M. Jakubowski – 0009-0005-0756-943X; M. Żurawski – 0011-1100-1100-0011; Ł. Pastuszka – 0000-0001-8382-2584;

Procentowy wkład merytoryczny: K. Dwórska – 40%; L. Jurecki – 20%; M. Jakubowski – 15%; M. Żurawski – 15%; Ł. Pastuszka – 10%;

Proszę cytować: SFT Vol. 62 Issue 2, 2023, pp. 150–170, <https://doi.org/10.12845/sft.62.2.2023.9>;

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

Introduction

Fire hoses, as one of the most important products of technical equipment of fire protection units, are an essential element during rescue and firefighting operations. It is difficult to imagine performing even the least complicated firefighting operation without their use. The use of this type of equipment during firefighting operations allows water or other extinguishing agent to be pumped at the appropriate pressure from the water source (or other extinguishing agent or pump) to the location where these operations are performed [1].

Wprowadzenie

Węże pożarnicze, jako jeden z najważniejszych wyrobów technicznego wyposażenia jednostek ochrony przeciwpożarowej, stanowią niezbędny element podczas działań ratowniczo-gaśniczych. Trudno wyobrazić sobie nawet najmniej skomplikowaną akcję gaśniczą bez ich wykorzystania. Zastosowanie tego rodzaju sprzętu podczas działań gaśniczych pozwala na tłoczenie wody lub innego środka gaśniczego pod odpowiednim ciśnieniem od źródła wody (lub innego środka gaśniczego albo pompy) do miejsca, w którym te działania są wykonywane [1].



Figure 1. Firefighting hose for fire pumps

Rycina 1. Pożarniczy wąż tłoczny do pomp pożarniczych

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Since humans have achieved the ability to start fires, there has been a simultaneous problem in controlling them, resulting in the spread of fires. Until the 17th century, firefighting techniques were characterized by high labour- and time-consuming operations and low efficiency. They were carried out by so-called "brigades with buckets" [2]. The firefighting operations then

Od kiedy ludzie osiągnęli umiejętność wzniesienia ognia, jednocześnie pojawiał się problem z opanowaniem go, co skutkowało rozprzestrzenianiem się pożarów. Do XVII wieku techniki gaszenia pożarów charakteryzowały się dużą pracochłonnością działań oraz niską skutecznością. Realizowane były przez tzw. brygady z wiadrami [2]. Działania gaśnicze polegały

consisted of setting up rows of people parallel to each other, who would pass buckets filled with water to each other in the first row, thus reaching the site of the fire. The people in the second row were tasked with picking up the empty buckets in an analogous manner, to fill them up again at the source with water and hand them over filled. Due to the short distance between the person pouring water from the bucket and the fire, this method proved to be very dangerous [3].

The breakthrough year was 1672, when a leather fire hose was invented in Amsterdam. This was done by a painter involved with the fire department, Jan Van der Heyden, together with his son Nicholaas. He manufactured a firefighting hose made of leather. One hose was a section of 50 feet, or more than 15 meters, and was terminated with brass screws, allowing the individual sections to be connected to each other, at any length. This hose served both discharge and suction functions. One end of the hose was attached to the engine, while the other end was submerged in water. The suction hole was provided with a piece of cork to make it float, and terminated with a grille or brass plate with lots of small holes to prevent mud and dirt from being sucked in [4–5]. Carefully made fire leather hose was characterized by durability, provided it was properly cleaned (i.e. rinsed with clean water, cleaned of sand and dirt, and then dried) and maintained by lubricating it with grease (such as fish oil, lard, tallow and beeswax), thus preventing it from drying out and hardening. For protection against pests (including mice), the hoses were soaked in an infusion of bitter apple or colocynth (a plant of the cucurbit family, native to the sandy areas of Africa and Asia). The invention momentarily took firefighting technology to the next level. Due to the possibility of supplying water from the water source to the place of fire, the time of firefighting operations was significantly reduced, could be carried out from a distance (increasing the safety of firefighters at that time), with much greater precision (possibility of directing the water jet to the fire focus). Despite the listed advantages, it only began to be used in England from 1760.

The technology for making hose remained unchanged for another 135 years when James Sellers and Abraham Pennock (Philadelphia Hose Company) developed a method of riveting the leather hose between 1807 and 1808, replacing the previous technique of stitching the leather pieces together.

In parallel, 1720 brought the boom of canvas fire hoses. Those who went down in history are: Beck from Leipzig, a lace weaver, who made seamless woven hemp hoses, as well as Erke from Weimar, who made linen fire hoses (later also manufactured in Dresden and Śląsk). Canvas fire hoses had the advantage of being lightweight, as well as being easily renovated by cutting out the damaged section and sewing the edges together with waxed thread. Unfortunately, these hoses were not resistant to abrasion and the effects of moisture [5]. The 19th century was the era when rubber fire hoses were popular. In 1827, a rubber fire hose was manufactured in Fulham by Thomas Hancock [5]. In 1844, the process of vulcanising rubber was independently patented by Charles Goodyear (USA) and Thomas Hancock (UK). As a result of vulcanisation, they obtained rubber that retained its properties under extreme conditions, i.e. non-melting at high temperatures and elasticity at

wówczas na ustawieniu równoległych względem siebie rzędów ludzi, którzy w pierwszym rzędzie podawali sobie kolejno wiadra wypełnione wodą, docierając w ten sposób do miejsca pożaru. Ludzie z drugiego rzędu mieli za zadanie odbierać w analogiczny sposób puste wiadra, aby ponownie zapełnić je u źródła wodą i przekazywać napełnione. Z uwagi na niewielką odległość osoby wylewającej wodę z wiadra od ognia, metoda ta okazywała się bardzo niebezpieczna [3].

Przełomowym stał się rok 1672, kiedy w Amsterdamie wynaleziono pożarniczy wąż skórzany. Dokonał tego malarz zaangażowany w sprawy straży pożarnej, Jan Van der Heyden, wraz z synem Nicholaasem. Wyprodukował on wąż tłoczny wykonany ze skóry. Jeden wąż stanowił odcinek o długości 50 stóp, czyli ponad 15 m, zakończony był mosiężnymi wkrętami, umożliwiającymi połączenie pojedynczych odcinków ze sobą, na dowolną długość. Wąż ten pełnił funkcje tłoczne i ssawne. Jeden koniec węża mocowano do silnika, zaś drugi zanurzano w wodzie. Otwór ssący zaopatrzony był w kawałek korka, aby go unosić oraz zakończony kratką lub mosiężną płytką z dużą ilością małych otworów, chroniącą przed zassaniem błota i zanieczyszczeń [4–5]. Starannie wykonany pożarniczy wąż skórzany charakteryzował się trwałością pod warunkiem odpowiedniego oczyszczenia (tzn. przepłukania czystą wodą, oczyszczenia z piasku i brudu, a następnie wysuszenia) oraz konserwacji poprzez nasmarowanie go tłuszczem (np. olejem rybnym, smalcem, łojem i woskiem pszczelim), zapobiegającej jego wyschnięciu i stwardnieniu. Dla ochrony przed szkodnikami (m.in. myszami) węże mocowano w naparze z gorzkiego jabłka lub kolocyntu (rośliny z rodziny dyniowatych, pochodzącej z obszarów piaszczystych Afryki i Azji). Wynalazek momentalnie przeniósł technikę gaszenia pożarów na wyższy poziom. Dzięki sposobności podawania wody od źródła wody do miejsca pożaru, czas działań gaśniczych uległ znacznemu skróceniu, mógł odbywać się z dystansu (zwiększając bezpieczeństwo ówczesnych strażaków), z dużo większą precyzją (możliwość nakierowania strumienia wody na ognisko pożaru). Mimo wymienionych zalet w Anglii zaczął być używany dopiero od 1760 roku.

Technologia wytwarzania pożarniczego węża pozostała niezmienna przez kolejne 135 lat, kiedy James Sellers i Abraham Pennock (Philadelphia Hose Company) w latach 1807–1808 opracowali metodę nitowania węża skózanego, zastępując tym samym dotychczasową technikę polegającą na zszywaniu skórzanych fragmentów.

Równolegle w 1720 r. nastąpił rozkwit płóciennych węży pożarniczych. Na kartach historii zapisali się: Beck z Lipska, zajmujący się tkaniem koronek, który wykonał bezszwowe, tkane pożarnicze węże konopne, jak również Erke z Weimaru, który wykonał pożarnicze węże lniane (wytwarzane później także w Dreźnie oraz na Śląsku). Zaletą płóciennych węży pożarniczych była ich niewielka waga, a także łatwa renowacja, polegająca na wycięciu uszkodzonego fragmentu i zszyciu krawędzi woskowaną nicią. Niestety węże te nie były odporne na przetarcia oraz oddziaływanie wilgoci [5]. XIX wiek to epoka popularności gumowych węży pożarniczych. W 1827 r. w Fulham przez Thomasa Hancocka został wytworzony gumowy wąż pożarniczy [5]. W 1844 r. opatentowania procesu wulkanizacji kauczuku niezależnie dokonali Charles Goodyear (USA) oraz Thomas Hancock (Wielka Brytania).

low temperatures. This invention led to the use of rubber in the manufacture of rubber fire hoses.

In 1878, the American Fire Hose Manufacturing Company manufactured the first fire hose, which had a two-layer construction and was free of seams and rivets. The outer layer was made of cotton, while the inner layer was vulcanised rubber [3].

Another milestone was the development of synthetic fibres in the 20th century, including polyester and polyamide (nylon, aramid).

Technological progress in the area of using different types of materials for fire hoses has had (and continues to have) a significant impact over time on the undertaking of rescue and fire-fighting operations, the speed with which these operations are carried out, as well as their effectiveness.

Construction of firefighting hoses

When considering the issue of increasing the safety of firefighters during rescue and firefighting operations, manufacturers of firefighting hoses used for fire pumps and hydrants are expected to continually improve and upgrade their products. This is completely understandable, as the degree of technological sophistication of the materials used to manufacture firefighting hoses determines many characteristics, such as quality, durability, resistance, flexibility. These characteristics have a bearing on the performance of firefighting hoses, including their leak-tightness or strength. The latter, in turn, affect the speed and effectiveness of firefighting operations, and thus the safety of rescuers and rescued, as well as the success of operations in fire-prone areas. Taking this into account, changes began to be made over the years, manifested in using complex materials.

In the construction of today's firefighting hoses, there are two invariable elements (inner and outer layer) and one optional element (coating layer). A prerequisite for highly effective firefighting operations is the rapid delivery (under pressure) of the extinguishing medium to the fire zone, very often over considerable distances. The high speed of transfer of the extinguishing liquid is achieved by the smooth surface inside the firefighting hose, which minimises resistance when transporting the liquid. The high speed of transfer of the extinguishing liquid is achieved thanks to the smooth surface inside the firefighting hose, which minimises resistance when transporting the liquid. This in turn is made possible by using materials such as polyvinyl chloride (PVC), polyurethane (PU), nitrile or rubber for the layer. They reinforce the walls of the hose, making them resistant to deformation. The primary task of the inner layer is to ensure the tightness of the hose.

Closely adhering to the inner layer is the outer layer, which is a circularly woven braid made of polyester-based polymer yarn (polyester, polyester + polyamide, polyester + nylon), available in various colours. The use of these materials ensures abrasion

W wyniku wulkanizacji otrzymali gumę zachowującą swoje właściwości w ekstremalnych warunkach, tzn. nietopliwość w wysokich temperaturach oraz elastyczność w niskich temperaturach. Wynalazek ten zaowocował wykorzystaniem kauczuku do produkcji gumowych węży pożarniczych.

W 1878 r. firma American Fire Hose Manufacturing Company wyprodukowała pierwszy wąż pożarniczy, posiadający dwuwarstwową konstrukcję i pozbawiony szwów oraz nitów. Warstwa zewnętrzna wykonana była z bawełny, natomiast wewnętrzną stanowiła wulkanizowana guma [3].

Kolejnym krokiem milowym było opracowanie w XX w. włókien syntetycznych, m.in. poliestrowych i poliamidowych (nylonowych, aramidowych).

Postęp technologiczny w obszarze stosowania różnego rodzaju materiałów do produkcji węży pożarniczych z biegiem czasu miał (i ma nadal) znaczący wpływ na podejmowanie działań ratowniczo-gaśniczych, szybkość prowadzenia tych działań, a także ich skuteczność.

Konstrukcja pożarniczych węży tłocznych

Rozpatrując zagadnienie zwiększania bezpieczeństwa strażaków podczas akcji ratowniczo-gaśniczych, od producentów pożarniczych węży tłocznych stosowanych do pomp pożarniczych i hydrantów oczekuje się ciągłego doskonalenia i unowocześniania wyrobów. Jest to całkowicie zrozumiałe, ponieważ stopień zaawansowania technologicznego materiałów stosowanych do produkcji pożarniczych węży determinuje wiele cech, takich jak: jakość, trwałość, odporność, elastyczność. Mają one przełożenie na parametry pracy węży pożarniczych, m.in. ich szczelność czy wytrzymałość. Te ostatnie z kolei wpływają na szybkość oraz efektywność działań gaśniczych, a co za tym idzie bezpieczeństwo ratujących i ratowanych, jak również powodzenie akcji na obszarach zagrożonych pożarem. Biorąc pod uwagę powyższe, z biegiem lat zaczęto wprowadzać zmiany, przejawiające się w zastosowaniu złożonych materiałów.

W budowie współcześnie stosowanych pożarniczych węży tłocznych wyróżnia się dwa niezmiennie występujące elementy (warstwa wewnętrzna i zewnętrzna) oraz jeden opcjonalny (warstwa powleająca). Warunkiem koniecznym uzyskania wysokiej efektywności działań gaśniczych jest szybkie dostarczenie (pod ciśnieniem) medium gaśniczego do strefy zagrożonej pożarem, bardzo często na znaczne odległości. Dużą szybkość przesyłania cieczy gaśniczej uzyskać można dzięki gładkiej powierzchni wewnątrz węża pożarniczego, która minimalizuje opory podczas transportu cieczy. To z kolei możliwe jest dzięki zastosowaniu do produkcji warstwy takich materiałów jak: polichlorek winylu (PVC), poliuretan (PU), nityl czy guma. Wzmacniają one ścianki węża, czyniąc je odpornymi na odkształcenia. Podstawowym zadaniem warstwy wewnętrznej jest zapewnienie szczelności węża.

Do warstwy wewnętrznej ściśle przylega zewnętrzna, którą stanowi okrągło tkany oplot, wykonany z przędzy polimerowej na bazie poliestru (poliester, poliester + poliamid, poliester + nylon), występujący w różnych kolorach. Zastosowanie tych materiałów zapewnia odporność na ścieranie oraz wysoką wytrzymałość

resistance and high durability of the product against mechanical damage. The two layers (outer and inner) are bonded together with an adhesive that ensures that the braided carpet adheres properly.

wyrobu przed mechanicznymi uszkodzeniami. Obydwie warstwy (zewnątrzna i wewnątrzna) połączone są ze sobą za pomocą kleju, który zapewnia odpowiednią przyczepność wykładziny z oplotem.



Figure 2. Firefighting hose tape with polyester braid and PVC inner layer

Rycina 2. Taśma węzowa pożarniczego węża tłoczego z poliestrowym oplotem oraz warstwą wewnętrzną wykonaną z PVC

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.



Figure 3. Samples of hose tape (each 25 ± 0.5 mm wide) showing the variety of polyester braid colours and inner liner types, respectively: A – rubber, B – polyvinyl chloride, C – synthetic EPDM rubber, D – polyurethane, E – polyvinyl chloride

Rycina 3. Próbki taśmy węzowej (każda o szerokości $25 \pm 0,5$ mm) ukazujące różnorodność barw oplotów poliestrowych i rodzajów wykładzin wewnętrznych, odpowiednio: A – guma, B – polichlorek winylu, C – syntetyczny kauczuk EPDM, D – poliuretan, E – polichlorek winylu

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

As an option, the firefighting hose can be coated with an additional outer layer – in which case it becomes known as a coated firefighting hose and has even greater resistance to flame, dirt and damage (including abrasion and punctures). The additional coating can be made of polyurethane, PVC-based synthetic rubber or vulcanised nitrile rubber. The layer can also have fluorescent properties, making the hose more visible in difficult conditions during firefighting and rescue operations.

Opcjonalnie wąż tłoczny może być pokryty dodatkową warstwą zewnętrzną – zyskuje wtedy miano powlekanego węża tłoczego i cechuje się jeszcze większą odpornością na płomień, zabrudzenia i uszkodzenia (m.in. przetarcia i przebicia). Dodatkowa powłoka może być wykonana z poliuretanu, gumy syntetycznej na bazie PVC lub wulkanizowanego kauczuku nitrilowego. Warstwa może również posiadać właściwości fluorescencyjne, dzięki czemu wąż wyróżnia się lepszą widocznością w trudnych warunkach podczas akcji ratowniczo-gaśniczej.



Figure 4. Sample of coated firefighting hose tape, showing styrene-acrylic coated polyester fibre braid and PVC inner lining

Rycina 4. Próbką taśmy węzowej powlekanego pożarniczego węża tłocznego, ukazująca opłót z włókna poliestrowego z powłoką styrenowo akrylową oraz wykładzinę wewnętrzną

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

All the layers mentioned above are permanently bonded together, creating a product that is both flexible (even at low temperatures), lightweight and resistant to damaging external factors. The use of synthetic materials eliminates the product's susceptibility to processes involving micro-organisms, providing resistance to such things as rotting or decay.

Wszystkie wyżej wymienione warstwy są ze sobą trwale połączone, tworząc wyrób zarówno elastyczny (również w niskich temperaturach), o niskiej wadze, jak i odporny na niszczące czynniki zewnętrzne. Zastosowanie materiałów syntetycznych eliminuje podatność wyrobu na procesy z udziałem mikroorganizmów, zapewniając odporność na m.in. butwienie czy gnicie.

Application of firefighting hoses

The main focus of this article is on firefighting hoses in the context of fire protection, as equipment for fire, rescue or forestry units. However, the products are also widely used in other industries. Firefighting hoses for various types of pumps (motopumps and autopumps) are also used in civil engineering, mining, construction, transport (e.g. marine), agriculture.

Zastosowanie pożarniczych węży tłocznych

W niniejszym artykule skoncentrowano się w głównej mierze na zagadnieniach dotyczących pożarniczych węży tłocznych w kontekście ochrony przeciwpożarowej jako wyposażeniu jednostek straży pożarnej, ratowniczych czy leśnych. Natomiast wyroby te znajdują także szerokie zastosowanie w innych gałęziach przemysłu. Pożarnicze węże tłoczne do różnego typu pomp (motopomp i autopomp) są wykorzystywane również w inżynierii wodnej i lądowej, górnictwie, budownictwie, transporcie (np. morskim), rolnictwie.

Classification of firefighting hoses

Firefighting hoses can have internal diameters of different sizes (measured in mm), which generates one of the criteria for their division [6]. For this reason, the following hose sizes are distinguished: 25, 42, 52, 75 and 110.

Another criterion for the classification is the type of equipment used. The firefighting hose can be fitted with couplings to suit the corresponding inside diameter of the hose. Depending on the type of fittings used, a distinction is made between the following types of hose:

- ŁA – with aluminium alloy fittings,
- ŁM – with copper alloy couplings,
- B – without couplings [6].

Podział pożarniczych węży tłocznych

Pożarnicze węże tłoczne mogą posiadać średnice wewnętrzne o różnej wielkości (mierzone w mm), co generuje jedno z kryteriów ich podziału [6]. Z tego względu, wyróżnia się następujące wielkości węży: 25, 42, 52, 75 i 110.

Kolejnym kryterium podziału jest rodzaj zastosowanego wyposażenia. Wąż tłoczny może być zakończony łącznikami, dopasowanymi do odpowiedniej średnicy wewnętrznej węża. W zależności od rodzaju użytych łączników rozróżnia się następujące odmiany węży:

- ŁA – z łącznikami ze stopu aluminium,
- ŁM – z łącznikami ze stopu miedzi,
- B – bez łączników [6].

Research methodology and results

The main objective of this research is to determine the effect of adverse external influences on the strength of firefighting hoses used for fire pumps or hydrants and to note changes in the structure of the hose tape, as well as to capture trends in these changes. Achieving the described objective is possible by analysing the parameter delamination strength, expressed in the unit N/mm. The results of the tests will allow conclusions to be drawn regarding the strength of the materials that make up the hose tape and, consequently, the entire product.

Purpose of the research – the importance of adhesion

The force of delamination shows how the layers of the hose tape are permanently connected to each other, that is, the braid glued to the inner lining. The force of adhesion (or bonding) between the outer layer and inner liner of a fire hose is referred to as adhesion. For a number of reasons, it is a very important aspect, because its correct value is essential for the proper, as well as effective operation of the hose – often under very extreme conditions of use.

The question of how the loss of adhesion between layers can affect the use of a firefighting hose is worth considering. The figure below shows a photo of a firefighting hose subjected to service (lasting about 30 years), as a result of which the braid and inner lining have permanently and irreversibly separated. Filling a fire hose (with water, for example) is possible, while emptying it involves complications, due to the rotation of the inner liner, which makes it difficult to pour water out of the hose. In turn, the water remaining in the fire hose contributes, among other things, to the development of mold that adversely affects the quality of the product. Poorly drained fire hoses are subject to freezing in winter, which undoubtedly leads to faster deterioration. Improper maintenance absolutely affects the lifespan of fire hoses, while their condition can determine the success of the entire firefighting and rescue operation. Loss of connection between layers will have a significant impact on the effectiveness of rescue and firefighting operations, as well as time-consuming operations, not to mention how much it will reduce comfort. A leaking hose will limit the amount of firefighting agents delivered to the site of operations, and in extreme cases, undergoing major disintegration, will cut off firefighters from firefighting resources. Such a situation not only seriously jeopardizes the success of a firefighting operation, but more importantly threatens the lives and health of firefighters working in the area of a fire hazard.

If the inner liner is improperly connected to the braid, it can tear. As a result, the flow of water is disrupted, which can cause fragments of the inner lining to break off. These, in turn, carried with the water that fills the fire hose, can get into other equipment in, for example, the nozzle or generator, restricting the flow and, in extreme cases, leading to its clogging. Considering the extreme case when – due to various factors – the fire hose loses its integrity, as a consequence, there will be a reduction in the number of

Metodologia i wyniki badań

Głównym celem prowadzonych badań jest określenie wpływu oddziaływania niekorzystnych czynników zewnętrznych na wytrzymałość pożarniczych węży tłocznych stosowanych do pomp pożarniczych lub hydrantów oraz zauważenie zmian w strukturze taśmy węzowej, a także uchwycenie tendencji tych zmian. Osiągnięcie opisanego celu jest możliwe dzięki analizie parametru, jakim jest wytrzymałość na rozwarstwienie, wyrażona w jednostce N/mm. Wyniki badań pozwolą sformułować wnioski dot. wytrzymałości materiałów składających się na taśmę węzową, a co za tym idzie całego wyrobu.

Cel badań – znaczenie adhezji

Siła rozwarstwiania ukazuje, jak trwale połączone są ze sobą warstwy taśmy węzowej, czyli oplot sklejony z wykładziną wewnętrzną. Siła przylegania (lub przyczepności) do siebie warstwy zewnętrznej i wykładziny wewnętrznej węża pożarniczego określana jest mianem adhezji. Z wielu przyczyn stanowi ona bardzo ważny aspekt, ponieważ jej odpowiednia wartość ma podstawowe znaczenie dla prawidłowej, a także efektywnej pracy węża – często w bardzo ekstremalnych warunkach użytkowania.

Rozważaniom warto poddać zagadnienie, jak utrata adhezji pomiędzy warstwami może wpłynąć na użytkowanie pożarniczego węża tłoczego. Na rycinie poniżej przedstawiono zdjęcie pożarniczego węża tłoczego, poddanego eksploatacji (trwającej około 30 lat), w wyniku której oplot oraz wykładzina wewnętrzna trwale i nieodwracalnie oddzieliły się. Napełnienie węża pożarniczego (np. wodą) jest możliwe, natomiast opróżnienie go wiąże się z komplikacjami, z uwagi na rotowanie się wykładziny wewnętrznej, co utrudnia wylewanie z węża wody. Z kolei pozostająca w wężu pożarniczym woda przyczynia się m.in. do rozwoju pleśni niekorzystnie wpływającej na jakość wyrobu. Źle opróżnione węże pożarnicze narażone są w zimie na zamrażanie, co niewątpliwie doprowadza do szybszego ich niszczenia. Nieprawidłowa konserwacja bezwzględnie wpływa na żywotność węży pożarniczych, podczas gdy ich stan może przesądzić o powodzeniu całej akcji ratowniczo-gaśniczej. Utrata połączenia między warstwami będzie miała znaczący wpływ na skuteczność akcji ratowniczo-gaśniczej, a także czasochłonności działań, nie wspominając o tym, w jak dużym stopniu zmniejszy komfort użytkowania. Nieszczelny wąż będzie ograniczał ilość dostarczanych środków gaśniczych do miejsca działań, a w skrajnym wypadku, ulegając dużej dezintegracji, spowoduje odcięcie strażaków od środków gaśniczych. Taka sytuacja nie tylko stanowi poważnie zagrożenie powodzenia akcji gaśniczej, ale przede wszystkim zagraża życiu i zdrowiu strażaków pracujących w obszarze zagrożenia ogniowego.

W przypadku, kiedy wykładzina wewnętrzna jest w nieodpowiedni sposób połączona z oplotem, może się rozrywać. W konsekwencji zostaje zaburzony przepływ wody, co może powodować oderwanie fragmentów wykładziny wewnętrznej. Te zaś niesione z wodą, która wypełnia wąż pożarniczy, mogą przedostać się do innych urządzeń w np. prądownicy czy wytornicy, ograniczając przepływ, a w skrajnym przypadku doprowadzając do jej zapchania.

flowing firefighting agents, which can lead to rupture (according to Bernoulli's law – decreasing the flow, the pressure increases), which directly threatens rescuers and affects the success of the rescue operations.

A firefighting hose with an inside diameter of 52 mm was selected for the tests. Its hose tape consists of a polyester braid, while PVC is used as the material for the inner liner. In each test cycle, 10 specimens were cut from the hose tape after exposure to adverse external conditions and subjected to a test for delamination resistance.

Biorąc pod uwagę skrajny przypadek, kiedy – na skutek różnych czynników – wąż pożarniczy straci swoją integralność, w konsekwencji nastąpi ograniczenie liczby przepływających środków gaśniczych, co może doprowadzić do rozerwania (zgodnie z prawem Bernoulliego – zmniejszając przepływ, zwiększa się ciśnienie), co bezpośrednio zagraża ratownikom i wpływa na powodzenie działań ratowniczych.

Do przeprowadzonych badań wybrano pożarniczy wąż tłoczny do pomp pożarniczych o średnicy wewnętrznej 52 mm. Jego taśma węzowa składa się z poliestrowego oplotu, natomiast jako materiał na wkładkę wewnętrzną zastosowano PVC. W każdym cyklu badań, po narażeniu na niekorzystne czynniki zewnętrzne, z taśmy węzowej wycięto 10 próbek, które następnie poddano badaniu wytrzymałości na rozwarstwienie.



Figure 5. Firefighting hose in which there has been a loss of adhesion between the layers of hose tape
Rycina 5. Pożarniczy wąż tłoczny, w którym nastąpiła utrata adhezji pomiędzy warstwami taśmy węzowej

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Effects of UV radiation and water

A firefighter's primary duties undoubtedly include performing firefighting and rescue operations during incidents such as fires, road accidents, natural, construction or chemical disasters, among others. Considering the duration of fires classified as small and medium, it can be concluded that the average duration of firefighting operations is about 2 h [7].

This part of the study was designed to simulate the natural conditions of hose use, when the hose tape becomes wet with water during firefighting operations and then dries. The tests were divided into two stages, during which sections of hose tape were exposed to UV light. The total time of the two stages was 2 h and mimicked the duration of one firefighting operation, later designated as 1 cycle. Stage one lasted 90 min, without the use of water, and the temperature in the chamber was $38 \pm 3^\circ\text{C}$. Stage two lasted 30 min and involved sprinkling a section of hose tape with water, with prevailing humidity conditions of $50 \pm 10\%$.

Oddziaływanie promieniowania UV i wody

Do podstawowych obowiązków strażaka niewątpliwie należy wykonywanie czynności gaśniczych oraz ratowniczych podczas zdarzeń, takich jak pożary, wypadki drogowe, katastrofy żywiołowe, budowlane czy chemiczne. Biorąc pod uwagę czas trwania pożarów sklasyfikowanych jako małe i średnie, można stwierdzić, że uśredniony czas przebiegu działań gaśniczych wynosi ok. 2 h [7].

Niniejsza część badań miała na celu zasymulowanie naturalnych warunków użytkowania węża, kiedy podczas działań gaśniczych taśma węzowa ulega zmoczeniu wodą, a następnie wysuszeniu. Badania podzielono na dwa etapy, podczas których odcinki taśmy węzowej poddano ekspozycji na oddziaływanie promieniowania UV. Sumaryczny czas dwóch etapów wynosił 2 h i odwzorowywał czas trwania jednej akcji gaśniczej, oznaczony później jako 1 cykl. Etap pierwszy trwał 90 min, bez użycia wody, a w komorze panowała temperatura równa $38 \pm 3^\circ\text{C}$. Etap drugi trwał 30 min i polegał na zraszaniu wodą fragmentu taśmy węzowej, przy panujących warunkach wilgotności $50 \pm 10\%$.

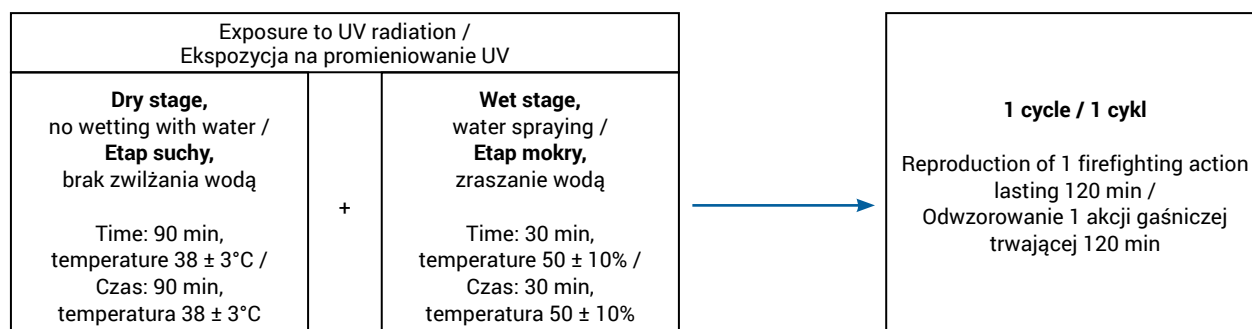


Figure 6. Scheme for conducting ageing tests
Rycina 6. Schemat prowadzenia badań starzeniowych

Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

In order to replicate the atmospheric conditions that occur when the materials are exposed to daylight in actual use, hose tape samples were exposed to xenon arc light in the presence of moisture (4892-2:2013-06 2013). The tests were conducted in a special Q-LAB Q-SUN Xenon Test Chamber, Model Xe-3-HS, designed for ageing tests, under controlled conditions of temperature, humidity and/or wetting (depending on the test stage).

W celu odtworzenia warunków atmosferycznych, które występują, gdy materiały wystawione są na światło dzienne w rzeczywistych warunkach użytkowania, próbki taśmy węzowej poddano naświetlaniu światłem łuku ksenonowego w obecności wilgoci (4892-2:2013-06 2013). Badania prowadzono w specjalnej komorze Q-LAB Q-SUN Xenon Test Chamber, Model Xe-3-HS, przeznaczonej do badań starzeniowych, w kontrolowanych warunkach temperatury, wilgotności i/lub zwilżania (w zależności od etapu badania).



Figure 7. Fragments of hose tape placed in a chamber for UV and water exposure (consecutive)
Rycina 7. Fragmenty taśmy węzowej umieszczone w komorze w celu poddania ekspozycji na promieniowanie UV oraz działania wody (następujące po sobie)

Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

The tests were accounted for by the number of cycles, meaning that delamination strength tests of the hose tape samples were performed every 100 cycles – after each sequence, it was checked how the delamination strength (adhesion) value changed and what trends were shown. The aforementioned force was determined by performing a series of tests using the methodology contained in PN-EN ISO 8033:2017-03 [8]. The issue of adhesion, defined as the strength of the outer layer and inner liner of a firefighting hose adhering to each other, is a very important aspect, as its correct value is fundamental to the effective operation of the hose under conditions of use. The samples were prepared prior to testing. Each specimen had a rectangular shape,

Testy rozliczono na liczbę cykli, co oznacza, że badania siły rozwarstwienia próbek taśmy węzowej wykonywano co 100 cykli – po każdej sekwencji sprawdzano, jak zmienia się wartość wytrzymałości na rozwarstwienie (adhezyjnej) i jakie tendencje są wykazywane. Wspomnianą powyżej siłę wyznaczano, wykonując serię badań z wykorzystaniem metodyki zawartej w normie PN-EN ISO 8033:2017-03 [8]. Zagadnienie adhezji, określanej jako siła przylegania do siebie warstwy zewnętrznej i wykładziny wewnętrznej węża pożarniczego, jest bardzo ważnym aspektem, ponieważ jej odpowiednia wartość ma podstawowe znaczenie dla efektywnej pracy węża w warunkach użytkowania. Przed przystąpieniem do badań przygotowano próbki. Każda z próbek posiadała kształt

obtained by cutting a 25 ± 0.5 mm wide ring cut transversely from hose tape (with an internal diameter of 52 mm). The ring was cut from the hose perpendicular to its longitudinal axis. Before the specimen was fixed in the grips of the testing machine, the polyester braid was separated from the inner liner, in a section that allowed each separated layer to be fixed in the grips of the machine. The separated ends of a given specimen were placed in the grips in such a way that the angle between the separated layers was 180° to ensure a tensile force in the plane of separation. The position of the specimen in the grips was adjusted to ensure uniform stretching during the test. A Shimadzu AG-X plus 10 KN testing machine with an SLBL-500 N0 testing head was used for the tests. The machine is mechanically driven and equipped with, among other things, a force gauge, clamping fixtures and a recorder. During the test, the machine kept the mobile crosshead moving at a constant speed (50 ± 5 mm/min). Once the machine was started, the force [N] was recorded as the layers separated, over as long a distance as possible, but not less than 100 mm.

prostokąta, uzyskanego poprzez wycięcie z taśmy węzowej (o średnicy wewnętrznej równej 52 mm) pierścienia o szerokości $25\pm 0,5$ mm, rozciętego poprzecznie. Pierścień wycinano z węża prostopadle do jego osi wzdłużnej. Przed zamocowaniem próbki w uchwytach maszyny wytrzymałościowej oddzielono poliestrowy oplot od wykładziny wewnętrznej, na odcinku umożliwiającym zamocowanie każdej oddzielonej warstwy w uchwytach maszyny. Oddzielone końce danej próbki umieszczono w uchwytach w taki sposób, aby kąt między rozdzielanymi warstwami wynosił 180° , co zapewniło działanie siły rozciągającej w płaszczyźnie oddzielania. Wyregulowano położenie próbki w uchwytach, w celu równomiernego rozciągania podczas badania. Do badań zastosowano maszynę wytrzymałościową Shimadzu AG-X plus 10 KN z głowicą SLBL-500 N0. Maszyna napędzana jest mechanicznie, wyposażona m.in. w siłomierz, uchwyty zaciskowe i rejestrator. Podczas badania maszyna utrzymywała stałą prędkość przemieszczania trawersy ruchomej (50 ± 5 mm/min). Po uruchomieniu maszyny rejestrowano siłę [N], podczas oddzielania warstw, na odcinku możliwie najdłuższym, jednak nie krótszym niż 100 mm.



Figure 8. Shimadzu AG-X plus 10 KN testing machine with SLBL-500 N0 testing head
Rycina 8. Maszyna wytrzymałościowa Shimadzu AG-X plus 10 KN z głowicą SLBL-500 N0
Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

The calculation of the results of the delamination strength of the tested materials was performed by determining the median peak, which was determined in accordance with PN-ISO 6133:2017-06 method B [10] based on force-time dependence plots of the test recorded.

Obliczenie wyników badań wytrzymałości na rozwarstwianie testowanych materiałów wykonano za pomocą wyznaczenia mediany pików, która została wyznaczona zgodnie z PN-ISO 6133:2017-06 metodą B [10] na podstawie wykresów zależności siły od czasu, w którym rejestrowano badanie.

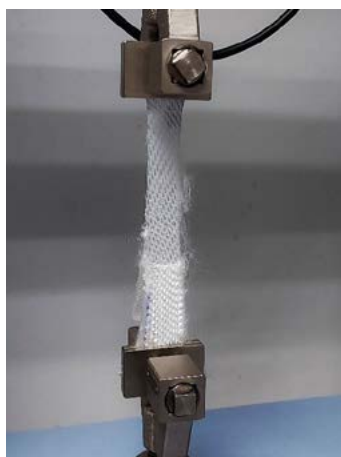


Figure 9. Sample of hose tape fixed in the grips of the testing machine
Rycina 9. Próbkę taśmy węzowej zamocowaną w uchwytach maszyny wytrzymałościowej

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

The test results obtained from each cycle were subjected to the Dixon test to eliminate gross error. Corrections from the calibration certificates were then applied to the results and the average measurement result for the test cycle was determined. The scatter of the test cycle results, as measured by the standard deviation, was also calculated and the measurement uncertainty was estimated. By testing the exposure of the hose tape samples to UV light for 90 min, at $38 \pm 3^\circ\text{C}$, without water spray, and then treating the samples with water for 30 min, at $50 \pm 10\%$ humidity, the following results were obtained:

- for hose tape samples subjected to 100 cycles, a mean value for delamination resistance of 2.42 ± 0.39 N/mm was obtained with a confidence level of 95% compound uncertainty (the expansion factor k was 2) and a scatter of results of 0.20 N/mm;
- after 200 cycles, a mean value for delamination resistance of 2.36 ± 0.53 N/mm was obtained with a confidence level of 95% complex uncertainty (the coverage factor k was 2) and a scatter of results of 0.25 N/mm;
- after 300 cycles, a mean value for delamination resistance of 1.82 ± 0.67 N/mm was obtained with a confidence level of 95% complex uncertainty (the expansion factor k was 2) and a scatter of results of 0.32 N/mm;
- after 400 cycles, a mean value for delamination resistance of 1.61 ± 0.35 N/mm was obtained with a confidence level of 95% complex uncertainty (the expansion factor k was 2) and a scatter of results of 0.17 N/mm;
- after 500 cycles, a mean value for delamination resistance of 1.40 ± 0.28 N/mm was obtained with a confidence level of 95% complex uncertainty (coverage factor k was 2) and a scatter of results of 0.13 N/mm.

The Dixon test, to which the results obtained in each cycle were subjected, did not reveal the presence of coarse error and thus all the measurement data obtained were subjected to further analysis.

Otrzymane z każdego cyklu wyniki badań poddano testowi Dixona celem wyeliminowania błędu grubego. Następnie do wyników wprowadzono poprawki ze świadectw wzorcowania i określono średni wynik pomiaru dla cyklu badań. Obliczono również rozrzut wyników cyklu badań, którego miarą jest odchylenie standardowe oraz oszacowano niepewność pomiaru. Realizując badania ekspozycji próbek taśmy węzowej na oddziaływanie promieniowania UV przez 90 min, w temperaturze $38 \pm 3^\circ\text{C}$, bez zraszania wodą, a następnie poddając próbki działaniu wody przez 30 min, przy wilgotności $50 \pm 10\%$, otrzymano następujące wyniki:

- dla próbek taśmy węzowej poddanej 100 cyklom uzyskano średnią wartość wytrzymałości na rozwarstwienie równą $2,42 \pm 0,39$ N/mm przy poziomie ufności 95% niepewności złożonej (współczynnik rozszerzenia k wyniósł 2) oraz rozrzut wyników 0,20 N/mm;
- po 200 cyklach uzyskano średnią wartość wytrzymałości na rozwarstwienie równą $2,36 \pm 0,53$ N/mm przy poziomie ufności 95% niepewności złożonej (współczynnik rozszerzenia k wyniósł 2) oraz rozrzut wyników 0,25 N/mm;
- po 300 cyklach uzyskano średnią wartość wytrzymałości na rozwarstwienie równą $1,82 \pm 0,67$ N/mm przy poziomie ufności 95% niepewności złożonej (współczynnik rozszerzenia k wyniósł 2) oraz rozrzut wyników 0,32 N/mm;
- po 400 cyklach, uzyskano średnią wartość wytrzymałości na rozwarstwienie równą $1,61 \pm 0,35$ N/mm przy poziomie ufności 95% niepewności złożonej (współczynnik rozszerzenia k wyniósł 2) oraz rozrzut wyników 0,17 N/mm;
- po 500 cyklach, uzyskano średnią wartość wytrzymałości na rozwarstwienie równą $1,40 \pm 0,28$ N/mm przy poziomie ufności 95% niepewności złożonej (współczynnik rozszerzenia k wyniósł 2) oraz rozrzut wyników 0,13 N/mm.

Test Dixona, któremu poddano uzyskane w każdym cyklu wyniki, nie ujawnił występowania błędu grubego i tym samym wszystkie uzyskane dane pomiarowe były poddane dalszej analizie.

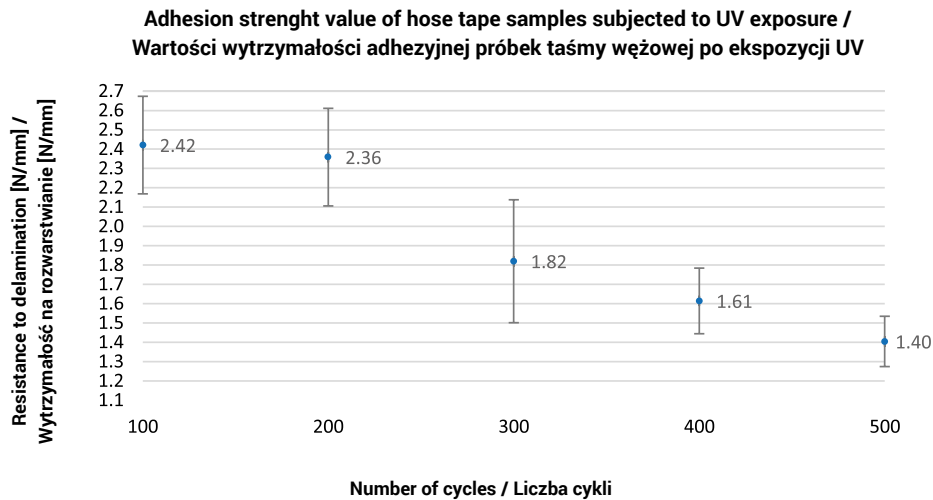


Figure 10. Graph of the dependence of the delamination strength of firefighting hoses on the number of cycles of exposure to UV radiation and water
Rycina 10. Wykres zależności wytrzymałości na rozwarstwianie pożarniczych węży tłocznych do liczby cykli poddania ekspozycji na promieniowanie UV oraz działanie wody

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Exposure of the specimens to successive wet and dry stages resulted in rupture of the inner layer (PVC) of one of the specimens during delamination tests: after 300 cycles and after 400 cycles.

W wyniku ekspozycji próbek na oddziaływanie następujących po sobie etapów mokrego i suchego nastąpiło zerwanie warstwy wewnętrznej (PVC) jednej z próbek podczas badań rozwarstwiania: po 300 cyklach oraz po 400 cyklach.



Figure 11. Example of a hose tape sample subjected to a delamination force test, the PVC inner lining of which has ruptured

Rycina 11. Przykładowa próbka taśmy węzowej poddana badaniu siły rozwarstwienia, której wykładzina wewnętrzna wykonana z PVC uległa zerwaniu

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

The appearance of the specimens during the UV exposure tests of the hose tape specimens, during consecutive dry (simulated drying conditions, without water spray, for 90 min, at $38 \pm 3^\circ\text{C}$) and wet (water exposure for 30 min, at $50 \pm 10\%$ humidity) stages, is shown below. The sample numbered '0' shows a reference

Poniżej przedstawiono wygląd próbek w trakcie realizacji badań ekspozycji próbek taśmy węzowej na oddziaływanie promieniowania UV, podczas następujących po sobie etapów suchego (symulacja warunków suszenia, bez zraszania wodą, przez 90 min, w temperaturze $38 \pm 3^\circ\text{C}$) i mokrego (działaniu wody przez

sample, not subjected to ageing tests; samples numbered '1' to '5' illustrate samples subjected to 100, 200, 300, 400, 500 test cycles respectively, according to the parameters described above. Visually, it was observed that the interior lining changes colour to shades of yellow, the intensity of which increases with increasing number of cycles and exposure time to the test conditions. Poly(vinyl chloride) shows sensitivity to light. When exposed to electromagnetic radiation with a wavelength greater than 250 nm, in the presence of oxygen or nitrogen, dechlorination occurs, i.e. the PVC chain is broken and the hydrogen chloride molecules are cleaved, resulting in the formation of new double bonds. The conjugated polyenes absorb in the visible range, which is the cause of the yellow colouring of the materials. This is a negative phenomenon, leading to degradation of the PVC chain [12]. The intensity of the PVC colour increases with the degree of HCl elimination from the chain and the consequent formation of conjugated double bonds. The polluted environment favours the formation of conjugated double bonds under NO_2 and O_3 [13]. Therefore, the longer the inner lining (made of PVC) of the hose tape was exposed to UV light, the more intense the yellow colouration became – this is illustrated by the samples shown in Figure 12.

30 min, przy wilgotności $50 \pm 10\%$). Próbkę oznaczoną jako „0” ukazuje próbkę referencyjną, niepoddaną badaniom starzeniowym; próbki o numerach od „1” do „5” obrazują próbki poddane odpowiednio 100, 200, 300, 400, 500 cyklom testowania, według parametrów opisanych powyżej. Od strony wizualnej zaobserwowano, że wykładzina wewnętrzna zmienia barwę na odcienie koloru żółtego, których intensywność zwiększa się wraz z rosnącą liczbą cykli i czasu ekspozycji na warunki panujące podczas badania. Poli(chlorek winylu) wykazuje wrażliwość na działanie światła. Pod wpływem promieniowania elektromagnetycznego o długości fali wyższej niż 250 nm, w obecności tlenu lub azotu, następuje zjawisko odchlorowodorowania, czyli rozerwanie łańcucha PVC i odszczepienie cząsteczek chlorowodoru, w wyniku czego powstają nowe wiązania podwójne. Sprzężone polieny absorbują w zakresie widzialnym, co jest przyczyną zabarwienia materiałów na żółto. Jest to zjawisko negatywne, prowadzące do degradacji łańcucha PVC [12]. Intensywność zabarwienia PVC wzrasta wraz ze stopniem eliminacji HCl z łańcucha i w konsekwencji tworzenia się sprzężonych wiązań podwójnych. Zanieczyszczone środowisko sprzyja powstawaniu sprzężonych wiązań podwójnych pod wpływem NO_2 i O_3 [13]. Dlatego im dłużej wykładzina wewnętrzna (wykonana z PVC) taśmy węzowej zostawała poddawana działaniu promieniowania UV, tym żółte zabarwienie stawało się bardziej intensywne – obrazują to próbki ukazane na rycinie 12.



Figure 12. Change in appearance of inner lining of hose tape samples
Rycina 12. Zmiana w wyglądzie wykładziny wewnętrznej próbek taśmy węzowej

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Analysis was carried out microscopically, of the surface constituting the adhesive layer connecting the braid and inner lining of the hose tape under test. Surface changes were observed using an Olympus optical microscope (model BX51), and photographs were taken (at 10x magnification) of sections of the surface of samples subjected to 100, 200, 300, 400, 500 cycles of testing of successive dry (simulated drying conditions, without water spray, for 90 min, at $38 \pm 3^\circ\text{C}$) and wet (exposure to water for 30 min, at $50 \pm 10\%$ humidity) stages, respectively. The results are shown below.

Dokonano analizy mikroskopowej powierzchni stanowiącej warstwę kleju łączącego oplot i wykładzinę wewnętrzną badanej taśmy węzowej. Przeprowadzono obserwację zmian powierzchni za pomocą mikroskopu optycznego Olympus (model BX51), a następnie wykonano zdjęcia (przy powiększeniu 10x) fragmentów powierzchni próbek poddanych odpowiednio 100, 200, 300, 400, 500 cyklom testowania następujących po sobie etapów suchego (symulacja warunków suszenia, bez zraszania wodą, przez 90 min, w temperaturze $38 \pm 3^\circ\text{C}$) i mokrego (działaniu wody przez 30 min, przy wilgotności $50 \pm 10\%$). Wyniki przedstawiono poniżej.



Figure 13. Photograph of the adhesive surface on the inner lining (PVC) of a reference sample, not exposed to UV light
Rycina 13. Zdjęcie powierzchni kleju na wykładzinie wewnętrznej (PVC) próbki referencyjnej, nie poddanej ekspozycji na oddziaływanie promieniowania UV

Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

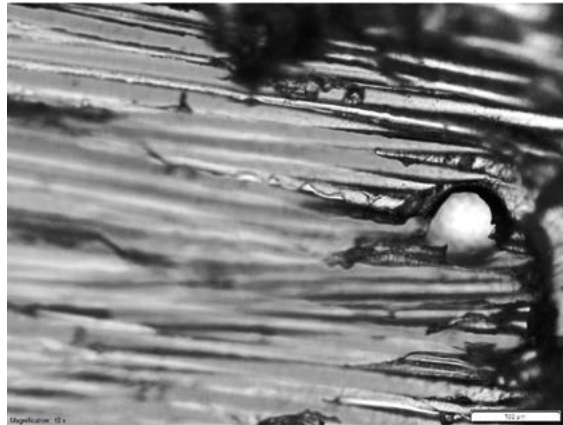


Figure 14. Photograph of the adhesive surface on the inner lining (PVC) of a sample subjected to 100 cycles during UV exposure
Rycina 14. Zdjęcie powierzchni kleju na wykładzinie wewnętrznej (PVC) próbki poddanej 100 cyklom podczas ekspozycji na oddziaływanie promieniowania UV

Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

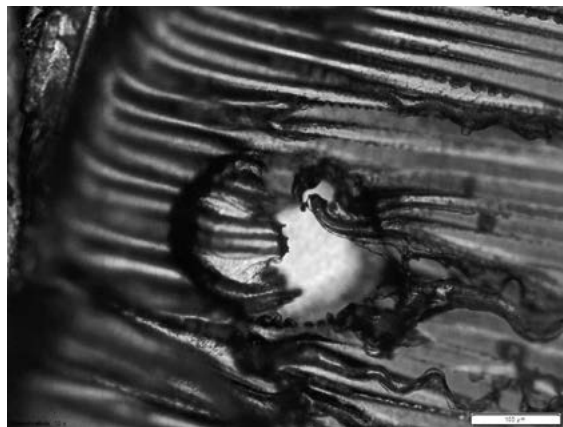


Figure 15. Photograph of the adhesive surface on the inner lining (PVC) of a sample subjected to 200 cycles during UV exposure
Rycina 15. Zdjęcie powierzchni kleju na wykładzinie wewnętrznej (PVC) próbki poddanej 200 cyklom podczas ekspozycji na oddziaływanie promieniowania UV

Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

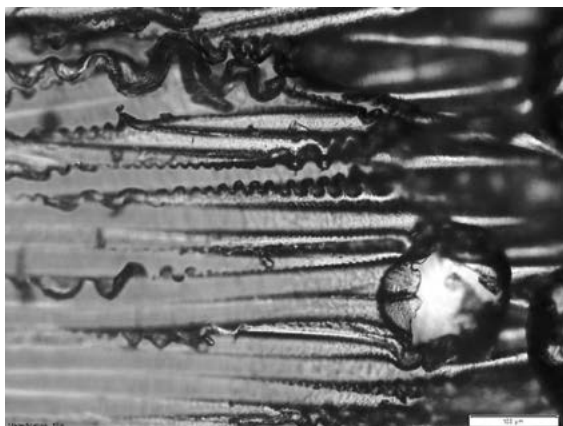


Figure 16. Photograph of the adhesive surface on the inner lining (PVC) of a sample subjected to 300 cycles during UV exposure
Rycina 16. Zdjęcie powierzchni kleju na wykładzinie wewnętrznej (PVC) próbki poddanej 300 cyklom podczas ekspozycji na oddziaływanie promieniowania UV

Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

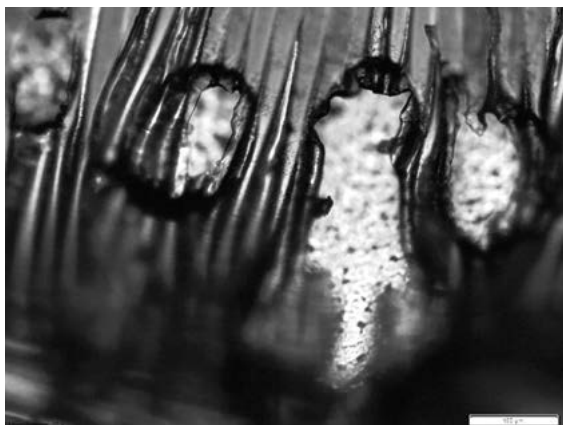


Figure 17. Photograph of the adhesive surface on the inner lining (PVC) of a sample subjected to 400 cycles during UV exposure
Rycina 17. Zdjęcie powierzchni kleju na wykładzinie wewnętrznej (PVC) próbki poddanej 400 cyklom podczas ekspozycji na oddziaływanie promieniowania UV

Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

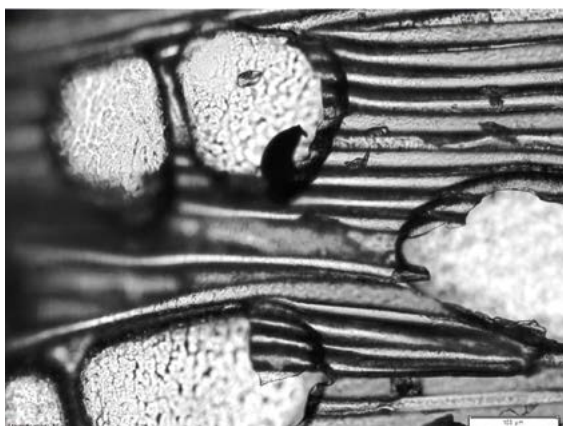


Figure 18. Photograph of the adhesive surface on the inner lining (PVC) of a sample subjected to 500 cycles during UV exposure
Rycina 18. Zdjęcie powierzchni kleju na wykładzinie wewnętrznej (PVC) próbki poddanej 500 cyklom podczas ekspozycji na oddziaływanie promieniowania UV

Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

During the analysis, it was observed that the image of the sample of the adhesive surface on the inner lining (PVC) of the reference sample, not exposed to UV light, differed from the images of the samples that were exposed to the aforementioned exposure. The UV-exposed specimens show areas of discontinuity in the bonding of the adhesive to the PVC lining, which are shaped like bubbles. Their number increases as the number of cycles increases.

Effects of the extinguishing foaming agent – preliminary tests

For firefighting and fire protection, among other things, fire extinguishing foam agent is commonly used to produce foam by mixing with water, at a certain concentration – 3% or 6%. A significant amount of foam is produced during such firefighting activities. In this situation, the firefighting hoses used by firefighters very often come into direct contact with the extinguishing foaming agents. In the first case, by immersion in foam – which case the hose tape braid is exposed from the outside to the foam produced from the aqueous solution of the foam extinguishing agent. And in the second case, when the interior lining is subjected to the action of an aqueous foam-forming agent solution, when fed to foam generators or nozzles during

Podczas analizy zaobserwowano, że obraz próbki powierzchni kleju na wykładzinie wewnętrznej (PVC) próbki referencyjnej niepoddanej ekspozycji na oddziaływanie promieniowania UV różni się od obrazów próbek, które zostały poddane wspomnianej ekspozycji. W przypadku próbek poddanych ekspozycji na oddziaływanie promieniowania UV widoczne są obszary nieciągłości w przyczepności kleju do wykładziny wykonanej z PVC, które kształtem przypominają pęcherzyki. Ich ilość zwiększa się wraz ze wzrostem liczby cykli.

Oddziaływanie gaśniczego środka pianotwórczego – próby wstępne

Do gaszenia pożarów oraz do ochrony przeciwpożarowej powszechnie stosuje się m.in. gaśniczy środek pianotwórczy, który służy do wytwarzania piany poprzez zmieszanie się z wodą, w określonym stężeniu – 3% lub 6%. Podczas działań z jego użyciem wytwarza się znaczna ilość piany. W takiej sytuacji stosowane przez strażaków pożarnicze węże tłoczne bardzo często mają bezpośredni kontakt z gaśniczymi środkami pianotwórczymi. W pierwszym przypadku poprzez zanurzenie w pianie – wówczas opłot taśmy węzowej narażony jest od zewnątrz na działanie piany wytworzonej z roztworu wodnego gaśniczego środka pianotwórczego. A także w drugim przypadku, kiedy wykładzina wewnętrzna poddawana jest oddziaływaniu wodnego roztworu środka pianotwórczego, przy podawaniu go do wytwornic lub prądownic pianowych podczas gaszenia.



Figure 19. Foam produced from a solution of foaming extinguishing agent
Rycina 19. Piana wytworzona z roztworu pianotwórczego środka gaśniczego

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

This part of the research was designed to test the effect of the aqueous foaming agent solution on the hose tape braid (from the outside) and on the inner liner (from the inside). To begin with, an aqueous solution of 3% extinguishing foaming agent was

Niniejsza część badań miała na celu sprawdzenie oddziaływania roztworu wodnego środka pianotwórczego na opłot taśmy węzowej (od zewnątrz) oraz na wykładzinę wewnętrzną (od wewnątrz). Na wstępie, w naczyniu sporządzono roztwór wodny

prepared in a vessel. A synthetic foaming extinguishing agent was used to prepare the mixture, which is a homogeneous, transparent mixture of surfactants with a characteristic odour and colour – from blue to green. Chemically, it is a water-alcohol solution of surfactants, a hydrotropic substance, a corrosion inhibitor and a foam stabiliser. As the main physicochemical properties, it is worth mentioning the density of $1.043 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$ (at 20°C), $\text{pH} = 6.5 \pm 9$ (at 20°C), easily biodegradable [9]. Tests were accounted for by number of days, meaning that delamination force tests of the hose tape samples were performed at different intervals. A series of samples were tested prior to immersion of the hose tape fragments, the results of which allowed an average adhesion strength value to be established as a reference value. A further batch of specimens was then tested after a period of 3 weeks, with the result of an average delamination strength value. Measurements were made for a series of wet samples, as well as a series of samples that had been dried (24 h after removal from solution). The degree of drying was checked using the weight method. After each time sequence, it was checked how the delamination (adhesion) strength value changed and what trends were shown. Activities such as the preparation of the specimens for measurement, the test apparatus, the determination of adhesion forces, the statistical analysis of the results obtained and the calculation of delamination strengths (methodologies) were followed analogously to the testing of the UV-exposed specimens.

When testing the exposure of hose tape samples to a 3% aqueous solution of foaming agent, the following results were obtained:

- for the hose tape samples as reference, i.e. not treated with the above solution, an average delamination strength of $2.13 \pm 0.33 \text{ N/mm}$ was obtained with a confidence level of 95% complex uncertainty (the coverage factor k was 2) and a scatter of the results of 0.16 N/mm ;
- for hose tape samples as a reference, i.e. not treated with the above solution but subjected to a natural ageing process under laboratory conditions ($T = 23 \pm 2^\circ\text{C}$, humidity $50 \pm 10\%$) for 6 weeks, an average delamination strength of $2.12 \pm 0.5 \text{ N/mm}$ was obtained with a confidence level of 95% complex uncertainty (the coverage factor k was 2) and a scatter of the results of 0.25 N/mm ;
- for wet hose tape samples tested after 1 week in the above solution, a mean value for delamination resistance of $1.62 \pm 0.52 \text{ N/mm}$ was obtained with a confidence level of 95% compound uncertainty (the coverage factor k was 2) and a scatter of the results of 0.26 N/mm ;
- for wet hose tape samples tested after 3 weeks in the above solution, an average delamination strength of $1.44 \pm 0.3 \text{ N/mm}$ was obtained with a confidence level of 95% complex uncertainty (the coverage factor k was 2) and a scatter of the results of 0.15 N/mm ;
- for wet hose tape specimens tested after 6 weeks in the above solution, an average delamination strength of $1.20 \pm 0.3 \text{ N/mm}$ was obtained with a confidence level of 95% complex uncertainty (the coverage factor k was 2) and a scatter of the results of 0.15 N/mm ;

zawierający gaśniczy środek pianotwórczy w stężeniu równym 3%. Do przygotowania mieszaniny użyto syntetycznego pianotwórczego środka gaśniczego, który stanowi jednorodną, przezroczystą mieszaninę związków powierzchniowo-czynnych o charakterystycznym zapachu oraz barwie – od niebieskiej do zielonej. Pod względem chemicznym jest to wodnoalkoholowy roztwór środków powierzchniowo-czynnych, substancji hydrotropowej, inhibitora korozji i stabilizatora piany. Jako główne właściwości fizykochemiczne warto wymienić gęstość równą $1,043 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$ (w temperaturze 20°C), $\text{pH} = 6,5 \pm 9$ (w temperaturze 20°C), łatwo biodegradowalny [9]. W tak przygotowanej mieszaninie umieszczono fragmenty taśmy węzowej, ze starannością o to, aby odcinki w całości były zanurzone w cieczy oraz aby docierała ona do wnętrza taśmy węzowej.

Testy rozliczono na liczbę dni, co oznacza, że badania siły rozwarstwienia próbek taśmy węzowej wykonywano w różnych odstępach czasu. Przed zanurzeniem fragmentów taśmy węzowej przebadano serię próbek, których wyniki pozwoliły ustalić średnią wartość wytrzymałości adhezyjnej jako wartość odniesienia. Następnie po upływie 3 tygodni przebadano kolejną partię próbek, uzyskując wynik średniej wartości wytrzymałości na rozwarstwienie. Pomiarów dokonano dla serii próbek mokrych, a także serii próbek, które uległy wysuszeniu (po 24 h od wyjęcia z roztworu). Sprawdzenia stopnia wysuszenia dokonano metodą wagową. Po każdej sekwencji czasu sprawdzano, jak zmienia się wartość wytrzymałości na rozwarstwienie (adhezyjnej) i jakie tendencje są wykazywane. W przypadku takich czynności jak: przygotowanie próbek do pomiarów, aparatura do badań, wyznaczenie sił adhezyjnych, analiza statystyczna otrzymanych wyników, oraz obliczenie wytrzymałości na rozwarstwianie (metodyki) postępowano analogicznie, jak w przypadku badań próbek poddanych ekspozycji na działanie promieniowania UV.

Realizując badania ekspozycji próbek taśmy węzowej na oddziaływanie 3-procentowego roztworu wodnego środka pianotwórczego, otrzymano następujące wyniki:

- dla próbek taśmy węzowej jako referencji, tzn. nie poddanych działaniu ww. roztworu, uzyskano średnią wartość wytrzymałości na rozwarstwienie równą $2,13 \pm 0,33 \text{ N/mm}$ przy poziomie ufności 95% niepewności złożonej (współczynnik rozszerzenia k wyniósł 2) oraz rozrzut wyników wynoszący $0,16 \text{ N/mm}$;
- dla próbek taśmy węzowej jako referencji, tzn. nie poddanych działaniu ww. roztworu, ale poddanych naturalnemu procesowi starzenia w warunkach laboratoryjnych ($T = 23 \pm 2^\circ\text{C}$, wilgotności $50 \pm 10\%$) w czasie 6 tygodni uzyskano średnią wartość wytrzymałości na rozwarstwienie równą $2,12 \pm 0,5 \text{ N/mm}$ przy poziomie ufności 95% niepewności złożonej (współczynnik rozszerzenia k wyniósł 2) oraz rozrzut wyników wynoszący $0,25 \text{ N/mm}$;
- dla mokrych próbek taśmy węzowej sprawdzonych po 1 tygodniu przebywania w ww. roztworze, uzyskano średnią wartość wytrzymałości na rozwarstwienie równą $1,62 \pm 0,52 \text{ N/mm}$ przy poziomie ufności 95% niepewności złożonej (współczynnik rozszerzenia k wyniósł 2) oraz rozrzut wyników wynoszący $0,26 \text{ N/mm}$;
- dla mokrych próbek taśmy węzowej sprawdzonych po

- for dried hose tape samples tested after 3 weeks in the above solution, an average delamination strength of 1.93 ± 0.31 N/mm was obtained with a confidence level of 95% compound uncertainty (the coverage factor k was 2) and a scatter of the results of 0.15 N/mm;
- for dried hose tape samples tested after 6 weeks in the above solution, an average delamination strength of 1.84 ± 0.34 N/mm was obtained with a confidence level of 95% compound uncertainty (the coverage factor k was 2) and a scatter of the results of 0.17 N/mm.

The Dixon test, to which the obtained results for each cycle were subjected, did not reveal the presence of coarse error and thus all the obtained measurement data were subjected to further analysis.

3 tygodniach przebywania w ww. roztworze uzyskano średnią wartość wytrzymałości na rozwarstwienie równą $1,44 \pm 0,3$ N/mm przy poziomie ufności 95% niepewności złożonej (współczynnik rozszerzenia k wyniósł 2) oraz rozrzut wyników wynoszący 0,15 N/mm;

- dla mokrych próbek taśmy węzowej sprawdzonych po 6 tygodniach przebywania w ww. roztworze uzyskano średnią wartość wytrzymałości na rozwarstwienie równą $1,20 \pm 0,3$ N/mm przy poziomie ufności 95% niepewności złożonej (współczynnik rozszerzenia k wyniósł 2) oraz rozrzut wyników wynoszący 0,15 N/mm;
- dla wysuszonych próbek taśmy węzowej sprawdzonych po 3 tygodniach przebywania w ww. roztworze uzyskano średnią wartość wytrzymałości na rozwarstwienie równą $1,93 \pm 0,31$ N/mm przy poziomie ufności 95% niepewności złożonej (współczynnik rozszerzenia k wyniósł 2) oraz rozrzut wyników wynoszący 0,15 N/mm;
- dla wysuszonych próbek taśmy węzowej sprawdzonych po 6 tygodniach przebywania w ww. roztworze uzyskano średnią wartość wytrzymałości na rozwarstwienie równą $1,84$ N/mm. $\pm 0,34$ N/mm przy poziomie ufności 95% niepewności złożonej (współczynnik rozszerzenia k wyniósł 2) oraz rozrzut wyników wynoszący 0,17 N/mm.

Test Dixona, któremu poddano uzyskane w każdym cyklu wyniki, nie ujawnił występowania błędu grubego i tym samym wszystkie uzyskane dane pomiarowe były poddane dalszej analizie.

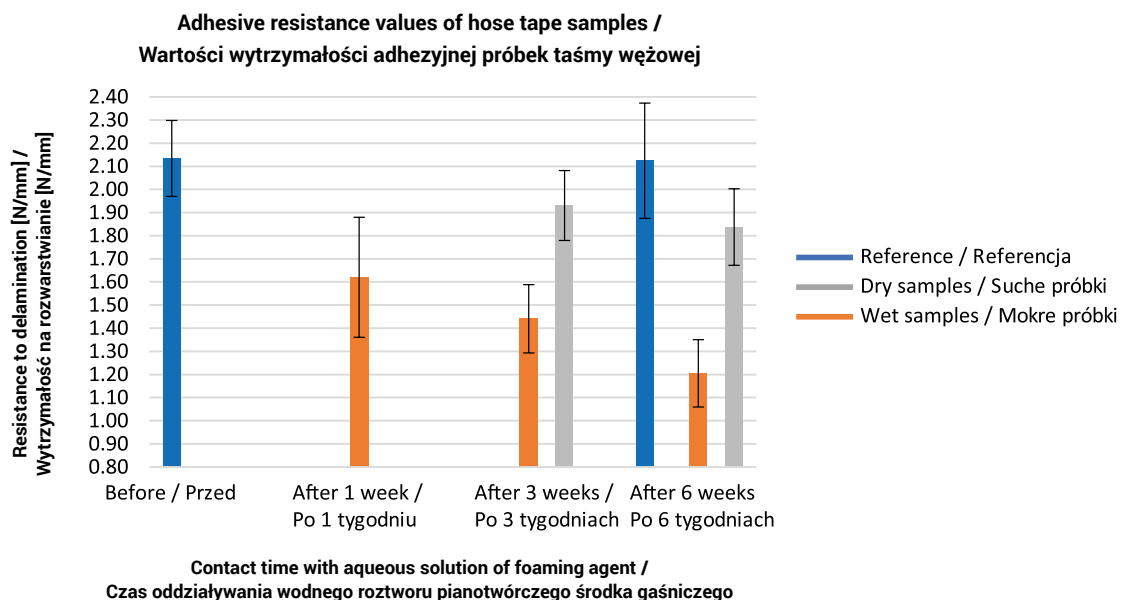


Figure 20. Diagram of the dependence of the delamination resistance of firefighting hoses on the time of exposure to the aqueous solution of the foaming agent

Rycina 20. Wykres zależności wytrzymałości na rozwarstwienie pożarniczych węży tłocznych do czasu ekspozycji na działanie wodnego roztworu środka pianotwórczego

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Conclusions

This article addresses issues concerning the durability of selected technical equipment used in fire protection units, such as firefighting hoses. Aging tests were carried out on samples of hose tape, which consists of an inner lining made of PVC, as well as an outer layer made of polyester.

When testing the exposure of a series of hose tape samples to UV light (for 90 min, at $38 \pm 3^\circ\text{C}$, without water spray, followed by water exposure for 30 min, at $50 \pm 10\%$ humidity), decreasing trends were observed for the average delamination forces. It has been proven that delamination force values decrease as the number of cycles increases. The one cycle presented in the research was intended to replicate rescue and firefighting operations lasting 120 minutes. A total of 500 cycles were carried out, so calculations indicate that 500 fire actions were simulated, giving a total of 1,000 hours of rescue and firefighting operations. This leads to the conclusion that the longer a firefighting hose is in the conditions mentioned above, its strength decreases as the number of firefighting actions in which it is used increases. However, even after 1000 h it still retains its performance characteristics.

When testing a series of specimens exposed to an aqueous foaming agent solution on the hose tape – both externally and internally – a decreasing trend was observed for the adhesion force values. The delamination force values for the samples that were immersed in the aforementioned solution were shown to decrease with time, while the average delamination force values for the samples not in solution remained the same, considering (in the latter) a time lapse of 6 weeks. When comparing the average values of the forces occurring during the tests for dried and wet specimens, it was noted that the specimens that were wet during the test showed lower values of adhesive forces. This may mean that the hose tape is more susceptible to damage.

An analysis of the effects of the tested factors, such as UV exposure as well as contact with the extinguishing agent solution, negatively affects the hose tape, reducing its strength, which was proven in the results of the measurements taken. The effect of UV exposure of the hose tape was also shown to be visually noticeable, both at a level visible to the naked eye and with the aid of an optical microscope, which gave evidence of irreversible changes in the structure of the adhesive layer.

When formulating conclusions, it should be borne in mind that the authors have made preliminary attempts to determine the influence of external factors on the strength and durability of firefighting hoses used in fire protection units, and the research described in this article is only an assumption of simulation of the real conditions of use of firefighting hoses during rescue and firefighting operations carried out by firefighters. The durability of products in actual use can vary much more, due to the differences in atmospheric conditions prevailing in different areas of Poland during rescue and firefighting operations. The following should be taken into account: ambient temperatures and humidity, moisture time, contamination and other factors. However, the essential issue seems to be the use by the manufacturers of high-quality materials for the production of firefighting hoses (braid, inner liner, adhesive) and careful production of the product,

Wnioski

W niniejszym artykule poruszone zostały problemy dotyczące wytrzymałości wybranego sprzętu technicznego stosowanego w jednostkach ochrony przeciwpożarowej, jakim są pożarnicze węże tłoczne. Przeprowadzono badania starzeniowe próbek taśmy węzowej, składającej się z wykładziny wewnętrznej wykonanej z PVC, a także warstwy zewnętrznej z poliestru.

Podczas badania ekspozycji serii próbek taśmy węzowej na oddziaływanie promieniowania UV (przez 90 min, w temperaturze $38 \pm 3^\circ\text{C}$, bez zraszania wodą, a następnie działaniu wody przez 30 min, przy wilgotności $50 \pm 10\%$) zaobserwowano tendencje spadkowe w przypadku średnich wartości sił rozwarstwienia. Dowiedziono, że wartości siły rozwarstwienia zmniejszają się wraz ze wzrostem liczby cykli. Przedstawiony w badaniach jeden cykl miał na celu odwzorować działania ratowniczo-gaśnicze trwające 120 minut. Sumarycznie przeprowadzono 500 cykli, zatem wyliczenia wskazują na wykonanie symulacji 500 akcji pożarniczych, co daje łącznie 1000 h działań ratowniczo-gaśniczych. Nasuwa się wniosek, iż im dłużej wąż pożarniczy znajduje się w wyżej wymienionych warunkach, tym jego wytrzymałość zmniejsza się wraz ze wzrostem liczby akcji gaśniczych, w których jest używany. Jednak nawet po 1000 h w dalszym ciągu zachowuje swoje parametry użytkowe.

Podczas badania serii próbek poddanych oddziaływaniu roztworu wodnego środka pianotwórczego na taśmę węzową – zarówno od zewnątrz, jak i od wewnątrz – zaobserwowano tendencje spadkowe w przypadku wartości siły adhezyjnej. Udowodniono, że wartości siły rozwarstwienia dla próbek, które były zanurzone w ww. roztworze, zmniejszają się z upływem czasu, podczas gdy średnie wartości siły rozwarstwienia dla próbek nieprzebywających w roztworze pozostały na tym samym poziomie, biorąc po uwagę (w tych ostatnich) upływ czasu równy 6 tygodni. Porównując średnie wartości sił występujących podczas badań w przypadku próbek wysuszonych i mokrych, zauważono, że próbki, które podczas badania były mokre, wykazywały niższe wartości sił adhezyjnych. Może to oznaczać większą podatność taśmy węzowej na uszkodzenia.

Badane czynniki, jak ekspozycja na promieniowanie UV, a także kontakt z roztworem gaśniczego środka pianotwórczego negatywnie wpływają na taśmę węzową, zmniejszając jej wytrzymałość, co udowodniono w wynikach wykonanych pomiarów. Wykazano, że wpływ ekspozycji taśmy węzowej na promieniowanie UV jest zauważalny również pod względem wizualnym, zarówno na poziomie widocznym gołym okiem, jak i za pomocą mikroskopu optycznego, co dało dowód zajścia nieodwracalnych zmian w strukturze warstwy kleju.

Formułując wnioski, należy mieć na uwadze fakt, iż autorzy podjęli wstępne próby określenia wpływu czynników zewnętrznych na wytrzymałość i trwałość pożarniczych węży tłocznych stosowanych w jednostkach ochrony przeciwpożarowej, a badania opisane w niniejszym artykule stanowią tylko założenie symulacji rzeczywistych warunków użytkowania pożarniczych węży tłocznych podczas działań ratowniczo-gaśniczych prowadzonych przez strażaków. Trwałość wyrobów w rzeczywistych warunkach użytkowania może być dużo bardziej zróżnicowana, ze względu na różnice

such as even distribution of the adhesive connecting the braid to the inner liner. On the other hand, it seems indisputable that the attempts made to test firefighting hoses in terms of the strength of the materials from which they are made is undoubtedly an issue worthy of further study. Moving in the direction of increasing the durability of the hose tape and, consequently, its resistance not only in difficult, but very often extreme, conditions in the fire danger zone, leads to the failure-free operation of firefighting hoses and much better performance in the extremely dangerous environment of the firefighter.

w warunkach atmosferycznych panujących w różnych obszarach Polski podczas działań ratowniczo-gaśniczych. Pod uwagę należy wziąć: temperatury i wilgotność otoczenia, czas zawilgocenia, zanieczyszczenia oraz inne czynniki. Jednak zasadniczą kwestią wydaje się zastosowanie przez producentów materiałów wysokiej jakości do produkcji pożarniczych węży tłocznych (oplot, wykładzina wewnętrzna, klej) i staranne wykonanie wyrobu, np. równomierne rozprowadzenie kleju łączącego opłot z wykładziną wewnętrzną. Natomiast bezdyskusyjnym wydaje się być fakt, iż podjęte próby badań pożarniczych węży tłocznych pod kątem wytrzymałości materiałów, z których są wykonane, niewątpliwie stanowią zagadnienie warte dalszej analizy. Podążanie w kierunku zwiększania wytrzymałości taśmy węzowej, a co za tym idzie, jej odporności nie tylko w trudnych, ale bardzo często ekstremalnych warunkach w strefie zagrożenia pożarem, prowadzi do bezawaryjności pożarniczych węży tłocznych oraz znacznie lepszej efektywności działania w niezwykle niebezpiecznym środowisku pracy strażaka.

Literature / Literatura

- [1] Głowska S., Lemańska K., *Przegląd, zastosowanie i tendencje rozwojowe armatury pożarniczej*, BiTP Vol. 30, Issue 2, 2013, pp. 91–99.
- [2] Sicking L.P., *Wildland Fire Hose Guide*, Technology & Development Center, 1995.
- [3] Murphy J.J., Gates P.Ch., Scangas Ch.A., Donovan J.T., *An Analysis of Modern Day Fire Attack Hose*, WPI 2017.
- [4] Schwartz G., *Jan van der Heyden and the Huydecopers of Maarsseveen*, „The J. Paul Getty Museum Journal”, 1983, 11, 197–200.
- [5] Young Ch.F., *Fires, Fire Engines, and Fire Brigades: With a History of Manual and Steam Fire Engines, Their Construction, Use and Management: with Numerous Illustrations*, Lockwood & Company, 1866.
- [6] Załącznik do rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 27.04.2010 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także zasad wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania (Dz. U. 2010, Nr 85, poz. 553).
- [7] Przybylski K., Wejman M., *Identyfikacja zagrożeń na stanowiskach pracy strażaków zawodowych*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej” 2013, 59, 69–84.
- [8] PN-EN ISO 8033:2017-03. Węże z gumy i z tworzyw sztucznych – Oznaczanie adhezji między warstwami, 14.03.2017.
- [9] Karta charakterystyki produktu Roteor M Premium (Pianotwórczy środek gaśniczy) [dostęp: 25 10 2023].
- [10] PN-ISO 6133:2017-06 Guma i tworzywa sztuczne – Analizy wielopikowych wykresów uzyskanych podczas oznaczania wytrzymałości na rozdzielanie i wytrzymałości adhezyjnej, 30.08.2017.
- [11] PN-EN ISO 4892-2:2013-06 Tworzywa sztuczne – Metody ekspozycji na laboratoryjne źródła światła – Część 2: Lampy ksenonowe łukowe, 26.06.2013.
- [12] Decker Ch., Balandier M., *Degradation of poly(vinyl chloride) by U.V. radiation—I. Kinetics and quantum yields*, „European Polymer Journal” 1982, 18, 12, 1085–1091, [https://doi.org/10.1016/0014-3057\(82\)90209-9](https://doi.org/10.1016/0014-3057(82)90209-9).
- [13] Cucci C., Garcia O., Piantanida G., Elnaggar A., Cassar M., Strlic M., Pastorelli G., *Environmentally induced colour change during natural degradation of selected polymers*, „Polymer Degradation and Stability” 2013, 107, 198–209, <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.11.007>.

KAROLINA DWÓRSKA, M.SC. ENG. – a graduate of the Faculty of Chemistry at the Warsaw University of Technology. Employee of Laboratory of Fire Protection Units' Technical Equipment – BS at the Scientific and Research Centre for Fire Protection National Research Institute. Research and development project developer related to fire protection. In laboratory work, she is involved in research in the area of firefighting equipment.

MGR INŻ. KAROLINA DWÓRSKA – absolwentka Wydziału Chemicznego Politechniki Warszawskiej. Pracownik Zespołu Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Jednostek Ochrony Przeciwpożarowej w CNBOP-PIB. Wykonawca projektów badawczo-rozwojowych związanych z ochroną przeciwpożarową. W pracy laboratoryjnej zajmuje się badaniami z zakresu armatury pożarniczej.

LESZEK JURECKI, M.SC. ENG. – a graduate of the Mechanical Department of the Koszalin University of Technology, deputy head of the Laboratory of Fire Protection Units' Technical Equipment – BS at the Scientific and Research Centre for Fire Protection National Research Institute. He is the author and co-author of a number of publications in the area of performance testing of fire vehicles and firefighting equipment. In addition, co-author and reviewer of CNBOP-PIB standards in the area of firefighting vehicles and pumps. Research and development project developer related to firefighting technology in the broadest sense. He specializes in issues of sustainability and durability of hydraulic platforms, mechanical ladders and jump ladders, as well as reliability of firefighting equipment. In his laboratory work, he is a specialist in fire vehicles, water and foam systems and fire pumps, as well as firefighting equipment.

MATEUSZ JAKUBOWSKI, B.SC. – a graduate of the Social Academy of Sciences. An employee of several years in the Laboratory of Fire Protection Units' Technical Equipment at the Scientific and Research Centre for Fire Protection National Research Institute. Junior engineering specialist in personal protective equipment.

MAKSYMILIAN ŻURAWSKI, M.SC. ENG. – a graduate of the Fire Safety Engineering Department of the Main School of Fire Service in Warsaw, a senior engineering specialist at the Laboratory of Fire Protection Units' Technical Equipment at CNBOP-PIB. Author and co-author of publications in the area of fire vehicles. In addition, he is the co-author of CNBOP-PIB standards in the areas of vehicles, hydraulic tools and fire hydrants. In laboratory work, he is a specialist in fire vehicles and lifting bags.

ŁUKASZ PASTUSZKA, M.SC. ENG. – a graduate of the Radom University of Technology's Department of Transportation. An employee of several years in the Laboratory of Fire Protection Units' Technical Equipment at the Scientific and Research Centre for Fire Protection National Research Institute. Specialist in fire vehicles, water-foam systems and fire pumps. Manager and contractor of research and development projects related to fire technology. Author and co-author of many scientific publications and CNBOP-PIB standards.

MGR INŻ. LESZEK JURECKI – absolwent Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej, zastępca kierownika Zespołu Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Jednostek Ochrony Przeciwożarowej CNBOP-PIB. Autor i współautor szeregu publikacji z obszaru badań eksploatacyjnych pojazdów pożarniczych i sprzętu pożarniczego. Ponadto współautor i recenzent standardów CNBOP-PIB w obszarze pojazdów i pomp pożarniczych. Wykonawca projektów badawczo-rozwojowych związanych z szeroko rozumianą techniką pożarniczą. Specjalizuje się w zagadnieniach stateczności i wytrzymałości podnośników hydraulicznych, drabin mechanicznych i skokochronów, a także niezawodności sprzętu pożarniczego. W pracy laboratoryjnej jest specjalistą z zakresu pojazdów pożarniczych, układów wodno-pianowych i pomp pożarniczych, a także armatury i sprzętu pożarniczego.

LIC. MATEUSZ JAKUBOWSKI – absolwent Społecznej Akademii Nauk. Kilkuletni pracownik Zespołu Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Jednostek Ochrony Przeciwożarowej w CNBOP-PIB. Młodszy specjalista inżynierijno-techniczny z zakresu środków ochrony indywidualnej.

MGR INŻ. MAKSYMILIAN ŻURAWSKI – absolwent Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie, starszy specjalista inżynierijno-techniczny w Zespole Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Jednostek Ochrony Przeciwożarowej w CNBOP-PIB. Autor i współautor publikacji z obszaru pojazdów pożarniczych. Ponadto współautor standardów CNBOP-PIB w obszarze pojazdów, narzędzi hydraulicznych i hydrantów przeciwpożarowych. W pracy laboratoryjnej jest specjalistą z zakresu pojazdów pożarniczych i poduszek podnoszących.

MGR INŻ. ŁUKASZ PASTUSZKA – absolwent Wydziału Transportu Politechniki Radomskiej. Kilkuletni pracownik Zespołu Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Jednostek Ochrony Przeciwożarowej w CNBOP-PIB. Specjalista z zakresu pojazdów pożarniczych, układów wodnopianowych i pomp pożarniczych. Kierownik i wykonawca projektów badawczo-rozwojowych związanych z techniką pożarniczą. Autor i współautor wielu publikacji naukowych i standardów CNBOP-PIB.

W dniach 5–7 grudnia 2023 r. w siedzibie FSNT-NOT w Warszawie odbyła się **I Konferencja Przemysł Chemiczny** zorganizowana przez Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego (SITPChem) pod patronatem Ministerstwa Edukacji i Nauki. Jednym z patronów instytucjonalnych wydarzenia było CNBOP-PIB, a wśród patronów medialnych znalazło się czasopismo „Safety & Fire Technology”.



W konferencji uczestniczyło ponad 90 przedstawicieli instytucji naukowych oraz przemysłu. Program wydarzenia obejmował trzy sesje: Edukacja i Nauka, Rozwój i Technologia oraz Ochrona Środowiska, w których wygłoszono 22 referaty, w tym 3 referaty plenarne. Ponadto w trakcie każdej sesji zorganizowano panel dyskusyjny poświęcony najistotniejszym zagadnieniom, w którym uczestniczyli wybitni naukowcy oraz przedstawiciele przemysłu z Grupy Azoty S.A. oraz PKN Orlen S.A.



Przewodnicząca Rady Programowej konferencji, dr hab. Maria Zielecka, profesor instytutu, w towarzystwie laureatów sesji posterowej.



Jerzy Klimczak, Prezes SITPChem i Paweł Janik, Dyrektor CNBOP-PIB, autor wystąpienia pt. *Pożary i awarie w zakładach przemysłowych w Polsce*

Konferencji towarzyszyły sesje posterowe. W przeprowadzonym konkursie na najlepszy poster nagrody otrzymali:

- **Joanna Niesiobędzka, Janusz Datta, Ewa Głowińska**, *Synteza oraz właściwości poliuretanów otrzymywanych z wykorzystaniem biopochodnego modyfikatora*, Politechnika Gdańska;
- **Paweł Grabowski**, *Stabilność FAME po wstępnej transestryfikacji olejów posmażalniczych*, Politechnika Warszawska Filia w Płocku;
- **Justyna Gniazdowska, Anna Rabajczyk, Piotr Stojek**, *Problematyka wód i ścieków popożarowych w Polsce i na świecie*, CNBOP-PIB.

Z kolei w ramach zorganizowanego przez Zarząd Główny SITPChem konkursu Inżynier Przemysłu Chemicznego, dedykowanego wybitnym przedstawicielom tego przemysłu, zaszczytne wyróżnienia otrzymali: mgr inż. Piotr Jaworski – Grupa Azoty Police, mgr inż. Paweł Markowicz – Grupa Azoty Tarnów, mgr inż. Jan Wais – Grupa Azoty Tarnów.

Ciekawa dyskusja w trakcie obrad konferencji potwierdza, że program tego wydarzenia obejmował zagadnienia istotne dla przemysłu chemicznego. Doświadczenia zebrane podczas organizacji tegorocznej konferencji przyczynią się do jej rozwoju i wpisania jej do kalendarza SITPChem jako corocznego wydarzenia ważnego dla przedstawicieli świata nauki i przemysłu.

Robert Wolański^{a)*}, Karol Jędrasiak^{b)}

^{a)} School of Aspirants of the State Fire Service in Krakow / Szkoła Aspirantów Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie

^{b)} WSB University / Akademia WSB w Dąbrowie Górniczej

* Corresponding author / Autor korespondencyjny: rwolanski@sapsp.pl

Audio-Video Analysis Method of Public Speaking Videos to Detect Deepfake Threat

Metoda analizy audio-wideo filmów z wystąpień publicznych w celu wykrycia zagrożenia typu *deepfake*

ABSTRACT

Aim: The purpose of the article is to present the hypothesis that the use of discrepancies in audiovisual materials can significantly increase the effectiveness of detecting various types of deepfake and related threats. In order to verify this hypothesis, the authors proposed a new method that reveals inconsistencies in both multiple modalities simultaneously and within individual modalities separately, enabling them to effectively distinguish between authentic and altered public speaking videos.

Project and methods: The proposed approach is to integrate audio and visual signals in a so-called fine-grained manner, and then carry out binary classification processes based on calculated adjustments to the classification results of each modality. The method has been tested using various network architectures, in particular Capsule networks – for deep anomaly detection and Swin Transformer – for image classification. Pre-processing included frame extraction and face detection using the MTCNN algorithm, as well as conversion of audio to mel spectrograms to better reflect human auditory perception. The proposed technique was tested on multimodal deepfake datasets, namely FakeAVCeleb and TMC, along with a custom dataset containing 4,700 recordings. The method has shown high performance in identifying deepfake threats in various test scenarios.

Results: The method proposed by the authors achieved better AUC and accuracy compared to other reference methods, confirming its effectiveness in the analysis of multimodal artefacts. The test results confirm that it is effective in detecting modified videos in a variety of test scenarios which can be considered an advance over existing deepfake detection techniques. The results highlight the adaptability of the method in various architectures of feature extraction networks.

Conclusions: The presented method of audiovisual deepfake detection uses fine inconsistencies of multimodal features to distinguish whether the material is authentic or synthetic. It is distinguished by its ability to point out inconsistencies in different types of deepfakes and, within each individual modality, can effectively distinguish authentic content from manipulated counterparts. The adaptability has been confirmed by the successful application of the method in various feature extraction network architectures. Moreover, its effectiveness has been proven in rigorous tests on two different audiovisual deepfake datasets.

Keywords: analysis of audio-video stream, detection of deepfake threats, analysis of public speeches

Type of article: original research article

Received: 29.11.2023; Reviewed: 03.12.2023; Accepted: 03.12.2023;

Authors' ORCID IDs: R. Wolański – 0000-0002-5625-0936; K. Jędrasiak – 0000-0002-2254-1030;

The authors contributed the equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 62 Issue 2, 2023, pp. 172–180, <https://doi.org/10.12845/sft.62.2.2023.10>;

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

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest przedstawienie hipotezy, że wykorzystanie rozbieżności w materiałach audiowizualnych może znacznie zwiększyć skuteczność wykrywania różnych typów *deepfake* i związanych z nimi zagrożeń. W celu weryfikacji tej hipotezy autorzy zaproponowali nową metodę, która pozwala na ujawnienie niespójności zarówno w wielu modalnościach jednocześnie, jak i w obrębie poszczególnych modalności z osobna, umożliwiając skuteczne rozróżnienie autentycznych i zmienionych filmów z wystąpieniami publicznymi.

Projekt i metody: Zaproponowane podejście polega na integracji sygnałów dźwiękowych i wizualnych w tzw. drobnoziarnisty sposób, a następnie przeprowadzeniu procesów klasyfikacji binarnej na podstawie obliczonych korekt wyników klasyfikacji każdej modalności. Metoda została przebadana z wykorzystaniem różnych architektur sieci, w szczególności sieci typu Capsule – do głębokiego wykrywania anomalii oraz Swin Transformer – do klasyfikacji obrazów. Przetwarzanie wstępne obejmowało ekstrakcję klatek i wykrywanie twarzy przy użyciu algorytmu MTCNN, a także konwersję audio na spektrogramy mel, aby lepiej odzwierciedlić ludzką percepcję słuchową. Zaproponowana technika została przetestowana na multimodalnych zbiorach danych *deepfake*,

a mianowicie FakeAVCeleb i TMC, wraz z niestandardowym zbiorem zawierającym 4700 nagrań. Metoda wykazała wysoką skuteczność w rozpoznawaniu zagrożeń *deepfake* w różnych scenariuszach testowych.

Wyniki: Metoda zaproponowana przez autorów osiągnęła lepsze AUC i dokładność w porównaniu z innymi metodami referencyjnymi, potwierdzając swoją skuteczność w analizie artefaktów multimodalnych. Rezultaty badań potwierdzają, że skutecznie pozwala wykryć zmodyfikowane filmy w różnych scenariuszach testowych – co można uznać za postęp w porównaniu z istniejącymi technikami wykrywania *deepfake*ów. Wyniki podkreślają zdolność adaptacji metody w różnych architekturach sieci ekstrakcji cech.

Wnioski: Przedstawiona metoda audiowizualnego wykrywania *deepfake*ów wykorzystuje drobne niespójności cech wielomodalnych do rozróżniania, czy materiał jest autentyczny czy syntetyczny. Wyróżnia się ona zdolnością do wskazywania niespójności w różnych typach *deepfake*ów i w ramach każdej indywidualnej modalności potrafi skutecznie odróżnić autentyczne treści od zmanipulowanych odpowiedników. Możliwość adaptacji została potwierdzona przez udane zastosowanie omawianej metody w różnych architekturach sieci ekstrakcji cech. Ponadto jej skuteczność została udowodniona w rygorystycznych testach na dwóch różnych audiowizualnych zbiorach danych typu *deepfake*.

Słowa kluczowe: analiza strumienia audio-wideo, wykrywanie zagrożeń typu *deepfake*, analiza wystąpień publicznych

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 29.11.2023; **Zrecenzowany:** 03.12.2023; **Zaakceptowany:** 03.12.2023;

Identyfikator ORCID autorów: R. Wolański – 0000-0002-5625-0936; K. Jędrasiak – 0000-0002-2254-1030;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 62 Issue 2, 2023, pp. 172–180, <https://doi.org/10.12845/sft.62.2.2023.10>;

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

Introduction

Video content has traditionally been seen as irrefutable proof of reality, being a reliable confirmation of events. However, the development of advanced video manipulation methods has disrupted this state of affairs. Due to the development of deepfake technology and its expansive spread through the Internet and social media, the credibility of video content is now in doubt [1]. High-profile cases of deepfake use, such as the false statement by the Belgian prime minister linking COVID-19 to the climate crisis [2], or a fraudulent video conference by Russian pranksters in which politicians from the UK, Ukraine and the Baltics thought they were having online video chats with Leonid Volkov, Alexei Navalny's chief of staff [3], speak volumes about the implications of using this technology. The impact is very serious, as it affects the image of well-known, often influential people, such as politicians.

In response to the emerging threats, deepfake detection methods have been developed – to counter the increasingly sophisticated techniques used by their creators. Deepfake are digital files that are created through manipulation and fabrication of audiovisual content. They are most often created using artificial intelligence algorithms [4], such as generative adversarial networks (GANs), or autoencoders. However, diffusion models and various machine learning algorithms are also used to create convincing deepfakes. The ease with which synthetic films can now be created, especially those that superimpose one person's face over another, raises serious concerns. While digital content fusion technologies [5] have legitimate applications in entertainment, multimedia or education, their potential for abuse in activities such as financial fraud is alarming. This is demonstrated by incidents such as the successful attack on a bank in the United Arab Emirates using AI-synthesized speech [6].

The proliferation of deepfakes containing disinformation poses a serious threat, and cases such as the fake video of Ukrainian President Volodymyr Zelensky [7] illustrate the chaos

Wprowadzenie

Treści wideo tradycyjnie były postrzegane jako niezbity dowód rzeczywistości, będąc wiarygodnym potwierdzeniem zdarzeń. Jednak rozwój zaawansowanych metod manipulacji wideo zaburzył ten stan rzeczy. Z powodu rozwoju technologii *deepfake* i jej ekspansywnego rozprzestrzeniania poprzez internet oraz media społecznościowe, wiarygodność treści wideo jest obecnie przedmiotem wątpliwości [1]. Głośne przypadki wykorzystania *deepfake*, takie jak fałszywe oświadczenie premiera Belgii łączące COVID-19 z kryzysem klimatycznym [2], czy oszukańcza wideokonferencja rosyjskich pranksterów, podczas której politycy z Wielkiej Brytanii, Ukrainy i krajów bałtyckich sądzili, że prowadzili internetowe wideorozmowy z Leonidem Wołkowem, szefem sztabu Aleksieja Nawalnego [3], mówią wiele o konsekwencjach użycia tej technologii. Skutki są bardzo poważne, ponieważ dotyczą wizerunku znanych, często wpływowych osób, np. polityków.

W odpowiedzi na pojawiające się zagrożenia powstały metody wykrywania *deepfake*ów – mające przeciwdziałać coraz bardziej wyrafinowanym technikom stosowanym przez ich twórców. *Deepfake* to pliki cyfrowe, które powstają na drodze manipulacji i fabrykacji treści audiowizualnych. Najczęściej są tworzone z wykorzystaniem algorytmów sztucznej inteligencji [4], takich jak generatywne sieci przeciwstawne (GAN), czy autoenkodery. Jednakże w celu tworzenia przekonujących fałszerstw typu *deepfake* stosuje się również modele dyfuzji oraz różne algorytmy uczenia maszynowego. Łatwość, z jaką można obecnie tworzyć syntetyczne filmy, zwłaszcza te, które nakładają twarz jednej osoby na drugą, budzi poważne obawy. Chociaż technologie syntezy treści cyfrowych [5] mają uzasadnione zastosowania w rozrywce, mediach czy edukacji, to ich potencjał do nadużyć w działaniach, takich jak oszustwa finansowe, jest alarmujący. Świadczą o tym incydenty, np. skuteczny atak na bank w Zjednoczonych Emiratach Arabskich z wykorzystaniem wypowiedzi zszyntezowanej przez sztuczną inteligencję [6].

they can cause. As a result, deepfake detection has become an essential area of research in the discipline of security engineering. Currently, this research focuses primarily on binary classification to distinguish true content from false one [1]. Traditionally, efforts in this area have focused on single modalities, usually visual or sound artefacts in films. However, as deepfakes evolve to include multimodal fraud – both audio and video – detection mechanisms must also adapt to deal with these increasingly high-tech forgeries.

Current methods of unmasking deepfakes are mainly based on image, video stream or audio analysis. While the multi-modal approach holds promise, it is rarely used in practice, as the results of past attempts to fuse multi-modal signals for deepfake threat recognition have yielded comparable or inferior results to methods that analyse a single modality. In addition, feature fusion techniques often treat different types of deepfake manipulations as homogeneous, potentially disrupting the learning process. Nowadays, in order to create deepfakes, not only easy-to-detect image manipulation techniques like head pasting or mouth shape modification are used anymore. Increasingly, we are dealing with the use of methods developed for professional film dubbing or whole picture generation [8]. The authors of the article posed a research hypothesis that the use of inconsistencies in audiovisual artifacts of various types of deepfake, together with the analysis of all available modalities, will contribute to increasing the effectiveness of recognition of threats of this type. This article presents a method for detecting visual-sound artefacts in four categories of video authenticity. The proposed solution owes its effectiveness to the fusion of audiovisual features, teaching the algorithm in each modality independently and then integrating these results. The results of the conducted tests of the developed method using the available multi-modal datasets showed the worthwhile effectiveness of the proposed method regardless of the test scenario.

Analysis of the existing solutions

In the escalating battle against deepfake threats, there are two distinct strategies for detecting them: generic methods and specific methods. Approaches that are independent of the identity of the person in the video rely on detecting manipulation through learned visual artefacts or statistical anomalies using methods such as convolutional neural networks (CNNs) [9, 10]. These techniques originally proved effective in detecting the first wave of deepfake threats, characterized by clear artefacts or traces of manipulation. Unfortunately, these methods often fail in the face of modern deepfake threats, characterized by manipulation

Rozprzestrzenianie się *deepfake'ów* zawierających dezinformację stanowi poważne zagrożenie, a przypadki, takie jak fałszywe wideo prezydenta Ukrainy Wołodymyra Zełenskigo [7], ilustrują chaos, jaki mogą one wywołać. W rezultacie wykrywanie *deepfake'ów* stało się niezbędnym obszarem badań w dyscyplinie inżynieria bezpieczeństwa. Obecnie badania te koncentrują się przede wszystkim na klasyfikacji binarnej w celu odróżnienia treści prawdziwych od fałszywych [1]. Tradycyjnie wysiłki w tym zakresie koncentrowały się na pojedynczych modalnościach, zazwyczaj artefaktach wizualnych lub dźwiękowych w filmach. Jednak w miarę jak *deepfake'i* ewoluują, obejmując multimodalne oszustwa – zarówno audio, jak i wideo, dostosowywać się do radzenia sobie z tymi coraz bardziej zaawansowanymi technologicznie fałszerstwami muszą również mechanizmy ich wykrywania.

Obecnie stosowane metody demaskowania *deepfake'ów* bazują głównie na analizie obrazu, strumienia wideo lub dźwięku. Podejście wielomodalne jest obiecujące, w praktyce natomiast jest rzadko stosowane, gdyż rezultaty dotychczasowych prób fuzji wielomodalnych sygnałów na potrzeby rozpoznawania zagrożeń typu *deepfake* uzyskiwały porównywalne lub gorsze rezultaty co metody analizujące pojedynczą modalność. Ponadto techniki fuzji cech często traktują różne typy manipulacji *deepfake* jako jednorodne, potencjalnie zakłócając proces uczenia się. Obecnie w celu stworzenia *deepfake'ów* stosuje się już nie tylko łatwe do wykrycia techniki manipulacji obrazem typu przeklejenie głowy, czy modyfikacja kształtu ust. Coraz częściej mamy do czynienia z wykorzystaniem metod opracowanych z myślą o profesjonalnym dubbingu filmów lub generacją całego obrazu [8]. Autorzy artykułu postawili hipotezę badawczą, iż wykorzystanie niespójności w artefaktach audiowizualnych różnego rodzaju *deepfake'ów* wraz z analizą wszystkich dostępnych modalności, przyczyni się do zwiększenia skuteczności rozpoznawania zagrożeń tego typu. Niniejszy artykuł przedstawia metodę wykrywania artefaktów wizualno-dźwiękowych w czterech kategoriach autentyczności wideo. Zaproponowane rozwiązanie zawdzięcza swoją skuteczność fuzji cech audiowizualnych, ucząc algorytm w każdej modalności niezależnie, a następnie integrując te wyniki. Rezultaty przeprowadzonych badań opracowanej metody z wykorzystaniem dostępnych wielomodalnych zbiorów danych wykazały wartość głębszej analizy skuteczność zaproponowanej metody niezależnie od scenariusza testowego.

Analiza istniejących rozwiązań

W nasilającej się walce z zagrożeniami typu *deepfake* można wyróżnić dwie odrębne strategie ich wykrywania: metody generyczne i metody specyficzne. Podejścia niezależne od tożsamości osoby na filmie polegają na wykrywaniu manipulacji poprzez wyuczone artefakty wizualne lub anomalie statystyczne przy użyciu metod, takich jak konwolucyjne sieci neuronowe (CNN) [9, 10]. Techniki te okazały się pierwotnie skuteczne w wykrywaniu pierwszej fali zagrożeń typu *deepfake*, charakteryzujących się wyraźnymi artefaktami lub śladami manipulacji. Niestety metody te często zawodzą w obliczu współczesnych zagrożeń typu *deepfake*,

methods that are invisible to the naked eye, or when video or audio quality is poor.

While analysis based on low-level video features has shown promise, it remains vulnerable to video stream quality degradation and sophisticated modification techniques. Analysis based on high-level semantics offers an alternative by targeting distinct anomalies in person-specific features such as eye blinking, head position, physiological signals and others. These higher-level signals can provide clues for authentication and usually allow greater generalization to new fakes. A relatively new research area is the issue of multimodal deepfake detection by combining audio and visual signals. While these approaches provide extensive feature datasets for detection [11], they often do not significantly outperform their unimodal counterparts. This paradox prompted the authors of the publication to conduct further research into more efficient use of multimodal features. The proposed method differs from traditional fusion methods by introducing a fine-grained approach that distinguishes specific inconsistencies in the two modalities of audio and video, rather than treating them as uniform.

Proposed solution

The article presents a method for analysing audio-video streams to improve the effectiveness of detecting deepfake manipulation in recordings of public speeches. The developed method is based on integrating audio and visual signals in a fine-grained manner, and then performing a binary deepfake classification process with calculated corrections based on the classification results in each modality separately. The proposed two-modal approach aims to exploit the inconsistencies of multimodal deepfakes, as well as individual artifacts introduced by manipulation or content generation in each modality independently. The beginning of the innovative method is pre-processing, followed by multi-modal feature extraction, and concluded by the adopted multi-task learning strategy.

The pre-processing procedure starts with the extraction of individual images from the input stream, adjusting the process according to the length of the video, thus ensuring standard temporal resolution at the different durations of the analysed recordings of public speeches. In the next step, the MTCNN algorithm [12] for face detection and pruning is introduced, which isolates face regions based on the detected landmarks.

The audio content of the recording is then analysed, which is typically extracted in WAV format, which is a raw representation of the audio. The sound is transformed into a mel spectrogram – a representation that better reflects human auditory perception through frequency mapping. On the mel scale, the perceived distances in height are the same. A frequency range of up to 8,000 Hz is standardized and a uniform duration of 4 seconds is set for all mel spectrograms, thus ensuring consistency across the entire data set.

The next step is to perform feature extraction. This is a particularly important part of the process, in which input data is translated into high-level features that are key to identifying

charakteryzujących się niewidoczną gołym okiem metodą manipulacji lub gdy jakość wideo lub audio jest niska.

Chociaż analiza oparta na cechach wizyjnych niskiego poziomu okazała się obiecująca, pozostaje podatna na degradację jakości strumienia wideo oraz wyrafinowane techniki modyfikacji. Analiza oparta na semantyce wysokiego poziomu oferuje alternatywę poprzez ukierunkowanie na wyraźne anomalie w cechach specyficznych dla danej osoby, takich jak mruganie oczami, pozycja głowy, sygnały fizjologiczne i inne. Te sygnały wyższego poziomu mogą dostarczyć wskazówek do uwierzytelniania i zazwyczaj pozwalają na większe uogólnienie na nowe podróbki. Relatywnie nowym obszarem badawczym jest zagadnienie wielomodalnego wykrywania *deepfake'ów* poprzez połączenie sygnałów dźwiękowych i wizualnych. Chociaż podejścia te dostarczają obszernych zbiorów danych cech do wykrywania [11], często nie przewyższają znacząco swoich jednomodalnych odpowiedników. Paradoks ten skłonił autorów publikacji do dalszych badań nad bardziej wydajnym wykorzystaniem cech multimodalnych. Zaproponowana metoda różni się od tradycyjnych metod fuzji poprzez wprowadzenie drobnoziarnistego podejścia, które rozróżnia określone niespójności w dwóch modalnościach audio i wideo, zamiast traktować je jako jednolite.

Proponowane rozwiązanie

Artykuł przedstawia metodę analizy strumienia audio-wideo mającą na celu zwiększenie skuteczności wykrywania manipulacji typu *deepfake* w nagraniach z wystąpień publicznych. Opracowana metoda opiera się na integracji sygnałów audio oraz wizualnych w sposób drobnoziarnisty, a następnie przeprowadzeniu binarnego procesu klasyfikacji *deepfake'ów* z uwzględnieniem obliczonych korekt na podstawie rezultatów klasyfikacji w każdej modalności osobno. Zaproponowane dwupłaszczyznowe podejście ma na celu wykorzystanie niespójności multimodalnych *deepfake'ów*, jak również indywidualnych artefaktów wprowadzanych na skutek manipulacji lub generacji treści w każdej modalności niezależnie. Początek innowacyjnej metody stanowi przetwarzanie wstępne, następnie przeprowadzana jest wielomodalna ekstrakcja cech, a kończy je przyjęta strategia uczenia wielozadaniowego.

Proces przetwarzania wstępnego zaczyna się od ekstrakcji poszczególnych obrazów z wejściowego strumienia, dostosowując proces do długości wideo, zapewniając w ten sposób standardową rozdzielczość czasową przy różnych czasach trwania analizowanych nagrań z wystąpień publicznych. W kolejnym kroku wprowadza się algorytm MTCNN [12] do wykrywania twarzy i przycinania, który izoluje regiony twarzy na podstawie wykrytych punktów orientacyjnych.

Następnie analizowana jest zawartość audio nagrania, która typowo jest wyodrębniana w formacie WAV, będącym surową reprezentacją audio. Dźwięk jest przekształcany w spektrogram mel – reprezentację, która lepiej odzwierciedla ludzką percepcję słuchową poprzez mapowanie częstotliwości. W skali mel postrzegane odległości w wysokości są jednakowe. Standaryzowany jest zakres częstotliwości do 8000 Hz i ustawiany jednolity czas trwania wynoszący 4 sekundy dla wszystkich spektrogramów mel, zapewniając w ten sposób spójność w całym zbiorze danych.

distinctive patterns in deepfakes. To do this, pre-processed visual and audio data are fed into deep neural networks, which autonomously learn and extract these relevant features. The proposed approach is independent of the neural network model, demonstrating flexibility for different network architectures. Selecting the optimal network architecture may be an area for further work. The experiments for this article used the Capsule type network architecture [13], known for its effectiveness in so-called deep anomaly detection, and the Swin Transformer architecture [14], known for its good results in image classification.

In the final step of the study, multitask learning was conducted. The adopted framework for the learning process was expressed by combining three loss functions and taking into account the complexity of fine-grained deep identification of fakes combined with binary classification for each modality separately. The total loss function used L_{total} was proposed as a composite of the binary cross entropy losses L_a and L_v for audio and video modalities, respectively, and L_p a four-class cross entropy loss that includes different types of deepfake. The audiovisual classification task aggregates the output of the video network in multiple frames to extract the overarching video features. Two variants of fusion are examined: features, combining visual and audio elements, and results, averaging the classification results from both networks. The combined computing units are then fed into a four-class classification module for video identification.

Research results

Experimental assessment of the proposed method was carried out on multimodal deepfake datasets: the FakeAVCeleb [11], TMC [15] and an in-house collection. A total of more than 37,000 recordings have been accumulated in all three collections for research work. All three analysed collections covered a wide spectrum of actual public speaking recordings and provided a representative testing ground. The method's test scenarios included recordings representing people from different ethnic groups and genders (see Figure 1). From the FakeAVCeleb collection, 25,500 videos were used for analysis, including 570 real recordings of public speeches made available on the YouTube platform, evenly distributed among the following ethnic groups: Caucasian (Americans), Caucasian (Europeans), Black (Africans), South Asian (Indians) and East Asian (e.g. Chinese, Koreans and Japanese). The division between men and women was 50/50. The fake recordings were generated by the authors of the collection [11]. The videos varied in length and the manipulation techniques used: real audio-true video, fake audio-true video, real audio-fake video, fake audio-fake video. The second used collection [15] contained 6943 recordings divided by the applied manipulation techniques as follows: real recordings 36.92%, real audio-true

Kolejnym krokiem jest przeprowadzenie ekstrakcji cech. Jest to szczególnie ważny element procesu, w którym dane wejściowe są tłumaczone na cechy wysokiego poziomu, kluczowe z punktu widzenia identyfikacji charakterystycznych wzorców w *deepfake'ach*. W tym celu do głębokich sieci neuronowych wprowadzane są wstępnie przetworzone dane wizualne i dźwiękowe, które autonomicznie uczą się i wyodrębniają te istotne cechy. Zaproponowane podejście jest niezależne od modelu sieci neuronowej, wykazując elastyczność dla różnych architektur sieci. Dobór optymalnej architektury sieci może stanowić obszar dalszych prac. W eksperymentach na potrzeby niniejszego artykułu wykorzystano architekturę sieci typu Capsule [13], znaną ze swojej skuteczności w tzw. głębokim wykrywaniu anomalii oraz architekturę Swin Transformer [14], mającą dobre rezultaty w klasyfikacji obrazów.

W ostatnim kroku badania przeprowadzono uczenie wielozadaniowe. Przyjęte ramy dla procesu uczenia się zostały wyrażone poprzez połączenie trzech funkcji strat oraz uwzględnienie złożoności drobnociastniejszej głębokiej identyfikacji podróbek w połączeniu z klasyfikacją binarną dla każdej modalności osobno. Wykorzystana całkowita funkcja strat L_{total} została zaproponowana jako złożenie binarnych strat entropii krzyżowej L_a i L_v , odpowiednio dla modalności audio i wideo oraz L_p , czteroklasowej straty entropii krzyżowej, która obejmuje różne typy *deepfake'ów*. W przypadku zadania klasyfikacji audiowizualnej agregowane są dane wyjściowe sieci wideo w wielu klatkach, tak aby wyodrębnić nadrzędne cechy wideo. Badaniu poddawane są dwa warianty fuzji: funkcji, łączącej elementy wizualne i dźwiękowe, oraz wyników, uśredniającej wyniki klasyfikacji z obu sieci. W ten sposób połączone jednostki obliczeniowe są następnie wprowadzane do czteroklasowego modułu klasyfikacyjnego w celu identyfikacji wideo.

Wyniki badań

Ocena eksperymentalna zaproponowanej metody została przeprowadzona na multimodalnych zbiorach danych *deepfake*: FakeAVCeleb [11], TMC [15] oraz zbiorze własnym. Łącznie we wszystkich trzech zbiorach zgromadzono na potrzeby prac badawczych ponad 37 000 nagrań. Wszystkie trzy analizowane zbiory obejmowały szerokie spektrum rzeczywistych nagrań z występów publicznych i stanowiły reprezentatywny poligon doświadczalny. Scenariusze testowe metody uwzględniały nagrania reprezentujące osoby z różnych grup etnicznych i płci (zob. ryc. 1). Ze zbioru FakeAVCeleb wykorzystano do analizy 25 500 filmów, w tym 570 prawdziwych nagrań z występów publicznych udostępnionych na platformie YouTube, równomiernie rozdzielonych na następujące grupy etniczne: rasa kaukaska (Amerykanie), rasa kaukaska (Europejczycy), rasa czarna (Afrykanie), rasy Azji Południowej (Hindusi) i rasy Azji Wschodniej (np. Chińczycy, Koreańczycy i Japończycy). Podział pomiędzy mężczyzn i kobiety był w proporcji 50/50. Nagrania fałszywe zostały wygenerowane przez autorów zbioru [11]. Filmy różniły się długością i zastosowanymi technikami manipulacji: prawdziwe audio-prawdziwe wideo, fałszywe audio-prawdziwe wideo, prawdziwe audio-fałszywe wideo, fałszywe audio-fałszywe wideo. Drugi

video 10.80%, real video-fake audio 9.07%, fake video-true audio 22.97%, fake video-fake audio 20.24%. The self-collection contained 5,000 recordings, divided into 1,000 real recordings of public speeches and 4,000 manipulated recordings, equally for each type of the manipulation.

In order to evaluate the effectiveness of the proposed audio-visual deepfake detection method, taking into account different detection strategies using Capsule and Swin Transformer networks, it was compared with established deepfake detection techniques such as Mesolnception-4 [16], EfficientNet [17] and FTCN [18], AVoiD-DF [19] and AV-Lip-Sync [20]. The results confirmed the effectiveness of the authors' proposed method for recognizing deepfake threats (see Table 1).

wykorzystany zbiór [15] zawierał 6943 nagrania podzielone ze względu na zastosowane techniki manipulacji w następujący sposób: nagrania prawdziwe 36,92%, nagrania typu prawdziwe audio-prawdziwe wideo 10,80%, prawdziwe wideo-fałszywe audio 9,07%, fałszywe wideo-prawdziwe audio 22,97%, fałszywe wideo-fałszywe audio 20,24%. Zbiór własny zawierał 5000 nagrań w podziale 1000 nagrań prawdziwych z występów publicznych oraz 4000 nagrań zmanipulowanych, po równo dla każdego typu manipulacji.

W celu oceny skuteczności zaproponowanej metody wykrywania audiowizualnego deepfake'u, uwzględniającej różne strategie wykrywania przy użyciu sieci Capsule i Swin Transformer, dokonano jej porównania z uznanymi technikami głębokiego wykrywania podróbek, takimi jak Mesolnception-4 [16], EfficientNet [17] i FTCN [18], AVoiD-DF [19] i AV-Lip-Sync [20]. Uzyskane rezultaty potwierdziły skuteczność proponowanej przez autorów metody rozpoznawania zagrożeń typu deepfake (zob. tabela 1).

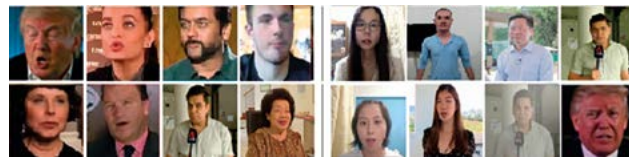


Figure 1. Examples of frames from films, showing real and modified elements that are difficult to distinguish with the naked eye
Rycina 1. Przykłady kadrów z filmów, przedstawiające elementy rzeczywiste i zmodyfikowane, trudne do rozróżnienia gołym okiem

Source: Authors' test collections.

Źródło: Zbiory testowe autorów.

Table 1. Test results of analysed deepfake threat detection methods on recordings of public speeches

Tabela 1. Rezultaty testów analizowanych metod detekcji zagrożeń typu *deepfake* na nagraniach z występów publicznych

Method / Metoda	AUC	ACC
Mesolnception	73.25	73.42
FTCN	86.12	68.35
EfficientNet	82.37	75.80
AVoiD-DF	88.56	84.50
AV-Lip-Sync	84.32	93.00
Proposed method / Zaproponowana metoda	96.30	97.40

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

The proposed method, like the reference methods, was implemented and tested under identical conditions using the same data sets. A comparison of the results in terms of AUC (area under the ROC curve) and model accuracy shows that the proposed solution performs better than the other models, indicating its effectiveness in detecting multimodal artefacts. It is interesting to note that all methods performed better when trained on the FakeAVCeleb dataset, compared to the TMC dataset and the custom dataset. This may be due to the greater variety of recordings in FakeAVCeleb. TMC's collection contains mostly recordings by Asians, while its own collection contains recordings by Europeans, which may have affected the results.

Proponowana metoda, podobnie jak metody referencyjne, była realizowana i testowana w identycznych warunkach, używając tych samych zestawów danych. Porównanie wyników w zakresie AUC (obszar pod krzywą ROC) i dokładności modelu pokazuje, że proponowane rozwiązanie osiąga lepsze rezultaty niż pozostałe modele, co wskazuje na jego skuteczność w wykrywaniu multimodalnych artefaktów. Interesujące jest, że wszystkie metody osiągały lepsze wyniki, gdy były trenowane na zbiorze danych FakeAVCeleb, w porównaniu do zbioru TMC i zbioru własnego. Może to wynikać z większej różnorodności nagrań w FakeAVCeleb. Zbiór TMC zawiera głównie nagrania Azjatów, a zbiór własny – Europejczyków, co mogło wpływać na wyniki.

In order to evaluate the ability of the proposed method to generalize, tests of the method's performance were also conducted when the training process was carried out on one set and the tests on the other. Again, the author's method achieved the highest efficiency. The best result (see Table 1) was achieved with the diverse FakeAVCeleb dataset and testing on the TMC dataset. The final stage of testing verified the model's effectiveness against modifications, such as real videos with mismatched audio. For this purpose, cross-validation tests were performed on the TMC dataset. Most of the analysed fake videos were correctly identified by the proposed method. Moreover, it has been labelled as "real video fake audio", highlighting the method's ability to detect this type of inconsistency, commonly found in manipulated videos.

In conclusion, the proposed method demonstrated the effectiveness of detecting modified videos in various test scenarios. This represents an advance over existing deepfake detection techniques.

Conclusion

The authors of this article presented a method for audiovisual deepfake detection that takes advantage of minor inconsistencies in multimodal features to distinguish whether the material is authentic or synthetic. The proposed approach is distinguished by its ability to identify inconsistencies across different types of deepfakes and within each individual modality. It allows to effectively distinguish authentic content from manipulated counterparts. The adaptability of the presented method has been confirmed by its successful application to various feature extraction network architectures. Its effectiveness has also been confirmed through rigorous testing on two different audiovisual deepfake datasets.

As part of their future work, the authors plan to focus their efforts on developing an audio-video content analysis system based on the proposed method that can be widely used to protect against certain types of deepfake threats. In conclusion, the proposed method sets a sure reference point in detecting forgeries in public speeches, representing a first step toward a safer digital media landscape in which the authenticity of recordings can be verified with greater certainty.

Acknowledgement

The present work was co-financed as part of the implementation of the project entitled "Interdisciplinary research projects of WSB researchers".

W celu oceny zdolności zaproponowanej metody do generalizacji przeprowadzono również badania działania metody, gdy proces trenowania został przeprowadzony na jednym zbiorze, a testy na drugim. Również w tym przypadku autorska metoda osiągnęła najwyższą skuteczność. Najlepszy rezultat (zob. tabela 1) udało się uzyskać przy różnorodnym zbiorze danych FakeAVCeleb i testowaniu na zbiorze TMC. W ostatnim etapie testów zweryfikowano skuteczność modelu przeciwko modyfikacjom, takim jak prawdziwe filmy z niedopasowanym dźwiękiem. W tym celu przeprowadzono testy krzyżowe na zbiorze danych TMC. Większość przeanalizowanych fałszywych filmów została poprawnie zidentyfikowana przez zaproponowaną metodę. Ponadto uzyskała oznaczenie jako real video fake audio (prawdziwe wideo fałszywe audio), co podkreśla zdolność metody do wykrywania tego typu niespójności, powszechnie występujących w zmanipulowanych filmach.

Podsumowując, zaproponowana metoda wykazała skuteczność wykrywania zmodyfikowanych filmów w różnych scenariuszach testowych. Stanowi to postęp w stosunku do istniejących technik detekcji typu *deepfake*.

Podsumowanie

Autorzy niniejszego artykułu przedstawili metodę audiowizualnego wykrywania *deepfake'ów*, która wykorzystuje drobne niespójności cech wielomodalnych do rozróżniania, czy materiał jest autentyczny, czy syntetyczny. Zaproponowane podejście wyróżnia się zdolnością do wskazywania niespójności w różnych typach *deepfake'ów* i w ramach każdej indywidualnej modalności. Pozwala na skuteczne odróżnianie autentycznych treści od zmanipulowanych odpowiedników. Zdolność przedstawionej metody do adaptacji została potwierdzona przez jej udane zastosowanie w różnych architekturach sieci ekstrakcji cech. Jej skuteczność została także potwierdzona w drodze rygorystycznych testów na dwóch różnych audiowizualnych zbiorach danych typu *deepfake*.

W ramach dalszej pracy autorzy planują skupić wysiłki na rozwinięciu na bazie zaproponowanej metody systemu analizy treści audio-wideo, który będzie możliwy do powszechnego stosowania w celu ochrony przed określonymi typami zagrożeń *deepfake*. Podsumowując, zaproponowana metoda wyznacza pewny punkt odniesienia w wykrywaniu fałszerstw w wystąpieniach publicznych, stanowiąc pierwszy krok w kierunku bezpieczniejszego krajobrazu mediów cyfrowych, w którym autentyczność nagrań można zweryfikować z większą pewnością.

Podziękowanie

Niniejsza praca była współfinansowana w ramach realizacji projektu pt. „Interdyscyplinarne projekty badawcze pracowników naukowych WSB”.

Literature / Literatura

- [1] Nguyen T.T., Nguyen Q.V.H., Nguyen D.T., Nguyen D.T., Huynh-The T., Nahavandi S., Nguyen C. M., *Deep learning for deepfakes creation and detection: A survey*, *Computer Vision and Image Understanding* 2022, 223, 103525.
- [2] <https://brusselstimes.com/106320/xr-belgium-posts-deepfake-of-belgian-premier-linking-covid-19-with-climate-crisis> [dostęp 10.09.2023]
- [3] <https://wiadomosci.onet.pl/swiat/politycy-padli-ofiara-technologie-deep-fake-pranksterzy-podszrywali-sie-pod/16w1ep7> [dostęp: 04.12.2023].
- [4] Wang X., Guo H., Hu S., Chang M.C., Lyu S., *Gan-generated faces detection: A survey and new perspectives*, „arXiv” 2022, 2202.07145.
- [5] Cao Y., Li S., Liu Y., Yan Z., Dai Y., Yu P.S., Sun L. *A comprehensive survey of ai-generated content (aigc): A history of generative ai from gan to chatgpt*, „arXiv” 2023, 2303.04226.
- [6] <https://noizz.pl/nauka-i-technologie/sztuczna-inteligencja-sklonowali-glos-dyrektora-banku-i-ukradli-miliony/mnwrnpk> [dostęp: 04.12.2023].
- [7] <https://www.computerswiat.pl/aktualnosci/wydarzenia/do-sieci-trafil-deepfake-z-prezydentem-zelenskim-w-falszym-wideo-namawial-do/n40qel7>, [dostęp: 04.12.2023].
- [8] Xie T., Liao L., Bi C., Tang B., Yin X., Yang J., Ma, Z., *Towards realistic visual dubbing with heterogeneous sources*, *Proceedings of the 29th ACM International Conference on Multimedia*, 2021, 1739–1747.
- [9] Amerini I., Galteri L., Caldelli R., Del Bimbo A., *Deepfake video detection through optical flow based cnn*, *Proceedings of the IEEE/CVF international conference on computer vision workshops*, 2019.
- [10] Almutairi Z., Elgibreen H., *A review of modern audio deepfake detection methods: challenges and future directions*, „Algorithms” 2022, 15(5), 155.
- [11] Khalid H., Tariq S., Kim M., Woo S.S., *FakeAVCeleb: A novel audio-video multimodal deepfake dataset*, „arXiv” 2021, 2108.05080.
- [12] Zhang N., Luo J., Gao W., *Research on face detection technology based on MTCNN*, *International Conference on Computer Network, Electronic and Automation (ICCNEA)*, 2020, 154–158.
- [13] Patrick M.K., Adekoya A.F., Mighty A.A., Edward B.Y., *Capsule networks – a survey*, „Journal of King Saud University-computer and information sciences” 2022, 34(1), 1295–1310.
- [14] Liang J., Cao J., Sun G., Zhang K., Van Gool L., Timofte R., *Swinir: Image restoration using swin transformer*, *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*, 2021, 1833–1844.
- [15] Chen W., Chua S.L.B., Winkler S., Ng S.K., *Trusted Media Challenge Dataset and User Study*, *Proceedings of the 31st ACM International Conference on Information & Knowledge Management*, 2022, 3873–3877.
- [16] Afchar D., Nozick V., Yamagishi J., Echizen I., *Mesonet: a compact facial video forgery detection network*, *In 2018 IEEE International Workshop on Information Forensics and Security (WIFS)*, 2018, 1–7.
- [17] Koonce B., Koonce B., *EfficientNet. Convolutional Neural Networks with Swift for Tensorflow: Image Recognition and Dataset Categorization*, 2021, 109–123.
- [18] Zheng Y., Bao J., Chen D., Zeng M., Wen F., *Exploring temporal coherence for more general video face forgery detection*, *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*, 2021, 15044–15054.
- [19] Yang W., Zhou X., Chen Z., Guo B., Ba Z., Xia Z., Ren K., *AVoid-DF: Audio-Visual Joint Learning for Detecting Deepfake*, „IEEE Transactions on Information Forensics and Security” 2023, 18, 2015–2029.
- [20] Shahzad S.A., Hashmi A., Peng Y.T., Tsao Y., Wang H. M., *AV-Lip-Sync+: Leveraging AV-HuBERT to Exploit Multimodal Inconsistency for Video Deepfake Detection*, „arXiv” 2023, 2311.02733.

SEN. BRIG. ROBERT MARCIN WOLAŃSKI, PH.D. ENG. – employee of the School of Aspirants of the State Fire Service in Krakow, Department of the Training Centre for the Protection of Population and Cultural Property. He is a graduate of the AGH University of Science and Technology in Cracow, officer's studies at the Main School of Fire Service, postgraduate studies in the area of wheeled vehicle operation and road accident expertise. He defended his doctoral thesis on infrared and microwave thermal protection technologies and materials at the University of Science and Technology. He conducts scientific work in parallel with his teaching activities through projects and individual research. He focuses on safety engineering issues with a special emphasis on the safety of rescuers. He is the author of a number of publications and a reviewer of recognized publications. In innovation activities, he is co-author of the patent “Method

ST. BRYG. W ST. SP. DR INŻ. ROBERT MARCIN WOLAŃSKI – pracownik Szkoły Aspirantów Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie, Wydziału Centrum Szkolenia Ochrony Ludności i Dóbr Kultury. Absolwent Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, studium oficerskiego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej, studiów podyplomowych z zakresu eksploatacji pojazdów kołowych oraz ekspertyz wypadku drogowego. Obronił pracę doktorską z zakresu technologii i materiałów do produkcji ochron termicznych przed promieniowaniem podczerwonym i mikrofalowym w Akademii Górniczo-Hutniczej. Prowadzi równoległe z działalnością dydaktyczną prace naukowe w ramach projektów i badań indywidualnych. Koncentruje się na zagadnieniach inżynierii bezpieczeństwa ze szczególnym uwzględnieniem bezpieczeństwa ratowników. Jest autorem szeregu publikacji i recenzentem uznanych wydawnictw. W działalności

of manufacturing ceramic layers on fabric". He is the initiator of a number of conferences and seminars aimed at the presentation and exchange of scientific and technical ideas in the area of progressive designs, technologies and organizational solutions for reducing the risk of conducting rescue operations. Currently, as an employee of the Civil and Cultural Property Protection Training Centre at the SA PSP Krakow, he continues his activities of promoting, educating and developing initiatives in the area of cultural heritage protection.

KAROL JĘDRASIAK, PH.D. – academic teacher, didactician and manager, author of more than 81 scientific publications, including 3 scientific monographs with high citability. The author's scientific experience includes participation in 24 research and development projects, also as a manager. Active participant in 24 scientific conferences and symposia. Expert of the WSL2014-2020 ROP, member of the Steering Committee of the Game INN Sector Program and the Society for Image Processing. As a result of his previous work and cooperation with industry, he participated in the development of 27 claims of intellectual property rights (3 granted patents, 12 patent applications, 12 design registration rights). Specialist in computer vision, computer graphics, artificial intelligence tools, computer, database and sensor system development. Since 2008, he has held management positions in private companies. For many years he was CEO of VR Technology, a company developing algorithms in the area of data analysis, commercializing innovative solutions in virtual reality technology and simulation as well as coaching systems.

innowacyjnej jest współautorem patentu „Sposób wytwarzania ceramicznych warstw na tkaninie”. Jest inicjatorem szeregu konferencji i seminariów ukierunkowanych na prezentację i wymianę myśli naukowo-technicznej w obszarze progresywnych konstrukcji, technologii i rozwiązań organizacyjnych w zakresie ograniczenia ryzyka prowadzenia działań ratowniczych. Obecnie jako pracownik Centrum Kształcenia Ochrony Ludności i Dóbr Kultury w SA PSP Kraków kontynuuje swoją działalność promowania, edukacji i rozwoju inicjatyw w zakresie ochrony dziedzictwa kulturowego.

DR KAROL JĘDRASIAK – nauczyciel akademicki, dydaktyk i menadżer, autor ponad 81 publikacji naukowych, w tym 3 monografii naukowych o wysokiej cytowalności. Doświadczenie naukowe autora obejmuje udział w 24 projektach badawczo-rozwojowych, w tym także w charakterze kierownika. Aktywny uczestnik 24 konferencji i sympozjów naukowych. Ekspert RPO WSL2014-2020, członek Komitetu Sterującego Programu Sektorowego Game INN oraz Towarzystwa Przetwarzania Obrazów. W rezultacie dotychczasowej pracy oraz współpracy z przemysłem uczestniczył w opracowaniu 27 zastrzeżeń prawa własności intelektualnej (3 przyznane patenty, 12 zgłoszeń patentowych, 12 praw z rejestracji wzoru przemysłowego). Specjalista w zakresie wizji komputerowej, grafiki komputerowej, narzędzi sztucznej inteligencji, wytwarzania systemów informatycznych, bazodanowych i sensorycznych. Od 2008 roku zajmuje stanowiska kierownicze w przedsiębiorstwach prywatnych. Przez wiele lat był Prezesem Zarządu spółki VR Technology zajmującej się opracowywaniem algorytmów z zakresu analizy danych oraz komercjalizacją innowacyjnych rozwiązań z zakresu technologii wirtualnej rzeczywistości oraz systemów symulacyjnych i trenażerowych.

NOWOŚĆ WYDAWNICZA CNBOP-PIB



NAJWAŻNIEJSZE ZAGADNIENIA:

rodzaje
i charakterystyka
napędów elektrycznych

stacje i punkty
ładowania

zagrożenia podczas
zdarzeń z udziałem
pojazdów z napędem
elektrycznym

prowadzenie działań
ratowniczych

zasady bezpiecznego
postępowania
ratowników

Jan Kielin
Tomasz Kołodziejczyk
Ilona Majka
Jarosław Tępiński
Jacek Zboina



PROWADZENIE DZIAŁAŃ RATOWNICZYCH podczas zdarzeń z udziałem pojazdów z napędem elektrycznym



SFT

SAFETY & FIRE TECHNOLOGY

**PRZYJMUJE ZGŁOSZENIA
DO NUMERU 1/2024**

**DYSCYPLINY WG MEiN:
inżynieria bezpieczeństwa
inżynieria chemiczna
inżynieria materiałowa
inżynieria środowiska, górnictwo, energetyka
nauki o bezpieczeństwie**



sft.cnbop.pl

