

Managing CO₂ Emission in the Energy Sector and Climate Policy

p. 6

Zarządzanie emisją CO₂ w energetyce a polityka klimatyczna

s. 6

40 PTS

Ministry
of Education
and Science

40 PKT

MEiN

Tax and Legal Issues Related to
the Implementation of Research and
Development Projects in the Area
of "Security and Defense" **p. 22**

Kwestie podatkowoprprawne
związane z realizacją projektów
badawczo-rozwojowych w obszarze
„Bezpieczeństwo i Obronność” **s. 22**

Methods Used to Extinguish
Fires in Electric Vehicles

p. 38

Metody gaśnicze stosowane do
tłumienia pożarów samochodów
elektrycznych **s. 38**

Analysis of Fire and Explosion
Properties of LNG

p. 58

Analiza właściwości pożarowych
i wybuchowych LNG

s. 58

EDITORIAL COMMITTEE / KOMITET REDAKCYJNY

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

st. bryg. dr inż. Jacek Zboina
dr hab. Maria Zielecka
dr hab. Anna Rabajczyk
nadbryg. dr inż. Mariusz Feltynowski, prof. SGSP
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 Katarzyna Szulejewska

Projekt okładki: Małgorzata Żurniewicz-Turno
Grafika na okładce: Adobe Stock

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

© by Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej
im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowy Instytut Badawczy, Józefów 2021.
Pewne prawa zastrzeżone. Artykuły udostępnione na licencji CC BY-SA 4.0 /
Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research
Institute, 2021. 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 32 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: Studio Sense

EDITORIAL ADVISORY BOARD / RADA NAUKOWA

prof. Andriey 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,
prof. ICSO The Łukasiewicz Research Network
– Institute of Heavy Organic Synthesis "Blachownia",
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

Punkty MEiN: 40
Index Copernicus International: ICV 2020: 100
EBSCO Publishing
BazTech
RINC
J-Gate
VINITI
Referativnyj Zhurnal
Ulrich's Periodicals Directory
ProQuest
DOAJ
Scilit
Crossref

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

Google Play
Electronical Journals Library, University of Regensburg
Vernadsky National Library of Ukraine
Yakub Kolas Central Scientific Library of NAS of Belarus
CyberLeninka
ibuk.pl
Academia.edu

CONTENT

- 6** Managing CO₂ Emission in the Energy Sector and Climate Policy
Anna Rabajczyk, Grzegorz Rabajczyk
- 22** Tax and Legal Issues Related to the Implementation of Research and Development Projects in the Area of "Security and Defense"
Monika Wyszomirska
- 38** Methods Used to Extinguish Fires in Electric Vehicles
Piotr Lesiak, Dariusz Pietrzela, Piotr Mortka
- 58** Analysis of Fire and Explosion Properties of LNG
Marzena Półka, Robert Piec, Dariusz Olcen
- 74** Identification and Evaluation of Technical and Operational Parameters of Mobile Positive Pressure Ventilation Fans Used during Rescue Operations
Piotr Kaczmarzyk, Wojciech Klapsa, Paweł Janik, Piotr Krawiec
- 92** Important Parameters and Settings in Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in Operational Work of the Fire Brigade
Maciej Zawistowski, Radosław Fellner
- 120** A Chance for the Climate. Fuel of the 21st Century – Analysis of the Perspective of Climate Neutrality on the Example of the Polish Hydrogen Strategy
Krzysztof Cygańczuk, Paweł Wolny
- 140** Selected Aspects of Crisis Management with the Use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) on the Example of a Traffic Disaster
Wiesław Jaszczur, Szymon Łukasik
- 154** Complex Approach to Thermal Testing of Firefighters' Protective Clothing
Dorota Szulczyńska, Jacek Roguski
- 180** Road Accidents Involving Motorcyclists in the Practice of Emergency Medical Teams – Statistical Analysis of the Effects of Motorcycle Accidents on Polish Roads in 2019
Paweł Musiał
- 204** Evacuation and its Types – Revision of the Definition and Classification
Mariusz Barański, Agnieszka Haznar-Barańska

SPIS TREŚCI

- 6** Zarządzanie emisją CO₂ w energetyce a polityka klimatyczna
Anna Rabajczyk, Grzegorz Rabajczyk
- 22** Kwestie podatkowoprawne związane z realizacją projektów badawczo-rozwojowych w obszarze „Bezpieczeństwo i Obronność”
Monika Wyszomirska
- 38** Metody gaśnicze stosowane do gaszenia pożarów samochodów elektrycznych
Piotr Lesiak, Dariusz Pietrzela, Piotr Mortka
- 58** Analiza właściwości pożarowych i wybuchowych LNG
Marzena Półka, Robert Piec, Dariusz Olcen
- 74** Identyfikacja i ocena parametrów techniczno-użytkowych mobilnych wentylatorów nadciśnieniowych stosowanych podczas działań ratowniczych
Piotr Kaczmarzyk, Wojciech Klapsa, Paweł Janik, Piotr Krawiec
- 92** Istotne parametry i ustawienia w bezzałogowych statkach powietrznych (BSP) w pracy operacyjnej straży pożarnej
Maciej Zawistowski, Radosław Fellner
- 120** Szansa dla klimatu. Paliwo XXI w. – analiza perspektywy neutralności klimatycznej na przykładzie Polskiej Strategii Wodorowej
Krzysztof Cygańczuk, Paweł Wolny
- 140** Wybrane aspekty zarządzania kryzysowego z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych (BSP) na przykładzie katastrofy komunikacyjnej
Wiesław Jaszczur, Szymon Łukasik
- 154** Kompleksowe podejście do badań termicznych odzieży ochronnej strażaków
Dorota Szulczyńska, Jacek Roguski
- 180** Zdarzenia komunikacyjne z udziałem motocyklistów w praktyce zespołów ratownictwa medycznego – analiza statystyczna skutków wypadków motocyklowych na polskich drogach w roku 2019
Paweł Musiał
- 204** Ewakuacja i jej rodzaje – rewizja definicji oraz klasyfikacja
Mariusz Barański, Agnieszka Haznar-Barańska

Anna Rabajczyk^{a)*}, Grzegorz Rabajczyk^{b)}

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

^{b)} *AGH University of Science and Technology in Kraków, Faculty of Electrical Engineering, Automatics, Computer Science and Biomedical Engineering / Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej*

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

Managing CO₂ Emission in the Energy Sector and Climate Policy

Zarządzanie emisją CO₂ w energetyce a polityka klimatyczna

ABSTRACT

Aim: The article presents information on the issue of CO₂ emission (called greenhouse gas) from the energy sector, along with tools enabling the determination of CO₂ emissivity used to manage this process and the directions of actions taken to minimize the negative impact on the climate.

Introduction: CO₂ is one of the substances essential for the functioning of life on Earth. On one hand, it is an important element of the carbon cycle in nature, being the basis for the synthesis of carbohydrates. On the other hand, it belongs to the group of greenhouse gases responsible for the climate change – and for this reason, it must be subject to constant control. Due to this fact, appropriate measures are taken, including changes in law, in the scope of emission, as well as the introduction of modern technological solutions aimed at monitoring and reducing CO₂ emission. Activities undertaken in the area of energy, the branch of the economy generating the largest amounts of anthropogenic CO₂, accounting for 41% of global emissions of this gas, are of significant importance [1]. The developed tools, allowing to calculate the amount of carbon dioxide emissions, expressed by emission indicators, allow for the assessment of the activities undertaken both in terms of ecology and economy.

Methodology: The article was prepared on the basis of a review of selected literature, and reports as well as applicable legal requirements in the field of the discussed subject.

Conclusions: The implemented measures aimed at the application of emission indicators in the area of energy allowed for the definition of forecasts and the determination of the directions of activities, in order to reduce the emission of CO₂. The gradual implementation of new technological solutions, enabling energy production based on biomass or other renewable energy sources, allows for the reduction of the emission of this gas. However, given the constantly increasing energy demand, it is a slow process which is not sufficient to stop the observed changes. Therefore, it is necessary to take further steps, to develop more reliable and homogeneous tools that would make it possible to compare the results regardless of the place of emission or the type of fuel used. However, it should be noted that it is necessary to cover all stages of the construction and operation of the energy sector with the measures mentioned above, which generate CO₂ emission, and not only the combustion process itself.

Keywords: emissivity, CO₂, power engineering, climate change

Type of article: review article

Received: 26.10.2021; Reviewed: 19.11.2021; Accepted: 19.11.2021;

Author's ORCID IDs: A. Rabajczyk – 0000-0003-4476-8428; G. Rabajczyk – 0000-0001-9520-9250;

The authors contributed the equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 6–21, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.1>;

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

ABSTRAKT

Cel: Artykuł przedstawia informacje na temat problematyki emisji CO₂ (nazywanego gazem cieplarnianym) z obszaru energetyki wraz z narzędziami umożliwiającymi określenie emisyjności CO₂ służącej do zarządzania tym procesem oraz kierunki podejmowanych działań celem minimalizacji negatywnego wpływu na klimat.

Wprowadzenie: CO₂ należy do substancji istotnych dla funkcjonowania życia na Ziemi. Z jednej strony stanowi istotny element obiegu węgla w przyrodzie, będąc podstawą do syntezy węglowodanów. Z drugiej natomiast należy do grupy gazów cieplarnianych, odpowiedzialnych za zmiany klimatyczne – między innymi z tego powodu musi podlegać stałej kontroli. W tym celu podejmowane są odpowiednie działania obejmujące zmiany w prawie, zakresie wielkości emisji, jak i wprowadzania nowoczesnych rozwiązań technologicznych, których celem jest monitoring i redukcja emisji CO₂. Istotne znaczenie mają aktywności podejmowane w obszarze energetyki, gałęzi gospodarki generującej największe ilości antropogenicznego CO₂, odpowiadającej za

41% globalnej emisji tego gazu [1]. Opracowywane narzędzia, pozwalające na obliczenie wielkości emisji ditlenku węgla, wyrażonej przez wskaźniki emisyjności, pozwalają na ocenę podejmowanych działań zarówno pod względem ekologicznym, jak i ekonomicznym.

Metodologia: Artykuł został opracowany na podstawie przeglądu wybranej literatury, raportów i sprawozdań oraz obowiązujących wymagań prawnych z zakresu poruszanej tematyki.

Wnioski: Wprowadzone działania mające na celu zastosowanie wskaźników emisyjności w obszarze energetyki pozwoliły na określenie prognoz i wyznaczenie kierunków działań, których efektem jest redukcja emisji CO₂. Stopniowa implementacja nowych rozwiązań technologicznych, umożliwiających produkcję energii w oparciu o biomasę czy inne odnawialne źródła energii, pozwala na zmniejszanie wielkości emisji tego gazu. Jest to jednak proces powolny, który przy stale wzrastającym zapotrzebowaniu na energię nie jest wystarczający do tego, aby zatrzymać obserwowane zmiany. Konieczne jest zatem podejmowanie kolejnych działań, opracowanie bardziej wiarygodnych i jednorodnych narzędzi, które pozwoliłyby na porównywanie wyników bez względu na miejsce emisji czy też rodzaj zastosowanego paliwa. Należy jednak zaznaczyć, że niezbędne jest objęcie wspomnianymi działaniami wszystkich etapów budowy i funkcjonowania sektora energetycznego, które generują emisję CO₂, a nie jedynie samego procesu spalania.

Słowa kluczowe: emisyjność, CO₂, energetyka, zmiany klimatu

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 26.10.2021; **Zrecenzowany:** 19.11.2021; **Zaakceptowany:** 19.11.2021;

Identyfikatory ORCID autorów: A. Rabajczyk – 0000-0003-4476-8428; G. Rabajczyk – 0000-0001-9520-9250;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 6–21, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.1>;

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

Carbon dioxide in the environment

One of the best known gases is carbon dioxide with the formula CO₂, which plays an important role in the carbon cycle in the environment. It is formed as a result of the natural processes of decomposition of organic compounds, combustion processes, including respiration, and the transformation of carbonic acid and its salts. However, man and his activities play a major role in the steady increase in the amount of CO₂ in the atmosphere. One of the most important anthropogenic sources of this gas is the combustion of fossil fuels for energy purposes. It should be noted that the presence of carbon dioxide determines the photosynthesis process and the formation of carbohydrates – compounds essential for the proper functioning of many organisms. Under natural conditions, the amount of gas released into the atmosphere is mostly balanced by binding processes such as photosynthesis or dissolution in water. In case of human activity, we observe a constant increase in the amount of CO₂, which is the sum of the processes that take place in the environment and the activities undertaken by humans that contribute to the emission of this gas. Although CO₂ plays an important role in life on Earth, its presence in the amounts which are too large is a threat – it disrupts the natural carbon cycle in nature. The presence of large amounts of gas contributes to the formation of the so-called greenhouse effect and smog, the consequences of which are, among others, climate change, disease, environmental degradation, destruction of buildings and man-made facilities. Taking into account both aspects of the presence of CO₂ in the atmosphere, it is necessary to follow the changes of this gas and its amount in the environment, as well as the places of release and the possibilities of its reduction.

Therefore, for years, measures have been taken at the regional, national and international level to monitor and counteract CO₂ emission. It should be remembered that the amount of

Ditlenek węgla w środowisku

Jednym z najbardziej znanych gazów jest ditlenek węgla (nazwa powszechna: dwutlenek węgla) o wzorze CO₂, który odgrywa istotną rolę w obiegu węgla w środowisku. Powstaje na skutek naturalnych procesów rozkładu związków organicznych, procesów spalania, w tym oddychania, przemian kwasu węglowego i jego soli. Jednakże dużą rolę w stałym wzroście ilości CO₂ w atmosferze odgrywa człowiek i jego działalność. Jednym z najistotniejszych antropogenicznych źródeł tego gazu są procesy spalania paliw kopalnianych na cele energetyczne. Należy zaznaczyć, że obecność ditlenku węgla determinuje proces fotosyntezy i powstawanie węglowodanów – związków istotnych dla prawidłowego funkcjonowania wielu organizmów. W warunkach naturalnych ilość uwalnianego gazu do atmosfery jest w większości bilansowana przez procesy wiążące, takie jak fotosynteza czy rozpuszczanie w wodzie. W przypadku zaistnienia działalności człowieka obserwujemy stały wzrost ilości CO₂, będący sumą procesów, jakie zachodzą w środowisku oraz działań podejmowanych przez człowieka, które przyczyniają się do emisji tego gazu. Pomimo że CO₂ pełni istotną rolę dla życia na Ziemi, jego obecność w zbyt dużych ilościach stanowi zagrożenie – następuje wówczas zakłócenie naturalnego obiegu węgla w przyrodzie. Obecność dużych ilości gazu przyczynia się do powstawania tzw. efektu cieplarnianego i smogu, których konsekwencją są m.in. zmiany klimatyczne, choroby, degradacja środowiska, niszczenie budynków i urządzeń wykorzystywanych przez człowieka. Biorąc pod uwagę oba aspekty obecności CO₂ w atmosferze, konieczne jest śledzenie zmian tego gazu i jego ilości w środowisku oraz miejsc uwalniania i możliwości jego redukcji.

Dlatego też od lat podejmowane są działania zarówno na poziomie regionalnym, jak i krajowym i międzynarodowym, których zadaniem jest monitoring oraz przeciwdziałanie emisji CO₂. Należy przy tym pamiętać, że wielkość emisji ditlenku węgla

the emissions of carbon dioxide depends on the type of sources in the area for which the emissions are calculated.

In order to determine the amount of released CO₂, it is necessary to take into account the following [2]:

- fossil emission (E_{FF}) – based on the statistics on the extraction and consumption of fossil fuels;
- land-use change emission, E_{LUC} ;
- land use for agricultural production and development based on the models that take into account deforestation and the processes that result in gas absorption.

Carbon dioxide present in the atmosphere in the biogeochemical cycle is absorbed by the ocean or elements of terrestrial ecosystems, and these amounts are estimated on the basis of global process models such as the Surface Ocean CO₂ Atlas (SOCAT). These models are based, among others, on satellite observations of carbon dioxide concentration in the atmosphere, degree of surface greening, measurement of CO₂ concentration in the waters, temperature measurement. Due to the amount of data and their complexity, projects determining the level of greenhouse gas emission are carried out in international cooperation, e.g. SOCAT is supported by the International Ocean Carbon Coordination Project (UNESCO-IOC/SCOR IOCCP), Surface Ocean Lower Atmosphere Study (SOLAS) and Integrated Marine Biogeochemistry and Ecosystem Research (IMBER) [3]. Due to this cooperation, it was possible to determine the global carbon budget, which indicates that between 2008–2017, CO₂ flows per carbon content and the calculated change in its amount in the atmosphere, depending on the type of process were as follows [2]:

- $9,4 \pm 0,5$ GtC/year (emissions from the combustion of fossil fuel, E_{FF}),
- $1,5 \pm 0,7$ GtC/year (emissions from land-use change emission, E_{LUC}),
- $2,4 \pm 0,5$ GtC/year (absorption by the oceans, S_{OCEAN}),
- $3,2 \pm 0,8$ GtC/year (absorption on land, S_{LAND}),
- $4,7 \pm 0,02$ GtC/year (change in the amount of CO₂ in the atmosphere, G_{ATM}).

Data analysis shows that there is a carbon budget imbalance (BIM) in the environment as a consequence of increased CO₂ emission and the inability to neutralize excessive amounts of the emitted gas. In 2020, the volume of global CO₂ emission, i.e. from various sources – including transport and energy – decreased by 5.8%, or almost 2 Gt CO₂, and it was the largest recorded decrease in history [4]. However, global energy-related CO₂ emission did not change and were at the level of 31.5 Gt, which in turn resulted in the highest average annual CO₂ concentration in the atmosphere in history – about 50% higher than at the beginning of the industrial revolution [3].

As part of the European Union (EU), assumptions for the climate and energy policy until 2030 [5] have been developed, aimed at increasing the target level of reduction of greenhouse gases (including CO₂) to at least 55% by 2030 in relation to the level of emission from 1990. One of the areas covered by the measures is energy, the energy efficiency of which is to be increased by at least 32.5%. The level of use of energy obtained from renewable energy sources (renewable energy sources) is also to be increased – to a minimum value of 32%. In case of

uzależniona jest od rodzaju źródeł występujących na obszarze, dla którego oblicza się emisję. Dlatego też, celem określenia ilości uwalnianego CO₂, niezbędne jest uwzględnienie [2]:

- spalania paliw kopalnych (ang. *fossil emissions*, E_{FF})
- oparte o statystyki wydobycia i zużycia kopalnin;
- użytkowania gruntów i zmiany użytkowania gruntów (ang. *land-use change emission*, E_{LUC})
- użytkowanie gruntów produkcji rolnej i pod zabudowę opartych o modele uwzględniające wylesianie, jak i procesy, w wyniku których następuje pochłanianie gazu.

Ditlenek węgla obecny w atmosferze w cyklu biogeochemicznym jest pochłaniany przez ocean czy też elementy ekosystemów lądowych, przy czym ilości te są szacowane na podstawie modeli globalnych procesów jak np. Surface Ocean CO₂ Atlas (SOCAT). Modele te oparte są, m.in. o obserwacje satelitarne stężenia ditlenku węgla w atmosferze, stopień zazielenienia powierzchni, pomiar stężenia CO₂ w wodach, pomiar temperatury. Ilość danych oraz ich złożoność powoduje, że przedsięwzięcia określające poziom emisji gazów cieplarnianych realizowane są we współpracy międzynarodowej, np. SOCAT wspierany jest przez International Ocean Carbon Coordination Project (UNESCO-IOC/SCOR IOCCP), Surface Ocean Lower Atmosphere Study (SOLAS) oraz Integrated Marine Biogeochemistry and Ecosystem Research (IMBER) [3]. Dzięki tej współpracy możliwe było określenie globalnego budżetu węgla, który wskazuje, że w dziesięcioleciu 2008–2017 przepływy CO₂ w przeliczeniu na zawarty w nich węgiel i obliczona zmiana jego ilości w atmosferze wyniosły, w zależności od rodzaju procesu [2]:

- $9,4 \pm 0,5$ GtC/rok (emisje ze spalania paliw kopalnych, E_{FF}),
- $1,5 \pm 0,7$ GtC/rok (emisje wynikające z użytkowania gruntów i zmiany użytkowania gruntów E_{LUC}),
- $2,4 \pm 0,5$ GtC/rok (pochłanianie przez oceany, S_{OCEAN}),
- $3,2 \pm 0,8$ GtC/rok (pochłanianie na lądach, S_{LAND}),
- $4,7 \pm 0,02$ GtC/rok (zmiana ilości CO₂ w atmosferze G_{ATM}).

Analiza danych wskazuje, że w środowisku występuje nierównowaga budżetu węgla (ang. *budget imbalance*, BIM), będąca konsekwencją zwiększonej emisji CO₂ i braku możliwości neutralizacji nadmiernych ilości wyemitowanego gazu. W 2020 r. wielkość globalnej emisji CO₂, czyli pochodzącej z różnych źródeł – w tym z transportu i energetyki – spadła o 5,8%, czyli prawie o 2 Gt CO₂ i był to największy odnotowany spadek w historii [4]. Jednakże globalne emisje CO₂ związane z energią nie uległy zmianie i były na poziomie 31,5 Gt, co z kolei spowodowało osiągnięcie najwyższego w historii średniego rocznego stężenia CO₂ w atmosferze – o ok. 50% wyższego niż w momencie rozpoczęcia rewolucji przemysłowej [3].

W ramach Unii Europejskiej (UE) opracowane zostały założenia polityki klimatyczno-energetycznej do roku 2030 [5], zmierzające do zwiększenia docelowego poziomu redukcji gazów cieplarnianych (w tym CO₂) do co najmniej 55% do 2030 r. w stosunku do poziomu emisji z roku 1990. Jednym z obszarów objętych działaniami jest energetyka, której efektywność energetyczna ma zostać zwiększona o co najmniej 32,5%. Zwiększeniu ma również ulec poziom wykorzystania energii pozyskiwanej z OZE (odnawialnych źródeł energii) – do wartości minimum 32%. W przypadku Polski udział OZE ma wynieść odpowiednio: 16,4, 18,4 i 20,2% w 2022,

Poland, the share of renewable energy sources is to be, respectively: 16.4, 18.4 and 20.2% in 2022, 2025 and 2027 [6]. The introduction of the Regulation on the Governance of the Energy Union and Climate Action [7] has allowed the EU to adopt integrated rules to ensure planning, monitoring and reporting on the progress and achieving the climate and energy targets set for 2030 and meeting international obligations under the Paris Agreement.

Member countries have made a joint reduction effort to achieve the binding Annual Emission Allocation (AEA), which was approved by the EU Climate Change Committee in October 2012 and adopted by the European Commission in March 2013 [4]. In subsequent periods, the limits were changed to ensure consistency with the extended scope of the European Union Emissions Trading System (EU ETS), international guidelines and emission reporting methods [8–10]. Moreover, the basic type of the Assigned Amount Unit is AAU. Within the limits of emission allowances applicable throughout Europe, enterprises receive or buy emission allowances, with each allowance granting its holder the right to emit 1 [Mg CO₂] [11]. If all available ceilings are not used, the company may sell them if necessary. In 2013, the ceiling of emission allowances from fixed installations was 2,084,301,856 [Mg CO₂] [11]. According to the assumptions, from 2021 the total number of emission allowances will be annually reduced by 2.2% [12]. Measures and actions adopted at the European level are intended to help the Member States reduce the emission of the greenhouse gas. One example is the action taken to reduce emissions from buildings by, for example, setting ecodesign requirements for energy-using products or energy labelling schemes to increase consumer awareness. In contrast, Member States are responsible for adopting appropriate national strategies and measures to reduce emissions from specific sectors covered by the Effort Sharing legislation, including, among others, building retrofit support systems, more efficient heating and cooling systems, the use of renewable energy in heating and cooling, biogas production from manure [12].

Pursuant to Directive 2018/410 of the European Parliament and of the Council of 14 March 2018 [13], amending Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council [14], it is possible to optionally exclude from the EU ETS installations emitting less than 2,500 tonnes of CO₂ – in case when a given device was subject to reporting, but during the last three years it did not exceed 2,500 tonnes of carbon dioxide equivalent each year. Each such installation must be reported to the European Commission before the list of installations is presented. In addition, it should be confirmed that if the installation emits 2,500 tonnes or more of carbon dioxide equivalent (not including biomass) in any reporting year including the exemption, it will be re-included in the EU ETS. Member States may also exclude from the EU ETS standby or spare units which have operated less than 300 hours per year in any of the three years preceding the notification [12–13].

2025 i 2027 roku [6]. Wprowadzenie rozporządzenia w sprawie zarządzania unią energetyczną i działaniami w dziedzinie klimatu [7] pozwoliło UE przyjąć zintegrowane przepisy w celu zapewnienia planowania, monitorowania i sprawozdawczości z postępów w realizacji i osiągnięcia wyznaczonych celów klimatyczno-energetycznych na 2030 r. oraz spełnienia międzynarodowych zobowiązań wynikających z porozumienia paryskiego.

Kraje członkowskie podjęły wspólny wysiłek redukcyjny celem osiągnięcia wiążących rocznych limitów emisji (ang. *Annual Emission Allocation*, AEA), które zostały zatwierdzone przez Komitet UE ds. Zmian Klimatu w październiku 2012 r. i przyjęte przez Komisję Europejską w marcu 2013 r. [4]. W kolejnych okresach limity były zmieniane celem zapewnienia spójności z rozszerzonym zakresem unijnego systemu handlu uprawnieniami do emisji (ang. *European Union Emissions Trading System*, EU ETS), międzynarodowymi wytycznymi i metodami zgłaszania emisji [8–10]. Należy dodać, że podstawowym typem jednostki przyznanej emisji jest AAU (ang. *Assigned Amount Units*). W ramach pułapów uprawnień do emisji, obowiązujących w całej Europie, przedsiębiorstwa otrzymują lub kupują uprawnienia do emisji, przy czym każde uprawnienie przyznaje jego posiadaczowi prawo do emisji 1 [Mg CO₂] [11]. W przypadku niewykorzystania wszystkich dostępnych pułapów przedsiębiorstwo może je w razie potrzeby sprzedać. W roku 2013 pułap uprawnień do emisji ze stałych instalacji wynosił 2 084 301 856 [Mg CO₂] [11]. Zgodnie z założeniami od 2021 r. łączna liczba uprawnień do emisji będzie zmniejszana o 2,2% rocznie [12]. Środki i działania przyjęte na szczeblu europejskim mają za zadanie wspomóc państwa członkowskie ograniczyć emisję gazów cieplarnianych. Jednym z przykładów są działania podjęte celem redukcji emisji z budynków poprzez np. określenie wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów wykorzystujących energię czy też systemy etykietowania efektywności energetycznej, pozwalające na zwiększenie świadomości konsumentów. Natomiast państwa członkowskie odpowiedzialne są za podjęcie odpowiednich krajowych strategii i środków, które pozwolą na ograniczenie emisji z określonych sektorów objętych zakresem przepisów dotyczących wspólnego wysiłku redukcyjnego, w tym m.in. systemy wsparcia modernizacji budynków, skuteczniejsze systemy ogrzewania i chłodzenia, stosowanie energii odnawialnej w ogrzewaniu i chłodzeniu, wytwarzanie biogazu z obornika [12].

Zgodnie z Dyrektywą 2018/410 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 14 marca 2018 r. [13], zmieniającą Dyrektywę 2003/87/EC Parlamentu Europejskiego i Rady [14], możliwe jest opcjonalne wyłączenie z EU ETS instalacji emitujących poniżej 2 500 ton CO₂ – w przypadku, kiedy dane urządzenie objęte było raportowaniem, ale w okresie ostatnich trzech lat nie przekraczało każdego roku 2 500 ton ekwiwalentu dwutlenku węgla. O każdej takiej instalacji należy powiadomić Komisję Europejską przed okazaniem wykazu instalacji. Ponadto, należy potwierdzić, że jeżeli instalacja wyemituje 2 500 lub więcej ton ekwiwalentu ditlenku węgla (nie uwzględniając biomasy) w którymkolwiek roku sprawozdawczym obejmującym wyłączenie, zostanie ponownie włączona do EU ETS. Państwa członkowskie mogą także wyłączyć z EU ETS jednostki rezerwowe lub zapasowe, które pracowały mniej niż 300 godzin rocznie w każdym z trzech lat poprzedzających powiadomienie [12–13].

Emissivity in the energy sector

In accordance with the Act on the greenhouse gas emission allowance trading system [15], the emission intensity is understood as the amount of carbon dioxide emissions in a given year from an installation generating electricity in relation to the amount of electricity produced in a given year in this installation, expressed in [MWh]. In connection with the efforts to reduce greenhouse gas emissions, one of the important areas for reducing CO₂ production is the modernization of buildings and the reduction of energy demand. For this purpose, during the implementation of the investment task, the amount of emission reduction [Mg CO₂/MWh] and the compliance indicators for the investment tasks related to the modernization of the existing installations generating electricity (including individual devices, including boilers, turbines, generators, engines, aggregates, heat exchangers, transformers) are determined or the replacement of these devices [15]. Thus, it is necessary to specify the type of basic fuel used (e.g. hard coal, brown coal), and in case of co-combustion, also the type of used co-firing fuel and the average share of co-combustion [%]. The indicated elements make it possible to evaluate the measures taken in terms of their emission efficiency (see Figure 1).

Emisyjność w energetyce

Emisyjność, zgodnie z ustawą o systemie handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych [15], rozumiana jest jako wielkość emisji ditlenku węgla w danym roku z instalacji wytwarzającej energię elektryczną w odniesieniu do wielkości produkcji energii elektrycznej w danym roku w tej instalacji, wyrażonej w [MWh]. W związku z działaniami zmierzającymi do redukcji emisji gazów cieplarnianych, jednym z istotnych obszarów pozwalających na zmniejszenie wytwarzania CO₂ jest modernizacja budynków i zmniejszenie zapotrzebowania na energię. W tym celu podczas realizacji zadania inwestycyjnego określa się wielkość redukcji emisyjności [Mg CO₂/MWh] oraz wskaźniki zgodności dla zadań inwestycyjnych związanych z modernizacją istniejących instalacji wytwarzających energię elektryczną (w tym pojedynczych urządzeń, m.in. kotłów, turbin, generatorów, silników, agregatów, wymienników ciepła, transformatorów) lub wymianą tych urządzeń [15]. W tym celu niezbędne jest określenie rodzaju zastosowanego paliwa podstawowego (np. węgiel kamienny, węgiel brunatny), a w przypadku współspalania także rodzaju zastosowanego paliwa współspalania oraz średniego udziału współspalania [%]. Wskazane elementy pozwalają na ocenę podejmowanych działań pod względem efektywności emisyjnej (zob. ryc. 1).

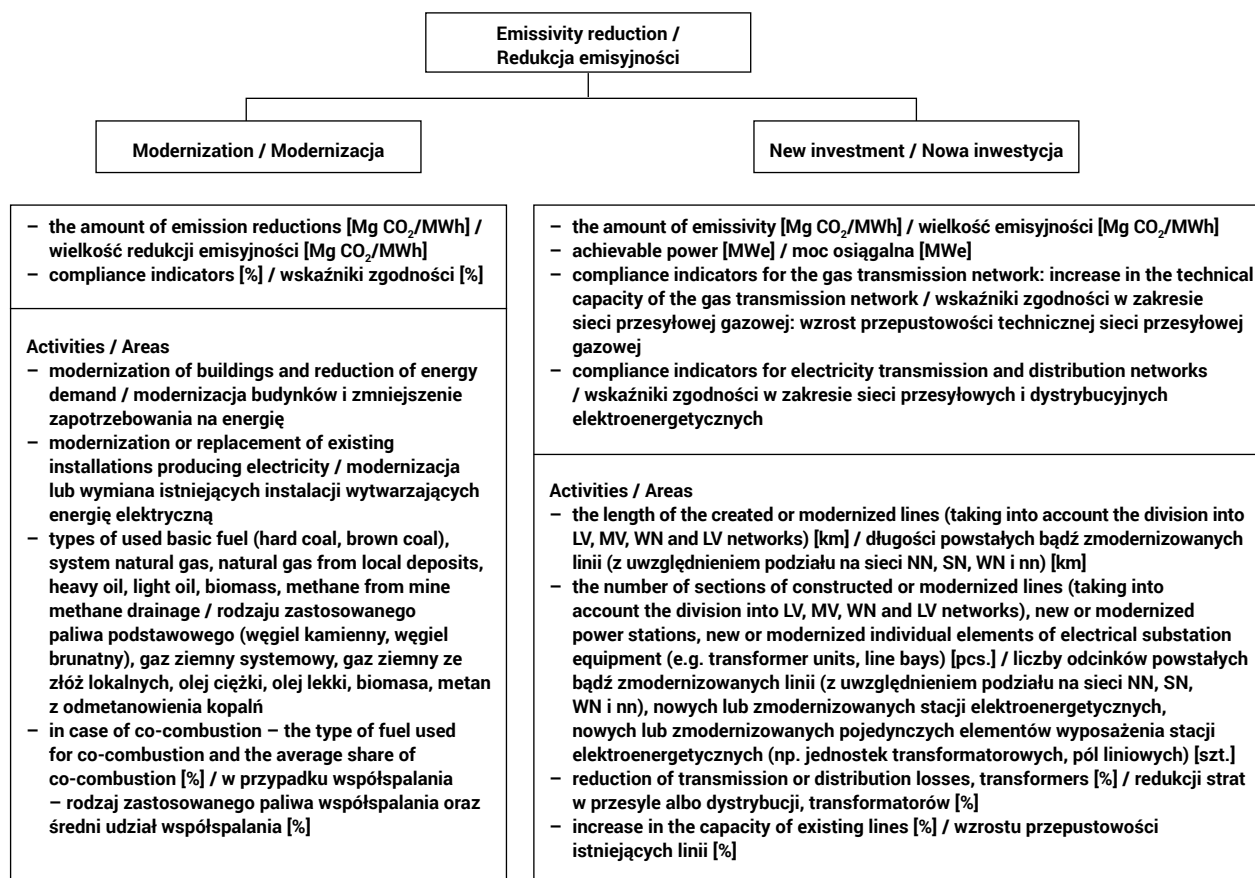


Figure 1. Determining the emissivity depending on the type of required activities
Rycina 1. Określenie emisyjności w zależności od rodzaju wymaganych działań

Source: Own elaboration based on [15].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [15].

In case of new investments, the following elements are analysed: emission level, achievable capacity, compliance indicators for industrial and electricity distribution networks and compliance indicators for the gas transmission network, taking into account the increase in the technical capacity of the gas transmission network. The received data is feedback whether the implementation of works in a specific scope will bring the expected results. In case of district heating networks, compliance indicators are calculated in terms of heat loss reduction [%] or the amount of electricity from cogeneration fed into the power grid [MWh/year] or the amount of heat from cogeneration fed into the heating network [GJ/year] [15].

The rules for monitoring and reporting greenhouse gas emissions and data on specific activities are defined in the EU Commission regulation [16]. For the purposes of monitoring emissions, installations have been divided into three categories, i.e. A, B and C, if the average verified annual CO₂ emission in the trading period immediately preceding the current trading period were respectively: up to 50 thousand tonnes, from 50–500 thousand tonnes, over 500 thousand tonnes. It should be remembered that the amount of emissions does not include CO₂ from biomass and is calculated before subtracting the amount of unused CO₂ and carried over from the previous settlement period [16].

For the purpose of monitoring emissions from the installation, methods based on calculation (C methods), methods based on measurement (M methods) or methods based on estimation (E methods) [17] can be used. However, the selected methods must be of appropriate accuracy, therefore they should include, for example, ISO standards, licenses, national or regional binding measurement methodologies, specified in a legal act appropriate to a given plant/installation, or a mass balance method approved by a competent authority, pan-European, sector-specific calculation method. In Poland, in case of using the M methods for periodic measurements of CO₂ emissions into the air from fuel combustion sources, in accordance with the Regulation of the Minister of Climate and Environment of 7 September 2021 on the requirements for emission measurements [18], it is recommended to use (as reference methodology) the absorption of infrared (IR) radiation or other optical method ensuring measurement uncertainty not greater than $\pm 1.0\%$ of CO₂ vol. [18]. In case of C methods, mass balance, activity-specific data (e.g. fuel composition, fuel consumption) and emission factor values for a given pollutant can be used. Fuel emission factors related to the net calorific value (NCV) and calorific values converted to fuel mass are included in Annex VI to the EC Regulation [19]. Moreover, in order to calculate the consumption of chemical energy contained in the fuel subjected to the combustion process, as a reporting tool in Poland, the calorific value (WO) expressed in [MJ/kg] are used, indicated for a given year by the National Centre for Balancing and Management of Emissions (KOBiZE) [20], which are systematically published by KOBiZE (see Table 1).

W przypadku nowych inwestycji analizie podlegają takie elementy, jak: wielkość emisyjności, moc osiągalna, wskaźniki zgodności w zakresie sieci przemysłowych i dystrybucyjnych elektroenergetycznych oraz wskaźniki zgodności w zakresie sieci przesyłowej gazowej, z uwzględnieniem wzrostu przepustowości technicznej sieci przesyłowej gazowej. Otrzymane dane są informacją zwrotną, czy realizacja prac w określonym zakresie przyniesie oczekiwane efekty. W przypadku sieci ciepłowniczych wskaźniki zgodności obliczane są w zakresie redukcji strat ciepła [%] lub ilości energii elektrycznej z kogeneracji wprowadzonej do sieci elektroenergetycznej [MWh/rok] lub ilości energii cieplnej z kogeneracji wprowadzonej do sieci ciepłowniczej [GJ/rok] [15].

Zasady monitorowania i raportowania w zakresie emisji gazów cieplarnianych oraz danych dotyczących określonej działalności określa rozporządzenie Komisji UE [16]. Do celów monitorowania emisji instalacje zostały podzielone na trzy kategorie, tj. A, B i C, jeśli średnia zweryfikowana roczna wielkość emisji CO₂ w okresie rozliczeniowym bezpośrednio poprzedzającym aktualny okres rozliczeniowy wynosiła odpowiednio: do 50 tys. t, od 50–500 tys. t, ponad 500 tys. t. Należy przy tym pamiętać, że wielkość emisji nie uwzględniania CO₂ pochodzącego z biomasy i obliczane jest przed odjęciem ilości CO₂ niewykorzystanej i przenoszonej z poprzedniego okresu rozliczeniowego [16].

Do celów monitorowania emisji z instalacji można zastosować metody oparte na obliczeniach (ang. *calculation methods*, metody C), oparte na pomiarach (ang. *measurement methods*, metody M) bądź szacowaniu (ang. *estimation methods*, metody E) [17]. Jednakże wybrane metody muszą charakteryzować się odpowiednią dokładnością, dlatego też powinny uwzględniać np. normy ISO, licencje, krajowe lub regionalne wiążące metodyki pomiaru, określone w akcie prawnym adekwatnym do danego zakładu/installacji czy też metodę bilansu masy zatwierdzoną przez właściwy organ, ogólnoeuropejską, właściwą dla sektora metodę obliczeniową. W Polsce w przypadku zastosowania metod M dla okresowych pomiarów emisji CO₂ do powietrza ze źródeł spalania paliw, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 7 września 2021 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji [18], zaleca się stosowanie jako metodyki referencyjnej absorpcję promieniowania podczerwonego (IR) lub inną metodę optyczną gwarantującą niepewność pomiaru nie większą niż $\pm 1,0\%$ obj. CO₂ [18]. W przypadku metod C można natomiast zastosować bilans masowy, dane charakterystyczne dla danej działalności (np. skład paliwa, zużycie paliwa) oraz wartości wskaźników emisji dla danego zanieczyszczenia. Współczynniki emisji paliw odniesione do wartości opałowej (NCV) oraz wartości opałowe w przeliczeniu na masę paliwa zawarte są w załączniku VI rozporządzenia KE [19]. Ponadto, w celu obliczenia zużycia energii chemicznej, jaka zawarta jest w paliwie poddanym procesowi spalania, jako narzędzia do sprawozdawczości na terenie Polski, stosuje się wartości opałowe (WO) wyrażane w [MJ/kg], wskazane na dany rok przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE) [20], które są systematycznie publikowane przez KOBiZE (zob. tabela 1).

Table 1. Changes in calorific values (CO) and CO₂ emission factors (EC) in 2015–2018 (for reporting in the Emission Allowance Trading Scheme in the following years 2018–2021)**Tabela 1.** Zmiany wartości opałowych (WO) i wskaźników emisji CO₂ (WE) w latach 2015–2018 (do raportowania w Systemie Handlu Uprawnieniami do Emisji w kolejnych latach 2018–2021)

Type of activity / Rodzaj działalności	2015 (2018)	2016 (2019)	2017 (2020)	2018 (2021)
Coal: WO [MJ/kg] / WE CO₂ [kg/GJ] / Węgiel kamienny: WO [MJ/kg] / WE CO₂ [kg/GJ]				
Commercial CHP plants and power plants / Elektrociepłownie zawodowe i elektrownie	21.14 / 95.48	21.42 / 93.46	20.99 / 93.63	21.24 / 93.54
Industrial heat and power plants / Elektrociepłownie przemysłowe	23.16 / 94.61	22.94 / 94.66	22.40 / 94.78	22.29 / 94.81
Heat plants / Ciepłownie	21.91 / 94.90	21.74 / 94.94	21.27 / 95.07	21.33 / 95.05
Coking plants / Koksownie	29.59 / 93.49	29.56 / 93.49	29.60 / 93.49	29.59 / 93.49
Production of iron and steel (groups from Chapter 24 except those mentioned in Table 6) / Produkcja żelaza i stali (grupy z działu 24 z wyjątkiem wymienionych w tabeli 6)	28.89 / 93.59	28.94 / 93.58	29.33 / 93.53	27.61 / 93.78
Non-ferrous metals industry (groups 24.4, 24.53, 24.54) / Przemysł metali nieżelaznych (grupy 24.4, 24.53, 24.54)	23.00 / 94.64	22.67 / 94.72	23.12 / 94.62	23.97 / 94.43
Chemical industry (groups 20 and 21) / Przemysł chemiczny (dział 20 i 21)	22.90 / 94.67	22.76 / 94.70	21.45 / 95.02	21.67 / 94.96
Paper and printing industry (groups 17 and 18) / Przemysł papierniczy i poligraficzny (dział 17 i 18)	22.90 / 94.67	22.76 / 94.70	23.06 / 94.63	22.81 / 94.69
Food industry (groups 10, 11 and 12) / Przemysł spożywczy (dział 10, 11 i 12)	22.90 / 94.66	22.78 / 94.69	23.72 / 94.49	23.48 / 94.54
Manufacture of products from other non- metallic mineral raw materials (group 23) / Produkcja wyrobów z pozostałych mineralnych surowców niemetalicznych (dział 23)	22.90 / 94.67	22.76 / 94.70	25.44 / 94.15	25.55 / 94.13
Other industries / Inne przemysły	22.90 / 94.67	22.76 / 94.70	23.55 / 94.52	23.48 / 94.54
Institutions/Trade/Services / Instytucje/Handel/Usługi	25.93 / 94.06	25.98 / 94.05	25.70 / 94.10	25.80 / 994.08
Agriculture, forestry and fisheries / Rolnictwo, leśnictwo i rybołówstwo	25.93 / 94.06	25.97 / 94.05	26.00 / 94.05	26.00 / 94.05
Brown coal: WO [MJ/kg] / WE CO₂ [kg/GJ] / Węgiel brunatny: WO [MJ/kg] / WE CO₂ [kg/GJ]				
Commercial CHP plants and power plants / Elektrociepłownie zawodowe i elektrownie	8.14 / 110.76	8.99 / 107.13	9.14 / 107.15	9.47 / 105.95
Heat plants / Ciepłownie	9.10 / 106.31	9.02 / 106.62	8.21 / 110.34	8.02 / 113.14
Manufacture of products from other non- metallic mineral raw materials (group 23) / Produkcja wyrobów z pozostałych mineralnych surowców niemetalicznych (dział 23)	8.14 / 110.66	8.12 / 110.81	8.21 / 110.31	8.14 / 110.67
Other industries / Inne przemysły	8.14 / 110.66	8.12 / 110.81	9.55 / 105.21	8.10 / 110.61
Institutions/Trade/Services / Instytucje/ Handel/Usługi	8.18 / 110.51	9.33 / 105.39	8.00 / 111.39	10.00 / 102.98
Agriculture, forestry and fisheries / Rolnictwo, leśnictwo i rybołówstwo	8.17 / 110.52	9.34 / 105.35	8.00 / 111.41	8.14 / 110.67

Source: Own elaboration based on [20–23].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [20–23].

The indicated values are used to prepare reports as part of reporting by individual entities. It should be noted that the presented data on the values of CO and EC indicators for fuels that are used in the national economy in a given year are used to develop emission data for another year, e.g. for reporting under 2021, data on the values of indicators obtained in 2018 [23].

KOBiZE also publishes national CO₂ emission rates for natural gas and fuel oil burned in sectors related to specific PKD sections and calorific values, expressed in [MJ/m³], calculated on the basis of national statistical data. The CO₂ emission factors for other fuels included in the documents come from the IPCC guidelines (Intergovernmental Panel on Climate Change) [24] and can be applied regardless of the type of activity. In case of the combustion of biomass, i.e. firewood and wood-based waste, biogenic municipal waste and biogas, CO₂ emission is not included in the sum of emissions from fuel combustion, in accordance with the rules set out in the emission allowance trading scheme and the value is zero [20].

Tools for calculating emissions

Emissivity is used to assess changes taking place in the economy and focus it on the reduction of the emission of the greenhouse gases, including CO₂. Moreover, the emission indicators allow to forecast and determine the directions of the changes taking place, assessing the implemented solutions, taking into account the impact on the environment. Depending on the legal applicable guidelines in a given area (e.g. protected areas, industrial areas), the emission level and the recommended method of determining the emissivity may differ. KOBiZE estimated the total amount of emissions based on the emissions and data from installations for combustion of fuels producing only kinetic energy or electricity and heat, reported to the national database. The calculations take into account all fuels, both renewable and non-renewable, used in the energy sector that determine the emission and its size. Additionally, after taking into account all electricity generated in the country and losses caused by energy transmission and distribution, the electricity emission factors for end users are determined. The volume of energy production, on the basis of which the benchmark was then calculated, in the period between 2014–2017 was calculated from the dependence [25]:

$$PR = P_c + 3,6 \cdot P_{ee} \quad (1)$$

while from 2018, the calculations were based on the dependence:

$$PR = P_c/3,6 + P_{ee} \quad (2)$$

where:

PR – equivalent production [MWh],

P_c – heat production [GJ],

P_{ee} – electricity production [MWh].

Due to the reporting of CO₂ emissions in the EU ETS and the related requirements, appropriate assumptions were introduced:

- determining the share of electricity in equivalent

Wskazane wartości służą do przygotowania raportów w ramach sprawozdawczości poszczególnych podmiotów. Należy przy tym zwrócić uwagę, że zaprezentowane dane dotyczące wartości wskaźników WO i WE dla paliw, które wykorzystywane są w gospodarce krajowej w danym roku, służą do opracowania danych emisyjnych za inny rok, np. do sprawozdawczości w ramach roku 2021 służą dane w zakresie wartości wskaźników otrzymane w roku 2018 [23].

KOBiZE publikuje także krajowe wskaźniki emisji CO₂ dla gazu ziemnego i oleju opałowego spalanych w sektorach dotyczących określonych działów PKD oraz wartości opałowe, wyrażone w [MJ/m³], obliczone w oparciu o krajowe dane statystyczne. Zawarte w dokumentach wskaźniki emisji CO₂ dla pozostałych paliw pochodzą z wytycznych IPCC (ang. *Intergovernmental Panel on Climate Change*) [24] i mogą być stosowane niezależnie od rodzaju działalności. W przypadku spalania biomasy, tj. drewna opałowego i odpadów pochodzenia drzewnego, odpadów komunalnych biogenicznych i biogazu, emisji CO₂ nie wlicza się do sumy emisji ze spalania paliw, zgodnie z zasadami ustalonymi w systemie handlu uprawnieniami do emisji i przyjmuje się wartość zero [20].

Narzędzia do obliczania emisji

Emisyjność stosowana jest do oceny zmian zachodzących w gospodarce i ukierunkowania jej na redukcję emisji gazów cieplarnianych, w tym CO₂. Ponadto wskaźniki emisyjności pozwalają na prognozowanie i określanie kierunków zachodzących zmian, oceny wprowadzanych rozwiązań z uwzględnieniem wpływu na środowisko. W zależności od wytycznych prawnych obowiązujących na danym terenie (np. obszary objęte ochroną, obszary przemysłowe) poziom emisji oraz zalecana metoda określenia emisyjności mogą się różnić. KOBiZE oszacowała całkowitą wielkość emisji w oparciu o emisje oraz dane z instalacji do spalania paliw produkujących tylko energię kinetyczną lub energię elektryczną i ciepło, raportowane do krajowej bazy danych. W wyliczeniach brane są pod uwagę wszystkie paliwa, zarówno odnawialne, jak i nieodnawialne, wykorzystywane w energetyce determinujące emisję i jej wielkość. Dodatkowo, po uwzględnieniu całej wytworzonej energii elektrycznej w kraju oraz strat spowodowanych przesyłem i dystrybucją energii, określane są wskaźniki emisyjności energii elektrycznej u odbiorców końcowych. Wielkość produkcji energii, na podstawie której następnie wyliczono wskaźnik emisyjności, w okresie 2014–2017 obliczana była z zależności [25]:

$$PR = P_c + 3,6 \cdot P_{ee} \quad (1)$$

natomiast od roku 2018 obliczenia prowadzone były w oparciu o zależność:

$$PR = P_c/3,6 + P_{ee} \quad (2)$$

gdzie:

PR – produkcja równoważna [MWh],

P_c – produkcja ciepła [GJ],

P_{ee} – produkcja energii elektrycznej [MWh].

Ze względu na raportowanie emisji CO₂ w systemie EU ETS i wymagania z tym związane, wprowadzono odpowiednie założenia:

- production in the combustion sources covered by the EU ETS,
- determining the associated CO₂ emission of electricity in plants participating in the EU ETS system based on the calculated share of electricity in production,
- using data from plants reporting electricity and heat production,
- including the volume of electricity production in wind and hydro power plants (excluding energy generated in pumped storage plants),
- including network transmission and distribution losses [23].

The obtained results showed that between 2014–2020, for which data in this regard are published, there is a gradual reduction in the emission level of the energy sector (see Table 2).

- określenie udziału energii elektrycznej w produkcji równoważnej w źródłach spalania objętych systemem EU ETS,
- określenie emisji CO₂ przynależnej energii elektrycznej w zakładach uczestniczących w systemie UE ETS w oparciu o wyliczoną wielkość udziału energii elektrycznej w produkcji,
- wykorzystanie danych z zakładów raportujących produkcję energii elektrycznej i ciepła,
- uwzględnienie wielkości produkcji energii elektrycznej w elektrowniach wiatrowych oraz wodnych (z pominięciem energii wytwarzanej w elektrowniach szczytowo-pompowych),
- uwzględnienie strat sieciowych przesyłowych i dystrybucyjnych [23].

Otrzymane wyniki wykazały, że w latach 2014–2020, dla których publikowane są dane w tym zakresie, ma miejsce stopniowa redukcja poziomu emisyjności energetyki (zob. tabela 2).

Table 2. Changes in the value of the emission indicator [kg CO₂/MWh] for the power industry in the production of electricity as well as electricity and combined heat [26–31]

Tabela 2. Zmiany wartości wskaźnika emisyjności [kg CO₂/MWh] dla energetyki w zakresie produkcji energii elektrycznej oraz elektrycznej i ciepła skojarzonego [26–31]

Indicator / Wskaźnik	Year / Rok					
	2014	2015	2016	2017	2018	2019
In relation to combustion sources / W odniesieniu do źródeł spalania	823	810	806	814	792	758
At the final recipient / U odbiorcy końcowego	825	798	781	778	765	719

Source: Own elaboration based on [26–31].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [26–31].

It should be added that in 2014 KOBiZE additionally published the values of the emission indicators for combustion sources covered by the EU ETS system and for the final recipient in case of combustion sources covered by the EU ETS system. The values of indicators for systems covered by EU ETS were lower than the values of indicators for general combustion sources, and amounted to 803 and 807 [kg CO₂/MWh] [26], respectively.

The US Environmental Impact Assessment (EIA) publishes estimates of CO₂ emission related to electricity generation on a monthly and annual basis and average annual CO₂ emission factors related to total electricity production by the electricity industry in terms of the entire country and individual states in State Electricity Profiles [32]. However, it should be noted that the indicators are given in pounds CO₂ per megawatt hour [pounds per kWh], with 1 pound = 0.453 592 37 kg. According to data published by EIA, power plants fired with coal, natural gas and petroleum-derived fuels were responsible for 99% of electricity-related CO₂ emissions in 2019, accounting for approximately 62% of total electricity production in the USA. The remaining 1% of CO₂ emissions came from other fossil fuels and gases and from certain

Należy dodać, że w 2014 r. KOBiZE opublikował dodatkowo wartości wskaźników emisyjności dla źródeł spalania objętych systemem EU ETS oraz u odbiorcy końcowego w przypadku źródeł spalania objętych systemem EU ETS. Wartości wskaźników dla układów objętych systemem EU ETS były mniejsze od wartości wskaźników dla źródeł spalania ogólnych i wynosiły odpowiednio 803 i 807 [kg CO₂/MWh] [26].

Amerkańska Agencja Informacji Energetycznej (ang. *Environmental Impact Assessment*, EIA) publikuje szacunkowe wartości emisji CO₂ związane z wytwarzaniem energii elektrycznej w ujęciu miesięcznym i rocznym oraz średnie roczne współczynniki emisji CO₂ związane z całkowitą produkcją energii elektrycznej przez przemysł elektroenergetyczny w ujęciu całego kraju, jak i poszczególnych stanów w Stanowych Profilach Energii Elektrycznej (ang. *State Electricity Profiles*) [32]. Należy jednak zaznaczyć, że wskaźniki podane są w funtach CO₂ na megawatogodzinę [pounds per kWh], przy czym 1 pound = 0,453 592 37 kg. Zgodnie z danymi opublikowanymi przez EIA elektrownie spalające węgiel, gaz ziemny i paliwa ropopochodne odpowiadały w 2019 r. za 99% emisji CO₂ związanych z energią elektryczną, stanowiąc przy tym źródło

types of geothermal power plants. The value of the CO₂ emission index for coal, natural gas and crude oil was respectively: 2.21, 0.91 and 2.13 [pounds per kWh] [32]. Based on international agreements, it should be added that EIA considers the generation of electricity from renewable sources, i.e. from biomass, water, sun and wind, to be neutral in terms of carbon dioxide emissions – the emissions from these sources are not included in the national inventories of greenhouse gas emissions [32].

Modelling and minimization of CO₂ emissions

CO₂ emission is a problem that has been the subject of international discussion for years. This discussion is the basis for changes introduced in the area of energy. Emissivity is one of the elements taken into account in the direction and selection of technological solutions. This indicator is used both for the ongoing assessment of the environmental impact, as well as for forecasting and modelling changes in the energy system. However, it should be added that modelling is a very complex problem. It is necessary to take into account not only the amount of emissions, but also many other aspects, such as the complexity of the behaviour of consumers and decision-makers, processes related to the feedback between modules or various types of delays. Moreover, the amount of CO₂ emission from electricity production varies according to the type of fuel/energy source and the type and capacity of the power plant [32]. The amount of carbon dioxide produced per 1 kWh in any given period will therefore be different depending on the energy sources supplied to the electricity grid at a given time, which determines the hourly, daily, monthly and annual changes [2, 32]. Therefore – depending on the purpose of the carried out processes, as well as the possibility of obtaining data – many different solutions are used.

On the basis of the available data, forecasts are made and trends of changes are determined, taking into account various scenarios. Based on the available historical data on emission and energy change trends, it has been estimated, for example, that in 2021 global energy-related CO₂ emission will increase by 4.8% (which means that there will be an increase of more than 1,500 Mt of CO₂). If the predictions come true, we will be dealing with the largest single increase in CO₂ emission since the financial crisis more than a decade ago [2]. It is assumed that the global consumption of coal and natural gas will lead to an increase in global CO₂ emission by approximately 640 and 215 Mt of CO₂, respectively [2].

Data presented by BP p.l.c. in a report from 2021 [33] indicate that CO₂ emission from energy consumption fell by more than 6% in 2020 – to the lowest level since 2011. However, the authors emphasize that the presented data cannot be comparable with the official national data on CO₂ emission for individual countries indicated in the report, including Poland [32].

A simple tool for calculating emissions and determining the impact on the environmental quality, including air condition, is

ok. 62% całkowitej produkcji energii elektrycznej w USA. Pozostały 1% emisji CO₂ pochodził z innych paliw i gazów pochodzących z paliw kopalnych oraz z niektórych rodzajów elektrowni geotermalnych. Wartość wskaźnika emisji CO₂ dla węgla, gazu ziemnego oraz ropy naftowej wynosiła odpowiednio: 2,21, 0,91 i 2,13 [funtów na kWh] [32]. Należy dodać, że EIA w oparciu o porozumienia międzynarodowe uważa wytwarzanie energii elektrycznej z odnawialnych źródeł, tj. z biomasy, wody, słońca i wiatru, za neutralne pod względem emisji ditlenku węgla – emisja z tych źródeł nie jest uwzględniana w krajowych inwentaryzacjach emisji gazów cieplarnianych [32].

Modelowanie i minimalizacja emisji CO₂

Emisja CO₂ jest problemem, który od lat jest tematem dyskusji na forum międzynarodowym. Dyskusja ta stanowi podstawę do wprowadzanych zmian w obszarze dotyczącym energetyki. Jednym z elementów branych pod uwagę przy kierunku i doborze rozwiązań technologicznych jest emisyjność. Wskaźnik ten wykorzystuje się zarówno do bieżącej oceny oddziaływania na środowisko, jak również do prognozowania i modelowania zmian systemu energetycznego. Należy jednak dodać, że modelowanie jest bardzo złożonym problemem. Konieczne jest bowiem uwzględnienie nie tylko wielkości emisji, ale także wielu innych aspektów, jak np. złożoność zachowań konsumentów, decydentów, procesy związane ze sprzężeniem zwrotnym między modułami czy też różnego rodzaju opóźnienia. Ponadto wielkość emisji CO₂ powstałego podczas wytwarzania energii elektrycznej różni się w zależności od rodzaju paliwa/źródła energii oraz rodzaju i wydajności elektrowni [32]. Ilość ditlenku węgla wytworzonego na 1 kWh w dowolnym okresie będzie zatem inna w zależności od źródeł energii dostarczanej do sieci elektrycznej w danym czasie, co determinuje zmiany godzinowe, dobowe, miesięczne i roczne [2, 32]. Dlatego też – w zależności od celu prowadzonych procesów, jak również możliwości pozyskania danych – stosowanych jest wiele różnych rozwiązań.

Na podstawie dostępnych danych przeprowadza się prognozy i określa trendy zmian z uwzględnieniem różnych scenariuszy. W oparciu o dostępne dane historyczne w zakresie emisji oraz trendy wprowadzanych zmian w energetyce oszacowano na przykład, że w 2021 r. globalne emisje CO₂ związane z energią wzrosną o 4,8% (co oznacza, że nastąpi wzrost o ponad 1 500 Mt CO₂). Jeśli przewidywania się sprawdzą, to będziemy mieć do czynienia z największym pojedynczym wzrostem emisji CO₂ od kryzysu finansowego, jaki miał miejsce ponad dekadę temu [2]. Zakłada się przy tym, że globalne zużycie węgla i gazu ziemnego doprowadzi do wzrostu globalnej emisji CO₂ odpowiednio o ok. 640 i 215 Mt CO₂ [2].

Dane prezentowane przez BP p.l.c. w raporcie z 2021 r. [33] wskazują natomiast, że emisja CO₂ wynikająca ze zużycia energii spadła w 2020 r. o ponad 6% – do najniższego poziomu od 2011 r. Jednakże autorzy podkreślają, że zaprezentowane dane nie mogą być porównywalne z oficjalnymi krajowymi danymi w zakresie emisji CO₂ dla poszczególnych krajów wskazanych w raporcie, w tym Polski [32].

Prostym narzędziem pozwalającym na obliczenie wielkości emisji i określenie wpływu na jakość środowisk, w tym stan

a calculator of greenhouse gases equivalencies developed by the Environmental Protection Agency (EPA). The calculator allows to calculate Global Warming Potentials (GWPs), with some equivalents being given as CO₂ equivalents (CO_{2e}) and calculated based on the GWP of the fourth report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [35]. The calculator of greenhouse gas equivalents uses AVERT (AVoided Emissions and geneRation Tool) [36–37], which allows the calculation of the weighted average marginal CO₂ emission factor to estimate which units, fossil fuel or renewable sources, are relevant for the emissivity

One of the tools used in modelling the energy system is the system dynamics model, which enables modelling of complex systems and allows for understanding and studying the structure of feedback in complex systems, non-linear dynamics or delay time [38–39]. A model based on the dynamics of systems supported by Vensim simulation models was developed by Arroyo and Migue [40] to forecast trends over the period between 2000–2030 in final energy demand, energy intensity and CO₂ emissions in Ecuador. It should be emphasised that Vensim software is a tool used for modelling, including building, simulating and analysing dynamic model systems based on causal loops or inventory and flow diagrams. The System Dynamics Model (SDM) was designed to estimate energy consumption, economic growth, energy intensity and CO₂ emission in Ecuador in 2030. The authors took into account the traditional energy resources of Ecuador, they also took into account actions modelled on those taken by industrialized countries and trends in the use of renewable energy and energy efficiency determining CO₂ emission. Based on the obtained results, they concluded that taking steps allowing for a gradual change in the functioning of the energy sector, and the gradual implementation of solutions in the field of renewable energy sources would reduce emission to 42,191.4 kt of CO₂. If the current operating conditions of the power industry were maintained, the achieved value is significantly below the value of 75,182.6 kt of CO₂ that could be obtained [40].

Another solution is based on the emissivity resulting from the production of devices used in the power industry, e.g. elements for wind farms or photovoltaic farms. Arvesen and Hertwich [41] estimated aggregate emissions from the construction, operation and decommissioning of wind farms up to 2050, including changes in the electricity mix in production. The conducted analysis was based on the hybrid Life Cycle Assessment (LCA) methodology, combining the physical and process aspects of the life cycle of individual devices used in onshore and offshore wind farms [35] and energy scenarios performed by the International Environment Agency (IEA) [42].

As part of the technology life cycle inventory, data available in the Ecoinvent database [43] was used and an extended environmental input-output analysis (EE-IOA) was carried out, using the following formula:

$$d = C \cdot e = CF \cdot (I - A)^{-1} \cdot y \quad (3)$$

where:

d – a vector representing the total values of the impact factor,
 e – a vector that includes the results of the life cycle inventory analysis, such as the emission value,
 C – characterizing factor matrix,

powietrza, jest kalkulator równoważności gazów cieplarnianych (ang. *greenhouse gases equivalencies calculator*) opracowany przez Agencję Ochrony Środowiska (ang. *Environmental Protection Agency, EPA*). Kalkulator pozwala na obliczenie współczynników ocieplenia globalnego (ang. *Global Warming Potentials, GWP*), przy czym niektóre równoważniki są podawane jako ekwiwalenty CO₂ (CO_{2e}) i są obliczane w oparciu o GWP zawarte w czwartym raporcie Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (IPCC) [35]. Kalkulator ekwiwalentów gazów cieplarnianych wykorzystuje narzędzie AVERT (ang. *AVoided Emissions and geneRation Tool*) [36–37], pozwalające na obliczenie średniego ważonego marginalnego wskaźnika emisji CO₂, celem oszacowania, które jednostki, opalane paliwami kopalnymi czy ze źródeł odnawialnych, mają znaczenie dla emisyjności.

Jednym z narzędzi stosowanych w modelowaniu systemu energetycznego jest model dynamiki systemu, który umożliwia modelowanie złożonych układów oraz pozwala na zrozumienie i zbadanie struktury sprzężenia zwrotnego w złożonych systemach, nieliniowości dynamiki czy też czasu opóźnienia [38–39]. W celu prognozowania trendów w latach 2000–2030 w końcowym zapotrzebowaniu na energię, energochłonności i produkcji emisji CO₂ w Ekwadorze, Arroyo i Migue [40] opracowali model oparty na dynamice systemów wspieranych przez modele symulacyjne Vensim. Należy zaznaczyć, że oprogramowanie Vensim jest narzędziem stosowanym do modelowania, w tym budowania, symulowania i analizowania dynamicznych systemów modelowych w oparciu o pętle przyczynowe lub diagramy zapasów i przepływów. Model dynamiki systemu (ang. *the System Dynamics Model, SDM*) został zaprojektowany w celu oszacowania zużycia energii, wzrostu gospodarczego, energochłonności i emisji CO₂ w Ekwadorze w 2030 roku. Autorzy wzięli pod uwagę tradycyjne zasoby energetyczne Ekwadoru, uwzględnili także działania wzorowane na tych podjętych przez kraje uprzemysłowione oraz trendy w zakresie wykorzystania energii odnawialnej i efektywności energetycznej determinujące emisję CO₂. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzili, że podjęcie kroków pozwalających na stopniową zmianę w funkcjonowaniu energetyki i stopniowe wdrażanie rozwiązań w zakresie OZE pozwoliłoby na zmniejszenie emisji do 42 191,4 kt CO₂. Osiągnięta wartość jest znacznie poniżej wartości 75 182,6 kt CO₂, którą można byłoby otrzymać, gdyby obecne warunki funkcjonowania energetyki zostały zachowane [40].

Inne rozwiązanie oparte jest na emisyjności wynikającej z wytworzenia urządzeń stosowanych w energetyce, np. elementów do farm wiatrowych czy też fotowoltaicznych. Arvesen i Hertwich [41] oszacowali zagregowane emisje z budowy, eksploatacji i likwidacji farm wiatrowych do 2050 r., łącznie z uwzględnieniem zmian w miksie elektroenergetycznym w produkcji. Przeprowadzona analiza została oparta o hybrydową metodologię środowiskowej oceny cyklu życia (ang. *Life Cycle Assessment, LCA*), łączącą fizyczne i procesowe aspekty cyklu życia poszczególnych urządzeń stosowanych w lądowych i morskich farmach wiatrowych [35] oraz scenariusze energetyczne wykonywane przez Międzynarodową Agencję Środowiska (ang. *International Environment Agency, IEA*) [42].

W ramach przeprowadzenia inwentaryzacji cyklu życia technologii wykorzystano dane dostępne w bazie Ecoinvent [43] oraz

F – matrix of stressors intensity,
 I – identity matrix,
 A – direct requirements matrix (describes the relationship between physical processes and sectors of the economy, where each element represents the flow from one process/production sector to the process/consumption sector) [44],
 y – demand vector.

On the basis of the conducted analysis, the authors concluded that in case of onshore wind farms, the most important single element contributing to the total CO₂ emission is the turbine, which causes emissions at the level of 60–69% of the total CO₂ emission calculated on the basis of LCA-EE-IOA hybrid model. In case of an offshore wind turbine, the level is 19–35% [36]. It has also been indicated that the environmental benefits of introducing wind power largely depend on the extent to which wind electricity will replace fossil fuel energy, as well as extending equipment lifetime or increasing the efficiency factor by 5–8% [36].

Data from LCA environmental life cycle assessment of individual devices was also used by Pehl et al. [45] to determine the size of future emissions and their role in counteracting progressive climate change. The comparison covered nuclear, wind and solar energy and the level of CO₂ emission by 2050. Detailed information on modelling of grey energy (embodied energy use, EEU), i.e. the energy needed to produce an element, taking into account the energy used for the extraction and processing of raw materials and indirect gas emissions, as tools for developing global scenarios of future power systems were presented [40]. The combination of an integrated LCA assessment model with EEU factors provides a holistic view of the elements determining future gas emissions throughout the life cycle of low-carbon technologies and energy systems. It allows to define actions and the time needed to implement them in order to mitigate climate change and protect the environment. The following were used:

- REMIND model (REgional Model of INvestment and Development) [46], which describes in detail energy consumption and technology implementation for the energy sector decarbonisation scenario with a constant temperature of 2°C;
- EEU factors from LCA THEMIS model [47] (technology hybridized environmental-economic model with integrated scenarios), reflecting the likely future technological progress and changes in basic technologies,
- detailed bioenergy emissions related to land use and land-use-change (LULUC) from the MAgPIE model (model of agricultural production and its impact on the environment) [48].

Based on the obtained results, it was concluded that the cost of energy related to the construction and operation of power plants in 2050 will be responsible for 3–8% of electricity production in case of nuclear, wind and solar energy, and more than 13% in case of other low-carbon technologies. Whereas, emissions of greenhouse gas in a life cycle for these three technologies range from 3.5 to 11.5 g CO_{2eq}/kWh, which is well below the range for current technologies [44]. The obtained information is important for global scenarios where indirect emissions are ignored and only focused on emissions directly related to the operation of a given energy system.

przeprowadzono rozszerzoną środowiskową analizę input-output (ang. *environmentally extended input-output analysis*, EE-IOA), korzystając z działania:

$$d = C \cdot e = CF \cdot (I - A)^{-1} \cdot y \quad (3)$$

gdzie:

d – wektor reprezentujący całkowite wartości wskaźnika oddziaływania,
 e – wektor obejmujący wyniki analizy inwentaryzacji cyklu życia, takie jak wartość emisji,
 C – macierz czynników charakteryzujących,
 F – macierz natężeń stresorów,
 I – macierz tożsamości,
 A – bezpośrednia macierz wymagań (opisuje relacje między procesami fizycznymi a sektorami gospodarki, gdzie każdy element reprezentuje przepływ z jednego procesu/sektora produkcji do procesu/sektora konsumpcji) [44],
 y – wektor określający popyt.

Na podstawie przeprowadzonej analizy autorzy stwierdzili, że w przypadku lądowych farm wiatrowych najważniejszym pojedynczym elementem, przyczyniającym się do całkowitej emisji CO₂ jest turbina, która powoduje emisję na poziomie 60–69% całkowitej emisji CO₂ obliczonej w oparciu o hybrydowy model LCA-EE-IOA. W przypadku turbiny wiatrowej morskiej jest to poziom 19–35% [36]. Wykazano ponadto, że korzyści środowiskowe z wprowadzenia energii wiatrowej w dużej mierze zależą od stopnia, w jakim energia elektryczna z wiatru zastąpi energię pochodzącą z paliw kopalnych, jak również od wydłużenia czasu pracy urządzeń czy też zwiększenia współczynnika wydajności o 5–8% [36].

Dane wynikające ze środowiskowej oceny cyklu życia LCA poszczególnych urządzeń zostały także wykorzystane przez Pehl i in. [45] do określenia wielkości przyszłych emisji i ich roli w przeciwdziałaniu postępującym zmianom klimatycznym. Porównaniem objęto energetykę jądrową, wiatrową i słoneczną oraz poziom emisji CO₂ do 2050 r. Przedstawione zostały szczegółowe informacje w zakresie modelowania szarej energii (ang. *embodied energy use*, EEU), czyli energii potrzebnej do wytworzenia elementu z uwzględnieniem energii zużytej do wydobycia i przetworzenia surowców oraz pośrednich emisji gazów, jako narzędzi pozwalających na opracowanie globalnych scenariuszy przyszłych systemów elektroenergetycznych [40]. Połączenie zintegrowanego modelu oceny LCA ze współczynnikami EEU zapewnia całościowe ujęcie elementów determinujących wielkość emisji gazów w przyszłości w całym cyklu życia technologii niskoemisyjnych i systemów energetycznych. Pozwala określić działania oraz niezbędny czas na ich wprowadzenie celem łagodzenia zmian klimatycznych i ochrony środowiska. W pracach wykorzystano:

- model REMIND (ang. *REgional Model of INvestment and Development*) [46], który szczegółowo opisuje zużycie energii i wdrażanie technologii dla scenariusza dekarbonizacji sektora energetycznego o stałej temperaturze 2°C;
- współczynniki EEU z modelu LCA THEMIS [47] (ang. *technology hybridized environmental-economic model with integrated scenarios*), odzwierciedlającymi prawdopodobny przyszły postęp technologiczny i zmiany w technologiach podstawowych,
- szczegółowe emisje bioenergii związane z użytkowaniem

The assumptions and tools used in the models and studies cover other aspects, therefore they can be used in other areas of activity and verification of the emissivity problem. Determining the amount of emissions as part of the current activity based on the values of CO and EC gives information at a given moment and can be used in the assessment of the applied technology, based on a given type of fuel, and constitute the basis for indicating the amount of emissions for subsequent years, assuming no changes in the activity. By using CO and EC indicators for individual fuels in relation to a given activity, it is possible to verify the planned activities and answer the question whether the fuel change will affect the emissions, and if so, how and whether it is a profitable process. However, this scope of information is insufficient when measures are needed to reduce the emissions of greenhouse gases, including CO₂, on a large scale. Including LCA to determine the emission level at all stages, i.e. from the idea to decommissioning, through transport and operation, is the only alternative to the correct assessment of emission and provides an appropriate tool for assessing the undertaken changes and modernizations on a scale larger than a local one or a single entity.

Conclusion

One of the important branches of the economy is energy, for which demand is constantly growing as a consequence of technological development and the growth of population. However, obtaining energy involves burning fossil fuels and emitting huge amounts of CO₂. Therefore, the emissivity is an important parameter in the era of the observed climate changes and the growing amount of CO₂ present in the environment, which is not balanced by the binding processes resulting from the carbon cycle in nature. Thus, measures are taken to reduce the emission of CO₂ by monitoring the amount of this gas in the atmosphere, estimating the effects of actions taken in terms of possible emission scenarios, and assessing the activities by determining selected indicators that define the impact on the environment and the climate. For this purpose, tools in the form of calculators, more and less complex models or the use of the hybrid LCA method are also developed, the task of which is to obtain the necessary information about the current conditions and to define scenarios of changes that

gruntów i zmianą użytkowania gruntów (ang. *land-use and land-use-change, LULUC*) z modelu użytkowania gruntów MAgPIE (ang. *model of agricultural production and its impact on the environment*) [48].

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że koszt energii związany z budową i eksploatacją elektrowni w 2050 r. będzie odpowiadał za 3–8% produkcji energii elektrycznej w przypadku energetyki jądrowej, wiatrowej i słonecznej oraz ponad 13% w przypadku innych technologii niskoemisyjnych. Natomiast emisje gazów cieplarnianych w cyklu życia dla tych trzech technologii wahają się od 3,5 do 11,5 g CO_{2eq}/kWh, co jest znacznie poniżej zakresu dla obecnych technologii [44]. Pozyskane informacje mają istotne znaczenie dla globalnych scenariuszy, w ramach których pomija się wielkość emisji pośrednich i skupia jedynie na emisji bezpośrednio związanej z funkcjonowaniem danego układu energetycznego.

Zastosowane w modelach i opracowaniach założenia oraz narzędzia obejmują inne aspekty, tym samym mogą być stosowane w innych obszarach działalności i weryfikacji problemu emisyjności. Określenie wielkości emisji w ramach bieżącej działalności w oparciu o wartości WO i WE daje informację na daną chwilę i może być wykorzystywane w ocenie użytkowanej technologii, opartej o dany rodzaj paliwa oraz stanowić podstawę do wskazania wielkości emisji na kolejne lata, przy założeniu braku zmian w działalności. Stosując wskaźniki WO i WE dla poszczególnych paliw w odniesieniu do danej działalności, możliwa jest weryfikacja planowanych działań i odpowiedź na pytanie, czy zmiana paliwa wpłynie na wielkość emisji, a jeżeli tak, to w jaki sposób i czy jest to proces opłacalny. Jednakże ten zakres informacji jest niewystarczający w przypadku, kiedy niezbędne są działania w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych, w tym CO₂, na szeroką skalę. Uwzględnienie LCA do określenia wielkości emisji na wszystkich etapach, czyli od pomysłu do likwidacji, poprzez transport i eksploatację, stanowi jedyną alternatywę do prawidłowej oceny emisyjności i daje odpowiednie narzędzie do oceny podejmowanych zmian i modernizacji w skali większej niż lokalna czy jeden podmiot.

Podsumowanie

Jedną z istotnych gałęzi gospodarki jest energetyka, na którą – jako konsekwencja rozwoju technologii i wzrostu liczby ludności – zapotrzebowanie stale rośnie. Pozyskiwanie energii wiąże się jednak ze spalaniem paliw kopalnych i emisją ogromnych ilości CO₂. Emisyjność jest zatem istotnym parametrem w dobie obserwowanych zmian klimatycznych i rosnącej ilości CO₂ obecnego w środowisku, która nie zostaje zrównoważona przez procesy wiążące, wynikające z obiegu węgla w przyrodzie. Dlatego też podejmowane są działania w zakresie redukcji emisji CO₂ przez monitoring ilości tego gazu w atmosferze, szacowanie efektów podejmowanych działań w zakresie możliwych scenariuszy emisji, ocenę działań przez określenie wybranych wskaźników definiujących wpływ na środowisko i klimat. W tym celu opracowywane są także narzędzia w postaci kalkulatorów, mniej i bardziej rozbudowanych modeli czy też zastosowanie hybrydowej metody LCA, których zadaniem jest pozyskanie niezbędnych informacji o obecnych warunkach oraz określenie scenariuszy

may take place under the assumed conditions (e.g. an increase in the amount of energy obtained from renewable sources). The obtained data allows for the minimization of negative human activity and the necessary measures to protect the environment and the people. However, it is important that the procedures are standardized and allow for the estimation and prediction of emissions for a given area, regardless of the source of the obtained data. Currently, it is not possible, because depending on the demand and the available data, the presented reports and calculations often differ from each other and cannot be compared.

zmian, jakie mogą mieć miejsce przy zakładanych warunkach (np. wzrostie ilości energii pozyskanej ze źródeł odnawialnych). Otrzymane dane pozwalają na minimalizację negatywnej aktywności człowieka i podjęcie niezbędnych działań celem ochrony środowiska i ludzi. Jednakże ważne jest, aby procedury były ujednolicone oraz pozwalały na oszacowanie i predykcję emisji dla danego obszaru, bez względu na źródło pozyskanych danych. Obecnie nie jest to możliwe, gdyż w zależności od zapotrzebowania, dostępności danych prezentowane raporty i wyliczenia często różnią się między sobą i nie mogą być porównywane.

Literature / Literatura

- [1] Foster V., Bedrosyan D., *Understanding CO₂ Emissions from the Global Energy Sector*, Live Wire. A Knowledge Note Series for the Energy Practice, The World Bank, 85126, 5, 2014.
- [2] Le Quéré C., Andrew R. M., Friedlingstein P., Sitch S., Hauck J., Pongratz J., Pickers P.A., Korsbakken J.I., Peters G.P., Canadell J.G., Arneeth A., Arora V.K., Barbero L., Bastos A., Bopp L., Chevallier F., Chini L.P., Ciais P., Doney S.C., Gkritzalis T., Goll D.S., Harris I., Haverd V., Hoffman F.M., Hoppema M., Houghton R.A., Hurtt G., Ilyina T., Jain A.K., Johannessen T., Jones C.D., Kato E., Keeling R.F., Goldewijk K.K., Landschützer P., Lefèvre N., Lienert S., Liu Z., Lombardozzi D., Metzl N., Munro D.R., Nabel J.E.M.S., Nakaoka S., Neill C., Olsen A., Ono T., Patra P., Peregon A., Peters W., Peylin P., Pfeil B., Pierrot D., Poulter B., Rehder G., Resplandy L., Robertson E., Rocher M., Rödenbeck C., Schuster U., Schwinger J., Séférian R., Skjelvan I., Steinhoff T., Sutton A., Tans P.P., Tian H., Tilbrook B., Tubiello F.N., van der Laan-Luijkx I.T., van der Werf G.R., Viovy N., Walker A.P., Wiltshire A.J., Wright R., Zaehle S., Zheng, B., *Global Carbon Budget 2018*, "Earth System Science Data" 2018, 10, 2141–2194, <https://doi.org/10.5194/essd-10-2141-2018>.
- [3] PMEL Carbon Program, SOCAT, <https://www.pmel.noaa.gov/co2/story/SOCAT> [dostęp: 5.09.2021].
- [4] IEA, *Global Energy Review 2021. Assessing the effects of economic recoveries on global energy demand and CO₂ emissions in 2021*, Francja 2021, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/d0031107-401d-4a2f-a48b-9eed19457335/GlobalEnergyReview2021.pdf> [dostęp: 1.10.2021].
- [5] Climate Action, UE, https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework_pl [dostęp: 15.09.2021].
- [6] Commission staff working document, Assessment of the final national energy and climate plan of Poland, SWD(2020) 920, Bruksela 2020, https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/documents/staff_working_document_assessment_necp_poland_en.pdf [dostęp: 15.09.2021].
- [7] Regulation (EU) 2018/1999 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the Governance of the Energy Union and Climate Action, amending Regulations (EC) No 663/2009 and (EC) No 715/2009 of the European Parliament and of the Council, Directives 94/22/EC, 98/70/EC, 2009/31/EC, 2009/73/EC, 2010/31/EU, 2012/27/EU and 2013/30/EU of the European Parliament and of the Council, Council Directives 2009/119/EC and (EU) 2015/652 and repealing Regulation (EU) No 525/2013 of the European Parliament and of the Council.
- [8] Commission Implementing Decision of 31 October 2013 on the adjustments to Member States' annual emission allocations for the period from 2013 to 2020 pursuant to Decision No 406/2009/EC of the European Parliament and of the Council (2013/634/EU).
- [9] Commission Decision (EU) 2017/1471 of 10 August 2017 amending Decision 2013/162/EU to revise Member States' annual emission allocations for the period from 2017 to 2020 (notified under document C(2017) 5556).
- [10] Climate Action. European Union Transaction. Allocations to Stationary Installations https://ec.europa.eu/clima/ets/napMgt.do;EUROPA_EUTLPUBLI001_PRD_JSESSIONID=A-OGzUJTaY8C0nSDEraqFMshSGodYJVR151s70bFs5ld6t-bUf9ROE!945687656 [dostęp: 15.09.2021].
- [11] Komisja Europejska, Pułapy i przydziały uprawnień do emisji, https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/emissions-cap-and-allowances_pl [dostęp: 15.09.2021].
- [12] Regulation (EU) 2018/842 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on binding annual greenhouse gas emission reductions by Member States from 2021 to 2030 contributing to climate action to meet commitments under the Paris Agreement and amending Regulation (EU) No 525/2013 (Text with EEA relevance).
- [13] Directive (EU) 2018/410 of the European Parliament and of the Council of 14 March 2018 amending Directive 2003/87/EC to enhance cost-effective emission reductions and low-carbon investments, and Decision (EU) 2015/1814.
- [14] Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC (OJ L 275, 25.10.2003, p. 32).

- [15] Ustawa z dnia 12 czerwca 2015 r. o systemie handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych (Dz.U.2021.332).
- [16] Commission Implementing Regulation (EU) 2020/2085 of 14 December 2020 amending and correcting Implementing Regulation (EU) 2018/2066 on the monitoring and reporting of greenhouse gas emissions pursuant to Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council (OJ L 423, 15.12.2020, p. 37–47).
- [17] Dröge R., Peek C.J., Montfoort J.A., van der Maas C.W.M., Guis B., Baas C., van Hunnik O.R., van den Berghe A.C.W.M., *Methodology report on the calculation of emissions to air from the sectors Energy, Industry and Waste as used by the Dutch Pollutant Release and Transfer Register*, National Institute for Public Health and the Environment, RIVM Report 2016-005.
- [18] Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 7 września 2021 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji (Dz.U. 2021, poz. 1710).
- [19] Commission Regulation (EU) No 601/2012 of 21 June 2012 on the monitoring and reporting of greenhouse gas emissions pursuant to Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council (OJ L 181, 12.07.2012, p. 30–104).
- [20] Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO₂ (WE) w roku 2015 do raportowania w ramach Systemu Handlu Upewnieniami do Emisji za rok 2018, KOBiZE, Warszawa 2017.
- [21] Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO₂ (WE) w roku 2016 do raportowania w ramach Systemu Handlu Upewnieniami do Emisji za rok 2019, KOBiZE, Warszawa 2018.
- [22] Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO₂ (WE) w roku 2017 do raportowania w ramach Systemu Handlu Upewnieniami do Emisji za rok 2020, KOBiZE, Warszawa 2019.
- [23] Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO₂ (WE) w roku 2018 do raportowania w ramach Systemu Handlu Upewnieniami do Emisji za rok 2021, KOBiZE, Warszawa 2020.
- [24] IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 1–5, 2006, <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/> [dostęp:15.09.2021].
- [25] Wskaźniki emisyjności CO₂ dla energii elektrycznej u odbiorców końcowych na podstawie informacji zawartych w Krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2014 rok, KOBiZE, Warszawa 2016.
- [26] Wskaźniki emisyjności CO₂, SO₂, NO_x, CO i TSP (pyłu całkowitego) dla energii elektrycznej na podstawie informacji zawartych w Krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2015 rok, KOBiZE, Warszawa 2017.
- [27] Wskaźniki emisyjności CO₂, SO₂, NO_x, CO i TSP (pyłu całkowitego) dla energii elektrycznej na podstawie informacji zawartych w Krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2016 rok, KOBiZE, Warszawa 2018.
- [28] Wskaźniki emisyjności CO₂, SO₂, NO_x, CO i TSP (pyłu całkowitego) dla energii elektrycznej na podstawie informacji zawartych w Krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2017 rok, KOBiZE, Warszawa 2018.
- [29] Wskaźniki emisyjności CO₂, SO₂, NO_x, CO i TSP (pyłu całkowitego) dla energii elektrycznej na podstawie informacji zawartych w Krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2018 rok, KOBiZE, Warszawa 2019.
- [30] Wskaźniki emisyjności CO₂, SO₂, NO_x, CO i TSP (pyłu całkowitego) dla energii elektrycznej na podstawie informacji zawartych w Krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2019 rok, KOBiZE, Warszawa 2020.
- [31] Wskaźniki emisyjności CO₂, SO₂, NO_x, CO i pyłu całkowitego dla energii elektrycznej na podstawie informacji zawartych w Krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2019 rok, KOBiZE, Warszawa 2020.
- [32] EIA, Independent Statistics & Analysis. U.S. Energy Information Administration, *How much carbon dioxide is produced per kilowatt hour of U.S. electricity generation?* <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=74&t=11> [dostęp:15.09.2021]
- [33] Statistical Review of World Energy 2021, 70th edition of the annual report, BP 2021.
- [34] US EPA, Greenhouse Gases Equivalencies Calculator, <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gases-equivalencies-calculator-calculations-and-references> [dostęp: 15.09.2021].
- [35] IPCC Report, <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar4/> [dostęp:15.09.2021].
- [36] US EPA, AVERT, U.S. national weighted average CO₂ marginal emission rate, year 2019 data, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC. 2020.
- [37] US EPA, AVoided Emissions and generation Tool (AVERT), <https://www.epa.gov/avert> [dostęp:17.09.2021].
- [38] Wu D.D., Kefan X., Hua L., Shi Z., Olson D.L., *Modelling technological innovation risks of an entrepreneurial team using system dynamics: An agent-based perspective*, "Technological Forecasting and Social Change" 2010, 77, 857–869, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.01.015>.
- [39] Dyson B., Chang N.-B., *Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modelling*, „Waste Management" 2005, 25, 669–679, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.10.005>.
- [40] Arroyo M.F.R., Miguel L.J., *The Trends of the Energy Intensity and CO₂ Emissions Related to Final Energy Consumption in Ecuador: Scenarios of National and Worldwide Strategies*, „Sustainability" 2020, 12, <https://doi.org/10.3390/su12010020>.
- [41] Arvesen A., Hertwich E.G., *Environmental implications of large-scale adoption of wind power: a scenario-based life cycle assessment*, „Environmental Research Letter" 2012, 7, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/3/039501>.
- [42] IEA, Energy Technology Perspectives 2010: Scenarios and Strategies to 2050, OECD Publishing, Paris 2009.
- [43] 2007 Life Cycle Inventory Database v2.1 <http://www.ecoinvent.ch/> [dostęp:17.09.2021].
- [44] Strømman A.H., Solli C., Hertwich E.G., *Hybrid life-cycle assessment of natural gas based fuel chains for transportation*. „Environmental Science & Technology" 2006, 40, 2797–2804.
- [45] Pehl M., Arvesen A., Humpenöder F., Popp A., Hertwich E.G., Luderer G., *Understanding future emissions from low-carbon power systems by integration of life-cycle assessment and*

integrated energy modelling, „Nat Energy” 2017, 2, 939–945, <https://doi.org/10.1038/s41560-017-0032-9>.

- [46] Luderer G., Leimbach M., Bauer N., Kriegler E., Baumstark L., Bertram C., Giannousakis A., Hilaire J., Klein D., Levesque A., Mouratiadou I., Pehl M., Pietzcker R., Piontek F., Roming N., Schultes A., Schwanz V.J., Strefler J., *Description of the REMIND model (Version 1.6)*, Social Science Research Network, Potsdam 2015.
- [47] Luderer G., Pehl M., Arvesen A., Gibon T., Bodirsky B.L., De Boer H.S., Fricko O., Hejazi M., Humpenöder F., Iyer G.,

et al., *Environmental co-benefits and adverse side-effects of alternative power sector decarbonization strategies*, „Nature Communications” 2019, 10(1), 5229, <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13067-8>.

- [48] Pikaar I., Matassa S., Bodirsky B., Weindl I., Bruschi M., Humpenöder F., Rabaey K., Boon N., Yuan Z., van Zanten H., Herrero M., Verstraete W., Popp A., *Decoupling livestock from land use through industrial feed production pathways*, „Environmental Science & Technology” 2018, 52(13), 7351–7359, <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b00216>.

PH.D. ANNA RABAJCZYK, CNBOP-PIB PROFESSOR – in 1988 she graduated from the Institute of Chemistry of the Pedagogical University in Kielce (now the Jan Kochanowski University in Kielce). In 2000, she obtained a doctorate in chemical sciences at the Faculty of Chemistry of the Opole University, and in 2011, a post-doctoral degree at the Wrocław University of Technology. She is a professor at Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute in Józefów. Specialty – environmental engineering.

GRZEGORZ RABAJCZYK – a student of Automation and Robotics at the Faculty of Electrical Engineering, Automatics, Computer Science and Biomedical Engineering at the AGH University of Science and Technology in Kraków. He gained knowledge and experience in the field of industrial automation and computer science during his studies and numerous internships. He also has experience in working in an R&D laboratory, deals with product validation and development of test systems. He is interested in programming, intelligent management, environmental protection and Data Science. Member of the AGH Industrial Data Science research club. Permissions and certificates: SEP, FCE, ISTQB.

DR HAB. ANNA RABAJCZYK, PROF. CNBOP-BIB – w 1988 r. ukończyła studia w Instytucie Chemii Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Kielcach (obecnie Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach). W 2000 r. uzyskała stopień doktora nauk chemicznych na Wydziale Chemii Uniwersytetu Opolskiego, a w 2011 r. stopień doktora habilitowanego na Politechnice Wrocławskiej. Jest profesorem w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpowodziowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowym Instytucie Badawczym w Józefowie. Specjalność – inżynieria środowiska.

GRZEGORZ RABAJCZYK – student Automatyki i Robotyki na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Wiedzę i doświadczenie z dziedziny automatyki i informatyki przemysłowej zdobył podczas studiów oraz licznych staży. Ma także doświadczenie w pracy w laboratorium R&D, zajmuje się walidacją produktów i developmem systemów testowych. Interesuje się programowaniem, inteligentnym zarządzaniem, ochroną środowiska oraz Data Science. Członek koła naukowego AGH Industrial Data Science. Uprawnienia i certyfikaty: SEP, FCE, ISTQB.

Monika Wyszomirska^{a)*}

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

^{*} *Corresponding author / Autor korespondencyjny: mwyszomirska@cnbop.pl*

Tax and Legal Issues Related to the Implementation of Research and Development Projects in the Area of "Security and Defense"

Kwestie podatkowoprawne związane z realizacją projektów badawczo-rozwojowych w obszarze „Bezpieczeństwo i Obronność”

ABSTRACT

Purpose: The aim of the article is to discuss tax issues related to the settlement of subsidies for the implementation of projects in the area of "Security and Defense". The grant beneficiaries face numerous problems with the interpretation of the provisions of the VAT Act, which may result in serious financial consequences in the event of incorrect application of the VAT Act. This publication analyses and indicates solutions to these problems, which are most often raised by consortia, both in applications for tax interpretations and in complaints to administrative courts of both instances.

Introduction: Among the important forms of activity for the security and defence of the state, a special role is played by scientific and research and development projects, which not only increase the potential of scientific and industrial entities, but also create Polish know-how in the field of critical technologies in the area of "Security and defence". The implementation of projects financed from the state budget places on the beneficiaries the obligation of a "regime" method of settling public funds, both by applying the provisions on public procurement, constructing civil contracts, taking into account the fact that funds from subsidies are available, as well as performing special diligence in tax settlements with the tax authorities.

Methodology: The theoretical research methods were used in the work, including the analysis of literature, judgments of common courts and the Provincial and Supreme Administrative Court, as well as tax interpretations issued by the Director of the National Revenue Administration. The publication also provides an interpretation of national regulations as well as directives and case law of the Court of Justice of the European Union.

Conclusions: Tax law is the branch of law that arouses the greatest emotions and controversy. It affects all of us, and in the event of incorrect application of the rules – it has serious financial consequences. Members of consortia implementing projects financed by the The National Centre for Research and Development (NCBR) also remain taxpayers, to whom the author of the article proposed the interpretation of the provisions of the VAT Act and discussed national and EU jurisprudence in order to facilitate the correct implementation of tax obligations by the consortia.

Keywords: VAT taxation of subsidies, eligibility of expenses, right to deduct input tax, transfer of proprietary copyrights to the State Treasury, commercialization of results of scientific research and development works

Type of article: review article

Received: 25.10.2021; Reviewed: 07.11.2021; Accepted: 08.11.2021;

Author's ORCID ID: M. Wyszomirska – 0000-0002-7780-2699

Please cite as: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 22–36, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.2>;

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

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest omówienie kwestii podatkowych związanych z rozliczeniem dotacji na realizację projektów w obszarze „Bezpieczeństwo i Obronność”. Beneficjenci dotacji napotykać bowiem na liczne problemy z interpretacją przepisów ustawy o podatku od towarów i usług, co może skutkować poważnymi konsekwencjami finansowymi w przypadku niewłaściwego zastosowania ustawy VAT. Niniejsza publikacja analizuje i wskazuje rozwiązania tych problemów, które są najczęściej podnoszone przez konsorcja zarówno we wnioskach o wydanie interpretacji podatkowych, jak i w skargach do sądów administracyjnych obu instancji.

Wprowadzenie: Wśród istotnych form działalności na rzecz bezpieczeństwa i obronności państwa szczególną rolę odgrywają projekty naukowe i badawczo-rozwojowe, które nie tylko zwiększają potencjał podmiotów naukowych i przemysłowych, ale tworzą również polskie know-how w zakresie krytycznych technologii w obszarze „Bezpieczeństwo i obronność”. Realizacja projektów finansowanych ze środków budżetu państwa nakłada na beneficjentów obowiązek ściśle określonego sposobu rozliczania środków publicznych, zarówno przez stosowanie przepisów dotyczących zamówień publicznych, konstruowania zawieranych umów cywilnych z uwzględnieniem faktu dysponowania środkami z dotacji, jak też dopełnienia szczególnej staranności w rozliczeniach podatkowych z aparatem skarbowym.

Metodologia: W pracy wykorzystano teoretyczne metody badawcze, w tym analizę literatury, wyroków sądów powszechnych oraz sądów wojewódzkich i Naczelnego Sądu Administracyjnego, jak również interpretacje podatkowe wydane przez Dyrektora Krajowej Administracji Skarbowej. W publikacji dokonano również wykładni przepisów krajowych oraz dyrektyw i orzecznictwa Trybunału Sprawiedliwości Unii Europejskiej.

Wnioski: Prawo podatkowe to gałąź prawa, która wzbudza największe emocje i kontrowersje. Dotyka bowiem nas wszystkich, zaś w przypadku nieprawidłowego zastosowania przepisów – wywołuje poważne skutki finansowe. Członkowie konsorcjów realizujących projekty finansowane ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBR) pozostają również podatnikami, którym autorka artykułu zaproponowała wykładnie przepisów ustawy VAT oraz omówiła orzecznictwo krajowe i unijne, aby ułatwić konsorcjom prawidłową realizację obowiązków podatkowych.

Słowa kluczowe: opodatkowanie VAT dotacji, kwalifikowalność wydatków, prawo do odliczenia podatku naliczonego, przeniesienie autorskich praw majątkowych na Skarb Państwa, komercjalizacja wyników badań naukowych i prac rozwojowych

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 25.10.2021; **Zrecenzowany:** 07.11.2021; **Zaakceptowany:** 08.11.2021;

Identyfikator ORCID autora: M. Wyszomirska – 0000-0002-7780-2699

Proszę cytować: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 22–36, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.2>;

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

Introduction

In recent years, tax aspects of granting subsidies for the implementation of projects financed from the state budget have become the subject of many court disputes with tax authorities, numerous applications for individual interpretations, and even an application from the Minister of the Interior and Administration to the Minister of Finance for a general interpretation regarding tax liabilities resulting from the implementation of projects for security and defence, financed under the resources of the National Centre for Research and Development [1].

Tax obligations are an element of public life that affects the general public. We all deal with tax law, because everyone has to pay tribute to the state budget – regardless of the legal status and type of activities subject to taxation. Our duties towards the tax authorities activate the entire tax machine, and we become participants in the application of the law. This article is an attempt to introduce and discuss tax issues related to the settlement of subsidies for the implementation of projects in the area of “Security and Defence”, by discussing both tax regulations and interpretations, and the jurisprudence of administrative courts.

Legal nature of a consortium as a party to agreements with the National Centre for Research and Development

In the light of the case law of common courts (see the verdict of the Court of Appeal in Warsaw of 4 March 2016, VI ACA 83/16; the verdict of the Supreme Court of 10 September 2015, II CSK 630/14; the verdict of the Court of Appeal in Szczecin of 7 March 2013, I ACA 718/12) [2–4]) a consortium is a contractual relationship between the parties to the agreement. As part of this relationship, each of the consortium members undertakes to undertake specific activities for the benefit of the

Wprowadzenie

Aspekty podatkowe towarzyszące udzielaniu dotacji na realizację projektów finansowanych z budżetu państwa stały się w ostatnich latach przedmiotem wielu sporów sądowych z organami podatkowymi, licznych wniosków o wydanie interpretacji indywidualnych, a nawet wystąpienia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji do Ministra Finansów o wydanie interpretacji ogólnej w zakresie zobowiązań podatkowych wynikających z realizacji projektów na rzecz bezpieczeństwa i obronności, finansowanych w ramach środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju [1].

Obowiązki podatkowe to ta część życia publicznego, która dotyka ogół społeczeństwa. Z prawem podatkowym mamy do czynienia wszyscy, gdyż każdy musi płacić daninę na rzecz budżetu państwa – niezależnie od statusu prawnego oraz rodzaju czynności podlegających opodatkowaniu. Nasze obowiązki względem fiskusa uruchamiają całą maszynę podatkową, a my stajemy się uczestnikami stosowania prawa. Niniejsza publikacja stanowi próbę przybliżenia i omówienia kwestii podatkowych związanych z rozliczeniem dotacji na realizację projektów w obszarze „Bezpieczeństwo i Obronność”, przez omówienie zarówno przepisów i interpretacji podatkowych, jak i orzecznictwa sądów administracyjnych.

Charakter prawny konsorcjum jako strony umów zawieranych z Narodowym Centrum Badań i Rozwoju

W świetle orzecznictwa sądów powszechnych (zob. wyrok Sądu Apelacyjnego w Warszawie z dnia 4 marca 2016 r., VI ACA 83/16; wyrok Sądu Najwyższego z dnia 10 września 2015 r., II CSK 630/14; wyrok Sądu Apelacyjnego w Szczecinie z dnia 7 marca 2013 r., I ACA 718/12) [2–4]) konsorcjum jest stosunkiem zobowiązaniowym łączącym strony umowy. W ramach tej więzi obligacyjnej każdy z konsorcjantów zobowiązuje się do określonego działania na rzecz konsorcjum dla osiągnięcia wspólnego

consortium in order to achieve a common economic goal. The search for the meaning of the term 'consortium' in the jurisprudence results from the fact that the consortium agreement is not regulated in the civil code. Also, there is no legal definition of a consortium in any other civil or tax regulations, therefore it can be assumed that concluding this type of agreement is based on freedom of contract (art. 353 1 of the civil code). The essential fact remains that the consortium does not have legal personality. Only members of the consortium have the legal capacity and capacity to perform acts in law, and by concluding the agreement, they can shape it in any way, as long as its content or purpose does not contradict the act, the principles of social coexistence and the properties of such a relationship. When concluding a consortium agreement, entities may specify who will externally represent the consortium (it may also be a third party). As a rule, syndicates do not have common property (although they may have joint bank accounts), and all forms of payment are regulated by the designated leader or representative of the consortium.

When transferring the above considerations to the basis of this publication, it should be noted that scientific consortia undertaking joint ventures in the field of scientific research and development, like other consortia, do not have legal personality and therefore cannot be considered a taxpayer of value added tax.

According to art. 15 sec. 1 of the Act of 11 March 2004 on tax on goods and services (i.e. Polish Journal of Laws: Dz.U. 2021 r., poz. 685, as amended) [5], taxpayers are legal persons, organizational units without legal personality and physical persons, independently carrying out economic activity, referred to in paragraph 2, regardless of the purpose or result of such activity. Within the meaning of art. 15 sec. 2, economic activities include any activities of the manufacturers, traders or service providers, including natural resource extractors and farmers, as well as the activities of freelancers. Economic activity also includes activities consisting in the use of goods or intangible assets on a continuous basis for commercial purposes.

The Polish legislator, being a member of the European Union, did not use the option provided for in art. 11 of the Council Directive 2006/112/EC of 28 November 2006 on the common system of value added tax (Official Journal of the European Union No. 347, p. 1, as amended) [6] and on the basis of national tax law did not establish the consortium as a taxable person for VAT. Therefore, partners operating within a consortium and implementing the contract concluded with NCBR remain separate VAT taxpayers – obliged to apply the general principles regulated in the VAT Act and in the executive acts. In addition, it should be mentioned that consortium members may, of course, assume in the agreement that the legal issues concerning, inter alia, signing contracts, financial settlements or issuing invoices for the work performed by the consortium participants will be the responsibility of the consortium member appointed by the other consortium members, nevertheless each of the consortium members will still be a separate VAT payer.

celu gospodarczego. Poszukiwanie w orzecznictwie znaczenia pojęcia konsorcjum wynika z faktu, że umowa konsorcjum nie została uregulowana w kodeksie cywilnym. Również w żadnych innych przepisach cywilnych czy też podatkowych nie ma legalnej definicji konsorcjum, dlatego też można przyjąć, że zawieranie tego typu umowy ma swoje źródło w zasadzie swobody umów (art. 353 1 k.c.). Istotny pozostaje fakt, że konsorcjum nie posiada osobowości prawnej. Zdolność prawną i zdolność do czynności prawnych posiadają wyłącznie członkowie konsorcjum, którzy zawierając umowę mogą ją ukształtować w sposób dowolny, byleby jej treść lub cel nie sprzeciwiały się ustawie, zasadom współżycia społecznego oraz właściwości takiego stosunku. Zawierając umowę konsorcjum podmioty mogą określić, kto będzie reprezentował konsorcjum na zewnątrz (może to być także osoba trzecia). Co do zasady, konsorcja nie mają też wspólnego majątku (choć mogą mieć wspólne rachunki bankowe), a wszelkie formy płatności regulowane są przez wyznaczonego lidera lub osobę reprezentującą konsorcjum.

Przenosząc powyższe rozważania na grunt niniejszej publikacji należy wskazać, że konsorcja naukowe podejmujące wspólne przedsięwzięcie w zakresie badań naukowych oraz prac badawczo-rozwojowych, podobnie jak inne konsorcja, nie posiadają osobowości prawnej i tym samym nie mogą zostać uznane za podatnika podatku od towarów i usług.

Zgodnie bowiem z art. 15 ust. 1 ustawy z dnia 11 marca 2004 r. o podatku od towarów i usług (tj. Dz.U. z 2021 r., poz. 685 ze zm.) [5] podatnikami są osoby prawne, jednostki organizacyjne niemające osobowości prawnej oraz osoby fizyczne, wykonujące samodzielnie działalność gospodarczą, o której mowa w ust. 2, bez względu na cel lub rezultat takiej działalności. W rozumieniu art. 15 ust. 2 działalność gospodarcza obejmuje wszelką działalność producentów, handlowców lub usługodawców, w tym podmiotów pozyskujących zasoby naturalne oraz rolników, a także działalność osób wykonujących wolne zawody. Działalność gospodarcza to również czynności polegające na wykorzystywaniu towarów lub wartości niematerialnych i prawnych w sposób ciągły dla celów zarobkowych.

Polski ustawodawca, będąc członkiem Unii Europejskiej, nie skorzystał jednak z możliwości przewidzianej w art. 11 dyrektywy Rady 2006/112/WE z dnia 28 listopada 2006 r. w sprawie wspólnego systemu podatku od wartości dodanej (Dz.Ur.UE.L Nr 347, s. 1, z późn. zm.) [6] i na gruncie krajowego prawa podatkowego nie ustanowił konsorcjum jako podatnika podatku VAT. W związku z powyższym partnerzy działający w ramach konsorcjum i realizujący umowę zawartą z NCBR nadal pozostają odrębnymi podatnikami VAT – zobowiązanymi do stosowania ogólnych zasad uregulowanych w ustawie o podatku od towarów i usług oraz w aktach wykonawczych. Ponadto należy wspomnieć, że w umowie konsorcjanci mogą oczywiście przyjąć, że kwestiami prawnymi dotyczącymi m.in. podpisywania umów, rozliczeniami finansowymi czy też wystawianiem faktur za prace wykonane przez uczestników konsorcjum będzie zajmował się członek konsorcjum wyznaczony przez konsorcjantów, nie mniej jednak nadal każdy z członków konsorcjum będzie odrębnym podatnikiem VAT.

General outline of financing research and development works in the area of “Security and Defence”

The process of financing scientific research and development works carried out within consortia established by research institutes, entrepreneurs and scientific institutions is part of the national defence and security strategy. The intermediary between the consortia and the State Treasury – the recipient of the results of research and development works is the National Centre for Research and Development. The basis for the Centre’s operation is the Act of 30 April 2010 on the National Centre for Research and Development (i.e. Polish Journal of Laws: Dz.U. z 2020 r., poz. 1861) [7], according to which NCBR is an executive agency within the meaning of the Public Finance Act, established to carry out tasks in the field of science, technology and innovation policy of the state. The Centre is a party to financing/co-financing agreements concluded with the leader and members of a consortium. Each of the agreements specifies in particular the subject of the agreement, the rights and obligations of the parties, the value and conditions and form of financing, cost eligibility, control and storage of documents, the procedure and conditions for terminating the agreement and suspending the grant, reasons for returning the grant or property liability for the project implementation. When listing the essential provisions of the contract, one cannot forget about intellectual property rights, which have been specifically regulated in the contract for financing a research or development project in the area of “Security and Defence”. As it results from the general template of the agreement with NCBR, in the case of financing this type of project, the Centre may, within twelve months from the date of completing the project, submit to the entity to which the director has granted funds a written statement on the use of a work or invention, utility model or an industrial design resulting from the implementation of this project. In this case, the State Treasury is entitled to use the work free of charge in the fields of exploitation listed in the submitted statement, selected from among all known at the end of the project or invention, utility model or industrial design on the basis of a full, non-exclusive license, unlimited in terms of territory and time, along with the right to make any changes, adaptations, alterations and modifications as well as the right to grant sub-licenses. The State Treasury is represented in these matters by the entity indicated in the agreement for the execution and financing of the project, and in the absence of such indication – by the Minister of National Defence.

Subsidies for the implementation of research and development projects and VAT

Until the end of 2015, applicants (consortium members) implementing projects from the NCBR funds did not deduct VAT on purchases of goods and services used to perform the tasks, showing the deductible tax as eligible costs. Such line of conduct was based on the interpretation of art. 86 sec. 1 and art. 29a of the VAT Act, as well as tax interpretations, which until the end

Ogólny zarys finansowania badań naukowych i prac rozwojowych w obszarze „Bezpieczeństwo i Obronność”

W strategię obronności i bezpieczeństwa państwa wpisuje się proces finansowania badań naukowych i prac rozwojowych, prowadzonych w ramach konsorcjów powołanych przez instytuty badawcze, przedsiębiorców oraz placówki naukowe. Pomiotem pośredniczącym pomiędzy konsorcjami i Skarbem Państwa – odbiorcą efektów badań naukowych i prac rozwojowych pozostaje Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Podstawą działania Centrum jest ustawa z dnia 30 kwietnia 2010 r. o Narodowym Centrum Badań i Rozwoju (tj. Dz.U. z 2020 r., poz. 1861) [7], zgodnie z którą NCBR jest agencją wykonawczą w rozumieniu ustawy o finansach publicznych, powołaną do realizacji zadań z zakresu polityki naukowej, naukowo-technicznej i innowacyjnej państwa. Centrum jest stroną umów o finansowanie/dofinansowanie, zawieranych z liderem i członkami konsorcjum. Każda z umów określa w szczególności przedmiot umowy, prawa i obowiązki stron, wartość oraz warunki i formę finansowania, kwalifikowalność kosztów, kontrolę i przechowywanie dokumentów, tryb i warunki rozwiązania umowy oraz wstrzymania dofinansowania, przyczyny zwrotu dofinansowania czy też odpowiedzialność majątkową za realizację projektu. Wymieniając zasadnicze postanowienia umowy nie można zapomnieć o prawach własności intelektualnej, które zostały w szczególności uregulowane w umowie o finansowanie projektu dotyczącego badań naukowych lub prac rozwojowych w obszarze „Obronność i bezpieczeństwo”. Jak wynika z ogólnego wzoru umowy z NCBR, w przypadku finansowania tego rodzaju projektu, Centrum może w terminie do dwunastu miesięcy od dnia zakończenia realizacji projektu, złożyć podmiotowi, któremu dyrektor przyznał środki finansowe, pisemne oświadczenie o korzystaniu z utworu lub z wynalazku, wzoru użytkowego lub wzoru przemysłowego powstałego w wyniku realizacji tego projektu. W takim przypadku Skarb Państwa uprawniony jest do nieodpłatnego korzystania z utworu na polach eksploatacji wymienionych w złożonym oświadczeniu, wybranych spośród wszystkich znanych na dzień zakończenia projektu lub z wynalazku, wzoru użytkowego lub wzoru przemysłowego na zasadzie licencji pełnej, niewyłącznej, nieograniczonej terytorialnie i czasowo, wraz z prawem do dokonywania dowolnych zmian, adaptacji, przeróbek i modyfikacji oraz prawem do udzielania sublicencji. Skarb Państwa reprezentowany jest w tych sprawach przez podmiot wskazany w umowie o wykonanie i finansowanie projektu, a przy braku takiego wskazania – Ministra Obrony Narodowej.

Dotacje na realizację projektów badawczo-rozwojowych a VAT

Do końca 2015 roku wnioskodawcy (konsorcjanci) realizujący projekty ze środków NCBR nie odliczali podatku VAT od zakupów towarów i usług wykorzystywanych do wykonania zadań, wykazując jako koszty kwalifikowane wartość podatku podlegającego odliczeniu. Taka linia postępowania opierała się na wykładni art. 86 ust. 1 oraz art. 29a ustawy o VAT, jak również interpretacjach

of 2015 did not qualify the NCBR subsidy as subject to tax on goods and services. NCBR's financing of research and development projects and all issues related to the settlement of tasks carried out by scientific consortia did not arouse tax controversy until the first tax interpretations and judgments of administrative courts were issued in 2016, which caused a revolution in the assessment of the effects that the agreement concluded with NCBR had on the basis of VAT.

And so, in the tax ruling of 11 February 2016, No. ITP-P2/4512-1086/15EK, unfavourable for consortia, the tax authority formulated a dangerous thesis that, "since – as indicated in the application – conducted scientific research and development work develop the knowledge of employees C., their experience and skills in the fields of science and technology related to the business activity conducted by C. (the supply of goods and services subject to VAT), and the goods and services purchased under the project implemented for the National Centre for Research and Development are on an ongoing basis or will be used in the future to perform taxable activities, then – taking into account the fact that the funds received by C. (through the leader) from NCBR were intended only for the implementation of the project – it should be stated that they will affect the price of goods and services that are sold/will be sold" [8].

The change in the established and uniform interpretation of the VAT taxation of subsidies transferred by NCBR forced scientific consortia to apply for tax interpretations, which then became the subject of complaints to provincial administrative courts and the Supreme Administrative Court. The change in the position of the tax authorities also triggered numerous discussions of the legal doctrine and became a contribution to this publication.

When analysing subsidies received by the consortia for the implementation of projects in the field of defence and security, it should first be pointed out that, as a rule, receiving a subsidy does not constitute an activity subject to VAT. However, the very receipt of it under strictly defined conditions may result in the need to increase the tax base by its value, as an element that has a real impact on the price of another activity (e.g. provision of services). The subsidy must be received by the taxpayer (to the bank account) and must have a direct impact on the price of the goods or services provided by the taxpayer-beneficiary. Thanks to the subsidy, the service has a price that is lower by a specific amount or equalizes the revenues from the sale of the service to the level before the discount. The subsidy increases the tax base in the net amount of the subsidy, therefore this key element of the regulation contained in art. 29a paragraph. 1 of the VAT Act requires a thorough analysis of individual agreements – taking into account the principles of granting subsidies.

Pursuant to art. 5 sec. 1 point 1 of the VAT Act, VAT is subject to the paid delivery of goods and the paid provision of services within the territory of the country. By providing the services referred to in art. 5 sec. 1 point 1, it shall be understood as any service provided to a physical person, legal person or organizational unit without legal personality, which does not constitute a supply of goods within the meaning of art. 7 (article 8 (1) of the VAT Act). On the other hand, pursuant to art. 15 of the VAT Act, taxpayers of this tax are legal persons, organizational

podatkowych, które do końca 2015 roku nie kwalifikowały dotacji z NCBR jako podlegającej opodatkowaniu podatkiem od towarów i usług. Finansowanie przez NCBR projektów badawczo-rozwojowych oraz wszelkie kwestie dotyczące rozliczania zadań realizowanych przez konsorcja naukowe nie wzbudzały kontrowersji podatkowych aż do wydania w 2016 roku pierwszych interpretacji podatkowych oraz wyroków sądów administracyjnych, które wywołały rewolucję w ocenie skutków, jakie umowy zawarte z NCBR niosły za sobą na gruncie podatku VAT.

I tak, w niekorzystnej dla konsorcjów interpretacji indywidualnej z dnia 11 lutego 2016 r. nr ITPP2/4512-1086/15EK organ podatkowy sformułował niebezpieczną tezę, że „skoro – jak wskazano we wniosku – prowadzone badania naukowe i prace rozwojowe rozwijają wiedzę pracowników C., ich doświadczenie i umiejętności w zakresie dziedzin nauki i technologii związanych z prowadzoną przez C. działalnością gospodarczą (dostawą towarów i świadczeniem usług opodatkowanych podatkiem od towarów i usług), a towary i usługi nabywane w ramach projektu realizowanego na rzecz Narodowego Centrum Badań i Rozwoju są na bieżąco lub będą w przyszłości wykorzystywane do wykonywania czynności opodatkowanych, to – przy uwzględnieniu faktu, że środki finansowe otrzymane przez C. (za pośrednictwem lidera) z NCBR przeznaczone były wyłącznie na realizację projektu – należy stwierdzić, że będą one miały wpływ na cenę towarów i usług, które sprzedaje/będzie sprzedawało. Zatem ww. środki należy uznać za dopłatę, która ma/będzie miała bezpośredni wpływ na cenę dostaw dokonywanych/które będą dokonywane przez C. na rzecz osób trzecich, a więc za taką, która podlega opodatkowaniu podatkiem od towarów i usług” [8].

Zmiana ukształtowanej i dotychczas jednolitej wykładni w zakresie opodatkowania podatkiem VAT dotacji przekazywanych przez NCBR zmusiła konsorcja naukowe do występowania o interpretacje podatkowe, które stały się następnie przedmiotem skarg do wojewódzkich sądów administracyjnych oraz do Naczelnego Sądu Administracyjnego. Zmiana stanowiska organów podatkowych wywołała również liczne dyskusje doktryny prawa i stała się także przyczynkiem do niniejszej publikacji.

Dokonując analizy dotacji otrzymywanych przez konsorcja na realizację projektów w obszarze obronności i bezpieczeństwa w pierwszej kolejności należy wskazać, że co do zasady otrzymanie dotacji nie stanowi czynności opodatkowanej podatkiem VAT. Jednakże samo jej otrzymanie w ściśle określonych warunkach może skutkować koniecznością zwiększenia o jej wartość podstawy opodatkowania, jako elementu realnie wpływającego na cenę innej czynności (np. świadczenie usług). Dotacja musi zostać przez podatnika otrzymana (na rachunek bankowy) i musi mieć bezpośredni wpływ na cenę towarów lub usług świadczonych przez podatnika-beneficjenta. Dzięki dotacji usługa ma cenę niższą o konkretną kwotę lub wyrównuje przychody ze sprzedaży usługi do poziomu sprzed obniżki. Dotacja zwiększa podstawę opodatkowania w kwocie netto dotacji, dlatego też ten kluczowy element regulacji zawartej w art. 29a ust. 1 ustawy o VAT wymaga wnikliwej analizy poszczególnych umów – z uwzględnieniem zasad przyznania dotacji.

Zgodnie z art. 5 ust. 1 pkt 1 ustawy o VAT opodatkowaniu podatkiem od towarów i usług podlega odpłatna dostawa towarów i odpłatne świadczenie usług na terytorium kraju. Przez

units without legal personality and physical persons who independently carry out economic activity defined in the Act, regardless of the purpose or result of such activity. As indicated above, due to the fact that the Polish legislator did not establish the consortium as a VAT taxpayer, members of the consortium implementing the contract with NCBR remain separate taxpayers of this tax and settle their accounts in accordance with the general rules of the VAT Act. It should be reminded here that taxation with tax on goods and services – in accordance with the principle of universality of taxation – applies to all transactions involving the supply of goods or services, provided that they are carried out by taxpayers within the meaning of the Act and are performed as part of the economic activity. Moreover, art. 29a par. 1 of the VAT Act states that the tax base, subject to paragraph 2–5, art. 30a–30c, art. 32, art. 119 and art. 120 sec. 4 and 5, is everything that is the payment that the supplier of the goods or the service provider has received or is to receive for the sale from the buyer, recipient or third party, including received subsidies, subventions and other payments of a similar nature having a direct impact on the price of the goods or services provided by the taxpayer. At this point, it is worth recalling the verdict of the Provincial Administrative Court of 5 January 2017 (I SA/Wr 1120/16), where the Court will state that “part of the payment for the delivery or performance of a service also includes subsidies, subventions and other surcharges of a similar nature received by the taxpayer, having a direct impact on the price (amount payable) of the goods or services provided by the taxpayer, which is indicated by the use of the term “including”. However, it should be emphasized that receiving a subsidy is not a separate taxable activity. The subsidy is taxable as a component of the price of the activity to which the subsidy is related. Therefore, on the basis of art. 29a par. 1 of the VAT Act, it cannot be considered that the subsidy is taxed as an activity (...). This means that it is important for the taxation of subsidies to recognize the direct impact of the subsidy on the price of the service or supply provided by the recipient of the subsidy. This means that for the taxation of a subsidy as part of the price for a service or supply, it is necessary to establish a direct impact of the subsidy on the price of the service or supply” [9]. The provision mentioned above reflects art. 73 of directive 2006/112. Pursuant to art. 73 of the directive, with regard to the supply of goods and the provision of services other than those referred to in art. 74–77, the taxable amount covers everything which is payment received or which the supplier or service provider will receive in return for a supply of goods or services from a buyer, recipient or third party, including subsidies directly related to the price of such supply or service. Therefore, in order to determine whether or not given subsidies are taxed with value added tax, the specific conditions of their awarding, defining the objectives of the subsidy implemented in a specific form, remain relevant. From the content of the provisions mentioned above, one can therefore formulate a thesis that if, in connection with a specific supply of goods or services, the taxpayer receives a subsidy (subventions) constituting an additional payment to the price of a good or service – this type of subsidy constitutes, in addition to the price, a supplementary element of the tax base for a given delivery or service. Spending a subsidy in order to

świadczanie usług, o którym mowa w art. 5 ust. 1 pkt 1, rozumie się każde świadczenie na rzecz osoby fizycznej, osoby prawnej lub jednostki organizacyjnej niemającej osobowości prawnej, które nie stanowi dostawy towarów w rozumieniu art. 7 (art. 8 ust. 1 ustawy o VAT). Z kolei w myśl art. 15 ustawy o VAT podatnikami tego podatku są osoby prawne, jednostki organizacyjne niemające osobowości prawnej oraz osoby fizyczne, wykonujące samodzielnie działalność gospodarczą zdefiniowaną w ustawie, bez względu na cel lub rezultat takiej działalności. W związku z tym, że jak wskazano wcześniej, krajowy ustawodawca nie ustanowił konsorcjum jako podatnika podatku VAT, członkowie konsorcjum realizujący umowę z NCBR pozostają odrębnymi podatnikami tego podatku i rozliczają się zgodnie z ogólnymi regułami ustawy o VAT. Przypomnijmy również, że opodatkowaniu podatkiem od towarów i usług – zgodnie z zasadą powszechności opodatkowania – podlegają wszelkie transakcje, których przedmiotem jest dostawa towarów lub świadczenie usług, pod warunkiem, że są one realizowane przez podatników w rozumieniu ustawy i są wykonywane w ramach działalności gospodarczej. Ponadto z art. 29a ust. 1 ustawy o VAT wynika, że podstawą opodatkowania, z zastrzeżeniem ust. 2–5, art. 30a–30c, art. 32, art. 119 oraz art. 120 ust. 4 i 5, jest wszystko, co stanowi zapłatę, którą dokonujący dostawy towarów lub usługodawca otrzymał lub ma otrzymać z tytułu sprzedaży od nabywcy, usługobiorcy lub osoby trzeciej, włącznie z otrzymanymi dotacjami, subwencjami i innymi dopłatami o podobnym charakterze mającymi bezpośredni wpływ na cenę towarów dostarczanych lub usług świadczonych przez podatnika. W tym miejscu warto przywołać wyrok Wojewódzkiego Sądu Administracyjnego (WSA) z dnia 5 stycznia 2017 r. (I SA/Wr 1120/16), w którym Sąd stwierdzi, że „za część zapłaty za dostawę lub wykonanie usługi uznaje się także otrzymane przez podatnika dotacje, subwencje i inne dopłaty o podobnym charakterze, mające bezpośredni wpływ na cenę (kwotę należną) towarów dostarczanych lub usług świadczonych przez podatnika, wskazuje na to użycie sformułowania “włącznie z”. Należy jednak podkreślić, że otrzymanie dotacji nie jest odrębną czynnością opodatkowaną. Dotacja podlega opodatkowaniu jako składnik ceny czynności, z którą dotacja jest związana. Nie można zatem przyjąć, na podstawie art. 29a ust. 1 ustawy o VAT, że dotacja jako czynność jest opodatkowana. (...) Oznacza to, że istotne znaczenie dla opodatkowania dotacji ma stwierdzenie bezpośredniego wpływu dotacji na cenę świadczonej usługi lub dostawy przez otrzymującego dotację. Zatem do opodatkowania dotacji jako elementu ceny za usługę lub dostawę konieczne jest stwierdzenie bezpośredniego wpływu dotacji na cenę usługi lub dostawy” [9].

Przywołany wyżej przepis stanowi odzwierciedlenie art. 73 dyrektywy 2006/112. W myśl art. 73 dyrektywy, w odniesieniu do dostaw towarów i świadczenia usług innych niż te, o których mowa w art. 74–77, podstawa opodatkowania obejmuje wszystko, co stanowi zapłatę otrzymaną lub którą dostawca lub usługodawca otrzyma w zamian za dostawę towarów lub świadczenie usług, od nabywcy, usługobiorcy lub osoby trzeciej, włącznie z subwencjami związanymi bezpośrednio z ceną takiej dostawy lub świadczenia. A zatem dla określenia, czy dane dotacje są czy nie są opodatkowane podatkiem od towarów i usług istotne pozostają szczegółowe warunki ich przyznawania, określające cele dofinansowania realizowanego w określonej formie.

finance a specific activity subject to tax on goods and services tax is the criterion for recognizing the subsidy as increasing turnover. However, those subsidies that cannot be related to specific activities subject to VAT do not constitute turnover within the meaning of art. 29a par. 1 of the VAT Act, i.e. they do not increase the tax base with this tax.

The latest jurisprudence of administrative courts presents a similar position. In the verdict of the Supreme Administrative Court of 31 July 2020 (I FSK 1792/17), it is stated that “the criterion for recognizing a subsidy as increasing turnover is the statement that the subsidy is made in order to finance a specific activity subject to tax on goods and services. Only the subsidies in question in relation to the selling price (at the supplier of the goods or services) are subject to taxation. However, the subsidies in question are not subject to taxation up to the purchase price (at the purchaser of the goods or services)” [10]. In another ruling of the Supreme Administrative Court of 21 March 2019 (I FSK 1363/18), the court found that “(...) the funding provided by the National Centre for Research and Development is intended to finance development and scientific research carried out by the leader for defence and research of the state. Thus, the co-financing covers the related costs. It does not constitute a subsidy, subvention or other similar surcharge directly affecting the price of goods or services provided by the taxpayer” [11].

Therefore, bearing in mind the provisions of the Value Added Tax Act and the case law of the Provincial Administrative Court and the Supreme Administrative Court mentioned above, it should be concluded that the VAT tax base is increased only by such subsidies that are absolutely and directly related to a given supply of goods or services. If there is no such direct relationship, the general subsidy to cover operating costs or the costs of implementing a specific task does not increase the tax base, and thus is not subject to taxation. Also, the jurisprudence of CJEU shows that determining the relationship between a subsidy and the provision of services or the supply of goods as “direct” is important for taxation. In the justification of the verdict of 22 November 2001 in the case C-184/00 *Office des Produits Wallons ASBL v. Belgian State* (ECR 2001/11B/I-9115) [12], it was emphasized that the mere fact that the subsidy (or other method of co-financing) influences the final price of the service (which is almost always the case), it cannot be decisive for considering that the subsidy should increase the tax base. At the same time, it was clarified that in order to recognize a subsidy (subventions, etc.) as increasing the tax base, it is necessary to state that the subsidy is made in order to finance a specific taxable activity (supply of goods or services). Thus, it was in favour of such an understanding of the provisions that the taxation of subsidies would only apply to those subsidies that correspond to all or part of the remuneration for such activity. The subsidy should also be related to a specific, designated supply or service. Therefore, there is no doubt that subsidies intended to cover the costs of operating or carrying out a specific task – although they may ultimately have some effect on the price of the supplied services or goods – are not included in the tax base.

Z treści cytowanych wyżej przepisów można zatem sformułować tezę, że jeżeli w związku z konkretną dostawą towarów lub świadczeniem usług podatnik otrzymuje dofinansowanie (dotacje, subwencje) będące dopłatą do ceny towaru lub usługi – tego rodzaju dofinansowanie stanowi, obok ceny, uzupełniający element podstawy opodatkowania z tytułu danej dostawy lub świadczenia. Wydatkowanie dotacji w celu sfinansowania konkretnej czynności podlegającej opodatkowaniu podatkiem od towarów i usług jest kryterium uznania dotacji za zwiększającą obrót. Natomiast te dotacje, które nie dają się powiązać z konkretnymi czynnościami podlegającymi opodatkowaniu podatkiem VAT nie stanowią obrotu w rozumieniu przepisu art. 29a ust. 1 ustawy o VAT, czyli nie zwiększają podstawy opodatkowania tym podatkiem.

Podobne stanowisko prezentuje najnowsze orzecznictwo sądów administracyjnych. W wyroku Naczelnego Sądu Administracyjnego (NSA) z dnia 31 lipca 2020 r. (I FSK 1792/17) czytamy, że „kryterium uznania dotacji za zwiększającą obrót stanowi stwierdzenie, że dotacja dokonywana jest w celu sfinansowania konkretnej czynności podlegającej opodatkowaniu podatkiem od towarów i usług. Opodatkowaniu podlegają bowiem jedynie przedmiotowe dotacje do ceny sprzedaży (u dostawcy towaru lub usługi). Nie podlegają natomiast opodatkowaniu przedmiotowe dotacje do ceny zakupu (u nabywcy towaru lub usługi)” [10].

W kolejnym orzeczeniu NSA z dnia 21 marca 2019 r. (I FSK 1363/18) sąd uznał, że „(...) dofinansowanie przekazane przez NCBiR ma za zadanie sfinansować prowadzone przez lidera i członków konsorcjum prace rozwojowe i badania naukowe na rzecz obronności i bezpieczeństwa państwa. Tym samym dofinansowanie pokrywa koszty z nimi związane. Nie stanowi ono dotacji, subwencji ani innej dopłaty o podobnym charakterze mającej bezpośredni wpływ na cenę towarów dostarczanych lub usług świadczonych przez podatnika” [11].

Mając zatem na uwadze przywołane wyżej przepisy ustawy o podatku od towarów i usług oraz orzecznictwo WSA i NSA, należy uznać, że podstawę opodatkowania podatkiem VAT zwiększa się tylko o takie dotacje, które w sposób bezwzględny i bezpośredni są związane z daną dostawą towarów lub świadczeniem usług. Jeżeli taki bezpośredni związek nie występuje, dofinansowanie ogólne na pokrycie kosztów działalności czy też kosztów realizacji konkretnego zadania nie zwiększa podstawy opodatkowania, a tym samym nie podlega opodatkowaniu. Również z orzecznictwa TSUE wynika, że określenie związku pomiędzy dotacją a świadczeniem usług czy dostawą towaru jako „bezpśredniego” ma istotne znaczenie dla opodatkowania. W uzasadnieniu wyroku z dnia 22 listopada 2001 r. w sprawie C-184/00 *Office des Produits Wallons ASBL v. Belgian State* (ECR 2001/11B/I-9115) [12] podkreślono, że sam tylko fakt, że dotacja (czy inny sposób dofinansowania) wpływa na ostateczną cenę świadczenia (co niemal zawsze ma miejsce), nie może być decydujący dla uznania, że dotacja ta powinna zwiększać podstawę opodatkowania. Jednocześnie wyjaśniono, że do uznania dotacji (subwencji itp.) za zwiększającą podstawę opodatkowania konieczne jest stwierdzenie, że dotacja ta jest dokonywana w celu sfinansowania konkretnej czynności opodatkowanej (dostawy towarów lub świadczenia usług). Tym samym opowiedziano się za takim rozumieniem przepisów, aby opodatkowanie dotacji następowało tylko w stosunku do tych dotacji,

In the verdict of 13 June 2017 (I SA/Bd 474/17), the Provincial Administrative Court ruled that “in order for a subsidy to be directly related to the price of such supplies, it must also be paid directly to the entity in order to enable it to provide certain goods or the provision of certain services. Only in this case should the subsidy be regarded as consideration for the supply of goods or services and, consequently, be taxable. In order to determine whether a subsidy constitutes such consideration, it should be noted that the price of goods and services must, in principle, be determined no later than the time of the taxable event. It should also be noted that the obligation to pay the subsidy made by the person who grants it gives rise to a correlate, which is the beneficiary’s right to receive it, because he/she made a taxable supply. This relation between the subsidy and the price must be clearly visible on the basis of an individual analysis of the circumstances underlying the payment of that remuneration” [13].

Literature indicates that subsidies always somehow affect the price of services or goods supplied by the taxpayer. However, only subsidies (funding) that are directly related to the tax base are included in the tax base. The fact that a subsidy, e.g. covering a part of the taxpayer’s general costs, allowed to reduce the price of the provided services, is not a reason to include such subsidies in the tax base – if they do not apply to specific taxable activities. In practice, the subsidizing of the taxpayer’s activity in some way influences the prices applied by the taxpayer. However, this fact is irrelevant to the recognition that the subsidy should increase the tax base. A similar position was presented by A. Bartosiewicz in the commentary to the VAT Act, emphasizing that in order for the received subsidy to increase the tax base, it is necessary to state that “the subsidy was made to finance the supply of specific goods or the provision of specific services” [14].

Returning to the aspect of consortium as the beneficiary of the grant obtained under the contract with NCRD, attention should be paid to the fundamental fact. The funds to cover the costs of implementing research and development projects may be allocated by the leader and individual members of the consortium only for project purposes. The main goal at the time of executing the project is usually not the commercialization of research results, although this does not exclude situations where, when joining a given project, the consortium envisages using in the future the studies acquired for the purpose of implementing the project to perform activities subject to VAT. Most often, the solutions developed in a given project are to serve the implementation of public tasks resulting from the applicable national and international legal regulations. Popularization of the project’s results may take place, among others, by preparing publications in scientific journals and presenting the results at scientific, national and international conferences. In such cases, the achieved research goal will not be of a commercial nature and, therefore, the awarded subsidy will not be a subsidy to the price of the provided services, but only a reimbursement of the incurred costs (purchasing subsidy). Therefore, this form of financing the execution of the project will not constitute turnover within the meaning of art. 29a paragraph. 1 of the VAT Act and thus will not be subject to taxation, as it is not an activity listed in art. 5 sec. 1 point 1 of the act mentioned above.

które odpowiadają całości lub części wynagrodzenia z tytułu takiej czynności. Dotacja powinna być związana także z konkretną, oznaczoną dostawą albo usługą. Nie ma zatem wątpliwości, że dotacje przeznaczone na pokrycie kosztów działalności lub wykonania konkretnego zadania – chociaż mogą mieć w ostatecznym rozrachunku jakiś wpływ na cenę świadczonych usług lub dostarczanych towarów – nie są uwzględniane w podstawie opodatkowania.

W wyroku z dnia 13 czerwca 2017 r. (I SA/Bd 474/17) WSA uznał, że „aby dotacja była bezpośrednio powiązana z ceną takich dostaw konieczne jest także, by była ona wypłacana danemu podmiotowi bezpośrednio w celu umożliwienia mu dostarczania określonych towarów lub świadczenia określonych usług. Jedynie w tym przypadku, dotację należy uznać za wynagrodzenie za dostawę towarów lub świadczenie usług, a w konsekwencji za podlegającą opodatkowaniu. W celu ustalenia, czy dotacja stanowi takie wynagrodzenie, należy zauważyć, że cena towarów i usług musi być, co do zasady, ustalana nie później niż w momencie zdarzenia podlegającego opodatkowaniu. Trzeba także zwrócić uwagę, iż zobowiązanie do zapłaty dotacji dokonane przez osobę, która jej udziela, rodzi korelat, jakim jest prawo beneficjenta do jej otrzymania, ponieważ dokonał on dostawy podlegającej opodatkowaniu. Ten związek pomiędzy dotacją a ceną musi być jednoznacznie widoczny na podstawie indywidualnej analizy okoliczności stanowiących podstawę wypłaty tego wynagrodzenia” [13].

W piśmiennictwie wskazuje się, że dotacje zawsze w jakiś sposób wpływają na cenę świadczonych usług czy towarów dostarczanych przez podatnika. Do podstawy opodatkowania wlicza się jednakże tylko te dotacje (dofinansowania), które są w bezpośredni sposób związane z podstawą opodatkowania. Okoliczność, że dotacja np. pokrywająca część ogólnych kosztów podatnika pozwoliła na zmniejszenie ceny świadczonych usług, nie jest powodem, aby włączać takie dotacje do podstawy opodatkowania – jeśli nie dotyczą konkretnych czynności opodatkowanych. W praktyce niemal zawsze dofinansowanie działalności podatnika wpływa w jakiś sposób na stosowane przez niego ceny. Fakt ten jednak nie ma znaczenia dla uznania czy dofinansowanie powinno zwiększyć podstawę opodatkowania. Podobne stanowisko zaprezentował A. Bartosiewicz w komentarzu do ustawy o VAT podkreślając, że aby otrzymana dotacja zwiększała podstawę opodatkowania konieczne jest stwierdzenie, że „dotacja ta została dokonana w celu sfinansowania dostawy konkretnych towarów lub świadczenia konkretnych usług” [14].

Wracając do konsorcjum jako beneficjenta dotacji uzyskanej na podstawie umowy z NCBR, należy zwrócić uwagę na zasadniczy fakt. Otóż środki finansowe na pokrycie kosztów realizacji projektów badawczo-rozwojowych, lider oraz poszczególni członkowie konsorcjum mogą przeznaczyć wyłącznie na cele projektowe. Podstawowym celem w momencie realizacji projektu nie jest zazwyczaj komercjalizacja wyników badań, choć oczywiście nie wyklucza to również takich sytuacji, kiedy przystępując do danego projektu konsorcjum przewiduje wykorzystanie w przyszłości opracowań nabytych w celu realizacji projektu do wykonywania czynności opodatkowanych podatkiem VAT. Najczęściej rozwiązania wypracowane w danym projekcie mają służyć realizacji zadań publicznych, wynikających z obowiązujących krajowych i międzynarodowych regulacji prawnych.

When interpreting art. 29a (1) of the VAT Act, it should also be noted that the tax base includes subsidies that have a direct impact on the price of goods or services provided by the taxpayer. A direct relation of the subsidy with the price could only be considered if the price for which the consortium sells its service or goods to the buyer depended on the amount of the subsidy. The relationship between the subsidy and the price is highlighted by the Supreme Administrative Court, which in its verdict of 17 June 2009 (I FSK 571/08) [15] and in the verdict of 5 February 2015 (I FSK 821/13) [16] indicates that, where the subsidy is intended to finance costs incurred in connection with the execution of the project, it is of a purchasing nature and cannot be attributed directly to the price of the provided services, even though the recipients bear lower costs of the provided services, since each subsidy has a certain impact on the price, which does not mean that the impact is always direct. How, then, should we interpret the concept of directness? In my opinion, directness should be understood as the possibility of identifying an economic and clear relationship between the subsidy and the final value – the price of the provided service. Referring the above to the results of research, it should be concluded that the directness mentioned above will not exist, which is also confirmed by the jurisprudence of administrative courts. For instance, in the verdict of the Provincial Administrative Court in Gliwice of 21 June 2016 (III SA/GI 232/16), the court indicated, *inter alia*, that “the grant from NCBiR does not constitute a subsidy affecting the price within the meaning of art. 29a paragraph. 1 of the VAT Act. The grant amount covers part of the costs incurred by the contractors (the entire consortium). The grant costs reflect the proportionate share of the consortium members as a whole in the ownership of the project results” [17].

The doctrine of law also presents a similar view. As it is clear from the position of numerous commentators, subsidies from EU funds included in the VAT turnover are only those that directly affect the price of a good or service, i.e. only those whose purpose is to subsidize the sale of a given good [18]. Therefore, the regulation of art. 29a par. 1 of the VAT Act provides a basis for stating that the subsidy, surcharge, etc. received by the taxpayer will not be subject to tax on goods and services, if there is no direct link between the received subsidy and the price of a specific provided service (the possibility of allocating the subsidy in the price of the service). In the event that the method of calculating the subsidy is related to the unit price of the service only indirectly or the calculation of the subsidy is completely detached from the price of any service provided by the taxpayer, the subsidy is not taxable.

When analysing the potential problems that consortia may encounter when settling VAT, one cannot ignore the existence of exceptions to the rules set out in the Act on the Value Added Tax. From the content of art. 5 sec. 1 point 1 of the VAT Act, it is clear that the supply of goods and the provision of services are, as a rule, subject to tax on goods and services only when these activities are performed for a fee. However, the legislator provided for exceptions to the above rule, which in the case of the provision of services are regulated in art. 8 sec. 2 of the VAT Act. In accordance with the act mentioned above, the following are also considered to be the provision of services against payment:

Popularyzacja efektów projektu może nastąpić m.in. przez przygotowanie publikacji w czasopismach naukowych oraz prezentację rezultatów na konferencjach naukowych, krajowych i międzynarodowych. W takich przypadkach osiągnięty cel badawczy nie będzie miał charakteru komercyjnego i co się z tym wiąże – przyznana dotacja nie będzie dopłatą do ceny świadczonych usług, ale jedynie zwrotem poniesionych kosztów (dotacja o charakterze zakupowym). Taka forma finansowania realizacji projektu nie będzie zatem stanowiła obrotu w rozumieniu art. 29a ust. 1 ustawy o VAT i tym samym nie będzie podlega opodatkowaniu, gdyż nie stanowi czynności wymienionej w art. 5 ust. 1 pkt 1 ww. ustawy.

Interpretując art. 29a ust.1 ustawy o VAT należy zaznaczyć ponadto, że podstawa opodatkowania obejmuje dotacje mające bezpośredni wpływ na cenę towarów dostarczonych lub usług świadczonych przez podatnika. O bezpośrednim związaniu dotacji z ceną można byłoby mówić jedynie wtedy, gdyby cena, za jaką konsorcjum sprzeda nabywcy swoją usługę lub towar, zależała od kwoty dotacji. Na związek dotacji z ceną zwraca uwagę Naczelny Sąd Administracyjny, który w wyroku z dnia 17 czerwca 2009 r. (I FSK 571/08) [15] oraz w orzeczeniu z dnia 5 lutego 2015 r. (I FSK 821/13) [16] wskazuje, że w przypadku, gdy subwencja przeznaczona jest na sfinansowanie poniesionych w związku z realizacją projektu kosztów, ma ona charakter zakupowy i nie można jej przypisać bezpośredniego wpływu na cenę świadczonych usług, nawet pomimo faktu, że usługobiorcy ponoszą niższe koszty świadczonych usług, bowiem w istocie każda dotacja ma pewien wpływ na cenę, co nie znaczy, że wpływ ten zawsze jest bezpośredni. Jak zatem interpretować pojęcie bezpośredniości? Moim zdaniem przez bezpośredniość należy rozumieć możliwość zidentyfikowania ekonomicznej i wyraźnej zależności między dotacją a ostateczną wartością – ceną wykonanej usługi. Odnosząc powyższe do efektów prac badawczych należy uznać, że omawiana wyżej bezpośredniość nie zaistnieje, co potwierdza także orzecznictwo sądów administracyjnych. Dla przykładu, w wyroku WSA w Gliwicach z dnia 21 czerwca 2016 r. (III SA/GI 232/16) sąd wskazał m.in., że „dofinansowanie od NCBiR nie stanowi dotacji mającej wpływ na cenę w rozumieniu art. 29a ust. 1 ustawy VAT. Kwota dofinansowania pokrywa część kosztów poniesionych przez wykonawców (całe konsorcjum). Koszty pokryte dotacją odzwierciedlają proporcjonalny udział konsorcjantów jako całości w prawach własności do wyników projektu” [17].

Podobny pogląd prezentuje również doktryna prawa. Jak wynika ze stanowiska licznych komentatorów, dotacje z funduszy unijnych zaliczane do obrotu w VAT to tylko te, które bezpośrednio wpływają na cenę towaru lub usługi, czyli tylko te, których celem jest subsydiowanie sprzedaży danego towaru [18]. Regulacja art. 29a ust. 1 ustawy VAT daje zatem podstawę do stwierdzenia, że otrzymana przez podatnika dotacja, dopłata itp. nie będzie podlegała opodatkowaniu podatkiem od towarów i usług, jeżeli brak jest elementu bezpośredniego związku otrzymywanej dotacji z ceną konkretnej, świadczonej usługi (możliwość alokacji dotacji w cenie usługi). W przypadku, kiedy sposób kalkulacji dotacji związany jest z ceną jednostkową usługi jedynie pośrednio albo kalkulacja dotacji odewana jest całkowicie od ceny jakiegokolwiek usługi świadczonej przez podatnika, dotacja nie podlega opodatkowaniu.

- the use of goods forming part of the taxpayer's enterprise for purposes other than the taxpayer's business activity, including, in particular, for the personal purposes of the taxpayer or its employees, including former employees, partners, shareholders, members of cooperatives and their household members, members of legal entities, members of the decision making bodies of legal persons, if the taxpayer was entitled, in whole or in part, to reduce the amount of tax due by the amount of input tax on the acquisition, import or manufacture of these goods or their component parts;
- free provision of services for the personal purposes of the taxpayer or its employees, including former employees, partners, shareholders, shareholders, members of cooperatives and their household members, members of the decision making bodies of legal persons, members of the association, and any other provision of services free of charge for purposes other than the taxpayer's business activity.

In a number of verdicts (e.g. C-498/99, LEX public No. 83900, C-16/93, LEX public No. 83886, C- 9/81, C-154/80, publ. www.curia.europa.eu) [19] the Court of Justice of the European Union has expressed a view that the provision of services for consideration, and thus an activity subject to VAT, may be considered to be situations in which:

- there is a legal relationship between the provider and the recipient of the counter-performance;
- the remuneration received by the provider is the value actually transferred in return for the services rendered to the recipient;
- there is a direct and clearly personalized benefit on the part of the supplier of the good or service;
- payment for the received service (good or service) is directly related to the activity that would be taxed with this tax.

It seems that in the case of consortia implementing projects for security and defence and not envisaging commercialization of the results of their work, the elements mentioned above for the provision of services for remuneration cannot be perceived as typical. Going further, interpreting the provision of art. 8 sec. 2 point 2 of the VAT Act, it should be stated that in order to determine whether a specific free provision of services is subject to taxation on the basis of the Act cited above, it is important to establish the purpose of such service. If the free service will fit in with the purpose of the business activity, then the condition for recognizing such a free activity as a paid service that is subject to taxation will not be met. However, such a statement depends on the specific circumstances of a given case.

Analizując potencjalne problemy, jakie konsorcja mogą napotkać rozliczając VAT, nie można pominąć istnienia wyjątków od reguł określonych w ustawie o podatku od towarów i usług. Otóż, z treści art. 5 ust. 1 pkt 1 ustawy o VAT jednoznacznie wynika, że dostawa towarów i świadczenie usług co do zasady podlegają opodatkowaniu podatkiem od towarów i usług jedynie wówczas, gdy czynności te są wykonywane odpłatnie. Ustawodawca przewidział jednak wyjątki od powyższej reguły, które w przypadku świadczenia usług zostały uregulowane w art. 8 ust. 2 ustawy o VAT. W myśl ww. przepisu, za odpłatne świadczenie usług uznaje się również:

- użycie towarów stanowiących część przedsiębiorstwa podatnika do celów innych niż działalność gospodarcza podatnika, w tym w szczególności do celów osobistych podatnika lub jego pracowników, w tym byłych pracowników, wspólników, udziałowców, akcjonariuszy, członków spółdzielni i ich domowników, członków organów stanowiących osób prawnych, członków stowarzyszenia, jeżeli podatnikowi przysługiwało, w całości lub w części, prawo do obniżenia kwoty podatku należnego o kwotę podatku naliczonego z tytułu nabycia, importu lub wytworzenia tych towarów lub ich części składowych;
- nieodpłatne świadczenie usług na cele osobiste podatnika lub jego pracowników, w tym byłych pracowników, wspólników, udziałowców, akcjonariuszy, członków spółdzielni i ich domowników, członków organów stanowiących osób prawnych, członków stowarzyszenia, oraz wszelkie inne nieodpłatne świadczenie usług do celów innych niż działalność gospodarcza podatnika.

W szeregu orzeczeń (np. C-498/99, publ. LEX nr 83900, C-16/93, publ. LEX nr 83886, C- 9/81, C-154/80, publ. www.curia.europa.eu) [19] Trybunał Sprawiedliwości Unii Europejskiej wyraził pogląd, że za świadczenie usług za wynagrodzeniem, a więc czynność podlegającą opodatkowaniu VAT uważane mogą być takie sytuacje, w których:

- istnieje związek prawny między usługodawcą i usługobiorcą, w ramach którego następuje świadczenie wzajemne;
- wynagrodzenie otrzymane przez usługodawcę stanowi wartość faktycznie przekazaną w zamian za usługi świadczone na rzecz usługobiorcy;
- istnieje bezpośrednia i jasno zindywidualizowana korzyść po stronie dostawcy towaru lub usługi,
- odpłatność za otrzymane świadczenie (towar lub usługę) pozostaje w bezpośrednim związku z czynnością, która miałaby być opodatkowana tym podatkiem.

Wydaje się, że w przypadku konsorcjów realizujących projekty na rzecz bezpieczeństwa i obronności i nie przewidujących komercjalizacji wyników prac nie można dostrzec wymienionych wyżej elementów typowych dla świadczenia usług za wynagrodzeniem. Idąc dalej, interpretując przepis art. 8 ust. 2 pkt 2 ustawy o VAT, należy stwierdzić, że dla ustalenia czy konkretne nieodpłatne świadczenie usług podlega opodatkowaniu na podstawie cytowanego wyżej przepisu istotne jest ustalenie celu takiego świadczenia. Jeżeli nieodpłatne świadczenie będzie się wpisywało w cel prowadzonej działalności gospodarczej, wtedy przesłanka uznania takiej nieodpłatnej czynności za odpłatne świadczenie usług podlegające opodatkowaniu nie zostanie spełniona. Takie stwierdzenie jest jednak uzależnione od konkretnych okoliczności, występujących w danej sprawie.

Transfer of proprietary copyrights to the State Treasury

Agreements concluded by scientific consortia with NCBR provide that if authors elements are created as a result of scientific research and development works carried out by the consortium members, then upon completion of the project, they will be transferred to the State Treasury free of charge. The transfer of rights also includes all kinds of additions to the authors elements, their modifications, details in the scope of all known and possible methods and fields of use or further transfer. The recipient and beneficiary of these rights remains the State Treasury, represented by the Minister of National Defence. Due to the fact that the transfer of rights applies to all fields of use of the original elements, the State Treasury also has the right to obtain patents, protection rights or registration rights in the event of the development of an invention, utility model or industrial design.

In the opinion of the author and the increasing number of verdicts of administrative courts, the free transfer of rights to original items and other intangible assets to the State Treasury – if they arise – does not constitute both a paid supply of goods and a paid provision of services subject to VAT. No payment is due to, inter alia, the fact that the creation of authors elements is, in principle, a possible, albeit uncertain result of research and development work carried out under a project. The uncertainty of obtaining a positive result is, in turn, a natural feature of research projects. Therefore, the agreements concluded with NCBR directly indicate that future transfer of rights to intangible assets to the Treasury (if there are any) will be free of charge. Thus, the potential future transfer of rights to intangible assets to the State Treasury cannot be considered as the provision of services for consideration within the meaning of art. 5 sec. 1 point 1 of the VAT Act. The very provision of the contract with NCBR, referring to the transfer of proprietary copyrights, does not constitute a justified basis for considering the transfer of rights as a free service, which may be equated to a paid service pursuant to art. 8 sec. 2 of the VAT Act. At this point, it is worth referring to the individual interpretation of 9 September 2013, No. IPPP2/443-645/13-2/DG, in which we read that "(...) in a situation where, as a result of the works carried out in connection with the described project, their effect will be an object subject to the provisions of the Copyright Act, then upon completion of the project, the applicant will be obliged to transfer all the rights to the State Treasury free of charge. Thus, there will be no delivery of goods or provision of taxable services, because in the presented situation the condition for payment will not be met" [20].

A similar position is presented by the jurisprudence of the Provincial Administrative Court and the Supreme Administrative Court, which more and more often examines cases concerning the taxation of subsidies granted for the implementation of research and development projects – which shows the scale of tax problems faced by the scientific consortia. In the verdict of 21 March 2019 (I FSK 1363/18), the Supreme Administrative Court found that "(...) the proprietary copyrights resulting from the implementation of the project are owned by the State Treasury,

Przeniesienie autorskich praw majątkowych na Skarb Państwa

Umowy zawierane przez konsorcja naukowe z NCBR przewidują, że jeżeli w wyniku badań naukowych i prac rozwojowych prowadzonych przez konsorcjantów powstaną elementy autorskie, wówczas z chwilą zakończenia projektu nastąpi nieodpłatne przeniesienie ich na rzecz Skarbu Państwa. Przeniesienie praw obejmuje również wszelkiego rodzaju uzupełnienia tych elementów, ich modyfikacje, uszczegółowienia w zakresie wszelkich znanych i możliwych sposobów i pól eksploatacji lub dalszego transferu. Odbiorcą i beneficjentem tych praw pozostaje Skarb Państwa reprezentowany przez Ministra Obrony Narodowej. W związku z tym, że przeniesienie praw dotyczy wszelkich pól eksploatacji elementów autorskich, dlatego też Skarbowi Państwa przysługują również prawa do uzyskania patentów, prawa ochronne lub prawa z rejestracji w przypadku opracowania wynalazku, wzoru użytkowego lub wzoru przemysłowego.

W ocenie autorki oraz coraz liczniejszych orzeczeń sądów administracyjnych, nieodpłatne przeniesienie na Skarb Państwa praw do elementów autorskich i innych wartości niematerialnych – jeżeli takie powstaną – nie stanowi zarówno odpłatnej dostawy towarów, jak też odpłatnego świadczenia usług, podlegających opodatkowaniu VAT. Brak odpłatności wynika m.in. stąd, że powstanie elementów autorskich jest co do zasady możliwym, aczkolwiek niepewnym skutkiem badań naukowych i prac rozwojowych prowadzonych w ramach projektu. Niepewność uzyskania pozytywnego rezultatu jest z kolei naturalną cechą projektów o charakterze naukowo-badawczym. Dlatego też umowy zawierane z NCBR wskazują wprost, że przyszłe przeniesienie praw do wartości niematerialnych na rzecz Skarbu Państwa (o ile w ogóle takie powstaną), nastąpi nieodpłatnie. Tym samym potencjalne przyszłe przeniesienie praw do wartości niematerialnych na Skarb Państwa nie może zostać uznane za odpłatne świadczenie usług w rozumieniu art. 5 ust. 1 pkt 1 ustawy o VAT. Sam zapis umowy z NCBR, mówiący o przeniesieniu autorskich praw majątkowych, nie stanowi uzasadnionej podstawy do uznania przeniesienia praw za świadczenie nieodpłatne, które może zostać zrównane ze świadczeniem odpłatnym na podstawie art. 8 ust. 2 ustawy o VAT. Warto w tym miejscu odwołać się do interpretacji indywidualnej z dnia 9 września 2013 r. nr IPPP2/443-645/13-2/DG, w której czytamy, że „(...) w sytuacji, gdy wskutek prowadzonych prac w związku z opisanym projektem ich efekt będzie stanowił przedmiot podlegający przepisom ustawy o prawie autorskim, wówczas z chwilą zakończenia projektu, wnioskodawca zobowiązany będzie do nieodpłatnego przeniesienia na Skarb Państwa wszelkich praw. Tym samym więc nie dojdzie do dostawy towaru ani do świadczenia usług podlegających opodatkowaniu, bowiem w przedstawionej sytuacji nie zostanie spełniony warunek odpłatności” [20].

Podobne stanowisko prezentuje orzecznictwo WSA i NSA, które coraz częściej rozpoznaje sprawy dotyczące opodatkowania dotacji przyznanych na realizację projektów badawczo-rozwojowych – co pokazuje skalę problemów podatkowych, z jakimi borykają się konsorcja naukowe. W wyroku z dnia 21 marca 2019 r. (I FSK 1363/18) Naczelny Sąd Administracyjny uznał, że „(...) właścicielem autorskich praw majątkowych powstałych w wyniku wykonania

and the transfer of proprietary copyrights to the represented State Treasury by the Minister of National Defence will be free of charge. One should also agree with the court of first instance that there are also no grounds for determining the commercial purpose of the project. From the point of view of the leader and participants of the consortium, the goal is to use the know-how developed in the future in the conducted business, to produce modern guided missiles or to sub-license other entities" [11] (see verdict of the Provincial Administrative Court of 27 November 2018; I SA/Gd 958/18 [21]).

Deduction of input tax

Moving on to the issue of the consortium's use of the possibility of deducting the input tax included in the price of goods and services used for the execution of the project, it is necessary to interpret art. 86 sec. 1 of the VAT Act in terms of the provisions of the standard agreement with NCBR.

The basic principles of deducting input tax have been formulated in art. 86 sec. 1 of the Act. According to the provision mentioned above, to the extent that the goods and services are used to perform taxable activities, the taxpayer referred to in art. 15 of the Act, has the right to reduce the amount of tax due by the amount of input tax, subject to art. 114, art. 119 par. 4, art. 120 sec. 17 and 19 and art. 124.

Pursuant to art. 86 sec. 2 point 1 of the VAT Act, the amount of input tax is the sum of the tax amounts resulting from the invoices received by the taxpayer for the purchase of goods and services and for the payment of all or part of the payment before the purchase of goods or the provision of a service. It can be concluded from the above provisions that the right to reduce the amount of tax due by the amount of input tax is due when certain conditions are met, i.e. the deduction is made by the taxpayer of value added tax and the goods and services on which the tax was charged, are used to perform taxable activities, i.e. those which result in the determination of the tax due (creation of a tax liability). Therefore, the above rule excludes the possibility of reducing the amount of tax due by the amount of input tax related to goods and services that are not used for taxable activities, i.e. in the case of their use for activities exempt from VAT and not subject to this tax. It should be noted that when formulating in art. 86 sec. 1 the condition of connection with taxable sales, the legislator does not make the right to deduct dependent on the connection of the purchase with currently performed taxable activities. It is sufficient that the circumstances surrounding the purchase of goods or services, taking into account the type of business activity conducted by the taxpayer, show that these purchases are made for the purpose of using them in the framework of his/her taxable activity. Therefore, in each case, it is necessary to assess whether the intention of the taxpayer performing specific activities with tax and legal consequences was to perform taxable activities. Moreover, it should be emphasized that the legislator created the right to the taxpayer to deduct input tax in whole or in part, provided that he/she meets both the positive conditions resulting from art. 86 sec. 1 of the Act and

projektu jest Skarb Państwa, a przeniesienie autorskich praw majątkowych na rzecz Skarbu Państwa reprezentowanego przez Ministra Obrony Narodowej nastąpi nieodpłatnie. Zgodzić się należy również z sądem pierwszej instancji, że brak jest też podstaw do dopatrywania się celu komercyjnego przedsięwzięcia. Z punktu widzenia lidera i uczestników konsorcjum celem jest wykorzystanie wypracowanego *know-how* w przyszłości w prowadzonej działalności gospodarczej, do produkcji nowoczesnych rakiet sterowanych lub udzielenia sublicencji innym podmiotom" [11] (por. wyrok WSA z dnia 27 listopada 2018 r., I SA/Gd 958/18 [21]).

Odliczenie podatku naliczonego

Przechodząc do kwestii skorzystania przez konsorcjum z możliwości odliczenia podatku naliczonego zawartego w cenie towarów i usług wykorzystywanych do realizacji projektu, należy dokonać wykładni art. 86 ust. 1 ustawy o VAT w kontekście zapisów standardowej umowy z NCBR.

Podstawowe zasady dotyczące odliczania podatku naliczonego zostały sformułowane w art. 86 ust. 1 ustawy. Zgodnie z ww. przepisem, w zakresie, w jakim towary i usługi są wykorzystywane do wykonywania czynności opodatkowanych, podatnikowi, o którym mowa w art. 15 ustawy, przysługuje prawo do obniżenia kwoty podatku należnego o kwotę podatku naliczonego, z zastrzeżeniem art. 114, art. 119 ust. 4, art. 120 ust. 17 i 19 oraz art. 124.

Stosownie do art. 86 ust. 2 pkt 1 ustawy o VAT, kwotę podatku naliczonego stanowi suma kwot podatku wynikających z faktur otrzymanych przez podatnika z tytułu nabycia towarów i usług oraz dokonania całości lub części zapłaty przed nabyciem towaru lub wykonaniem usługi. Z powyższych przepisów wynika zatem, że prawo do obniżenia kwoty podatku należnego o kwotę podatku naliczonego przysługuje wówczas, gdy zostaną spełnione określone warunki, tzn. odliczenia tego dokonuje podatnik podatku od towarów i usług oraz gdy towary i usługi, z których nabyciem podatek został naliczony, są wykorzystywane do wykonywania czynności opodatkowanych, tzn. takich, których następstwem jest określenie podatku należnego (powstanie zobowiązania podatkowego). Przedstawiona wyżej zasada wyklucza zatem możliwość dokonania obniżenia kwoty podatku należnego o kwotę podatku naliczonego związanego z towarami i usługami, które nie są wykorzystywane do wykonywania czynności opodatkowanych, czyli w przypadku ich wykorzystania do czynności zwolnionych od podatku VAT oraz niepodlegających temu podatkowi. Należy zauważyć, że formułując w art. 86 ust. 1 warunek związku ze sprzedażą opodatkowaną, ustawodawca nie uzależnia prawa do odliczenia od powiązania zakupu z obecnie wykonywanymi czynnościami opodatkowanymi. Wystarczającym jest, że z okoliczności towarzyszących nabyciu towarów lub usług przy uwzględnieniu rodzaju prowadzonej przez podatnika działalności gospodarczej wynika, że zakupy te dokonane są w celu ich wykorzystania w ramach jego działalności opodatkowanej. W każdym przypadku należy zatem dokonać oceny, czy intencją podatnika wykonującego określone czynności, z którymi łączą się skutki prawno-podatkowe, było wykonywanie czynności opodatkowanych.

the absence of negative premises referred to in art. 88 of the Act. This provision specifies a list of exceptions that deprive the taxpayer of the right to reduce the amount of tax due by the amount of input tax. Therefore, if the funds received for the implementation of the research and development project are allocated by consortium members:

- solely for research costs,
- the goals achieved by the members of the consortium are not commercial in nature,
- the research results are not currently and will not be sold in the future, nor will they be used to perform activities subject to VAT,

then there are no reasonable grounds for the consortium to exercise the right to deduct.

From the wording of art. 86 of the VAT Act, it can be concluded that the legislator allowed the deduction of input tax only to the extent that goods and services are used to perform taxable activities. Input tax related to taxable transactions of the taxpayer can therefore be fully deducted. Thus, the indicated rule excludes the possibility of deducting input tax related to goods and services that are not used at all for taxable activities, i.e. in the case of their use for tax-exempt activities and not subject to this tax. A similar view was expressed by the Provincial Administrative Court in Warsaw in the verdict of 15 April 2019 (III SA/Wa 2340/18) [22] and the tax authority in the still valid individual interpretation of 28 January 2015, No. IPPP1/443-1266/14-4/EK, in which we read: "(...) in the part in which the expenses incurred in connection with the execution of the Agreement will be used to perform non-taxable activities – free transfer of rights to the State Treasury in (if the project is successfully completed), the Applicant is not entitled to reduce the amount of tax due by the amount of input tax. Thus, it cannot be agreed with the Applicant that in relation to purchases used by the Applicant under the Agreement, he/she is entitled to a full deduction of the input tax" [23].

When interpreting art. 86 sec. 2a et seq. of the VAT Act, it is worth recalling the position of the Supreme Administrative Court, presented in the verdict of 17 April 2019 (I FSK 411/17) [24]. In the opinion of the Supreme Administrative Court, from the analysis of art. 86 sec. 2a and 2b of the Value Added Tax Act it is clear that the regulations mentioned above indicate the method of determining the proportions most suited to the specificity of the taxpayer's activity and the acquisitions made by him/her. The choice of a specific method of determining the proportion according to these premises rests with the taxpayer, but this does not preclude the authority from taking into account the information presented in the application for interpretation and providing the taxpayer with guidelines enabling the choice of a method that will meet the conditions of art. 86 sec. 2b of the VAT Act, and thus will best suit the nature of the taxpayer's business and acquisitions.

In case of consortia implementing projects in the area of "Security and Defence", the basic element providing the basis for deducting the tax included in the price of goods or services will be the fact of performing activities subject to VAT. Of course, the right to deduct may vary as the consortium may adopt its own commercialization model. For instance, commercialization can

Ponadto podkreślić należy, że ustawodawca stworzył podatnikowi prawo do odliczenia podatku naliczonego w całości lub w części, pod warunkiem spełnienia przez niego zarówno przesłanek pozytywnych, wynikających z art. 86 ust. 1 ustawy oraz niezastnienia przesłanek negatywnych, określonych w art. 88 ustawy. Przepis ten określa listę wyjątków, które pozbawiają podatnika prawa do obniżenia kwoty podatku należnego o kwotę podatku naliczonego. Jeżeli zatem środki otrzymane na realizację projektu badawczo-rozwojowego są przeznaczone przez konsorcjantów:

- wyłącznie na pokrycie kosztów badań naukowych,
- cele osiągnięte przez członków konsorcjum nie mają charakteru komercyjnego,
- wyniki badań nie są obecnie i nie będą w przyszłości zarówno przedmiotem sprzedaży, jak też nie będą wykorzystywane do wykonywania czynności opodatkowanych podatkiem VAT,

to wówczas brak jest uzasadnionych przesłanek do skorzystania przez konsorcjum z prawa do odliczenia.

Z brzmienia art. 86 ustawy o VAT wynika, że ustawodawca zezwolił na odliczenie podatku naliczonego wyłącznie w zakresie, w jakim towary i usługi służą wykonywaniu czynności opodatkowanych. Odliczyć można zatem w całości podatek naliczony, który jest związany z transakcjami opodatkowanymi podatnika. Wskazana zasada wyłącza tym samym możliwość dokonywania odliczeń podatku naliczonego związanego z towarami i usługami, które nie są w ogóle wykorzystywane do czynności opodatkowanych, czyli w przypadku ich wykorzystywania do czynności zwolnionych od podatku oraz niepodlegających temu podatkowi. Podobny pogląd wyraził WSA w Warszawie w wyroku z dnia 15 kwietnia 2019 r. (III SA/Wa 2340/18) [22] oraz organ podatkowy w nadal aktualnej interpretacji indywidualnej z dnia 28 stycznia 2015 r. nr IPPP1/443-1266/14-4/EK, w której czytamy: „(...) w części, w jakiej poniesione wydatki w związku z realizacją Umowy będą służyć do wykonywania czynności niepodlegających opodatkowaniu – nieodpłatne przekazanie praw na rzecz Skarbu Państwa w (przypadku pozytywnego zakończenia prac nad projektem), Wnioskodawcy nie przysługuje prawo do obniżenia kwoty podatku należnego o kwotę podatku naliczonego. Tym samym nie można zgodzić się z Wnioskodawcą, że w stosunku do zakupów wykorzystywanych przez Wnioskodawcę w ramach Umowy ma on prawo do pełnego odliczenia podatku naliczonego" [23].

Dokonując wykładni art. 86 ust. 2a i nast. ustawy VAT, warto przywołać stanowisko Naczelnego Sądu Administracyjnego, zaprezentowane w wyroku z dnia 17 kwietnia 2019 r. (I FSK 411/17) [24]. W ocenie NSA, z analizy art. 86 ust. 2a i 2b ustawy o podatku od towarów i usług wynika jednoznacznie, że ww. przepisy wskazują sposób określenia proporcji najbardziej odpowiadających specyfice wykonywanej przez podatnika działalności i dokonywanych przez niego nabyć. Wybór konkretnego sposobu określenia proporcji według tych przesłanek należy do podatnika, przy czym nie wyklucza to sytuacji, aby organ uwzględnił informacje przedstawione we wniosku o interpretację i dostarczył podatnikowi wskazówek umożliwiających wybór sposobu, który będzie spełniał warunki z art. 86 ust. 2b ustawy o VAT i tym samym będzie najbardziej odpowiadał specyfice prowadzonej przez podatnika działalności i dokonywanych nabyć.

be performed by the consortium leader sharing the profit with other members who will not be entitled to a deduction of input tax. If, on the other hand, the leader takes over from the consortium members the rights to the research results and commercializes them, then we will deal with a contractor-subcontractor relationship, and under VAT there will be all the effects related to the paid services referred to in art. 8 sec. 1 of the Act on tax on goods and services. Therefore, various variants of action are possible, which will determine the method of VAT settlement in projects financed by NCBR through subsidies.

Obviously, the issues discussed in this publication do not exhaust all problems related to VAT settlements in projects financed from the state budget. Despite similarities, due to the fact that the issues in each case are usually even slightly different, it is difficult to find a universal solution to all tax problems. Therefore, the article indicates doubts that are most often raised by consortium members both in discussions with tax authorities and in complaints filed with administrative courts of both instances.

W przypadku konsorcjów realizujących projekty w obszarze „Bezpieczeństwo i Obronność” zasadniczym elementem dającym podstawę do odliczenia podatku zawartego w cenie towarów lub usług będzie okoliczność wykonywania czynności podlegających opodatkowaniu VAT. Oczywiście prawo do odliczenia może kształtować się różnie, gdyż konsorcjum może przyjąć własny model komercjalizacji. Dla przykładu, komercjalizacji może dokonać lider konsorcjum, dzieląc się zyskiem z pozostałymi członkami, którym nie będzie przysługiwało prawo do odliczenia podatku naliczonego. Jeżeli z kolei lider przejmie od członków konsorcjum prawa do wyników badań i dokona ich komercjalizacji, wówczas będziemy mieli do czynienia z relacją wykonawca-podwykonawcy, a na gruncie podatku VAT zaistnieją wszystkie skutki, jakie wiążą się z odpłatnym świadczeniem usług, o których mowa w art. 8 ust. 1 ustawy o podatku od towarów i usług. Możliwe są zatem różne warianty działania, które będą determinowały sposób rozliczenia VAT w projektach finansowanych przez NCBR w drodze dotacji.

Zagadnienia omawiane w niniejszej publikacji nie wyczerpują oczywiście wszystkich problemów związanych z rozliczeniem VAT w projektach finansowanych ze środków budżetu państwa. W związku z tym, że stany faktyczne w każdej sprawie, mimo podobieństw, są zazwyczaj choćby minimalnie różne, trudno znaleźć uniwersalne rozwiązanie wszystkich problemów podatkowych. Dlatego też w artykule wskazano na te wątpliwości, które są najczęściej podnoszone przez konsorcjantów zarówno w dyskusjach z organami podatkowymi, jak i w skargach kierowanych do sądów administracyjnych obu instancji.

Literature / Literatura

- [1] Pismo Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 26 października 2019 r. nr DPP-BK-0673-23-5/2018 skierowane do Ministra Finansów o wydanie interpretacji ogólnej w zakresie zobowiązań podatkowych wynikających z realizacji projektów na rzecz bezpieczeństwa i obronności, finansowanych w ramach środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.
- [2] Wyrok Sądu Apelacyjnego w Warszawie z dnia 4 marca 2016 r. (VI ACa 83/16).
- [3] Wyrok Sądu Najwyższego z dnia 10 września 2015 r. (II CSK 630/14).
- [4] Wyrok Sądu Apelacyjnego w Szczecinie z dnia 7 marca 2013 r. (I ACa 718/12).
- [5] Ustawa z dnia 11 marca 2004 r. o podatku od towarów i usług (tj. Dz.U. z 2021 r., poz. 685 ze zm.).
- [6] Dyrektywa Rady 2006/112/WE z dnia 28 listopada 2006 r. w sprawie wspólnego systemu podatku od wartości dodanej (Dz.Urz.U.E.L Nr 347, s. 1, ze zm.).
- [7] Ustawa z dnia 30 kwietnia 2010 r. o Narodowym Centrum Badań i Rozwoju (tj. Dz.U. z 2020 r., poz. 1861).
- [8] Interpretacja indywidualna Dyrektora Krajowej Informacji Skarbowej z dnia 11 lutego 2016 r. nr ITPP2/4512-1086/15EK.
- [9] Wyrok WSA z dnia 5 stycznia 2017 r. (I SA/Wr 1120/16).
- [10] Wyrok NSA z dnia 31 lipca 2020 r. (I FSK 1792/17).
- [11] Wyrok NSA z dnia 21 marca 2019 r. (I FSK 1363/18).
- [12] Wyrok Trybunał Sprawiedliwości Unii Europejskiej z dnia 22 listopada 2001 r. w sprawie C-184/00 Office des Produits Wallons ASBL v. Belgian State (ECR 2001/11B/I-9115).
- [13] Wyrok WSA z dnia 13 czerwca 2017 r. (I SA/Bd 474/17);
- [14] Bartosiewicz A., VAT. *Komentarz*, Wyd. X, Wolters Kluwer, Warszawa 2016.
- [15] Wyrok NSA z dnia 17 czerwca 2009 r. (I FSK 571/08).
- [16] Wyrok NSA z dnia 5 lutego 2015 r. (I FSK 821/13).
- [17] Wyrok WSA w Gliwicach z dnia 21 czerwca 2016 r. (III SA/GI 232/16).

- [18] Kamiński A., *Dotacje z funduszy UE a VAT*, „Przegląd Podatkowy” 2005, 4, 31–35.
- [19] Wyroki TSUE (numery spraw: C-498/99, publ. LEX nr 83900, C-16/93, publ. LEX nr 83886, C-89/81, publ. www.curia.europa.eu, czy C-154/80, publ. www.curia.europa.eu).
- [20] Interpretacja indywidualna Dyrektora Krajowej Informacji Skarbowej z dnia 9 września 2013 r. nr IPPP2/443-645/13-2/DG.
- [21] Wyrok WSA z dnia 27 listopada 2018 r. (I SA/Gd 958/18).
- [22] Wyrok WSA w Warszawie w wyroku z dnia 15 kwietnia 2019 r. (III SA/Wa 2340/18).
- [23] Interpretacja indywidualna Dyrektora Krajowej Informacji Skarbowej z dnia 28 stycznia 2015 r. nr IPPP1/443-1266/14-4/EK.
- [24] Wyrok NSA z dnia 17 kwietnia 2019 r. (I FSK 411/17).
- [25] Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tj. Dz U. z 2020 r., poz. 85, ze zm.).
- [26] Wyszomirska-Łapczyńska M., *Zaskarżenie decyzji podatkowej*, C.H. Beck, Warszawa 2014.
- [27] Wyszomirska-Łapczyńska M., *Pisma urzędowe i pisma procesowe. Komentarz do Ordynacji podatkowej*, C.H. Beck, Warszawa 2019.

MONIKA WYSZOMIRSKA, PH.D. – PH.D. in law at the University of Warsaw, attorney-at-law, economist. She specializes in tax, financial, administrative and civil law, including among others research projects and development works as well as large IT projects. Author of 7 books on tax issues and over 250 press articles on substantive and procedural tax and administrative law. She has extensive experience in both drafting legal opinions and analyses, as well as representing parties before the Provincial and Supreme Administrative Court and common courts of all instances. She also appears before the Constitutional Tribunal in matters related to subsidies and taxes.

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 7 książek o tematyce podatkowej 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.

12-14 July 2022

Krakow, Poland



ETCC 2022
EUROPEAN TECHNICAL COATINGS CONGRESS

Coatings
Inspirations

Since 1950

www.etcc2022.org

70 years tradition of
ETCC 2022 European Technical Coatings Congress
12-14 July 2022, Krakow

Presentations refer to the latest scientific and technical achievements:
Paints. Coatings. Raw Materials. Adhesives. Construction Materials.
Related Materials. Processes and Concepts.

ABSTRACT SUBMISSION,
deadline: 30 JANUARY 2022

Innovation Starts Here.
View your measurable benefits from:

• **Six Parallel Sessions and Posters presentation**

See the ETCC2022 Congress program at:
www.etcc2022.org/en/congress/congress-program

• **Plenary presentations**

Keynote speakers, see at:
www.etcc2022.org/en/congress/speakers

• **Exhibition - Presentation of Scientific & Technical Achievements, Products, Equipment, Services**

Register at :
www.etcc2022.org/en/congress/exhibition

• **„Summer School” Session**

See the program on:
www.etcc2022.org/en/congress/summer-school



CONGRESS PARTICIPATION

Register at:
www.etcc2022.org/en/registration

Publication of presentations possible in journals:
www.etcc2022.org/en/congress/publication-in-journals

Congress Awards – 1000 Euro each
will be granted for the following categories:

- Best presentation of the congress
- Best paper presented by a young scientist (*age up to 35 years*)
- Best paper with ecological content
- Others awards and recognitions

For more detailed information please visit congress website: www.etcc2022.org
Should you have any questions, please do not hesitate to contact us by e-mail:

- etcc2022@sitpchem.org.pl
- koziel.jozef@gmail.com

We are present at the social media:



Piotr Lesiak^{a)*}, Dariusz Pietrzela^{a)}, Piotr Mortka^{a)}

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

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

Methods Used to Extinguish Fires in Electric Vehicles

Metody gaśnicze stosowane do gaszenia pożarów samochodów elektrycznych

ABSTRACT

Aim: The aim of the article is to present the current state of knowledge regarding the possibility of suppressing or effectively extinguishing fires of electric vehicle. Due to the growing popularity of means of transport powered by electric batteries, the problem of emerging fires and their effects is becoming recognizable. Due to the possible violent process of combustion of lithium-ion batteries (hereinafter referred to as Li-Ion batteries), a fire in a vehicle may lead to a wide range of property damage. For at least a decade, intensive efforts have been made to develop appropriate methods to allow firefighters to deal with the problem of fires of electric vehicles. These activities were directed, among others, at new fire extinguishing/suppression techniques, innovative extinguishing agents and methods of their application.

Introduction: Taking into account the current global trends in changing the method of powering vehicles from fossil fuels into electricity, the occurrence of such events should be expected to intensify. The authors systematize the issue by analysing the literature on fires, Li-Ion batteries being a critical element that may initiate a fire. The adopted and practiced methods of extinguishing/suppressing a fire as well as the used extinguishing agents were also analysed. The publication may be an element helpful in selecting the most optimal fire extinguishing method of the electric energy storage unit in a vehicle.

Methodology: The review of the current state of knowledge was made based on publications on the fire characteristics of Li-Ion batteries, as well as works and research projects in the field of extinguishing methods and the effectiveness of various extinguishing agents. In addition, the procedures used by the emergency services and selected real events were analysed.

Conclusions: Fires of Li-Ion batteries are a relatively new and growing phenomenon. Fires in fully or partially electric vehicles are much more difficult to fully extinguish compared to fires in vehicles with internal combustion engines. So far, no effective method has been developed that would allow a fire to be extinguished in a short time. Activities in this area focus on minimizing the effects. There is still a need to look for new technical and tactical solutions in order to optimize the procedures leading to more effective activities of the services in this type of incidents.

Keywords: lithium-ion battery, Li-Ion, fire, extinguishing, suppression

Type of article: review article

Received: 04.11.2021; Reviewed: 06.12.2021; Accepted: 07.12.2021;

Authors' ORCID IDs: P. Lesiak – 0000-0001-8465-2169; D. Pietrzela – 0000-0002-8201-454X; P. Mortka – 0000-0002-2661-3134;

The authors contributed the equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 38–57, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.3>;

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 artykułu jest przedstawienie aktualnego stanu wiedzy w zakresie możliwości tłumienia lub skutecznego ugaszenia pożarów pojazdów elektrycznych. Z uwagi na wzrost popularności środków transportu zasilanych z akumulatorów elektrycznych, rozpoznawalna staje się problematyka pojawiających się pożarów i ich skutków. Z uwagi na możliwy gwałtowny proces przebiegu spalania akumulatorów litowo-jonowych (dalej akumulatory Li-Ion), wystąpienie pożaru w pojeździe może doprowadzić do szerokiego spektrum uszkodzeń mienia. Od co najmniej dekady prowadzone są intensywne działania ukierunkowane na wypracowanie właściwych metod pozwalających strażakom zmierzyć się z problemem pożarów pojazdów elektrycznych. Działania te ukierunkowano m.in. na nowe techniki gaszenia/tłumienia pożaru, innowacyjne środki gaśnicze i sposoby ich aplikacji.

Wprowadzenie: Ratownicy coraz częściej spotykają się z pożarami układów gromadzenia energii elektrycznej wykonanych w technologii Li-Ion, w tym stosowanych w pojazdach elektrycznych. Biorąc pod uwagę obecne, światowe trendy zmiany sposobu zasilania pojazdów z paliw pochodzących z kopalni na energię elektryczną, należy spodziewać się intensyfikacji pojawiania się takich zdarzeń. Autorzy systematyzują zagadnienie poprzez analizę literaturową w zakresie pożarów akumulatorów Li-Ion jako krytycznego elementu mogącego zapoczątkowywać pożar. Analizie także poddano przyjęte

i praktykowane metody gaszenia/tłumienia pożaru oraz wykorzystane środki gaśnicze. Publikacja może stanowić element pomocny w doborze najbardziej optymalnej metody ugaszenia pożaru zespołu gromadzenia energii elektrycznej w pojeździe.

Metodologia: Przeglądu obecnego stanu wiedzy dokonano na podstawie publikacji dotyczących charakterystyki pożarowej akumulatorów Li-Ion, a także prac oraz projektów naukowo-badawczych z zakresu metod gaszenia i efektywności różnych środków gaśniczych. Ponadto analizie poddano procedury stosowane przez służby ratownicze oraz wybrane zdarzenia rzeczywiste.

Wnioski: Pożary akumulatorów Li-Ion to stosunkowo nowe i narastające zjawisko. Pożary pojazdów w pełni lub częściowo elektrycznych są znacznie trudniejsze do pełnego ugaszenia w porównaniu do pożarów pojazdów z silnikami spalinowymi. Jak dotąd nie opracowano skutecznej metody, która pozwoliłaby na ugaszenie pożaru w krótkim czasie. Działania w tym obszarze skupiają się na minimalizacji skutków. W dalszym ciągu istnieje potrzeba szukania nowych rozwiązań technicznych i taktycznych w celu optymalizacji procedur prowadzących do bardziej efektywnych działań służb przy tego rodzaju zdarzeniach.

Słowa kluczowe: akumulator litowo-jonowy, Li-Ion, pożar, gaszenie, tłumienie

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 04.11.2021; **Zrecenzowany:** 06.12.2021; **Zaakceptowany:** 07.12.2021;

Identyfikatory ORCID autorów: P. Lesiak – 0000-0001-8465-2169; D. Pietrzela – 0000-0002-8201-454X; P. Mortka – 0000-0002-2661-3134;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 38–57, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.3>;

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

Introduction

Vehicles with electric or hybrid drive are more and more often found on the roads of our country. Due to a relatively short period of time since this type of propulsion became popular, the technology and the risks associated with it constitute a novelty for the rescuers. Therefore, during the rescue and firefighting operations, they exercise increased caution and distrust, in particular in situations when an electric energy storage unit in a vehicle is ignited. This article, based on the available publications, presents the fire characteristics of Li-Ion batteries, analyses the testing on the effectiveness of various types of extinguishing agents and presents the rules of conduct during extinguishing activities, at the same time formulating the rules for using these extinguishing agents, the effectiveness of which during fires of Li-Ion batteries is the highest.

Certain symptoms of climate change in our environment, which – according to leading international organizations responsible for environmental protection – may be caused by the use of hydrocarbon fuels, thus introduced are the so-called clean technologies of accumulating energy. They include, among others, energy storage systems made with the use of the lithium element. The dissemination of the above solutions is related to the reduction of the production costs of lithium technologies, including lithium-based batteries. Due to this, it is possible to use them to drive means of transport. Recently, a trend has been observed related to the electrification of vehicle drive systems, which has become a priority for a vast majority of the manufacturers.

For at least a decade, testing has been conducted in many centres responsible for safety, the purpose of which is to assess the risks associated with the use of Li-Ion batteries. On their basis, the issues of extinguishing activities, the use of extinguishing agents and the methods of their application were developed.

Wprowadzenie

Pojazdy z napędem elektrycznym lub hybrydowym są coraz częściej spotykane na drogach naszego kraju. Z uwagi na stosunkowo krótki okres od upowszechnienia się tego rodzaju napędu, dla ratowników technologia, jak i zagrożenia z nią związane stanowią pewną nowość. Dlatego podczas prowadzonych działań ratowniczo-gaśniczych zachowują oni wzmożoną ostrożność i nieufność, w szczególności w sytuacjach, w których dochodzi do zapłonu zespołu gromadzenia energii elektrycznej w pojeździe. W niniejszym artykule, w oparciu o dostępne publikacje, zaprezentowano charakterystykę pożarową samych akumulatorów Li-Ion, przeanalizowano prace badawcze z zakresu efektywności różnego rodzaju środków gaśniczych oraz przedstawiono zasady postępowania podczas działań gaśniczych, formułując jednocześnie reguły użycia tych środków gaśniczych, których skuteczność podczas pożarów akumulatorów Li-Ion jest najwyższa.

Pewne symptomy zmian klimatycznych w naszym otoczeniu, które – według wiodących organizacji międzynarodowych odpowiedzialnych za ochronę środowiska – mogą być skutkiem używania paliw węglowodorowych powodują, że wdrażane są tzw. czyste technologie gromadzenia energii. W ich skład wchodzi m.in. układy gromadzenia energii wykonane z wykorzystaniem pierwiastka litu. Upowszechnienie się powyższych rozwiązań związane jest z obniżeniem kosztów produkcji technologii litowych, w tym akumulatorów, opartych na tym pierwiastku. Dzięki temu istnieje możliwość zastosowania ich do napędzania środków transportu. W ostatnim czasie widoczny jest trend związany z elektryfikacją układów napędowych pojazdów, który dla przeważającej większości producentów stał się obecnie priorytetem.

Od co najmniej dekady, w wielu ośrodkach odpowiedzialnych za bezpieczeństwo powszechne, prowadzone są badania, których celem jest ocena zagrożeń związanych z użytkowaniem

The entire process is focused on the development of rescue and firefighting guidelines for dealing with vehicles equipped with electric energy storage systems.

Characteristics of fires in lithium-ion cells

Traction batteries (cells) of electric cars are treated as energy storage with a rated voltage of up to several hundred volts. They are an ecological alternative to the previously used fuels to power engines, i.e. gasoline, diesel oil, gas (LPG or LNG). Currently, manufacturers most often use lithium-ion batteries for electric vehicles. They consist of cells placed in parallel or in series. The number of cells determines the energy capacity, so usually (depending on the design) batteries can consist of up to thousands of cells. This translates into energy density and usable available power, enabling the vehicle to cover even greater distances on a single battery charge. Nevertheless, lead-acid batteries are still used to power the basic equipment of the vehicle (such as: lighting, on-board computer, radio). Manufacturers offer different shapes of cells, which allows them to be placed in many places – they are most commonly located in the floor of the vehicle (see Figure 1). It is the location of the cells that is particularly important from the point of view of extinguishing this type of fires.

akumulatorów Li-Ion. Na ich podstawie opracowywano m.in. problematykę działań gaśniczych, zastosowania środków gaśniczych i metod ich aplikacji. Całość procesu ukierunkowana jest na wypracowanie wytycznych ratowniczo-gaśniczych dotyczących postępowania z pojazdami wyposażonymi w układy gromadzenia energii elektrycznej.

Charakterystyka pożarów ogniw litowo-jonowych

Akumulatory trakcyjne (ogniwa) samochodów elektrycznych to magazyny energii o napięciu znamionowym nawet kilkuset woltów. Stanowią ekologiczną alternatywę dla stosowanych dotychczas paliw do napędzania silników tj. benzyny, oleju napędowego, gazu (LPG lub LNG). Obecnie producenci najczęściej stosują do pojazdów elektrycznych akumulatory litowo-jonowe. Zbudowane są one z ogniw umieszczonych równolegle lub szeregowo. Liczba ogniw determinuje pojemność energetyczną, przez co zazwyczaj (w zależności od konstrukcji) akumulatory mogą składać się nawet z tysięcy ogniw. Przekłada się to na gęstość energii oraz użytkową moc dyspozycyjną, umożliwiającą pokonywanie tak wyposażonym pojazdem – na jednym naładowaniu akumulatorów – coraz większych dystansów. Mimo to w dalszym ciągu do zasilania podstawowych urządzeń pojazdu (takich jak: oświetlenie, komputer pokładowy, radio) używane są akumulatory kwasowo-ołowiowe. Producenci oferują różne kształty ogniw, co pozwala na ich umieszczenie w wielu miejscach – najpowszechniej lokalizowane są one w części podłogowej pojazdu (zob. ryc. 1). Właśnie aspekt umiejscowienia ogniw jest szczególnie istotny z punktu widzenia gaszenia tego typu pożarów.



Figure 1. A set of batteries located in a part of the vehicle floor
Rycina 1. Zespół akumulatorów umieszczonych w podłodze pojazdu

Source / Źródło: <https://evduniya.com/ev-global/types-of-batteries-used-in-electric-vehicles-their-parameters.html> / [dostęp: 04.11.2021].

Both the vehicle as well as the system and its components (in particular those on which movement is dependent) must be characterized by:

- operational reliability,
- long time of failure-free operation without any changes that worsen the functional properties,
- little or no environmental burden [1].

Zarówno pojazd jako system, jak i jego elementy (w szczególności te, od których zależne jest poruszanie się) muszą charakteryzować się:

- niezawodnością działania,
- długim czasem bezawaryjnej pracy bez zmian pogarszających właściwości użytkowe,
- brakiem lub niewielkim obciążeniem dla środowiska naturalnego [1].

The cells consist of three basic elements: anode, cathode and electrolyte. The principle of operation is based on the movement of Li^+ ions in the electrolyte between two electrodes. The lithium-ion battery is also called a shuttle battery or a rocking-chair battery because the bidirectional movement of lithium ions between the anode and cathode through the electrolyte occurs during the charging and discharging process [2].

Ogniwa składają się z trzech podstawowych elementów: anody, katody i elektrolitu. Zasada działania polega na przemieszczaniu się jonów Li^+ w elektrolicie pomiędzy dwoma elektrodami. Elektrody zanurzone są w roztworze soli litu w postaci cieczy, żelu lub przewodzącego polimeru. Akumulator litowo-jonowy nazywany jest również akumulatorem wahadłowym lub akumulatorem fotela bujanego, ponieważ dwukierunkowy ruch jonów litu między anodą a katodą przez elektrolit zachodzi podczas procesu ładowania i rozładowania [2].

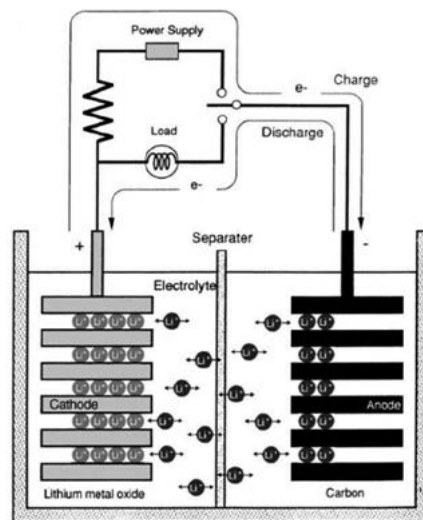


Figure 2. Diagram of the operation of a lithium-ion cell
Rycina 2. Schemat działania ogniwa litowo-jonowego

Source / Źródło: M. Wakihara, *Recent developments in lithium ion batteries*, „Materials Science and Engineering” 2021, 33, 109–134 [2].

A fire – according to the definition – is any case of an uncontrolled combustion process. The condition for initiating and maintaining the phenomenon is a combustion tetrahedron. This definition is also appropriate to characterize a fire of lithium-ion cells. The main fuel is the cell electrolyte. The electrolyte solution contains an organic solvent and an inorganic salt. The most common solvents used in the cells are: ethylene carbonate, propylene carbonate, dimethyl carbonate and diethyl carbonate. The most commonly used electrolyte salt is lithium hexafluorophosphate (LiPF_6). It was determined that it is a compound with low thermal stability [3]. Under normal conditions of use, the cell is a closed system without air access, which excludes the possibility of fire or explosion. However, inappropriate use (including emergencies) increases the risk of thermal runaway. The conducted testing confirms that when an uncontrolled thermal reaction occurs in a cell, the charged electrode becomes an unstable material. In particular, phenomena such as short-circuit, overload, use of reverse polarity have a negative impact here. The authors describe them as a chain reaction or a domino effect, which in turn leads to a fire or even an explosion [4]. The above is presented in Figure 3.

Pożar – zgodnie z definicją – to każdy przypadek niekontrolowanego procesu spalania. Warunkiem zainicjowania, jak i podtrzymania zjawiska jest czworościan spalania. Definicja ta jest właściwa również dla charakterystyki pożarów ogniwa litowo-jonowych. Głównym paliwem jest elektrolit ogniwa. Roztwór elektrolitu zawiera rozpuszczalnik organiczny i sól nieorganiczną. Najpopularniejsze rozpuszczalniki stosowane w ogniwach to: węgiel etylenu, węgiel propylenu, węgiel dimetylu oraz węgiel dietylu. Najczęściej używaną solą elektrolityczną jest heksafluorofosforan litu (LiPF_6). Określono, że jest to związek o niskiej stabilności termicznej [3]. W normalnych warunkach użytkowania ogniwa to system zamknięty bez dostępu powietrza, co wyklucza prawdopodobieństwo pożaru lub wybuchu. Jednakże nieodpowiednie użytkowanie (w tym sytuacje awaryjne) powoduje wzrost ryzyka wystąpienia zjawiska bardzo szybkiego wzrostu temperatury (ang. *thermal runaway*). Prowadzone badania potwierdzają, że gdy w ogniwie dochodzi do niekontrolowanych reakcji termicznych, naładowana elektroda staje się materiałem niestabilnym. W szczególności negatywny wpływ wywierają tu zjawiska, takie jak zwarcie, przeładowanie, zastosowanie odwrotnej polaryzacji. Autorzy opisują je jako reakcję łańcuchową lub efekt domina, który w konsekwencji prowadzi do pożaru, a nawet wybuchu [4]. Powyższe przedstawiono na rycinie 3.

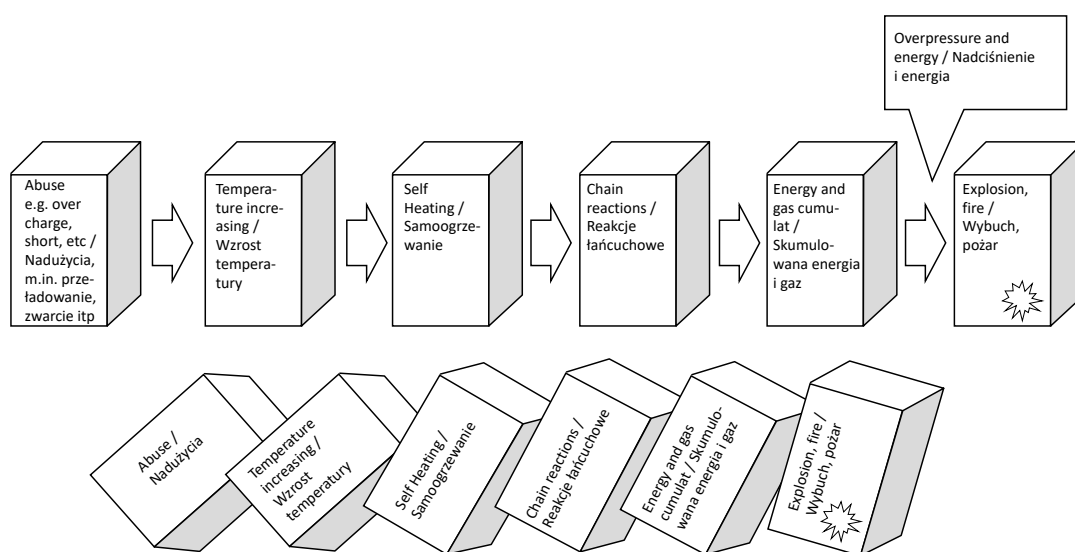


Figure 3. Domino effect leading to the fires of lithium-ion cell
Rycina 3. Efekt domina prowadzący do pożarów ogniw litowo-jonowych
Source / Źródło: [4].

In the closed volume of the system, which can be called a battery, the temperature increases, which leads to self-heating. This phenomenon favors the occurrence of chemical reactions and a further increase in temperature. When the generated heat is greater than its losses, the process becomes irreversible – the thermal runaway phenomenon described above then takes place [4]. As a consequence, the combustible components of the battery itself and other nearby components ignite. In case of a passenger vehicle, the interior of which is mostly finished with plastic materials, the time of the fire spreading is short and characterized by considerable dynamics.

Even in the event of thermal stability, a heated Li-ion battery (e.g. due to external fire) may emit flammable and toxic gases such as hydrogen fluoride (HF) and phosphoryl trifluoride (POF₃). The source of fluorine compounds is primarily the electrolyte, but also binders (e.g. PVdF) of the active electrode materials. The electrolyte usually contains flammable organic solvents, some of which are volatile at moderate temperatures (below 100°C). The results of the performed fire tests confirm the potential emission of HF and POF₃ compounds from the cells in the amounts that are toxic to humans. Moreover, the cells can emit flammable gases, e.g. H₂, CO, CO₂, CH₄, C₂H₆ and C₂H₄ [5].

Research work

The American organization called National Fire Protection Association (NFPA) in the years 2013–2016 published a series of materials on extinguishing fires of traction battery. Tests, demonstrations and recommendations have been prepared in view of the growing number of fully electric or hybrid vehicles.

A battery fire in Li-Ion technology can in some cases be associated with a very rapid temperature runaway (thermal runaway). As shown by the available materials developed by leading research centres (including NFPA), the amount of water

W zamkniętej objętości systemu, jaką można nazwać baterię, dochodzi do zwiększania temperatury, co prowadzi do samoogrzewania. Zjawisko to sprzyja występowaniu reakcji chemicznych i dalszemu wzrostowi temperatury. Gdy generowane ciepło jest większe od jego strat, proces staje się nieodwracalny – następuje wówczas opisane wyżej zjawisko *thermal runaway* [4]. W konsekwencji tego dochodzi do zapłonu składników palnych samej baterii oraz innych elementów będących w pobliżu. W przypadku pojazdu osobowego, którego wnętrze wykończony jest w większości materiałami z tworzyw sztucznych, czas rozprzestrzenienia pożaru jest krótki i charakteryzuje się znaczną dynamiką.

Nawet w przypadku stabilności termicznej podgrzany akumulator Li-ion, (np. wskutek oddziaływania pożaru zewnętrznego) może wydzielać łatwopalne i toksyczne gazy, takie jak fluorowodór (HF) i trifluorek fosforu (POF₃). Źródłem związków fluoru jest przede wszystkim elektrolit, ale również spoiwa (np. PVdF) materiałów elektrod aktywnych. Elektrolit zwykle zawiera palne rozpuszczalniki organiczne, z których niektóre są lotne w umiarkowanych temperaturach (poniżej 100°C). Wyniki wykonanych testów pożarowych potwierdzają potencjalną emisję z ognia związku HF i POF₃ w ilości, które są toksyczne dla ludzi. Ponadto, ogniwa mogą emitować gazy palne, np. H₂, CO, CO₂, CH₄, C₂H₆ i C₂H₄ [5].

Prace badawcze

Amerkańska organizacja National Fire Protection Association (NFPA) w latach 2013–2016 opublikowała serię materiałów na temat gaszenia pożarów akumulatorów trakcyjnych. Testy, demonstracje i zalecenia przygotowano z uwagi na rosnącą liczbę pojazdów wykorzystujących napęd w pełni elektryczny lub hybrydowy.

Pożar akumulatora w technologii Li-Ion w pewnych przypadkach może wiązać się z bardzo szybkim wzrostem temperatury (ang. *thermal runaway*). Jak wykazują dostępne materiały opracowane przez wiodące ośrodki badawcze (m.in. National Fire

necessary to permanently extinguish a fully electric vehicle (or in fact lithium-ion batteries) is very large – sometimes even several times greater than in the case of cars with a hybrid drive or exhaust gas. In studies conducted by NFPA, 5–10 m³ of water were used depending on the specific case. It should be borne in mind that the element hindering the firefighting activities is, among others, the fact that the energy storage package is most often located in the lower part of the vehicle and is enclosed by the casing elements.

It is important, above all, that extinguishing a fire (disappearance of the visible combustion process) does not solve the problem, because in case of commonly used Li-Ion batteries, the fire may re-emerge. Interruption of the combustion process and a certain extinguishing effect can only be achieved by permanently lowering the temperature of all cells. If the cell temperature remains high, there is a high risk of the fire of the battery re-emerging above a certain threshold. Depending on many factors, the combustion process may take place after a while, after several hours or even after one day. The value of this temperature will vary depending on the type of used cell design solutions and the entire battery. In electric vehicles, a fire can occur without visible symptoms from the outside, e.g. due to the changes inside the battery (internal short circuits that increase the temperature or leakage in the cooling system, whereby liquid seeps into live parts and causes a short circuit with a subsequent fire). The time scales of these phenomena may range from a few seconds to several days.

At the turn of the last decade, tests were carried out to assess the extinguishing effect of various methods and extinguishing agents that were used during a fire in Li-Ion batteries. Such tests were carried out by the Federal Aviation Administration (FAA) and the Civil Aviation Authority (CAA). The research on the method of extinguishing fires of lithium-based batteries made in the USA is also worth mentioning – in FM Global, the aforementioned NFPA and the State Key Laboratory of Fire Science [6].

The FAA agency carried out a number of experiments that were to enable the selection of the most effective extinguishing agent from among the solutions available on the market, assessing, among others, the cooling effects of energy storage systems. During the tests, fire simulations were also used. The extinguishing agent halon 1211 – bromochlorodifluoromethane – CF₂ClBr and agents based on water with additives: Hartindo AF31, Hartindo AF21, A-B-D were compared. Gaseous extinguishing agents were also compared: FM-200, FE-36, Halotron I with Purple K and Novec 1230 extinguishing agents. The results show that the aqueous solutions have a great potential to lower the temperature – a significant cooling effect is observable. In case of extinguishing agents that do not contain water, the temperature lowering effect will not be the primary mechanism for extinguishing a battery fire. Increasing the output of these types of extinguishing agents has no measurable impact, unlike water-based agents. Figure 4 shows the effect of cooling the battery surface by various extinguishing agents [7].

Protection Association, NFPA), ilość wody konieczna do trwałego ugaszenia pojazdu w pełni elektrycznego (a w zasadzie akumulatorów litowo-jonowych) jest bardzo duża – czasami nawet kilkakrotnie większa niż w przypadku samochodów z napędem hybrydowym lub spalinowych. W badaniach prowadzonych przez NFPA, w zależności od konkretnego przypadku zużyto 5–10 m³ wody. Należy mieć na względzie, że elementem utrudniającym działania gaśnicze jest m.in. to, że pakiet układu gromadzenia energii znajduje się najczęściej w dolnej części pojazdu i jest zabudowany elementami osłonowymi.

Istotne jest przede wszystkim, że ugaszenie ognia (zanik widocznego procesu spalania) nie rozwiązuje problemu, gdyż w przypadku powszechnie stosowanych akumulatorów Li-Ion pożar może rozwinąć się ponownie. Przerwanie procesu spalania i pewny efekt gaśniczy można osiągnąć wyłącznie poprzez trwałe obniżenie temperatury wszystkich ogniw. Jeżeli temperatura ogniw pozostaje wysoka, powyżej pewnego progu istnieje wysokie ryzyko ponownego wystąpienia pożaru akumulatora. W zależności od wielu czynników proces spalania może nastąpić po chwili, po kilku godzinach lub nawet po jednej dobie. Gaszenie wodą ma zatem na celu schłodzenie ogniw do temperatury rzędu kilkudziesięciu stopni. Wartość tej temperatury będzie różna w zależności od typu zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych ogniw i całego akumulatora. W pojazdach elektrycznych może dojść do pożaru bez widocznych symptomów z zewnątrz, np. z powodu zmian wewnątrz akumulatora (wewnętrzne zwarcia, które zwiększają temperaturę lub wycieki w układzie chłodzenia, przez co ciecz przedostaje się do części pod napięciem i powoduje zwarcie z późniejszym pożarem). Skale czasowe tych zjawisk mogą wynosić od kilku sekund do kilku dni.

Na przełomie ostatniej dekady przeprowadzono testy, mające na celu ocenę działania gaśniczego różnych metod i środków gaśniczych, które zastosowano podczas pożaru akumulatorów Li-Ion. Testy takie przeprowadzone zostały przez organizację Federal Aviation Administration (FAA) oraz Civil Aviation Authority (CAA). Na uwagę zasługują także badania sposobu gaszenia pożarów akumulatorów zbudowanych w technologii litowej wykonane w USA – w FM Global, wspomnianej wcześniej NFPA i State Key Laboratory of Fire Science [6].

Agencja FAA wykonała szereg eksperymentów, które miały umożliwić wybór najefektywniejszego środka gaśniczego spośród dostępnych na rynku rozwiązań, poddając ocenie m.in. efekty chłodzenia układów gromadzenia energii. Podczas badań posługiwano się także wykonanymi symulacjami pożarów. Porównano środek gaśniczy halon 1211 – bromochlorodifluorometan – CF₂ClBr oraz środki na bazie wody z dodatkami: Hartindo AF31, Hartindo AF21, A-B-D. Porównano również środki gaśnicze w postaci gazowej: FM-200, FE-36, Halotron I ze środkami gaśniczymi Purple K oraz Novec 1230. Wyniki wskazują, że roztwory wodne posiadają duży potencjał w zakresie obniżenia temperatury – możliwy do zaobserwowania jest znaczący efekt chłodzący. W przypadku środków gaśniczych, które nie zawierają wody, efekt obniżenia temperatury nie będzie głównym mechanizmem gaśniczym pożaru akumulatora. Zwiększanie wydatku tego typu środków gaśniczych nie daje mierzalnego wpływu, w przeciwieństwie do środków opartych na wodzie. Na rycinie 4 przedstawiono wpływ wychładzania powierzchni akumulatora przez różne środki gaśnicze [7].

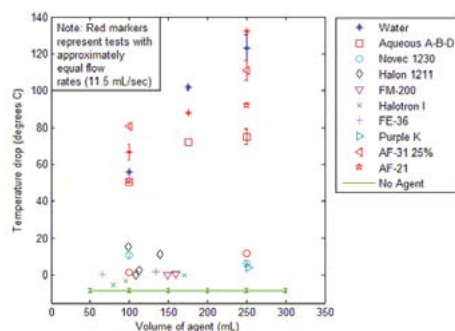


Figure 4. Effect of cooling the battery surface by various extinguishing agents
Rycina 4. Wpływ wychładzania powierzchni akumulatora przez różne środki gaśnicze

Source / Źródło: T. Maloney, *Extinguishment of Lithium-Ion and Lithium-Metal Battery Fires*, US Department of Transportation, Technical Report, Federal Aviation Administration 2014, 46–51 [7].

The FAA continued its research to show that the success of the extinguishing operation in battery fires is ensured by the use of a mechanism of heat collection, which prevents or reduces the combustion process. A series of tests were carried out to assess this effect, using a Li-Ion 18650 battery with a capacity of 2600 mAh and a charge level (SOC) of approx. 50%. It was heated by fire to the limit of the spontaneous process of temperature increase. Subsequently, the extinguishing agents in the liquid phase were applied to it at ambient conditions. They were: water, AF-31, AF-21, A-N-D and Novec 1230. These liquids were applied to the burning cell in the form of free outflow from a container with a volume of 0.5 dm³. Other extinguishing agents such as Halon1211, Halotron, I, FM and Purple-K were also used. The results of the experiment clearly indicate that the liquid – in ambient conditions – extinguishing agents are the most effective in collecting the heat released during the combustion of the material contained in the lithium battery.

At the Institute of China Classification Society [8], a series of studies was carried out to assess the extinguishing efficiency of batteries in lithium technology. Carbon dioxide, dry powder and HFC 227ea (FE227TM and FM-200®) were analysed. The assessment was made on the basis of the following criteria:

- the amount of produced smoke,
- extinguishing speed,
- the possibility of recurrence of combustion.

The use of carbon dioxide leaves no doubt that this gas does not have good extinguishing properties, which are responsible for effectively removing heat from a burning cell – similar to a powder extinguishing agent. HFC227ea was the most effective. Similar results were confirmed in a study conducted at the University of Science and Technology of China [9]. The general conclusions that can be deduced from these activities are focused on the efficiency of heat collection by water with or without additives. Their participation in certain situations increases the physical properties responsible for the effectiveness in terms of heat reception. It is also hardly effective to administer water to the area of a burning accumulator in the form of a water mist.

The F-500 water additive, developed by Control Arts Inc. (HCT), has many advantages and extinguishing potential. The additive does not increase the wetting properties of the water, nor does

FAA kontynuowała badania w celu wykazania, że gwarantem powodzenia działania gaśniczego podczas pożarów akumulatorów jest wykorzystanie mechanizmu odbierania ciepła, co zapobiega procesowi spalania lub go ogranicza. Wykonano szereg testów ukierunkowanych na ocenę tego efektu, wykorzystując do tego celu akumulator Li-Ion 18650 o pojemności 2600 mAh i poziomie naładowania (SOC) ok. 50%. Ogniwo zostało podgrzane do granicy samoistnego procesu wzrostu temperatury. Następnie podano na niego środki gaśnicze będące w fazie ciekłej w warunkach otoczenia. Były to: woda, AF-31, AF-21, A-B-D i Novec1230. Ciecze te podano na palące się ogniwo w postaci swobodnego wypływu z pojemnika o objętości 0,5 dm³. Użyto także innych środków gaśniczych, takich jak: Halon1211, Halotron, I, FM i Purple-K. Efekty eksperymentu jednoznacznie wskazują na to, że ciekłe – w warunkach otoczenia – środki gaśnicze są najbardziej efektywne w odbieraniu ciepła wydzielanego podczas spalania materiału zawartego w akumulatorze litowym.

W Institute of China Classification Society [8] przeprowadzono serię badań dotyczących oceny skuteczności gaśniczej podczas pożaru akumulatorów w technologii litowej. Przeanalizowano dwutlenek węgla, proszek gaśniczy oraz HFC 227ea (FE227TM oraz FM-200®). Oceny dokonano na podstawie następujących kryteriów:

- ilość powstałego dymu,
- szybkość gaszenia,
- możliwość nawrotu spalania.

Zastosowanie dwutlenku węgla nie pozostawia wątpliwości, że gaz ten nie posiada dobrych właściwości gaśniczych odpowiadających za efektywne odbieranie ciepła z płonącego ogniwa – podobnie jak środek gaśniczy w postaci proszku. Najbardziej efektywny był HFC227ea. Podobne wyniki zostały potwierdzone w ramach badania wykonanego w University of Science and Technology of China [9]. Generalne wnioski, jakie wynikają z tych działań, oscylują wokół skuteczności odbierania ciepła przez wodę bez dodatków bądź z dodatkami. Ich udział w pewnych sytuacjach podwyższa właściwości fizyczne odpowiedzialne za skuteczność w aspekcie odbioru ciepła. Trudno także uznać za skuteczne podawanie w obszar palącego się akumulatora wody w postaci mgły wodnej.

Sporymi zaletami i potencjałem gaśniczym charakteryzuje się dodatek do wody o nazwie F-500, opracowany przez firmę

it create a foam layer. It is given in the concentration range of 0.25–1% for group A fires and increased concentrations in the range of 3–6% for group B fires. It works, among other things, by lowering the surface tension, thanks to which it is able to cover a large surface of, for example, a burning liquid in a short time, and – importantly – strongly enhances the effect of heat absorption (6–10 times compared to pure water).

In 2009, Bosch conducted a series of tests of water, firefighting foam and powders together with water mixtures with F-500 to evaluate the effectiveness of extinguishing fires of lithium batteries. This work showed that F-500 is a leader among the selected materials. In 2013, DEKRA applied this measure in the event of a fire in batteries used in vehicles whose ignition was caused by an external fire effect, originating from the burnt n-heptane. Already at a concentration of 1% of F-500 in water, a significant improvement was achieved over pure water. It turns out that the properties of F-500 described above significantly improve the extinguishing properties of water. This finds practical application during fires of batteries made in lithium technology.

A team of scientists from Italy performed testing on a single lithium-ion cell and a set of interconnected cells [10]. The tests were carried out using a flame of an LPG burner with a power of approx. 7.5 kW, to which the tested system was exposed. EIG C020 lithium-ion cells were used and the extinguishing efficiency of carbon dioxide, foam, dry powder, clean water and water fog was assessed. The treated cells were charged to 50% SOC. As described above, the tests were carried out on single cells and on a package consisting of 48 cells. An example of a constructed sample and a stand is presented in Figure 5.



Figure 5. Battery system and test stand used during the tests
Rycina 5. Układ akumulatora oraz stanowisko badawcze wykorzystane podczas testów
Source / Źródło: [10].

During the tests, an infrared camera was used to monitor the degree of heating of the surfaces of the tested devices. A single cell was heated to a temperature of approx. 650°C by means of an external fire. Then, an extinguishing agent was applied to its surface, of which carbon dioxide, foam, extinguishing powder, clean water and water fog were used for the cell. Water was used to extinguish the battery. In the described test, the cell exposed

Control Arts Inc (HCT). Dodatek nie podwyższa właściwości zwilżających wody, ani też nie tworzy warstwy piany. Podawany jest w zakresie stężeń 0,25–1% dla grupy pożarów A i zwiększonych stężeniach w zakresie 3–6% dla pożarów grupy B. Jego działanie polega między innymi na obniżeniu napięcia powierzchniowego, dzięki czemu w krótkim czasie jest w stanie pokryć znaczną powierzchnię np. płonącej cieczy oraz – co istotne – silnie wzmacnia efekt odbierania ciepła (6–10 razy w porównaniu do czystej wody).

W 2009 r. firma Bosh przeprowadziła serię badań wody, pian gaśniczych oraz proszków wraz z mieszaninami wody z F-500 pod kątem oceny skuteczności gaszenia pożarów akumulatorów litowych. Prace te pokazały, że F-500 jest wiodący spośród wybranych materiałów. W 2013 r. DEKRA zastosowała ten środek w trakcie pożaru akumulatorów stosowanych w pojazdach, których zapłon był wywoływany zewnętrznym oddziaływaniem ognia, pochodzącym ze spalanego n-heptanu. Już przy stężeniu 1% F-500 w wodzie uzyskano znaczną poprawę względem czystej wody. Okazuje się, że wyżej opisane właściwości F-500 w sposób znaczący poprawiają właściwości gaśnicze wody. Znajduje to praktyczne zastosowanie podczas pożarów akumulatorów wykonanych w technologii litowej.

Zespół naukowców z Włoch wykonał badania na pojedynczym ogniwie litowo-jonowym oraz na zestawie połączonych ogniw [10]. Testy były przeprowadzone z wykorzystaniem płomienia palnika LPG o mocy ok. 7,5 kW, na którego działanie był wystawiany badany układ. Wykorzystano ogniwa litowo-jonowe EIG C020 i oceniono skuteczność gaśniczą dwutlenku węgla, piany gaśniczej, proszku gaśniczego, czystej wody oraz mgły wodnej. Poddawane ogniwa było naładowane do 50% SOC. Jak opisano wyżej, testy przeprowadzono na pojedynczych ogniwach oraz pakiecie składającym się z 48 ogniw. Przykład zbudowanej próbki oraz stanowiska przedstawiony został na rycinie 5.

Podczas testów użyto kamery na podczerwień do monitorowania stopnia nagrzewania się powierzchni badanych urządzeń. Pojedyncze ogniwo zostało ogrzane za pomocą ognia zewnętrznego do temperatury ok. 650°C. Następnie na jego powierzchnię podano środek gaśniczy, z czego dla ogniwa zastosowano dwutlenek węgla, pianę gaśniczą, proszek gaśniczy, czystą wodę i mgłę wodną. Do gaszenia akumulatora użyto wody. W opisanym

to the LPG flame reached a temperature of about 650°C in 2 minutes (see Figure 6). After the burner was turned off, the cell temperature dropped to approx. 400°C within 6 minutes. During the tests, the leakage of gases from the cell and their ignition as well as the swelling effect of the cell were observed. The effects of gas outflow and the increase in cell volume are shown in Figure 7.

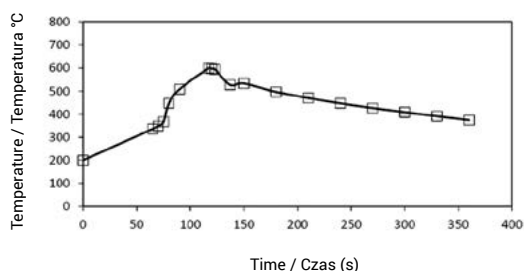


Figure 6. Maximum temperature of the heated cell – 650°C
Rycina 6. Maksymalna temperatura ogrzewanego ogniwa – 650°C

Source / Źródło: [10].

The multi-cell package has been built in such a manner as to reduce the likelihood of uncontrolled thermal propagation by ensuring an appropriate distance between the cells (heat exchange between them has been minimized). In this case, it was observed that the uncontrolled combustion process of a single cell causes the uncontrolled transfer of the combustion mechanism to adjacent cells through various actions: direct contact, hot gas blast, flame impingement (see Figure 8). The maximum temperature reached in the system of the built battery was approx. 700°C, and the flame height – up to 2 meters.

badaniu ogniwo wystawione na działanie płomienia LPG osiągnęło temperaturę ok. 650°C w ciągu 2 min (zob. ryc. 6). Po wyłączeniu palnika temperatura ogniwa spadła do ok. 400°C w ciągu 6 min. Podczas testów obserwowano wyciek gazów z ogniwa i ich zapłon oraz pojawienie się efektu puchnięcia ogniwa. Efekty wypływu gazów oraz zwiększenie objętości ogniwa pokazano na rycinie 7.

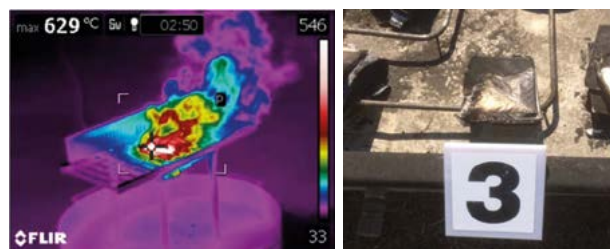


Figure 7. Effects of gas outflow and increase in cell volume
Rycina 7. Efekty wypływu gazów oraz zwiększenie objętości ogniwa

Source / Źródło: [10].

Pakiet wieloogniwoy został zabudowany w taki sposób, aby zmniejszyć prawdopodobieństwo niekontrolowanej propagacji termicznej poprzez zapewnienie odpowiedniego odstępu między komórkami (zminimalizowano wymianę ciepła między nimi). W tym przypadku zaobserwowano, że niekontrolowany przebieg spalania pojedynczego ogniwa powoduje niekontrolowane przenoszenie się mechanizmu spalania na sąsiednie ogniwa poprzez różne działania: bezpośredni kontakt, uderzenie gorących gazów, uderzenie płomienia (zob. ryc. 8). Maksymalna temperatura, jaką osiągnięto w układzie zbudowanego akumulatora, wyniosła ok. 700°C, a wysokość płomienia – do 2 metrów.



Figure 8. Uncontrolled combustion of the tested system
Rycina 8. Niekontrolowane spalanie badanego układu

Source / Źródło: [10].

The results of the quenching (cooling) tests of individual cells are presented in Figure 9. Among the various tested agents, water and foam were the most effective because they lowered the cell

Wyniki testów gaszenia (ochładzania) pojedynczych ogniwo przedstawiono na rycinie 9. Spośród różnych badanych środków woda i piana były najskuteczniejsze, ponieważ w krótkim czasie

temperature and extinguished the fire in a short time (<20 s). Water mist turned out to be less effective and its use poses many problems, including, among others: the uniformity of the applied water mist cannot be guaranteed – the liquid droplets reach the combustion surface with the energy that may be too small to effectively penetrate the stream of extracting gases out of the cells when they burn. Small extinguishing effects were also noted with regard to CO₂ and extinguishing powder.

(<20 s) obniżyły temperaturę ogniwa i gasiły ogień. Mgła wodna okazała się mniej efektywna, a jej wykorzystanie stwarza wiele problemów, m.in.: nie można zagwarantować jednorodności stosowanej mgły wodnej – kropelki cieczy docierają do powierzchni spalania z energią, która może być zbyt mała, aby skutecznie przedrzeć się przez strumień gazów wydobywających się z ogniwa podczas ich spalania. Niewielkie efekty gaśniczy odnotowano także w odniesieniu do CO₂ i proszku gaśniczego.

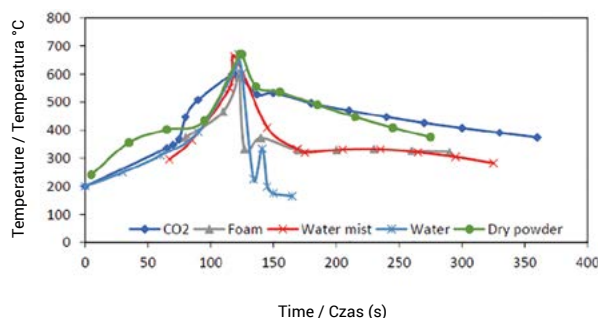


Figure 9. Cell drop while cooling down was recorded
Rycina 9. Zanotowany spadek ogniw podczas ich ochładzania

Source / Źródło: P. Russoa, C. Di Barib, M. Mazzaroc, A. De Rosac, I. Morriellod., *Effective Fire Extinguishing Systems for Lithium-ion Battery* Morriellod., „Chemical Engineering Transactions” 2018, vol. 67, 727–732 [10].

The graph above shows that using water as expected results in a rapid drop in cell temperature. A similar effect can be observed when using foam. The use of the latter measure may give rise to further considerations, since the foam layer may form a fixed area that allows heat to be received for a longer period of time than with the use of water. In such a case, the foam keeps the water in a specific place, preventing it from running off the surface of the accumulator, which promotes heat collection.

It is worth emphasizing the fact that the conducted research aimed at developing technical solutions for storage facilities, e.g. energy or batteries intended for processing, made in lithium technology. The results of such work are presented in the report prepared in 2019 by the Fire Protection Research Foundation [11]. Small and large-scale free-burning tests and large-scale sprinkler tests were carried out on various types of energy storage systems, i.e. lithium-ion batteries: lithium-iron-phosphate (Li-FePO₄, denoted as LFP) and oxide Lithium Nickel Oxide (LNO) and Lithium Manganese Oxide (LMO). The tests were carried out to assess the extinguishing effects, taking into account the proximity of flammable and non-flammable materials and the effectiveness of sprinkler protection. Each type of test showed that for all types of battery technology, the ignition of a single battery was sufficient to fire all modules in the tested system. By comparing the two types of batteries, each test step showed that LFP modules presented a lower risk of fire than LNO/LMO modules. One sprinkler was able to control the spread of fire during the LFP test. In the test with LNO/LMO batteries, many sprinklers were activated, which resulted in water covering an area of over 230 m². Despite this, the fire spread from the start of the fire to neighbouring areas. On the basis of the performed research, certain universal conclusions can be drawn. Fire control of LFP

Powyższy wykres pokazuje, że zastosowanie wody – zgodnie z oczekiwaniami – skutkuje szybkim spadkiem temperatury ogniw. Podobny efekt można zaobserwować w przypadku zastosowania piany gaśniczej. Użycie tego ostatniego środka może być impulsem do dalszych rozważań, ponieważ warstwa piany może tworzyć utrwalaony obszar, który umożliwiał będzie odbieranie ciepła przez dłuższy – niż przy zastosowaniu wody – okres czasu. Piana w takim przypadku zapewnia utrzymanie wody w określonym miejscu, zapobiegając jej spływaniu z powierzchni akumulatora, co sprzyja odbiorowi ciepła.

Warto zwrócić uwagę na prowadzone badania, mające na celu wypracowanie rozwiązań technicznych dla magazynów np. energii lub akumulatorów przewidzianych do przetworzenia wykonanych w technologii litowej. Efekty takich prac przedstawia raport przygotowany w 2019 roku przez Fire Protection Research Foundation [11]. Przeprowadzono testy swobodnego spalania na małą i dużą skalę oraz testy z użyciem instalacji tryskaczowych na dużą skalę, na różnych typach systemów magazynowania energii, tj. akumulatorów litowo-jonowych: litowo-żelazowo-fosforanowy (Li-FePO₄, ozn. LFP) i tlenku litowo-niklowego (LNO) oraz tlenku litowo-manganowego (LMO). Badania wykonano w celu oceny efektów gaszenia, biorąc pod uwagę bliskość materiałów palnych i niepalnych oraz skuteczności ochrony tryskaczowej. Każdy rodzaj testu wykazał, że dla wszystkich rodzajów technologii wykonania akumulatorów zapłon pojedynczego akumulatora był wystarczający, aby objąć pożarem wszystkie moduły w testowanym układzie. Porównując dwa typy akumulatorów, każdy z etapów testów wykazał, że moduły LFP stwarzają mniejsze ryzyko pożaru niż moduły LNO/LMO. Podczas testu LFP jeden tryskacz wykazywał zdolność kontrolowania rozprzestrzeniania się ognia. W teście z akumulatorami LNO/LMO aktywowało się wiele tryskaczy, czego efektem

batteries (stored up to 4.6 m) with a sprinkler system is possible and does not require special measures. In this case, provide a water supply for at least 90 minutes. The last recommendation applies especially to rooms intended for the so-called energy storage. For LNO/LMO batteries, fire develops significantly faster and is likely to spread to adjacent storage systems. In case of batteries, FM Global recommends to use free burning tests to determine the appropriate minimum safe distances between the batteries. Such action should be carried out in situations where sprinkler protection cannot be provided or where it is possible to change the functional development of the space intended for energy storage during its use. Large-scale tests can also be carried out to select sprinkler system parameters such as: minimum water supply time, expenditure, protected area. It should be noted that after the fire has been extinguished, the fire brigade forces should assist until the batteries are removed from the site by a specialized entity (due to the risk of the cells catching fire again). Currently, there are no reliable studies that would enable the selection of appropriate water expenditure that should be given to a fire by fire brigades. However, there is no doubt that firefighters considering water jets in the event of fires in energy storage areas should proceed with caution, taking into account the risks associated with degassing / venting the batteries and the potential explosion hazard.

In their article, C. Un and K. Aydın [12] described experiments concerning, among others, fire suppression systems, the features of which make it possible to use in practice. They also widely addressed the issue of the dangerous thermal runaway phenomenon, which initiates the massive and sudden burning of fuel in the cells. Experiments related to this phenomenon were carried out with different types of lithium batteries. Ten experiments were carried out, and the extinguishing tests were carried out using a fire-extinguishing nozzle and an automatic extinguishing system based on boron compounds.

Fire experiments were carried out on the basis of cells as well as modules and packages. In the A series test, cells and batteries were placed on a stand under which a propane burner was placed, generating a thermal power of 10 kW and 400 kW. The indicated type of heating has been applied to other types of batteries in the same way and under the same conditions. In this series, in case of cell fires, clean water proved to be an effective and convenient means of extinguishing, due to its ability to lower the temperature very quickly. In case of starting the self-heating process, the battery also had additional effects: loud noises, smoke, and it was practically impossible to put out the fire. The total burning time may be up to 1 hour without the intervention of a fire brigade. In this series of experiments, it was necessary to use significant amounts of water to completely extinguish the combustion. In case of cylindrical cells, an explosion risk and a splintering effect were observed. During a fire, gaps were formed in the housing, which allowed better penetration of the extinguishing agents into the interior and faster cooling of the battery. During the thermal decomposition process, a strong gas release effect was observed, which increased with increasing temperature inside the battery. Intense bursts of cylindrical cells were also observed. As the battery size increases, the amount

było pokrycie wodą powierzchni ponad 230 m². Pomimo tego ogień rozprzestrzenił się z miejsca zapoczątkowania pożaru na obszary sąsiednie. Na podstawie wykonanych badań można sformułować pewne uniwersalne wnioski. Kontrola pożaru akumulatorów wykonanych w technologii LFP (składowanych do wysokości 4,6 m) za pomocą instalacji tryskaczowej jest możliwa i nie wymaga specjalnych środków. W takim przypadku należy zapewnić zapas wody na przynajmniej 90 minut. Ostatnie zalecenie dotyczy zwłaszcza pomieszczeń przeznaczonych na tzw. magazyny energii. W przypadku akumulatorów LNO/LMO pożar rozwija się znacznie szybciej i istnieje wysokie prawdopodobieństwo, że rozprzestrzeni się on na sąsiednie układy gromadzenia energii. W przypadku akumulatorów FM Global zaleca, aby w celu określenia właściwych minimalnych odległości bezpiecznych pomiędzy akumulatorami posiłkować się przeprowadzonymi testami swobodnego spalania. Takie działania powinno być przeprowadzone w sytuacjach, w których nie można zapewnić ochrony tryskaczowej lub w których istnieje możliwość zmiany zagospodarowania funkcjonalnego przestrzeni przeznaczonej na magazyn energii w trakcie jego użytkowania. Wielkoskalowe testy mogą być także przeprowadzone w celu doboru parametrów instalacji tryskaczowej, takich jak: minimalny czas zaopatrzenia w wodę, wydatek, powierzchnia chroniona. Dotyczy to przede wszystkim sytuacji, w których magazyny energii wymagają szczególnego zabezpieczenia ze względu na rolę, jaką pełnią. Zaznaczyć należy, że po ugaszeniu pożaru siły straży pożarnej powinny asystować do czasu zabrania akumulatorów z pogorzeliska przez wyspecjalizowany podmiot (ze względu na niebezpieczeństwo ponownego zapalenia się ogniw). Brak jest obecnie miarodajnych opracowań, które umożliwiłyby dobór odpowiednich wydatków wody, jaka powinna być podawana do pożaru przez jednostki straży pożarnej. Natomiast nie ulega wątpliwości, że strażacy rozważający podanie prądów wody w przypadku pożarów magazynów energii powinni postępować ostrożnie, biorąc pod uwagę zagrożenia związane z odgazowywaniem/odpowietrzaniem akumulatorów i potencjalne zagrożenie wybuchem.

W swym artykule C. Un i K. Aydın [12] opisali eksperymenty dotyczące m.in. systemu tłumienia pożaru, którego cechy umożliwiają zastosowanie w praktyce. Odniesli się także szeroko do kwestii niebezpiecznego zjawiska *thermal runaway*, które zapoczątkowuje masowe i nagłe spalanie materiału palnego znajdującego się ogniwach. Eksperymenty związane z tym zjawiskiem przeprowadzono z różnymi rodzajami akumulatorów litowych. Wykonano dziesięć eksperymentów, testy gaszenia przeprowadzono z wykorzystaniem prądownicy gaśniczej i automatycznego systemu gaszenia na bazie związków boru. Eksperymenty pożarowe przeprowadzono zarówno na bazie ogniw, jak i na modułach oraz pakietach. W badaniu serii A ogniwa i akumulatory umieszczano na stanowisku, pod którym umieszczono palnik propanowy generujący moc cieplną 10 kW i 400 kW. Wskazany rodzaj ogrzewania został zastosowany do innych typów akumulatorów w taki sam sposób i w tych samych warunkach. W omawianej serii, w przypadku pożarów ogniw, czysta woda okazała się skutecznym i wygodnym środkiem gaszenia, ze względu na jej zdolność do bardzo szybkiego obniżania temperatury. W przypadku rozpoczęcia procesu samonagrzewania w akumulatorze występowały także efekty dodatkowe: głośne dźwięki, dym, a zgaszenie pożaru było praktycznie niemożliwe. Bez

of the released gas can increase to a significant level. Although battery fires can be extinguished by a number of methods, the effects of thermal instability are more difficult to control and continuous cooling is required. Thus, the design of the battery compartment should maintain integrity. The battery should also include passive temperature management, using a combination of space separation, cooling and zoned fire extinguishing within a module, and insulation between modules, all to prevent uncontrolled thermal reaction and spread of fire to adjacent modules. The study showed that the use of boron compounds in the area of extinguishing batteries in Li-Ion technology, due to the speed of heat removal and environmentally friendly properties, can be used in place of various other substances harmful to the environment. Consequently, fire suppression of this type of electrical equipment can be made more environmentally friendly through the use of boron compounds.

Fires of electric and hybrid cars

On the global automotive market, we can distinguish several types of vehicles powered by an electric motor. These are hybrid cars, plug-in hybrid electric vehicles, extended-range electric vehicles and battery electric vehicles. Despite the design differences in the drive or loading of a given type of vehicle, all of the models mentioned above have one thing in common – fire hazard.

The main risk in an accident with an electric car is the high probability of damaging the complex battery system. As a result, unfavourable thermal phenomena in the energy storage system may occur, which may lead to a fire.

Firefighters around the world are trying to work out the optimal tactics for extinguishing vehicles with electric motors. Polish firefighters did not have many opportunities to actively participate in activities related to extinguishing electric vehicles, due to the low popularity of this type of vehicles on national roads. One of the few examples of events in Poland that can be assessed, is a car fire on the DK 91 road in Zajączkowo near Tczew. It was an incident with BMW i8 plug-in hybrid car. The fire spread over the entire vehicle in a relatively short time, due to a significant share of elements made of plastic. The firefighting activities of the three newly arrived fire brigades consisted in long-term cooling of the vehicle and battery cells by attacking with a water jet [13]. It was a firefighting tactic that required time and a lot of water. In the event of a car fire,

ingerencji straży pożarnej łączny czas spalania może trwać do 1 godziny. W tej serii eksperymentów konieczne było użycie znacznych ilości wody, aby całkowicie wygasić spalanie. W przypadku ogniw cylindrycznych zaobserwowano ryzyko powstania wybuchu oraz efekt odłamkowania. W trakcie pożaru w obudowie powstawały szczeliny, które umożliwiały lepszą penetrację środków gaśniczych do wnętrza i szybsze ochładzanie akumulatora. Obserwowano silny efekt wydzielania gazów powstających w trakcie procesu rozkładu termicznego, który narastał wraz ze wzrostem temperatury wewnątrz akumulatora. Zauważono również intensywne wybuchy cylindrycznych ogniw. Wraz ze wzrostem rozmiaru baterii ilość uwalnianego gazu może wzrosnąć do znaczącego poziomu. Chociaż pożary z udziałem akumulatorów można ugasić wieloma metodami, skutki niestabilności termicznej są trudniejsze do opanowania i wymagane jest ciągłe chłodzenie. W związku z tym konstrukcja komory akumulatorów powinna zachować integralność. Akumulator powinien także obejmować pasywne zarządzanie temperaturą, wykorzystujące połączenie separacji przestrzeni, chłodzenia i strefowego gaszenia pożaru w module oraz izolacji między modułami – wszystko po to, aby zapobiec niekontrolowanej reakcji termicznej i rozprzestrzenianiu się ognia na sąsiednie moduły. W badaniu wykazano, że zastosowanie związków boru w obszarze gaszenia akumulatorów w technologii Li-Ion, ze względu na szybkość odbierania ciepła oraz przyjazne dla środowiska właściwości, może być stosowane w miejsce różnych innych szkodliwych dla środowiska substancji. W związku z tym tłumienie pożarów tego typu urządzeń elektrycznych może być bardziej przyjazne dla środowiska dzięki zastosowaniu związków boru.

Pożary samochodów elektrycznych i hybrydowych

Na światowym rynku motoryzacyjnym możemy wyróżnić kilka typów pojazdów napędzanych silnikiem elektrycznym. Są to samochody hybrydowe, hybrydowe pojazdy elektryczne typu plug-in, pojazdy elektryczne o zwiększonym zasięgu oraz akumulatorowe pojazdy elektryczne. Pomimo rozbieżności konstrukcyjnych w przypadku napędu lub ładowania danego typu pojazdu jedno łączy wszystkie wymienione modele – zagrożenie pożarowe.

Podstawowym zagrożeniem podczas wypadku samochodu elektrycznego jest wysokie prawdopodobieństwo uszkodzenia skomplikowanego systemu akumulatorów. Efektem tego może być zaistnienie niekorzystnych zjawisk termicznych w układzie gromadzenia energii, które mogą doprowadzić do pożaru.

Strażacy na całym świecie próbują wypracować optymalną taktykę gaszenia pojazdów z silnikami elektrycznymi. Polscy strażacy nie mieli zbyt wielu okazji do czynnego udziału w działaniach przy gaszeniu pojazdów elektrycznych, ze względu na małą popularność tego typu pojazdów na drogach krajowych. Jednym z nielicznych przykładów zdarzeń na terenie Polski, jaki można poddać ocenie, jest pożar samochodu na drodze DK 91 w miejscowości Zajączkowo pod Tczewem. Było to zdarzenie z autem BMW i8 typu hybryda plug-in. Pożar objął cały pojazd w stosunkowo krótkim czasie m.in. ze względu na znaczny udział elementów wykonanych z tworzyw sztucznych. Działania gaśnicze trzech

water is the most common and available extinguishing agent for energy consumption.



Figure 10. Comparison of a photo of the new model with the vehicle after the firefighting operation in Tczew
Rycina 10. Porównanie zdjęcia nowego modelu z pojazdem po akcji gaśniczej w Tczewie

Source / Źródło: www.elektrowoz.pl/auta/tczew-pozar-bmw-i8-w-zajackowie-brawa-dla-osp-milobadz-za-wlasciwe-podejscie-do-baterii/ [dostęp: 04.11.2021].

The extinguishing of electric cells cannot be considered based on the principle: extinguished or not extinguished. Often reported are cases of re-fires of a previously extinguished electric car. Scandinavian firefighters have developed additional procedures to prevent reigniting. Northern European countries have a very large fleet of electric and hybrid cars. The popularity of this type of vehicle in these countries is very high, which translates into a greater risk of fire. After the initial extinguishing of this type of vehicle, firefighters additionally transport the wreck to a container. The metal container is tightly closed and filled until the car is fully submerged with extinguishing agents (in most cases it is water or water with surfactant additives). Such extinguishing operations extend the cooling time of damaged battery cells, which reduces the risk of re-ignition.



Figure 11. Container for transporting electric car wrecks
Rycina 11. Kontener do transportowania wraków samochodów elektrycznych

Source / Źródło: photograph Kuzee Autologistiek, <https://40ton.net/ciezarowki-stworzone-do-topienia-aut-elektrycznych-nowy-sprzet-sluzb-ratunkowych/> [dostęp: 04.11.2021].

przybyłych zastępów straży pożarnej polegały na długotrwałym chłodzeniu pojazdu oraz ogniw akumulatorowych poprzez natarcie strumieniem wodnym [13]. Była to taktyka gaśnicza, która wymagała czasu i dużej ilości wody. W przypadku pożaru samochodu woda jest najbardziej powszechnym i dostępnym środkiem gaśniczym do odbioru energii.

Gaszenia ogniw elektrycznych nie da się rozpatrywać na zasadzie: zgaszono bądź nie zgaszono. Często można przeczytać o przypadkach ponownego pożaru wcześniej zgaszonego samochodu elektrycznego. Skandynawscy strażacy wypracowali dodatkowe procedury zabezpieczające przed ponownym zapłonem. Północne kraje Europy posiadają bardzo dużą flotę samochodów elektrycznych i hybrydowych. Popularność takiego typu pojazdów w tych państwach jest bardzo wysoka, co przekłada się na większe ryzyko pożarowe. Strażacy po wstępnym ugaszeniu pojazdu tego typu dodatkowo przewożą wrak do kontenera. Metalowy kontener jest szczelnie zamykany i wypełniany do pełnego zanurzenia samochodu środkami gaśniczymi (w większości przypadków jest to woda lub woda z dodatkami powierzchniowo czynnymi). Takie działania gaśnicze powodują wydłużenie chłodzenia się uszkodzonych ogniw akumulatorowych, co wiąże się ze zmniejszeniem ryzyka ponownego zapłonu.



Figure 12. A specialized trailer for transporting and extinguishing electric vehicles
Rycina 12. Specjalistyczna przyczepka do transportu i dogaszania pojazdów elektrycznych

Source / Źródło: <https://motoryzacja.interia.pl/raporty/raport-samochody-elektryczne/samochodyelektryczne/news-jak-ugasic-pozar-elektrycznego-auta-ten-sprzet-robi-wrazenie,nld,5376097/> [dostęp: 04.11.2021].

An interesting solution is the use of a cloth for extinguishing vehicles with electric motors. They are used in part by German firefighters – as a defensive tactic for other objects or vehicles. Most fires to fully electric cars occur while they are being charged. The solution protecting other objects will in no way cause a faster extinction of the burning vehicle and is only an additional measure.

Ciekawym rozwiązaniem jest wykorzystanie podczas gaszenia pojazdów z silnikami elektrycznymi płachty gaśniczej. Stosują je częściowo niemieccy strażacy – jako taktikę obronną innych obiektów lub pojazdów. Większość przypadków pożarów samochodów w pełni elektrycznych następuje podczas ich ładowania. Rozwiązanie chroniące inne obiekty w żaden sposób nie spowoduje szybszego ugaszenia palącego się pojazdu i jest tylko działaniem dodatkowym.



Figure 13. Extinguishing an electric vehicle with a fire cloth
Rycina 13. Gaszenie pojazdu elektrycznego płachtą gaśniczą

Source / Źródło: <https://whatsnext.pl/wielki-koc-do-gaszenia-elektrycznych-samochodow/> [dostęp: 04.11.2021].



Figure 14. View of an electric vehicle secured with a fire cloth
Rycina 14. Widok pojazdu elektrycznego zabezpieczonego płachtą gaśniczą

Source / Źródło: <https://safetech.net.pl/produkty-lista/koc-gasniczy/> [dostęp: 04.11.2021].

The General Headquarters of the State Fire Service has developed a document containing standard rules of conduct during incidents involving passenger electric cars. The following scenario for firefighters-rescuers is described in sheet “Z2” regarding rescue actions for a fire that has occurred:

1. Set up emergency vehicles to secure the site of the operations. Follow the standard tactic for passenger car rescue operations in this regard.
2. Designate a safe zone.
3. Use respiratory protection equipment.
4. Evacuate people from the danger zone in the event of an immediate threat to life.
5. Perform a detailed diagnosis for the presence of an electric drive. Get information about the car model. Support yourself with all available sources of information: vehicle

Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej wypracowała dokument, zawierający standardowe zasady postępowania podczas zdarzeń z samochodami osobowymi z napędem elektrycznym. W karcie „Z2” dotyczącej działań ratowniczych dla zaistniałego pożaru opisano następujące scenariusze postępowania dla strażaków-ratowników:

1. Ustaw pojazdy ratownicze tak, aby zabezpieczyć miejsce przeprowadzonych działań. Postępuj w tym zakresie zgodnie ze standardową taktiką działań ratowniczych dla samochodów osobowych.
2. Wyznacz strefę bezpieczną.
3. Stosuj sprzęt ochrony układu oddechowego.
4. Przeprowadź ewakuację osób ze strefy zagrożenia w przypadku bezpośredniego zagrożenia życia.
5. Przeprowadź szczegółowe rozpoznanie pod kątem

rescue card, rescue applications, steering position assistance, etc.

6. Start putting out the fire:
 - a) small fires can be extinguished with fire extinguishers, preferably powder (ABC) or foam (AB), keeping the distance indicated on the extinguisher's label as for extinguishing electrical devices;
 - b) a developed car fire should be extinguished with water, compressed foam (CAFS) or extinguishing powder;
 - c) water, compressed foam (CAFS) or extinguishing dry powder should be carried out without disconnecting the high voltage system in the car. When using scattered water currents or compressed foam (CAFS), dry powder, keep a minimum distance of 1 m between the fire and the extinguishing agent jet. When using compact water or compressed foam (CAFS) currents, keep a minimum distance of 5 m between the fire and the extinguishing agent jet. One should be especially careful when handling the extinguishing agents (according to DIN VDE 0132).
 7. Classic heavy or medium foam currents should not be used.
 8. In the event of a battery catching fire, it is necessary to provide on-site more extinguishing agents with cooling effect than in the case of a fire in a combustion engine car. In the event of a battery catching fire, it is necessary to provide more extinguishing agents with the cooling effect on-site than in case of a fire in a combustion engine car. Extinguishing a fire of an electric passenger car, including battery flames, may require up to 10 m³ of water or water with additives. The stream of the extinguishing agent should be applied directly to the burning battery in order to cool it effectively. The process of cooling the battery, even after the smoking signs are removed, may take to several hours (on average it is about 7 hours, there are known cases of smoking recurrence even after 20 hours). Battery cooling is difficult due to its special design. The structure of the battery must not be tampered with under any circumstances, as it may result in electric shock. The extinguishing and cooling effects of the battery should be monitored using a thermal imaging camera or a pyrometer. In the event of a car fire with a battery ignited, extinguishing powders and carbon dioxide will be ineffective due to the lack of a cooling effect.
 9. After the fire is extinguished, it is necessary to:
 - a) deactivate the car in accordance with the procedure "Deactivating and securing a car";
 - b) check the condition of the car's high-voltage battery housing for possible damage and leaks, use a standard sorbent to collect the liquid;
 - c) check the battery housing for increased temperature, an increase in battery temperature after extinguishing the fire means a risk of battery fire; the cells should then be cooled until it is found
- występowania napędu elektrycznego. Uzyskaj informację co do modelu samochodu. Wspomagaj się wszelkimi dostępnymi źródłami informacji: karta ratownicza pojazdu aplikacje ratownicze, pomoc stanowiska kierowania, itd.
6. Przystąpienie do gaszenia pożaru:
 - a) niewielkie pożary można gasić przy pomocy gaśnic, najlepiej proszkowych (ABC) lub pianowych (AB) z zachowaniem odległości wskazanej na etykiecie gaśnicy jak przy gaszeniu urządzeń elektrycznych;
 - b) rozwinięty pożar samochodu należy gasić wodą, pianą sprężoną (CAFS) lub proszkiem gaśniczym;
 - c) gaszenie wodą, pianą sprężoną (CAFS) lub proszkiem gaśniczym należy przeprowadzić nawet bez odłączania instalacji wysokiego napięcia w samochodzie. W przypadku stosowania rozproszonych prądów wody lub piany sprężonej (CAFS), proszku gaśniczego, zachować minimalną odległość 1 m pomiędzy pożarem i wylotem strumienia środka gaśniczego. W przypadku stosowania zwartych prądów wody lub piany sprężonej (CAFS) zachować minimalną odległość 5 m pomiędzy pożarem i wylotem strumienia środka gaśniczego. Podczas podawania środków gaśniczych zachować szczególną ostrożność (zgodnie z zapisami DIN VDE 0132).
 7. Nie należy stosować klasycznych prądów piany ciężkiej lub średniej.
 8. W przypadku zapalenia się baterii niezbędne jest zapewnienie na miejscu działań większej ilości środków gaśniczych o działaniu chłodzącym niż w przypadku pożaru samochodu z napędem spalinowym. Ugaszenie pożaru elektrycznego samochodu osobowego, w tym płomieni baterii, może wymagać zastosowania nawet 10 m³ wody lub wody z dodatkami. Strumień środka gaśniczego należy podawać bezpośrednio na płonąca baterię, w celu jej skutecznego chłodzenia. Proces chłodzenia baterii, nawet po zlikwidowaniu oznak palenia, może zająć nawet od kilku do kilkunastu godzin (średnio to ok. 7 godzin, znane są przypadki nawrotu palenia nawet po 20 godzinach). Chłodzenie baterii jest utrudnione ze względu na jej szczególną zabudowę. W żadnym wypadku nie wolno ingerować w strukturę baterii, gdyż grozi to porażeniem prądem elektrycznym. Efekty gaszenia i chłodzenia baterii należy kontrolować przy użyciu kamery termowizyjnej lub pirometru. W przypadku pożaru samochodu z zapaleniem baterii nieskuteczne będą proszki gaśnicze i dwutlenek węgla ze względu na brak działania chłodzącego.
 9. Po ugaszeniu pożaru należy:
 - a) przeprowadzić dezaktywację samochodu zgodnie z procedurą „Dezaktywacja i zabezpieczenie samochodu”;
 - b) skontrolować stan obudowy baterii wysokonapięciowej napędu samochodu pod kątem ewentualnych uszkodzeń i wycieków, do zbierania cieczy wykorzystaj standardowo dostępny sorbent;
 - c) skontrolować obudowę baterii pod kątem utrzymywania się podwyższonej temperatury, wzrost temperatury

that the battery will not undergo any further self-heating [14].

The document developed above is good material for a trained firefighter-rescuer who will come into contact with such a specific fire for the first time. The material introduces step by step what needs to be performed. At the moment, it is the fastest and easiest way to fight a fire in an electric car.

NFPA has undertaken a real-scale study of electric car breakdowns and hazards. US researchers tested batteries from two car manufacturers. The test samples were marked as battery A and battery B. Both purchased Li-ion batteries are currently used in vehicle manufacturing in the United States. Battery A is a battery with a capacity of 4.4 kWh, mounted under the luggage compartment of the vehicle. Battery B has a capacity of 16 kWh. It is installed under the floor of the vehicle and extends almost the entire length of the vehicle – from the rear axle to the front axle in a T-shaped configuration. Battery A and Battery B cover a wide range of sizes, positions and mounting locations in the vehicle. The aim of the test was to simulate various hazards that may be encountered by the rescuers in the field during real electric car fire incidents. As part of the agreement with the vehicle manufacturers who donated the batteries, vehicle cells were not opened, changed or tampered with before, during or after the fire tests.

Six tests were performed: three for battery A and three for battery B. For each cell type, two of the tests were performed with only the battery pack placed inside a car simulation (VFT) test bench. One test was conducted with a typical interior trim (i.e. car seats, carpet, dashboard, etc.). Additional trim elements were installed on the VFT to simulate a fuel load more typical of a vehicle fire.

baterii po ugaszeniu pożaru oznacza zagrożenie pożarem baterii; należy wówczas chłodzić ogniwa aż do stwierdzenia, że nie ulega ona dalszemu samonagrzewaniu [14].

Wypracowany powyżej dokument jest dobrym materiałem dla szkolącego się strażaka-ratownika, który pierwszy raz będzie miał styczność z tak specyficznym pożarem. Materiał wprowadza krok po kroku czynności, które należy przeprowadzić. Na chwilę obecną jest to najszybsza i najprostsza procedura walki z pożarem samochodu o napędzie elektrycznym.

NFPA podjęło badania w skali rzeczywistej, jeśli chodzi o awarie i zagrożenia związane z samochodami elektrycznymi. Amerykańscy badacze poddali testom akumulatory od dwóch producentów samochodów. Próbkę do badań oznaczono jako akumulator A i akumulator B. Oba zakupione akumulatory oparte na technologii Li-ion są obecnie wykorzystywane w produkcji pojazdów w Stanach Zjednoczonych. Akumulator A to akumulator o pojemności 4,4 kWh, montowany pod bagażnikiem pojazdu. Akumulator B ma pojemność 16 kWh. Jest instalowany pod płytą podłogową pojazdu i rozciąga się na prawie całej długości pojazdu – od osi tylnej do osi przedniej w konfiguracji w kształcie litery T. Akumulator A i akumulator B obejmują szeroki zakres rozmiarów, pozycji oraz miejsca montażu w pojeździe. Celem badań było zasymulowanie różnych zagrożeń, z jakimi mogą spotkać się ratownicy w terenie podczas rzeczywistych incydentów pożarowych samochodów elektrycznych. W ramach umowy z producentami pojazdów, którzy przekazali akumulatory, ogniwa do pojazdów nie były otwierane, zmieniane ani manipulowane przed, w trakcie lub po testach pożarowych.

Przeprowadzono sześć testów: trzy dla akumulatora A i trzy dla akumulatora B. Dla każdego typu ogniwa dwa z testów zostały przeprowadzone tylko z zestawem akumulatorów umieszczonym wewnątrz stanowiska, symulującego samochód (VFT). Jeden test został przeprowadzony z typowym wykończeniem wnętrza (tj. fotele samochodowe, wykładzina, deska rozdzielcza itp.). Dodatkowe elementy wykończenia zostały zainstalowane w VFT, aby symulować ładunek paliwa bardziej typowy dla pożaru pojazdu.



Figure 15. View of the stand imitating a vehicle for testing
Rycina 15. Widok stanowiska imitujące pojazd do testów

Source / Źródło: R. Jr. Thomas Long, A.F. Blum, T.J. Bress, B.R.T. Cotts, *Best Practices for Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicles Battery Hazards, A Report on Full-Scale Testing Results*, Fire Protection Research Foundation, June 2013 [15].

The firefighting operation was carried out by firefighters from the Maryland Fire and Rescue Institute (MFRI), who had not been given any tactical guidance to suppress the fire. They were instructed to fight the fire as if they were approaching a standard vehicle fire with an extinguishing current. Any tactics or modifications to these tactics during the fire tests were based solely on their many years of experience. For safety reasons, the extinguishing unit could not use any tools to access the VFT and the battery. However, due to the test configuration, there were two limitations to the activities of the MFRI. The firefighters could not extinguish the fire:

- from the east of the VFT, as the instrumentation wires and cables in this area posed a hazard of tripping;
- from the underside of the VFT (i.e. water attack on the vehicle chassis) due to the presence of four propane burners.

These two limitations did not significantly affect the tactic of the MFRI as the VFT was designed to provide ample access to the interior of the vehicle. Each VFT window was opened to the air, mimicking a scenario where all windows would be broken prior to the arrival of the fire department or by on-site first aiders. In addition, the rear hatch was left open for better access to the batteries during the test. Firefighters said that under real conditions they would try to open the tailgate or the trunk first. For safety reasons, firefighters were to stand at a greater distance from a potentially burning car.

Two firefighters donned full respiratory protective equipment and firefighting equipment prior to the start of the test. They only took off breathing apparatus when they had to replace the cylinder or when the fire was deemed to have been extinguished.

When testing type A battery after approximately 14 minutes, a firefighter in a firefighting rota said, "We can't get the water where it should be." This was confirmed by the firefighters during discussions after the tests. They assessed that the greatest challenge they had to face was to give water to the places where the fire had started. Since firefighters could not gain direct access to the inside of the battery, their main tactic was to occasionally add water to the flames, which would reignite after initial suppression. Although this intermittent application reduced the overall volume of the dispensed water, the constant flow could cool the metal casing of the battery, thus reducing the chance of further uncontrolled temperature build-up [15].

When testing battery B, it was observed that extinguishing was much more difficult than in case of battery A. As in the previous tests (tests of the A series cells), firefighters indicated that the biggest challenge they faced was trying to give water in the place where the fire actually started – in the center of the chambers. This was deliberately complicated during the B1 test by being placed above the steel floor plate. Additionally, due to the size and geometry of the B cells, firefighters chased the fire back and forth (i.e. front to back) as only one extinguishing current was used for the test. The firefighters could not gain direct access to the inside of the cells, so they used a tactic of cooling the floor surface with a fog nozzle. In all the tests, the fire was extinguished and the batteries were safely removed from the vehicles. In one test series, the cell reignited after being removed and stored for 22 hours after being extinguished.

Działaniami gaśniczymi zajmowali się strażacy z Maryland Fire and Rescue Institute (MFRI), którym nie udzielono żadnych wskazówek odnośnie postępowania taktycznego, aby stłumić pożar. Byli poinstruowani, aby walczyć z ogniem, tak jakby zbliżaliby się z prądem gaśniczym do standardowego pożaru pojazdu. Wszelkie taktyki lub modyfikacje tych taktyk podczas testów ogniowych były oparte wyłącznie na ich wieloletnim doświadczeniu. Zespół gaszący ze względów bezpieczeństwa nie mógł używać żadnych narzędzi w celu uzyskania dostępu do VFT i akumulatora. Natomiast ze względu na konfigurację testów istniały dwa ograniczenia dla działań MFRI. Strażacy nie mogli gasić pożaru:

- od wschodniej strony VFT, ponieważ przewody i kable oprzyrządowania w tym obszarze stwarzały ryzyko potknięcia;
- od spodu VFT (tj. natarcie wodą na podwozie pojazdu) ze względu na obecność czterech palników propanowych.

Te dwa ograniczenia nie wpłynęły znacząco na taktykę MFRI, ponieważ VFT został zaprojektowany tak, aby zapewnić swobodny dostęp do wnętrza pojazdu. Każde okno VFT było otwarte, naśladując scenariusz, w którym wszystkie okna zostałyby wybite przed przyjazdem straży pożarnej lub przez osoby udzielające pierwszej pomocy na miejscu zdarzenia. Ponadto tylny właz pozostawiono otwarty, aby zapewnić lepszy dostęp do akumulatorów podczas testu. Strażacy stwierdzili, że w realnych warunkach próbowaliby w pierwszej kolejności otworzyć tylną klapę lub bagażnik. Ze względów bezpieczeństwa strażacy mieli stanąć w większej odległości od potencjalnie palącego się samochodu.

Dwóch strażaków założyło przed rozpoczęciem testu pełny sprzęt ochrony dróg oddechowych i sprzęt przeciwpożarowy. Zdejmowali aparaty oddechowe tylko wtedy, gdy musieli wymienić butlę lub kiedy pożar został uznany za wygasły.

Podczas próby akumulatora A po ok. 14 min. strażak w rocie gaśniczej stwierdził: „Nie możemy dostarczyć wody tam, gdzie powinna być”. Potwierdzały to dyskusje ze strażakami po testach. Ocenili, że największym wyzwaniem, z jakim musieli się zmierzyć, było podanie wody do miejsc, gdzie pożar został zainicjowany. Ponieważ strażacy nie mogli uzyskać bezpośredniego dostępu do wnętrza akumulatora, ich główną taktyką było sporadyczne podawanie wody do płomieni, które ponownie rozpały się po początkowym stłumieniu. Chociaż ta przerywana aplikacja zmniejszyła ogólną objętość podawanej wody, stały przepływ mógł ochłodzić metalową obudowę akumulatora, zmniejszając w ten sposób szansę na dalsze niekontrolowane zwiększanie temperatury [15].

Podczas próby akumulatora B zaobserwowano o wiele trudniejsze gaszenie niż w przypadku akumulatora A. Podobnie jak w poprzednich testach (testy ogniw serii A), strażacy wskazali, że największym wyzwaniem, z jakim musieli się zmierzyć, była próba podania wody w miejscu, w którym faktycznie wybuchł pożar – w środku komór. Zostało to celowo skomplikowane podczas testu B1 poprzez umieszczenie powyżej stalowej płyty podłogowej. Dodatkowo ze względu na rozmiar i geometrię ogniw B strażacy ścigali ogień tam i powrotem (tj. od przodu do tyłu), ponieważ do testu wykorzystano tylko jeden prąd gaśniczy. Strażacy nie mogli uzyskać bezpośredniego dostępu do wnętrza ogniw, w związku z czym zastosowali taktykę chłodzenia powierzchni podłogowej za pomocą dyszy mgłowej. We wszystkich testach

pożar ugaszono, a akumulatory zostały bezpiecznie wyjęte z pojazdów. W jednej z serii testowych ogniwo ponownie zapaliło się po wyjęciu i przechowywaniu przez 22 godziny po zgaszeniu.

Summary and conclusions

The previous studies of lithium-ion cells indicate that the thermal runaway phenomenon is strongly limited in a situation where the cell housing maintains its integrity. If no remedial measures are taken to limit the temperature increase inside the cells, the designed covers may be damaged, which will accelerate the combustion processes. This is due to, among others, the increasing of the supply of oxygen from the atmospheric air to areas subject to exothermic chemical reaction. In extremely unfavourable cases, there might even be an explosion.

The extinguishing methods currently used are based on the use of a significant amount of water, which is not beneficial, although the desired effect of suppressing and extinguishing a fire is achieved. Nevertheless, the results obtained as part of the research work are promising and indicate the directions for further considerations. Particularly important conclusions arise from the results of the NFPA research, which indicate that it is difficult for the firefighters to reach the source of the fire. Quick access to the source of the fire can shorten the time of dispensing water, and thus reduce the amount of water.

Fires of hybrid and electric vehicles do not require special extinguishing equipment. Standard tactics and firefighting equipment were used during trials and real events. Despite this, all fires of electric car batteries were extinguished. All tests ended in extinguishing the fire and the batteries were safely removed from the vehicles. A significant challenge is the risk of re-ignition even several dozen hours after extinguishing.

The current versions of the various fire protection guidelines in the field of extinguishing tactics for fires in electric cars are consistent with each other. The simplest and most accessible method and extinguishing agent is to attack the fire with a water extinguisher jet. Standard procedures for extinguishing conventional cars should be modified and adapted to cars with electric drives. The biggest challenge for modern rescuers is to protect the health and life of people in close proximity to the incident and to secure the vehicle after it is extinguished.

Fires of Li-Ion cells and vehicles equipped with them are a new phenomenon that is more difficult to combat, because – due to the fire characteristics of the cells themselves – it requires much more extinguishing agents or unusual solutions than in case of vehicles with internal combustion engines. So far, no effective method has been developed that would allow a fire to be extinguished in a short time, and efforts are now focused on minimizing the effects or trying to minimize the use of water during a firefighting operation. There is still a need to search for new technical and tactical solutions in order to optimize the procedures leading to more effective operations of the services.

Podsumowanie i wnioski

Dotychczasowe badania ogniw litowo-jonowych wskazują, iż zjawisko *thermal runaway* jest silnie ograniczone w sytuacji, w której obudowa ogniwa zachowuje integralność. W przypadku braku podjęcia środków zaradczych ograniczających wzrost temperatury wewnątrz ogniwa może dojść do uszkodzenia zaprojektowanych osłon, co doprowadzi do przyspieszenia procesów spalania. Jest to spowodowane m.in. zwiększeniem dopływu tlenu z powietrza atmosferycznego do obszarów objętych egzotermiczną reakcją chemiczną. W skrajnie niekorzystnych przypadkach może dojść nawet do wybuchu.

Obecnie stosowane metody gaszenia bazują na wykorzystaniu znacznej ilości wody, co nie jest korzystne, pomimo że pożądany skutek w postaci stłumienia i ugazzenia pożaru zostaje osiągnięty. Niemniej jednak, uzyskane wyniki w ramach prac badawczych są obiecujące i wskazują kierunki dalszych rozważań. Szczególnie istotne wnioski wypływają z wyników badań NFPA, wskazujących na aspekt trudności dotarcia przez strażaków do źródła pożaru. Szybkie dotarcie do źródła pożaru może skrócić czas podawania wody, a tym samym ograniczenia jej ilości.

Požary pojazdów hybrydowych i elektrycznych nie wymagają specjalnego sprzętu do gaszenia. Podczas prób i realnych zdarzeń używano standardowych taktyk i sprzętu gaśniczego. Pomimo tego udało się zgasić wszystkie pożary akumulatorów samochodów elektrycznych. Wszystkie testy zakończyły się ugazaniem pożaru, a akumulatory zostały bezpiecznie wyjęte z pojazdów. Istotnym wyzwaniem jest niebezpieczeństwo pojawienia się ponownego zapłonu nawet po kilkudziesięciu godzinach od ugaznienia.

Aktualne wersje różnych wytycznych przeciwpożarowych w obszarze taktyki gaśniczej przy pożarze samochodów o napędzie elektrycznym są ze sobą zgodne. Najprostszym, najbardziej dostępnym sposobem i środkiem gaśniczym jest natarcie strumieniem gaśniczym przy użyciu wody. Standardowe postępowanie przy gaszeniu samochodów konwencjonalnych należy zmodyfikować i dostosować do samochodów o napędach elektrycznych. Największym wyzwaniem dla współczesnych ratowników jest ochrona zdrowia i życia osób w bliskiej odległości od zdarzenia oraz zabezpieczenie pojazdu po jego ugazieniu.

Požary ogniw Li-Ion oraz wyposażonych w nie pojazdów to nowe zjawisko, które jest trudniejsze do zwalczania, ponieważ – ze względu na charakterystykę pożarową samych ogniw – wymaga znacznie większej ilości środków gaśniczych lub nietypowych rozwiązań niż ma to miejsce w przypadku pojazdów z silnikami spalinowymi. Dotąd nie opracowano skutecznej metody, która pozwoliłaby na ugazenie pożaru w krótkim czasie, a działania skupiają się obecnie na minimalizacji skutków lub próbach zminimalizowania wykorzystania wody podczas akcji gaśniczej. W dalszym ciągu istnieje potrzeba szukania nowych rozwiązań technicznych i taktycznych w celu optymalizacji procedur prowadzących do bardziej efektywnych działań służb.

Literature / Literatura

- [1] <https://greenwaypolska.pl/blog-section/akumulatory-stosowane-w-samochodach-elektrycznych/> [dostęp: 28.10.2021].
- [2] Wakihara M., *Recent developments in lithium ion batteries*, „Materials Science and Engineering” 2021, 33, 109–134, [https://doi.org/10.1016/S0927-796X\(01\)00030-4](https://doi.org/10.1016/S0927-796X(01)00030-4).
- [3] Wang Q., Ping P., Zhao X., Chu G., Sun J., Chen C., *Thermal runaway caused fire and explosion of lithium ion battery*, „Journal of power sources” 2012, 208, 210–224, <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.02.038>.
- [4] Wang Q., Sun J., Chu G., *Lithium ion battery fire and explosion*, „Fire Safety Science” 2005, 8, 375–382, <https://doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.8-375>.
- [5] Larsson F., Blomqvist P., Loren A., Andersson P., *Characteristics of lithium-ion batteries during fire tests*, „Journal of Power Sources” 2014, 271, 414–420, <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.08.027>.
- [6] Wang Q., Xinyan B., Peifeng H., et al., *The fire hazard classification of lithium-ion battery*, China Fire Science and Technology Association Annual Conference, 2015, 226–232.
- [7] Maloney T., *Extinguishment of Lithium-Ion and Lithium-Metal Battery Fires*, US Department of Transportation, Technical Report, Federal Aviation Administration 2014, 46–51, <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20919.24487>.
- [8] Rao H., Huang Z., Zhang H., Xiao S., *Study of fire tests and fire safety measures on lithium ion battery used on ships*, 2015 International Conference on Transportation Information and Safety, <https://doi.org/10.1109/ICTIS.2015.7232158>.
- [9] Wang Q., Shao G., Duan Q., Man C., Li Y., Wu K., Peng P., Sun J., *The Efficiency of Heptafluoropropane Fire Extinguishing Agent on Suppressing the Lithium Titanate Battery Fire*, „Fire Technology” 2016, 52, 389–396, <https://doi.org/10.1007/s10694-015-0531-9>.
- [10] Russoa P., Di Barib C., Mazzaroc M., De Rosac A., Morriellod I., *Effective Fire Extinguishing Systems for Lithium-ion Battery Morriellod*, „Chemical Engineering Transactions” 2018, vol. 67, 727–732, <https://doi.org/10.3303/CET1867122>.
- [11] Thomas Long R. Jr, Misera A.M., *Sprinkler Protection Guidance for Lithium-Ion Based Energy Storage Systems*, Fire Protection Research Foundation report 2019, <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Data-research-and-tools/Suppression/Sprinkler-Protection-Guidance-for-Lithium-Ion-Based-Energy-Storage-Systems> [dostęp: 28.10.2021].
- [12] Un C., Aydin K., *Thermal Runaway and Fire Suppression Applications for Different Types of Lithium Ion Batteries*, „Vehicles” 2021, 3, 480–497, <https://doi.org/10.3390/vehicles3030029>.
- [13] <https://www.auto-swiat.pl/wiadomosci/aktualnosci/hybrydowe-bmw-i8-doszczetnie-splonelo-pod-tczewem/c8pr3dj> [dostęp: 28.10.2021].
- [14] Standardowe zasady postępowania podczas zdarzeń z samochodami osobowymi z napędem elektrycznym, KG PSP 2020, <https://www.gov.pl/web/kppsp-brzeziny/zasady-postepowania-podczas-zdarzen-z-samochodami-osobowymi-z-napedem-elektrycznym> [dostęp: 28.10.2021].
- [15] Thomas Long R. Jr., Blum A.F., Bress T.J., Cotts B.R.T., *Best Practices for Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicles Battery Hazards*, A Report on Full-Scale Testing Results, Fire Protection Research Foundation, June 2013.

JUNIOR BRIG. PIOTR LESIAK, M.SC. ENG. – he graduated from the Main School of Fire Service in Warsaw in 2002. A graduate of engineering studies in Chemistry at the Military University of Technology, he completed his post-graduate studies in Business Process Safety at the Lodz University of Technology. He works at the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute in Józefów as a Deputy Manager at the Laboratory of Combustion Processes and Explosions.

DARIUSZ PIETRZELA, M.SC. ENG. – a graduate of the Faculty of Fire Safety Engineering at the Main School of Fire Service, and the Faculty of New Technologies and Chemistry of the Military University of Technology in the field of chemistry. Senior engineering and technical specialist at the Laboratory of Fire Extinguishing Agents and Equipment at Centrum Naukowo-Badawcze – Państwowy Instytut Badawczy, currently acting as the Deputy Manager of the Laboratory. The author's main area of interest is fixed firefighting equipment.

MŁ. BRYG. MGR INŻ. PIOTR LESIAK – w 2002 r. ukończył studia w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. Absolwent studiów inżynierskich na kierunku chemia w Wojskowej Akademii Technicznej oraz studiów podyplomowych Bezpieczeństwo Procesów Przemysłowych na Politechnice Łódzkiej. Pełni służbę w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpowarowej PIB w Józefowie na Zastępcy Kierownika w Zespole Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości.

MGR INŻ. DARIUSZ PIETRZELA – absolwent Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego w Szkole Głównej Służby Pożarniczej oraz Wydziału Nowych Technologii i Chemii Wojskowej Akademii Technicznej na kierunku chemia. Starszy specjalista inżynierijno-techniczny w Laboratorium Urządzeń i Środków Gaśniczych w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpowarowej – PIB, obecnie pełniący funkcję Zastępcy Kierownika Laboratorium. Głównym obszarem zainteresowań autora są stałe urządzenia gaśnicze.

PIOTR MORTKA, ENG. – graduated from the Main School of Fire Service in Warsaw. A graduate of postgraduate studies in Occupational Safety and Health at the University of Business and Health Sciences in Łódź. An employee at Centrum Naukowo-Badawcze – Państwowy Instytut Badawczy in Józefów as a specialist in the Laboratory of Fire Extinguishing Agents and Equipment. For many years he was an active firefighter in Volunteer Fire Department Stara Miłosna and Volunteer Fire Department Józefów. He also gained his firefighting experience at the Volunteer Fire Department Dąbrówka Podłęzna.

INŻ. PIOTR MORTKA – ukończył studia w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. Absolwent studiów podyplomowych Bezpieczeństwa i Higieny Pracy na Wyższej Szkole Biznesu i Nauk o Zdrowiu w Łodzi. Pracownik w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej PIB w Józefowie na stanowisku Specjalisty w Zespole Laboratoriów Zespole Laboratoriów Urządzeń i Środków Gaśniczych. Wieloletni czynny strażak w OSP Stara Miłosna i OSP Józefów. Swoje doświadczenie pożarnicze zdobywał także w OSP Dąbrówka Podłęzna.

Marzena Półka^{a)*}, Robert Piec^{a)}, Dariusz Olcen^{a)}

^{a)} *The Main School of the Fire Service, Safety Engineering and Civil Protection Department / Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa i Ochrony Ludności*

* *Corresponding author / Autor korespondencyjny: mpolka@sgsp.edu.pl*

Analysis of Fire and Explosion Properties of LNG

Analiza właściwości pożarowych i wybuchowych LNG

ABSTRACT

Aim: The aim of this article is to analyse fire and explosion properties of LNG along with the identification of hazards that may arise during emergency incidents involving it. The article is based on an analysis of the available literature and a full-scale experimental study involving a 200-liter LNG tank leading to a jet fire.

Introduction: Safe use and proper transport of flammable and harmful substances, together with the analysis of the effects of threats, enable the reduction of the number of accidents and provide possible conditions for the evacuation of people and property in a hazard zone. The compilation and systematization of knowledge on the safe use of the environmentally friendly LNG fuel will allow for an increase in the scope of its use. It is consistent with the state's sustainable development policy consisting in identifying threats or adjusting technical solutions that minimize losses in transport or industry.

Methodology: There are many legal acts in the world regarding safe storage and transport of LNG. One of the most important is Directive 2012/18/EC known as "Seveso III". This document contains requirements for the prevention of major accidents involving hazardous substances – including LNG – and ways to reduce their negative effects on human health and the environment. Relevant requirements have also been specified in standards, tests, articles and other international acts, including in the European agreement on the international carriage of dangerous goods by road (the so-called ADR Agreement). The article compares flammable and explosive parameters of LNG. Possible scenarios occurring during the release and ignition of the LNG vapour cloud have been shown. The change of pressure of LNG vapour in the 200 l tank as a function of its heating time in the burning spill of a mixture of gasoline and diesel fuel is presented. In such a thermal exposure, a jet fire with a flame length of up to 5 meters was obtained.

Conclusions: The proper use of flammable gases should be a priority in ensuring fire and explosion safety in facilities, during transport, etc. Hence, recognizing the threats and comparing them, or matching technical solutions that minimize the effects of LNG failures will allow active inclusion of knowledge in this field in the process of protection against fire and explosion. In case of LNG storage, attention should be paid to the types of materials in the immediate vicinity of this liquefied gas in order to have sufficient mechanical properties at the lowest liquefied gas temperature.

Keywords: LNG, fire safety, process safety

Article type: review article

Received: 05.11.2021; Reviewed: 24.11.2021; Accepted: 24.11.2021;

Authors' ORCID IDs: M. Półka – 0000-0002-2280-8137; R. Piec – 0000-0002-5234-5639; Dariusz Olcen – 0000-0003-1384-1215;

The authors contributed the equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 58–73, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.4>;

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

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest analiza właściwości pożarowych i wybuchowych LNG wraz z określeniem zagrożeń, które mogą pojawić się podczas zdarzeń awaryjnych z jego udziałem. Artykuł opiera się na analizie dostępnej literatury oraz badaniu eksperymentalnym w pełnej skali z udziałem zbiornika LNG o pojemności 200 litrów doprowadzającego do powstania pożaru strumieniowego (ang. *jet fire*).

Wprowadzenie: Bezpieczne stosowanie oraz właściwy transport substancji palnych i szkodliwych wraz z analizą skutków zagrożeń umożliwiają zmniejszenie liczby awarii i dostarczają możliwe warunki do ewakuacji osób oraz mienia znajdujących się w strefie zagrożenia. Zestawienie i usystematyzowanie wiedzy dotyczącej bezpiecznego stosowania paliwa LNG przyjaznego dla środowiska pozwoli na zwiększenie zakresu jego wykorzystania. Jest to spójne z polityką zrównoważonego rozwoju państwa polegającą na identyfikacji zagrożeń czy dopasowaniu rozwiązań technicznych minimalizujących straty w transporcie lub przemyśle.

Metodologia: Na świecie istnieje wiele aktów prawnych dotyczących bezpiecznego magazynowania, składowania oraz transportu LNG. Jednym z najważniejszych jest dyrektywa 2012/18/WE znana jako „Seveso III”. Dokument ten zawiera wymagania dotyczące zapobiegania poważnym awariom z udziałem substancji niebezpiecznych – w tym LNG – oraz sposoby zmniejszenia ich negatywnych skutków dla zdrowia ludzkiego i środowiska. Istotne

wymagania zostały określone także w normach, badaniach, artykułach i innych aktach międzynarodowych, m.in. w umowie europejskiej dotyczącej międzynarodowego przewozu drogowego towarów niebezpiecznych (tzw. Umowa ADR). W artykule dokonano zestawienia parametrów palnych i wybuchowych LNG. Ukazano możliwe scenariusze zachodzące podczas uwolnienia i zapłonu chmury par LNG. Przystawiono zmianę ciśnienia par LNG w zbiorniku o pojemności 200 l w funkcji czasu jego ogrzewania w palącym się rozlewisku mieszaniny benzyny z olejem napędowym. W takiej ekspozycji cieplnej otrzymano pożar strumieniowy o długości płomienia maksymalnie 5 metrów.

Wnioski: Właściwe stosowania gazów palnych powinno być priorytetem w zapewnieniu bezpieczeństwa pożarowego i wybuchowego w obiektach, transporcie itp. Stąd też poznanie zagrożeń i ich zestawienie, czy dopasowanie rozwiązań technicznych minimalizujących skutki awarii z LNG pozwoli na aktywne włączenie wiedzy z tego zakresu w proces zabezpieczenia przed pożarem i wybuchem. W przypadku magazynowania LNG należy zwrócić uwagę na rodzaje materiałów znajdujących się w bezpośrednim otoczeniu z tym gazem skroplonym, aby posiadały wystarczające właściwości mechaniczne w najniższej temperaturze skroplonego gazu.

Słowa kluczowe: LNG, bezpieczeństwo pożarowe, bezpieczeństwo procesowe

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 05.11.2021; **Zrecenzowany:** 24.11.2021; **Zaakceptowany:** 24.11.2021;

Identyfikatory ORCID autorów: M. Półka – 0000-0002-2280-8137; R. Piec – 0000-0002-5234-5639; Dariusz Olcen – 0000-0003-1384-1215;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 58–73, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.4>;

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

Introduction

Constant human need to maintain an adequate standard of living generates a greater or lesser degree of demand for energy. Saving, optimal use and the search for renewable energy sources should be the subject of action in order to ensure continuity of energy supply. Certainly, the demand for energy and sources that can provide it, along with its safe use, must be consistent with the country's sustainable development policy [1]. The analysis of the safe use of flammable gases in the context of sustainable development, consisting in learning about the risks or adjusting technical solutions that minimize losses in transport or industry, allows to increase the level of safety of all rescuers and the people in the vicinity of flammable gases. Currently, the concept of sustainable development is increasingly entering the mainstream discussion on socio-economic development, becoming a horizontal principle reflected in the development policies of many countries, including fire safety. According to the U.S. Energy Information Agency [2], energy consumption by 2040 will increase by 28% of the previous level. All over the world, intensive efforts are made to develop renewable energy sources and nuclear energy. The production of this type of energy is prospective, but it is forecast that most of the energy generated in the world will be dominated by the use of crude oil and natural gas [2]. Among the various methods of energy production, the use of LNG (liquefied natural gas) as an energy source is considered to be more environmentally friendly than coal-fired or nuclear energy [3]. Power plants for regasification of liquefied natural gas, e.g. integrated with liquid air energy storage (LAES), due to their flexibility, seem to be a favourable technological solution (they adjust the electricity demand profile to the increased operating profits from energy arbitrage) [4]. The construction of the LNG terminal in Poland in Świnoujście in 2016 made it possible to receive liquefied natural gas by sea from virtually any direction in the world, which contributed to the

Wstęp

Ciągła potrzeba człowieka dotycząca utrzymania odpowiedniego poziomu życia generuje w mniejszym lub większym stopniu popyt na energię. Oszczędzanie, optymalne wykorzystanie i poszukiwanie odnawialnych źródeł energii powinno być przedmiotem działania w celu zapewnienia ciągłości dostaw energii. Na pewno zapotrzebowanie na energię i źródła, które mogą ją zapewnić wraz z bezpiecznym jej stosowaniem, muszą być spójne z polityką zrównoważonego rozwoju państwa [1]. Analiza bezpiecznego stosowania gazów palnych w kontekście zrównoważonego rozwoju, polegająca na poznaniu zagrożeń czy dopasowaniu rozwiązań technicznych minimalizujących straty w transporcie lub przemyśle, pozwala na zwiększenie poziomu bezpieczeństwa wszystkich ratowników i osób przebywających w otoczeniu gazów palnych. Obecnie koncepcja zrównoważonego rozwoju coraz częściej wchodzi do głównego nurtu dyskusji nad rozwojem społeczno-gospodarczym, stając się zasadą horyzontalną, odzwierciedlaną w polityce rozwoju wielu państw, w tym również bezpieczeństwie pożarowym. Jak podaje U.S. Energy Information Agency [2], zużycie energii do 2040 r. wzrośnie o 28% dotychczasowego poziomu. Na całym świecie podejmowane są intensywne działania na rzecz rozwoju źródeł energii odnawialnej i energetyki jądrowej. Wytwarzanie tego rodzaju energii jest perspektywiczne, niemniej prognozuje się, że większość wytwarzanej energii na świecie będzie jednak zdominowana wykorzystaniem ropy naftowej i gazu ziemnego [2]. Wśród różnych metod wytwarzania energii, wykorzystanie LNG (ang. *liquefied natural gas*) jako źródła energii jest uważane za bardziej przyjazne dla środowiska niż opalanie węglem czy energia jądrowa [3]. Elektrownie do regazyfikacji skroplonego gazu ziemnego np. zintegrowane z magazynowaniem energii ciekłego powietrza (ang. *liquid air energy storage*, LAES), ze względu na swą elastyczność wydają się być korzystnym rozwiązaniem technologicznym (dopasowują profil zapotrzebowania na energię elektryczną do zwiększonych zysków operacyjnych

diversification of gas supply sources and strengthened Poland's energy security. Distribution of the natural gas via a gas pipeline network is problematic due to the distance between the existing deposits and the potential recipients, as well as the significant costs and time of the investment. As a result, the LNG transport market is becoming more and more popular, as it enables the supply of natural gas to places where network connections are not available. The benefits of this solution mean that there are more and more supporters of the development of the infrastructure that allows for road and rail transport of natural gas processed into a liquid form. In land transport, liquefied natural gas is delivered by road and rail tankers. The possibilities offered by road transport include, above all, speed, availability and flexibility of the deliveries. Unfortunately, also during transport dangerous incidents can occur with LNG. An example of an incident involving LPG was recorded in 2011 in the province of Murcia in Spain – the driver lost control of the vehicle, drove off the road and got stuck in a ditch between the embankment and the roadside. Probably as a result of a fuel leak and the simultaneous presence of an effective energy stimulus, the tanker burst into flames, and then exploded [5].

One of the likely events involving LNG, which can cause high losses, is the boiling liquid expanding vapour explosion (BLEVE). In 1940–2005, more than 1,000 people died as a result of more than 80 BLEVE incidents of flammable substances, more than 10,000 people were injured, and property losses amounted to billions of dollars [6]. Additionally, during the BLEVE explosion, toxic compounds such as chlorine and phosgene may be released, and the infrastructure surrounding the explosion site is destroyed. Hence, getting to know the chemical properties of LNG and the analysis of the possible threats is necessary to predict and limit the effects of its release.

Physicochemical properties of LNG

One of the key energy resources used in the household and industry is natural gas [7–9]. In the industry, this gas is used in two forms – in a liquefied form as LNG and in a compressed form as CNG (compressed natural gas). Natural gas consists of over 90% methane, which is the simplest hydrocarbon belonging to the alkanes. Methane is produced naturally under the conditions of anaerobic decomposition of organic matter, and such processes are favoured by wet lands, e.g. marshes (hence it is called “mud” gas) or it can be produced synthetically [10]. The world's largest deposits of the natural gas are located primarily in Russia, the Middle East, the United States, Canada and Mexico. In Western European countries, the largest deposits are found in the Netherlands and under the bottom of the British and Norwegian sectors of the North Sea. Natural gas in room conditions (i.e. approx. 23°C and 1024 hPa) is a colourless and odourless

z arbitrażu energii elektrycznej) [4]. Powstanie terminalu LNG w Polsce w Świnoujściu w 2016 r. pozwoliło na odbieranie skroplonego gazu ziemnego drogą morską praktycznie z dowolnego kierunku na świecie, co przyczyniło się do otwarcia drogi do dywersyfikacji źródeł dostaw gazu i wzmocniło bezpieczeństwo energetyczne Polski. Dystrybucja gazu ziemnego za pomocą sieci gazociągowej jest problematyczna ze względu na odległość pomiędzy istniejącymi złożami a potencjalnymi odbiorcami oraz znaczne koszty i czas wykonania inwestycji. W związku z tym coraz większym zainteresowaniem cieszy się rynek transportu LNG pozwalający na dostarczanie gazu ziemnego tam, gdzie nie są dostępne połączenia sieciowe. Korzyści płynące z tego rozwiązania powodują, że stale przybywa zwolenników rozwoju infrastruktury pozwalającej na transport drogowy i kolejowy gazu ziemnego przetworzonego do postaci ciekłej. W transporcie lądowym skroplony gaz ziemny jest dostarczany przy pomocy autocystern i cystern kolejowych. Możliwości, jakie daje transport samochodowy, to przede wszystkim szybkość, dostępność i elastyczność dostaw. Niestety również podczas transportu LNG może dojść do zdarzeń niebezpiecznych. Przykładowe zdarzenie z udziałem LPG zanotowano w 2011 roku w prowincji Murcia w Hiszpanii – kierowca stracił kontrolę nad pojazdem, zjechał z drogi i zaklinował się w rowie między nasypem a poboczem drogi. Prawdopodobnie w skutek wycieku paliwa oraz jednoczesnej obecności efektywnego bodźca energetycznego, cysterna stanęła w płomieniach, a zaraz potem nastąpił jej wybuch [5].

Jednym z prawdopodobnych zdarzeń z udziałem LNG, które może powodować duże straty, jest wybuch ekspandującej pary z wrzącej cieczy (ang. *boiling liquid expanding vapour explosion*, BLEVE). W latach 1940–2005 w skutek powstania ponad 80 zdarzeń BLEVE substancji palnych zginęło ponad 1000 ludzi, poszkodowanych zostało ponad 10 000 osób, a straty mienia wynosiły miliardy dolarów [6]. Dodatkowo podczas wybuchu BLEVE może dochodzić do uwalniania toksycznych związków, takich jak chlor i fosgen, zniszczeniu ulega infrastruktura w otoczeniu miejsca powstania wybuchu. Stąd też poznanie właściwości chemicznych LNG, analiza możliwych zagrożeń jest niezbędna do przewidywania i ograniczania skutków jego uwolnienia.

Właściwości fizykochemiczne LNG

Jednym z kluczowych surowców energii wykorzystywanym w gospodarstwie domowym i przemyśle jest gaz ziemny [7–9]. W przemyśle gaz ten stosuje się w dwóch postaciach – w formie skroplonej jako LNG oraz w postaci sprężonej jako CNG (ang. *compressed natural gas*). Gaz ziemny składa się w ponad 90% z metanu czyli najprostszego węglowodoru należącego do alkanów. Metan powstaje naturalnie w warunkach beztlenowego rozkładu materii organicznej, a takim procesom sprzyjają tereny podmokłe np. mokradła (stąd nazywany jest gazem „błotnym”) lub może być wytwarzany syntetycznie [10]. Największe na świecie złoża gazu ziemnego znajdują się przede wszystkim w Rosji, krajach Bliskiego Wschodu, Stanach Zjednoczonych, Kanadzie, Meksyku. W krajach Europy Zachodniej największe złoża występują w Holandii oraz pod dnem brytyjskiego i norweskiego sektora Morza Północnego. Gaz ziemny w warunkach pokojowych (tj. ok. 23°C i 1024 hPa) jest

substance which, after cleaning and meeting the quality requirements, is liquefied at a temperature of approx. -162°C (the boiling point of LNG depends on its composition and amounts to from -166°C to -157°C) at normal atmospheric pressure [9–10]. This form of natural gas reduces its volume and facilitates transport and storage in vacuum-insulated tanks (i.e. tanks on LNG carriers, on LNG-powered ships, in permanent storage tanks and cryogenic tanks). Due to its very low temperature, LNG can cause both cracks in the materials that make up the walls of the tank and the ship's structure, as well as cause frostbite in people who come into contact with it. Hence, LNG tanks or fittings must be made of special materials resistant to cryogenic liquids and resistant to low temperatures [11]. LNG leaks can cause water to freeze in the air, creating a white fog. Liquefied natural gas is non-corrosive. The absolute density of LNG in liquid form at a temperature of about -160°C , depending on its chemical composition, ranges from 430 kg/m^3 to 470 kg/m^3 , and under extreme conditions it can even reach 520 kg/m^3 [9–11]. Hence, LNG spilled on water, the density of which is about 1000 kg/m^3 , floats on its surface as a lighter one. LNG – like methane – does not dissolve in water. Liquefied natural gas has a volume approx. 600 times smaller than in the gaseous state, which means that after regasification, 100 m^3 of LNG produces $60,000\text{ m}^3$ of natural gas [1, 9]. Hence, with such efficiency of natural gas, an undesirable event or exposure of fittings to low temperature in LNG leaks may be a factor initiating a fire or explosion, damage to infrastructure and the environment, cause damage to human health or even pose a threat to their lives. The event in the form of oxygen displacement from a given volume (e.g. room) and suffocation of people in it should also be considered. The liquid form of natural gas significantly facilitates its storage and transport, especially by sea. LNG is a liquefied mixture of gaseous hydrocarbons, mainly methane 87–99% mol, ethane 0.1–5.5% mol, propane 0–4% mol, butane 0–2.5% mol, nitrogen 0.02–1% mol and traces of sulphur (less than 4 ppmv) and CO_2 (50 ppmv) [12]. LNG is a fuel purified from moisture, carbon dioxide, nitrogen and heavier hydrocarbons, and at the same time a non-conductive liquid. Methane and nitrogen are the first components to be released from an LNG leak. The share of hydrocarbons in the mixture remaining after evaporation of these essential components leads to changes in the composition of LNG. In particular, they can be recorded for a batch of raw material originating from different places of its extraction. Non-adiabatic storage of LNG in tanks causes the liquid to evaporate in them, which also changes the composition of the fuel. Sensors based on the measurement of the dielectric constant of LNG enable accurate measurement of the filling level of the tank, especially in vehicles powered by this fuel, as they take into account the splashing of the liquid level caused by the shocks of the LNG vehicle. Yue Fu et al. [13] describes the use of these sensors for the precise filling of car tanks with liquefied natural gas.

bezbabarwną i bezwoną substancją, która po oczyszczeniu i spełnieniu wymagań jakościowych zostaje skroplona w temperaturze ok. -162°C (temperatura wrzenia LNG zależy od jego składu i wynosi od -166°C do -157°C) przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym [9–10]. Taka forma gazu ziemnego zmniejsza jego objętość oraz ułatwia transport i przechowywanie w zbiornikach izolowanych próżnią (tj. zbiornikach na gazowcach LNG, na statkach zasilanych LNG, w stałych zbiornikach magazynowych i cysterkach kriogenicznych). Ze względu na swoją bardzo niską temperaturę LNG może powodować zarówno pęknięcia materiałów, z których zbudowane są ściany zbiornika i konstrukcji statku, jak również spowodować odmrożenia u osób mających z nim kontakt. Stąd też zbiorniki czy armatura z LNG muszą być wykonane ze specjalnych materiałów wytrzymałych na ciecze kriogeniczne, które są odporne na niskie temperatury [11]. Wycieki LNG mogą powodować zamarzanie wody w powietrzu, tworząc białą mgłę. Skroplony gaz ziemny nie jest żrący i nie ma własności korodujących. Gęstość bezwzględna LNG w postaci ciekłej w temperaturze ok. -160°C , w zależności od jego składu chemicznego, wynosi od 430 kg/m^3 do 470 kg/m^3 , a w skrajnych warunkach osiąga nawet wartość do 520 kg/m^3 [9–11]. Stąd też LNG rozlany na wodzie, której gęstość wynosi ok. 1000 kg/m^3 , jako lżejszy unosi się na jej powierzchni. LNG – tak jak i metan – nie rozpuszcza się w wodzie. Skroplony gaz ziemny ma objętość ok. 600 razy mniejszą niż w stanie gazowym, co oznacza, że po regazyfikacji ze 100 m^3 LNG otrzymuje się $60\,000\text{ m}^3$ gazu ziemnego [1, 9]. Stąd przy takiej wydajności gazowego gazu ziemnego, niepożądane zdarzenie czy też ekspozycja armatury na niską temperaturę przy wyciekach LNG, może być czynnikiem inicjującym pożar lub wybuch, zniszczenia w infrastrukturze i środowisku, powodować uszczerbek na zdrowiu ludzi lub wręcz stanowić zagrożenie dla ich życia. Należy również rozpatrzyć zdarzenie w postaci wyparcia tlenu z danej objętości (np. pomieszczenia) i uduszenie osób w nim przebywających. Postać ciekłego gazu ziemnego znacznie ułatwia jego magazynowanie i transport, zwłaszcza transport drogą morską. LNG to skroplona mieszanina gazowych węglowodorów, głównie metanu 87–99% mol, etanu 0,1–5,5% mol, propanu 0–4% mol, butanu 0–2,5% mol, azotu 0,02–1 mol% i śladowych ilości siarki (mniej niż 4 ppmv) oraz CO_2 (50 ppmv) [12]. LNG jest paliwem oczyszczonym z wilgoci, dwutlenku węgla, azotu i cięższych węglowodorów i jednocześnie cieczą nieprzewodzącą. Metan i azot są pierwszymi składnikami, które uwalniają się z miejsca wycieku LNG. Udział węglowodorów w pozostałej po odparowaniu tych zasadniczych składników mieszaninie prowadzi do zmian w składzie LNG. W szczególności można je zanotować dla partii surowca pochodzącego z różnych miejsc jego wydobywania. Nieadiabaticzne składowanie LNG w zbiornikach powoduje, że ciecz w nich odparowuje, co również prowadzi do zmiany składu paliwa. Czujniki oparte na pomiarze stałej dielektrycznej LNG umożliwiają dokładny pomiar poziomu napełnienia zbiornika, zwłaszcza w pojazdach napędzanych tym paliwem, gdyż uwzględniają rozchlapywanie się poziomu cieczy spowodowane wstrząsami pojazdu LNG. W publikacji Yue Fu i in. [13] opisano zastosowanie tych czujników do procesu precyzyjnego napełnienia zbiorników samochodowych ze skroplonym gazem ziemnym.

Fire and explosion hazards of LNG

Accidents involving LPG take various forms and depend on the conditions of gas operation, storage, and the type of event. The combustion of methane gas, or when released from the liquid phase, is related to the type of emission source, the application of an effective ignition source within its emission, and the time it takes to form a fuel-air cloud. The density of gaseous methane at low temperature, close to its condensation (-160°C), is approx. 1.751 kg/m^3 , so its absolute density is higher than that of air [9]. Hence, when it is released, LNG initially has a temperature close to its condensation temperature and accumulates just above the ground or above the water surface and evaporates using energy from the environment. At this stage, after evaporation, LNG becomes a heavy gas, and its heating to approx. -123°C causes the LNG vapour to become gas with a density similar to air. Then, as the temperature rises to a value of about -110°C (-113°C for methane), it becomes lighter than air and mixes easily with it. The initial violent evaporation is continued until the evaporation rate reaches a constant value depending mainly on the thermal properties of the substrate into which LNG is released and the heat obtained from the emission environment – most often from the air. The substrate heats LNG, causing it to evaporate due to heat conduction from the surface, convection from the surrounding air and its humidity [14–17]. Water from air humidity is a latent energy store and supports the process of LNG evaporation. When LNG vapours are mixed with air, the latter is cooled and water from its moisture condenses as a result of the heat released from the phase change of water. If LNG leaks from pressure equipment or pipelines, it will be streamed into the atmosphere. This process is related to the intense physical mixing of LNG with air. At the initial stage of mixing, particles of liquid natural gas in the form of aerosols can be identified in the released cloud of the mixture, which will then gradually evaporate as a result of mixing with air. Ignition of the methane-air mixture formed as a result of LNG release occurs when an appropriate stimulus appears in the range of methane concentration in the air between the lower and upper explosion limits (LEL and UEL) [18]. The explosion limits of methane, like that of other flammable gases, are not constant and depend on pressure and temperature. The presence of inert components affects the ignition of a flammable natural gas mixture. As their concentration increases, the ignition conditions deteriorate and the GGW value drops significantly. Based on the research [16–22], it was found that the LEL of methane is $4.6 \pm 0.3\%$, and the UEL of methane – $15.8 \pm 0.4\%$, when methane is ignited in the air at a temperature of 20°C and 100 kPa (relates to ambient temperature and pressure), while in oxygen they are 5.1–61.0 vol.% [19–22]. When the released LNG cloud, spreading in the air just above ground level, finds an effective source of ignition on its way, it can cause an unconfined vapour cloud explosion (UVCE), i.e. an explosion of a vapour cloud in an unlimited space. The concentration of the natural gas in the cloud of released LNG varies – initially highest in the centre of the cloud and right on the ground, up to a very small one at the edge of the cloud. The maximum concentration of the natural

Zagrożenia pożarowo-wybuchowe LNG

Awarie z udziałem LPG mają różną postać i zależą od warunków eksploatacji gazu, przechowywania, rodzaju zdarzenia. Spalanie metanu w postaci gazowej lub podczas uwalniania go z fazy ciekłej związane jest z rodzajem źródła emisji, przyłożeniem w obrębie jego emisji efektywnego źródła zapłonu i czasem utworzenia obłoku paliwo-powietrze. Gęstość gazowego metanu w niskiej temperaturze, bliskiej skropleniu (-160°C), wynosi ok. $1,751\text{ kg/m}^3$, a więc jego gęstość bezwzględna jest większa od gęstości powietrza [9]. Stąd też podczas jego uwolnienia LNG początkowo ma temperaturę zbliżoną do temperatury skroplenienia i gromadzi się tuż nad powierzchnią gruntu lub nad powierzchnią wody i odparowuje, wykorzystując energię z otoczenia. Na tym etapie LNG po odparowaniu staje się ciężkim gazem, a jego ogrzanie do temp. ok. -123°C powoduje, że para LNG stanie się gazem o gęstości zbliżonej do powietrza. Następnie wraz ze wzrostem temperatury do wartości ok. -110°C (-113°C dla metanu) staje się lżejszy od powietrza i łatwo się z nim miesza. Początkowo występujące gwałtowne odparowanie jest kontynuowane aż do momentu, gdy szybkość parowania osiągnie stałą wartość zależną głównie od właściwości cieplnych podłoża, na które LNG jest uwalniany oraz ciepła uzyskanego z otoczenia emisji – najczęściej z powietrza. Podłoże ogrzewa LNG, powodując jego odparowanie w skutek przewodzenia ciepła z powierzchni, konwekcję z otaczającego powietrza i jego wilgotności [14–17]. Woda z wilgoci powietrza stanowi magazyn energii utajonej i wspomaga proces odparowania LNG. Podczas mieszania par LNG z powietrzem, to ostatnie jest schładzane i woda z jego wilgoci ulega skraplaniu jako wynik uwalnianego ciepła z przemiany fazowej wody. Jeśli nastąpi wyciek LNG z urządzeń ciśnieniowych lub rurociągów, będzie się on uwalniał strumieniowo do atmosfery. Proces ten związany jest z intensywnym, fizycznym mieszaniem się LNG z powietrzem. W początkowej fazie mieszania, w uwolnionej chmurze mieszaniny można zidentyfikować cząsteczki ciekłego gazu ziemnego w postaci aerozolu, które następnie – w wyniku procesu mieszania z powietrzem – stopniowo będą odparowywać. Zapłon mieszaniny metanowo-powietrznej utworzonej w wyniku uwolnienia LNG następuje w przypadku, kiedy pojawi się odpowiedni bodziec w zakresie stężenia metanu w powietrzu między dolną i górną granicą wybuchowości (DGW i GGW) [18]. Granice wybuchowości metanu, tak jak i innych gazów palnych, nie są stałe i zależą od ciśnienia oraz temperatury. Na zapłon mieszaniny palnej gazu ziemnego ma wpływ obecność składników obojętnych. Wraz ze wzrostem ich stężenia pogarszają się warunki zapłonu i znacznie obniża się wartość GGW. Na podstawie badań [16–22] stwierdzono, że DGW metanu wynosi $4,6 \pm 0,3\%$, a GGW metanu – $15,8 \pm 0,4\%$, gdy metan jest zapalany w powietrzu w temperaturze 20°C i 100 kPa (odnosi się do temperatury i ciśnienia otoczenia), natomiast w tleniu wynoszą 5,1–61,0% obj. [19–22]. Gdy uwolniona chmura LNG, rozprzestrzeniając się w powietrzu tuż nad poziomem gruntu, znajdzie na swej drodze efektywne źródło zapłonu, może spowodować wybuch typu UVCE (ang. *unconfined vapor cloud explosion*), czyli wybuch chmury par w przestrzeni nieograniczonej. Stężenie gazu ziemnego w chmurze uwolnionej LNG jest różne – początkowo największe w środku chmury i tuż

gas in the cloud depends mainly on the total volume of air mixed with the gas and the mixing speed. This, in turn, depends on the Pasquill stability class and the degree of turbulence during the mixing process. The size of the formed natural gas cloud depends primarily on the mass of the released LNG, its dispersion time and weather conditions. At the beginning of the LNG dispersion, the greater part of the cloud volume will contain a gas concentration higher than the UEL. However, on the periphery of the cloud, flammable areas of the mixture may form, i.e. the gas concentration will be between the LEL and the UEL. On this basis, it can be concluded that already in the initial stage of an LPG leak, the created gas-air mixture will pose a risk of explosion. At the moment of evaporation of the entire amount of LNG, the gas concentration in the cloud will gradually decrease, even below the LEL value, so the mixture will not pose a risk of explosion [20]. The maximum explosion pressure occurs at a stoichiometric concentration of methane of $\sim 9.5\%$ [22]. In the released cloud of LNG in open space, the natural gas burns relatively slowly, creating relatively small overpressures of less than $5 \cdot 10^3$ Pa [22]. Higher values of overpressure resulting from the explosion of the LNG cloud appear in areas where turbulence of the resulting flame may occur, i.e. in areas with a high degree of densification of building and process structures or in spaces limited by obstacles. The value of the maximum pressure and UEL of a methane explosion also increases at an increased initial pressure [18]. The maximum explosion pressure decreases with the increase of the initial temperature of the combustible mixture, because at an elevated temperature the reaction rate of methane combustion is higher, but the total mass of the combustible gas in the combustible mixture with air is lower than at lower temperatures providing the initial pressure. The temperature of a methane explosion in an open space can be as high as $1,875^\circ\text{C}$, reaching even $2,650^\circ\text{C}$ in a confined space. The ignition temperature of LPG is -188°C , auto-ignition 537°C , and the minimum ignition energy is about 0.25 mJ [21–22]. Computational fluid dynamics (CFD) allows modelling the process of mixing LNG vapours and air, taking into account the thermodynamic properties of each component depending on the temperature and fluid dynamics. The CFD technique allows to take into account the characteristics of the terrain where the gas was released, i.e. the topography, the degree of its compaction with obstacles, as well as the infrastructure of the gas leakage environment and other factors affecting the gas-air mixing process. The dispersion of LNG vapours into the environment has been extensively studied both numerically and experimentally [23–28]. The research was performed in order to analyse hazardous events involving LNG and to obtain a comprehensive database for numerical research. A wide range of experiments were conducted for different leak rates, spill sizes and terrain characteristics. However, most of them were carried out in desert areas with high air temperature and low humidity (temperature $> 30^\circ\text{C}$ and relative humidity $< 30\%$). Air humidity (RH) influences the dispersion of LNG vapours and should be included in the research, as LNG shipping and receiving terminals are usually located in coastal areas, where the ambient air is usually very humid (RH $> 50\%$) [12]. The probability of fog formation

na gruncie, aż do bardzo małego na obrzeżach chmury. Maksymalne stężenie gazu ziemnego w chmurze zależy głównie od całkowitej objętości powietrza zmieszanego z gazem oraz szybkości mieszania. Ta z kolei zależy od klasy stabilności Pasquilla oraz stopnia turbulencji podczas procesu mieszania. Rozmiar utworzonej chmury gazu ziemnego zależy przede wszystkim od masy uwolnionego LNG, czasu jego dyspersji oraz warunków atmosferycznych. Na początku dyspersji LNG, większa część objętości chmury będzie zawierała stężenie gazu wyższe niż GGW. Jednakże na obrzeżach chmury mogą utworzyć się obszary mieszaniny w zakresie palności tzn. stężenie gazu będzie pomiędzy DGW a GGW. Na tej podstawie można stwierdzić, że już w początkowej fazie wycieku LPG powstała mieszanina gazowo-powietrzna będzie stwarzać zagrożenie wybuchem. W momencie odparowania całej ilości LNG stężenie gazu w chmurze stopniowo będzie ulegało obniżaniu, nawet poniżej wartości DGW, a więc mieszanina nie będzie stwarzała zagrożenia wybuchem [20]. Maksymalne ciśnienie wybuchu występuje przy stężeniu stechiometrycznym metanu wynoszącym $\sim 9,5\%$ [22]. W uwolnionej chmurze LNG w przestrzeni otwartej, gaz ziemny spala się stosunkowo wolno, tworząc względnie małe nadciśnienia o wartości mniejszej niż $5 \cdot 10^3$ Pa [22]. Większe wartości nadciśnienia będące wynikiem wybuchu chmury LNG pojawiają się w obszarach, w których może dojść do turbulencji powstałego płomienia, tj. w rejonach o dużym stopniu zagęszczenia konstrukcji budowlanych, procesowych lub w przestrzeniach ograniczonych przeszkodami. Wartość maksymalnego ciśnienia i GGW wybuchu metanu wzrasta również przy podwyższonym ciśnieniu początkowym [18]. Maksymalne ciśnienie wybuchu zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury początkowej mieszaniny palnej, gdyż w podwyższonej temperaturze szybkość reakcji spalania metanu jest większa, ale całkowita masa palnego gazu w mieszaninie palnej z powietrzem jest mniejsza niż w niższych temperaturach zapewniających ciśnienie początkowe. Temperatura wybuchu metanu na wolnej przestrzeni może wynosić 1875°C , dochodząc w przestrzeni zamkniętej nawet do 2650°C . Temperatura zapłonu LPG wynosi -188°C , samozapłonu 537°C , a minimalna energia zapłonu to ok. $0,25$ mJ [21–22]. Obliczeniowa dynamika płynów (ang. *computational fluid dynamics*, CFD) umożliwia modelowanie procesu mieszania par LNG i powietrza z uwzględnieniem termodynamicznych właściwości każdego składnika w zależności od temperatury i dynamiki płynów. Technika CFD pozwala na uwzględnienie charakterystyki terenu, na którym doszło do uwolnienia gazu tzn. zarówno ukształtowanie terenu, stopień jego zagęszczenia przeszkodami, jak też infrastrukturę otoczenia wycieku gazu i inne czynniki wpływające na proces mieszania się gazu z powietrzem. Dyspersja par LNG do otoczenia została szeroko zbadana zarówno numerycznie, jak i eksperymentalnie [23–28]. Badania zostały wykonane w celu analizy zdarzeń niebezpiecznych z udziałem LNG i uzyskania kompleksowej bazy danych do badań numerycznych. Eksperymenty były prowadzone w szerokim zakresie dla różnych szybkości wycieków, rozmiarów rozlewisk i charakterystyki terenu. Jednak większość z nich została przeprowadzona na terenach pustynnych, o dużej temperaturze powietrza i małej wilgotności (temperatura $> 30^\circ\text{C}$ i wilgotność względna $< 30\%$). Wilgotność powietrza (RH) wpływa na dyspersję par LNG i powinna być uwzględniana w badaniach, gdyż

following an accidental release of LNG in these areas is significantly high. A cloud of fog that mixes with LNG vapours is commonly confused with a trace of an LNG cloud of vapours. The experimental studies by Cormier et al. [17] show different sizes of the visible gas cloud captured by a VHS and infrared camera. The actual size of the LNG vapour cloud as recorded by the infrared camera was much larger than that of the fog cloud, meaning a larger area of LNG flammable gas. Fog is an aerosol consisting of airborne droplets of water or ice crystals when water vapour condenses or solidifies due to low temperature. Often, in the simulations, the fog is treated only as liquid water droplets, and the ice formation process is not taken into account as dominant in the dispersion of LNG vapour in large and open spaces and usually above its freezing point. In case of low air humidity (e.g. $RH < 30\%$), the LNG vapour cloud moves beyond the visible fog, which was confirmed by the experimental results. However, in scenarios with high air humidity (e.g. $RH > 50\%$), the fog may overtake and dominate the LNG vapour cloud. The formation of fog in the area of LNG release may reduce the effect of vapour dispersion of this gas and slow down the process of its dispersion to the environment. As shown in the research [29], the turbulence models selected for simulation and the introduced boundary conditions have the greatest impact on modelling the dispersion of this gas.

Fire and explosion hazards of LNG during its transport, storage or use mainly result from its flammability, high density of liquid natural gas at a boiling point of approx. -162°C at atmospheric pressure. LNG, when released as a combustible cryogenic liquid, forms a large-volume gas cloud and, when mixed with air, forms an explosive mixture. The main hazards related to the storage and transport of LNG include fires and explosions that may occur as a result of an LNG leak and spill in the presence of an effective ignition source. If not ignited, the LNG will evaporate, expand and eventually form a vapour cloud that disperses into the atmosphere. In case of LNG ignition, it is possible to create a flash fire, a cloud of vapours with air, jet fire, a fire on a spill, or an explosion of a mixture of vapours with air [30, 12]. The consequences of LNG fires and explosions depend mainly on the temperature of the flammable mixture and the initial composition of the gas, as well as on the diameter of the spill fire [31–32]. Additional flame turbulence in the cloud of a combustible mixture may result from the presence of LPG aerosol particles in the cloud or the presence of a space crowded with obstacles (e.g. process installations) and cause higher overpressure values during explosions. The size of the released LNG cloud will largely depend on the mass of the released LNG, the time of its release and diffusion, and weather conditions. In the open space in the formed LNG cloud, combustible gas burns slowly, thus generating low overpressure [31]. Table 1 presents the possible types of fire hazards caused by LNG.

terminale wysyłkowe i odbiorcze LNG zwykle znajdują się na obszarach przybrzeżnych, gdzie powietrze otoczenia jest przeważnie bardzo wilgotne ($RH > 50\%$) [12]. Prawdopodobieństwo powstania mgły po przypadkowym uwalnianiu LNG na tych terenach jest znacząco wysokie. Chmura mgły, która miesza się z oparami LNG jest powszechnie mylona ze śladem chmury par LNG. Badania eksperymentalne przeprowadzone przez Cormier'a i in. [17] pokazują różne wielkości widocznego obłoku gazu zarejestrowanego przez kamerę VHS i w podczerwieni. Rzeczywista wielkość chmury pary LNG zarejestrowana przez kamerę w podczerwieni była znacznie większa niż chmura mgły, co oznacza większy obszar palnego gazu. Mgła jest aerozolem składającym się z unoszących się w powietrzu kropelek wody lub kryształków lodu, gdy para wodna skrapla się lub została z powodu niskiej temperatury. Często w symulacjach mgła jest traktowana wyłącznie jako kropelki wody w stanie ciekłym. Proces tworzenia się lodu nie jest brany pod uwagę jako dominujący podczas dyspersji pary LNG na dużych oraz otwartych przestrzeniach i zwykle powyżej temperatury jego zamarzania. W przypadku niskiej wilgotności powietrza (np. $RH < 30\%$) obłok par LNG przemieszcza się poza widoczną mgłę, co potwierdziły wyniki eksperymentalne. Jednak w scenariuszach o wysokiej wilgotności powietrza (np. $RH > 50\%$), mgła może wyprzedzić i zdominować chmurę par LNG. Tworzenie się mgły w obszarze uwolnienia LNG może zmniejszyć efekt dyspersji par tego gazu i spowolnić proces jego rozpraszania do otoczenia. Jak wykazano w badaniach [29], wybrane do symulacji modele turbulencji i wprowadzone warunki graniczne najbardziej wpływają na modelowanie dyspersji tego gazu.

Zagrożenia pożarowo-wybuchowe LNG podczas jego transportu, magazynowania czy też stosowania wynikają głównie z jego palności, dużej gęstości ciekłego gazu ziemnego w temperaturze wrzenia ok. -162°C przy ciśnieniu atmosferycznym. LNG jako palna ciecz kriogeniczna po uwolnieniu tworzy obłok gazu o dużej objętości, natomiast po wymieszaniu z powietrzem tworzy mieszaninę wybuchową. Do głównych zagrożeń związanych z magazynowaniem i transportem LNG należy zaliczyć pożary i wybuchy, które mogą powstać w wyniku wycieku i rozlania LNG w obecności efektywnego źródła zapłonu. W przypadku braku zapłonu LNG wyparuje, rozprzestrzeni się i ostatecznie utworzy chmurę pary, która rozproszy się w atmosferze. W przypadku zapłonu LNG możliwe jest powstanie pożaru błyskawicznego chmury par z powietrzem, pożaru strumieniowego, pożaru rozlewiska czy wybuchu mieszaniny par z powietrzem [30, 12]. Konsekwencje pożarów i wybuchów LNG zależą głównie od temperatury mieszaniny palnej i składu początkowego gazu, a także od średnicy pożaru rozlewiska [31–32]. Dodatkowa turbulencja płomienia w chmurze mieszaniny palnej może wynikać z obecności cząsteczek aerozolu LPG w chmurze czy też występowania przestrzeni zatłoczonej przeszkodami (np. instalacji procesowych) i powodować wyższe wartości nadciśnień podczas wybuchów. Rozmiar uwolnionej chmury LNG będzie w dużej mierze uzależniony od masy uwolnionego LNG, czasu jego uwolnienia i dyfuzji oraz warunków atmosferycznych. Na przestrzeni otwartej w powstałej chmurze LNG gaz palny spala się wolno, tym samym generując niskie nadciśnienia [31]. W tabeli 1 przedstawione zostały możliwe rodzaje zagrożeń pożarowych powodowanych przez LNG.

Table 1. Summary of the main types of fire hazards caused by LNG
Tabela 1. Zestawienie głównych typów zagrożeń pożarowych powodowanych przez LNG

Type / Rodzaj	Hazard type / Typ zagrożenia	Observation / Obserwacje	Possible worst case scenario / Możliwy najgorszy scenariusz	Hazardous effect / Efekt niebezpieczne
1	2	3	4	5
Fire / Pożar	Flash fire, FF / Pożar obłoku FF)	Deflagration combustion of a combustible mixture without generating a destructive pressure wave / Deflagracyjne spalanie mieszaniny palnej bez wytworzenia niszczącej fali ciśnienia	LNG leak, formation of a cloud of vapours mixed with air and its ignition / Wyciek LNG, powstanie obłoku par wymieszanej z powietrzem i jej zapłon	Thermal radiation flux and toxic products of thermal decomposition and combustion / Strumień promieniowania cieplnego oraz toksyczne produkty rozkładu termicznego i spalania
	Jet fire (JF) / Pożar strumieniowy (JF)	A jet-shaped flame formed at the outlet of gas flowing from a pressure vessel through a small opening / Płomień w kształcie strumienia powstający u wylotu gazu wypływającego ze zbiornika ciśnieniowego przez mały otwór	Heating by a flame of the tank, weakening the strength of the tank or exceeding the allowable pressure in the tank / Ogrzewanie płomieniem zbiornika, osłabienie wytrzymałości zbiornika lub przekroczenie dopuszczalnego ciśnienia w zbiorniku	
	Cryogenic fluid spill fire / Pożar rozlewiska cieczy kriogenicznej	Combustion of a flammable mixture, i.e. LNG vapours mixed with air / Spalanie mieszaniny palnej tzn. par LNG wymieszanych z powietrzem	Ignition of the flammable mixture resulting from the evaporation of LNG vapours / Zapalenie mieszaniny palnej powstałej z odparowania par LNG	
Explosion / Wybuch	In a confined space (VCE) / W ograniczonej przestrzeni (VCE)	Heterogeneous, usually deflagration combustion of a flammable mixture in a confined space with the formation of a pressure wave or a shock wave / Heterogeniczne, zwykle deflagracyjne spalanie mieszaniny palnej w ograniczonej przestrzeni z powstaniem fali ciśnienia lub fali uderzeniowej	Outflow of gas, liquefied gas or superheated liquid from the pressure vessel, possible flame turbulence and transition to detonation / Wypływ gazu, gazu skroplonego lub przegrzanej cieczy ze zbiornika ciśnieniowego, możliwość turbulencji płomienia i przejścia w detonację	Pressure wave, heat radiation, debris / Fala ciśnienia, promieniowanie cieplne, odłamki
	In the open space (UVCE) / W otwartej przestrzeni (UVCE)	Heterogeneous combustion of a flammable mixture with the formation of a pressure wave / Heterogeniczne spalanie mieszaniny palnej z powstaniem fali ciśnienia	Dispersion and delayed ignition / Dyspersja oraz zapłon opóźniony	Pressure wave, heat radiation, debris / Fala ciśnienia, promieniowanie cieplne, odłamki
	Expanding steam from a boiling liquid (BLEVE) / Ekspandująca para z wrzącej cieczy (BLEVE)	Sudden rupture of the tank with the ejection of expanding vapours of the liquid at a liquid temperature higher than its boiling point at normal atmospheric pressure, resulting from a large multi-site damage to the tank / Nagłe rozzerwanie zbiornika z wyrzutem rozprężających się par cieczy w temp. cieczy wyższej od jej temperatury wrzenia przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym, powstały w wyniku dużego wielomejskowego uszkodzenia zbiornika	External fire, e.g. spillages or JF, containing a liquefied gas tank within its reach, creating a fireball / Zewnętrzny pożar np. rozlewiska lub JF, obejmujący swoim zasięgiem zbiornik z gazem skroplonym, utworzenia kuli ognia	Pressure wave, heat radiation, debris / Fala ciśnienia, promieniowanie cieplne, odłamki
	Physical explosion / Wybuch fizyczny	Failure to observe the parameters of the tank strength, error when filling the tank, exceeding the allowable pressure in the tank, exceeding the maximum temperature in the system with overpressure / Nieprzestrzeganie parametrów wytrzymałości zbiornika, błąd przy napełnianiu zbiornika, przekroczenie w zbiorniku dopuszczalnego ciśnienia, przekroczenie maksymalnej temperatury w układzie z nadciśnieniem	An external fire, e.g. a spill or a JF, covering the liquefied gas tank with its reach / Zewnętrzny pożar np. rozlewiska lub JF, obejmujący swoim zasięgiem zbiornik z gazem skroplonym	Pressure wave, heat radiation, debris / Fala ciśnienia, promieniowanie cieplne, odłamki

Source: Own elaboration based on [31].
 Źródło: Opracowanie własne na podstawie [31].

Liquefied natural gas does not pose a threat in the form of environmental contamination. Upon contact with air, LNG evaporates and is thinned in the air. Therefore, it is much less harmful and dangerous fuel than crude oil or LPG. The average heat of combustion of LNG is about 39.26 MJ/m^3 , which in terms of mass amounts to $54 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. This value is close to the value of heat of combustion of LPG (approx. $54 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) or acetylene ($50 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) [33–34]. LNG as a fuel is characterized by a relatively high volume of energy density compared to typical fuels such as crude oil or LPG, and in addition, during combustion it emits relatively small amounts of nitrogen oxides compared to diesel or gasoline or fossil fuels [35]. The low temperature of LPG compared to the ambient temperature can cause frostbite when it comes into direct contact with the human skin. Materials exposed to low temperature must have sufficient mechanical properties at the lowest liquefied gas temperature. This threat has a limited range depending on the size of the spill. The cryogenic plant operates at the temperatures much lower than the ambient temperature, therefore all insufficiently insulated parts will be covered with frost. Water and other fluids, when they freeze, can block valves and piping, which should be properly designed, cleaned, and drained. LNG storage tanks are pressure tanks usually built of double walls, internal and external, between which there is a vacuum, ensuring good thermal insulation from the environment. The figure below shows follow-up scenarios, which takes into account the sequence of probable events after an LNG leak. Usually, during fires of LNG tanks, jet fires are most often observed, less often BLEVE or fires of cryogenic fluid spill. The publication of Lee [36] shows the influence of technological conditions of LNG regasification on the simulation results of LNG emissions depending on the size of the source of leakage into the environment and the probability of ignition on vessels. A quantitative risk assessment (QRA) of the floating unit regasification process was also performed using the frequencies and effects of an LNG explosion fire. A probabilistic safe distance for the selected lengths of flames in a jet fire was estimated, together with an analysis of the consequences of hazardous events and risk assessment. The analysis of stream fires showed that the risk of LNG leakage horizontally in relation to the vertical one was higher, while the risk of this gas explosion was similar in both directions.

Skroplony gaz ziemny nie stanowi zagrożenia w postaci skażenia środowiska. W przypadku kontaktu z powietrzem, LNG odparowuje i rozrzedza się w powietrzu. Zatem jest on znacznie mniej szkodliwym i niebezpiecznym paliwem niż ropa naftowa czy LPG. Ciepło spalania LNG wynosi średnio ok. $39,26 \text{ MJ/m}^3$, co w przeliczeniu na masę wynosi $54 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Wartość ta zbliżona jest do wartości ciepła spalania gazu LPG (ok. $54 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) czy acetyleny ($50 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) [33–34]. LNG jako paliwo charakteryzuje się stosunkowo dużą objętościowo gęstością energii w porównaniu do typowych paliw jak ropa naftowa czy LPG, a oprócz tego podczas spalania wydziela stosunkowo małe ilości tlenków azotu w porównaniu do oleju napędowego lub benzyny czy paliw kopalnianych [35]. Niska temperatura płynnego gazu ziemnego w porównaniu z temperaturą otoczenia może spowodować odmrożenia przy bezpośrednim kontakcie ze skórą człowieka. Materiały narażone na niską temperaturę muszą posiadać wystarczające właściwości mechaniczne w najniższej temperaturze skroplonego gazu. To zagrożenie ma ograniczony zasięg zależny od wielkości rozlewiska. Instalacja kriogeniczna działa w temperaturach znacznie niższych niż otoczenie, dlatego wszystkie niedostatecznie zaizolowane części zostaną pokryte szronem. Woda i inne płyny po zamrożeniu mogą blokować zawory i przewody rurowe, które powinny być prawidłowo zaprojektowane, czyszczone i osuszane. Zbiorniki magazynujące LNG to zbiorniki ciśnieniowe zbudowane najczęściej z podwójnych ścianek, wewnętrznych i zewnętrznych, pomiędzy którymi panuje próżnia, zapewniająca dobrą izolację termiczną od otoczenia. Na poniższej rycinie zostało przedstawione drzewo zdarzeń scenariuszy następczych, które uwzględni kolejność prawdopodobnych zdarzeń po wycieku LNG. Zazwyczaj podczas pożarów zbiorników z LNG najczęściej można zaobserwować pożary strumieniowe, rzadziej BLEVE czy też pożary rozlewiska cieczy kriogenicznej. W publikacji Lee'a [36] ukazano wpływ warunków technologicznych prowadzenia regazyfikacji LNG na wyniki symulacji emisji LNG w zależności od rozmiarów źródła wycieku do środowiska i prawdopodobieństwo zapłonu na jednostkach pływających. Wykonano również ilościową ocenę ryzyka (ang. *quantitative risk assessment*, QRA) procesu regazyfikacji pływającej jednostki wykorzystując częstotliwości i skutki pożaru wybuchu LNG. Oszacowano probabilistyczną bezpieczną odległość dla wytypowanych długości płomieni w pożarze strumieniowym wraz z analizą konsekwencji zdarzeń niebezpiecznych i oceną ryzyka. Analiza pożarów strumieniowych wykazała, że ryzyko wycieku poziomego LNG w stosunku do pionowego było większe, podczas gdy ryzyko wybuchu tego gazu było zbliżone w obu kierunkach.

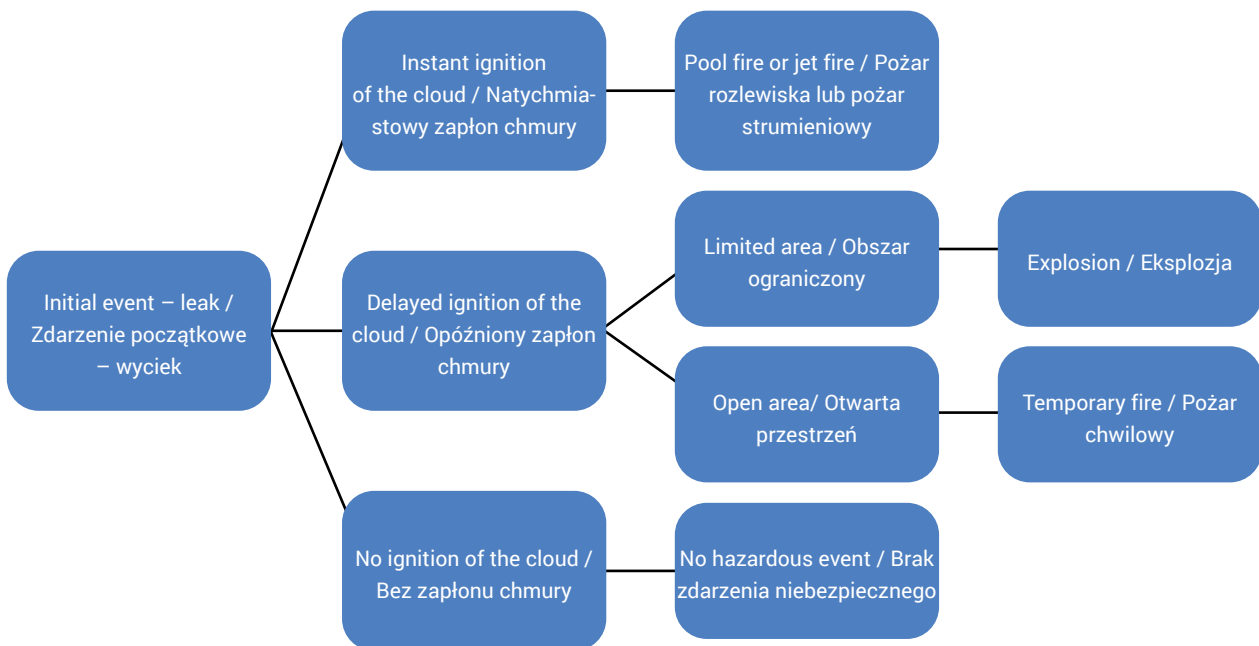


Figure 1. Follow-up scenarios involving LNG

Rycina 1. Drzewo zdarzeń scenariuszy następczych z udziałem LNG

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

LNG storage and road transport

Under fire conditions, LNG tanks and installations may pose a risk of failure or explosion. In order to ensure adequate safety in industrial plants in the event of such a threat, the European Commission introduced Directive 2012/18/EC also known as Seveso III [37]. It contains requirements for the prevention of major accidents involving hazardous substances and ways to reduce their effects on human health and the environment. According to Seveso III, the main hazardous installations are divided into hazard levels – lower, applicable to installations with more than 50 tons of hazardous substance (e.g. LNG), and higher, for installations handling more than 200 tons. Lower – and upper-tier establishments – in line with the Seveso III directive – must prepare a safety report showing that all major hazards in the establishment have been identified and the necessary safety measures have been taken to prevent major malfunctions and accidents. Other obligations under the directive include establishing a safety management system on-site, an on-site emergency plan, and informing the public about the main hazards of a nearby site, as well as taking appropriate safety measures.

With the introduction of Seveso III Directive, normative acts were created that define the methods of safe LNG storage. The PN-EN 1473:2021-10 [38] standard defines the guidelines for the design, construction and operation of onshore LNG installations storing over 200 tons of LNG on land for liquefaction, storage, evaporation, transmission and handling of LNG and natural gas (NG). The regulatory boundaries are the LNG entry/exit through

Magazynowanie i transport drogowy LNG

Zbiorniki LNG wraz z instalacjami w warunkach pożaru mogą stwarzać zagrożenie związane z awarią czy wybuchem. W celu zapewnienia odpowiedniego bezpieczeństwa w zakładach przemysłowych w przypadku wystąpienia takiego zagrożenia Komisja Europejska wprowadziła dyrektywę 2012/18/WE znaną również jako Seveso III [37]. Zawiera ona wymagania dotyczące zapobieganie poważnym awariom z udziałem substancji niebezpiecznych oraz sposoby zmniejszenia ich skutków mających wpływ na ludzkie zdrowie i środowisko. Według Seveso III główne niebezpieczne instalacje są podzielone na poziomy zagrożenia – niższy, mający zastosowanie do instalacji z ilością substancji niebezpiecznej (np. LNG) ponad 50 ton i wyższy, dla instalacji obsługujących więcej niż 200 ton. Zakłady zwiększonego i dużego ryzyka – zgodnie z dyrektywą Seveso III – muszą przygotować raport o bezpieczeństwie wykazujący, że wszystkie główne zagrożenia w zakładzie zostały zidentyfikowane i podjęto niezbędne środki bezpieczeństwa, aby zapobiec poważnym awariom i wypadkom. Inne zobowiązania wynikające z dyrektywy to ustalenie systemu zarządzania bezpieczeństwem w zakładzie, wewnętrznego planu awaryjnego oraz informowanie opinii publicznej o głównych zagrożeniach występujących w pobliskim zakładzie i przedsięwzięcie odpowiednich środków bezpieczeństwa.

Wraz z wprowadzeniem dyrektywy Seveso III powstały akty normatywne określające sposoby bezpiecznego magazynowania LNG. Norma PN-EN 1473:2021-10 [38] określa wytyczne dotyczące projektowania, budowy i obsługi lądowych instalacji LNG magazynujących ponad 200 ton LNG na lądzie, służących do

the ship's manifold, including a combination of vapour return and tanker loading/unloading and vapour return, a combination of rail car loading/unloading and vapour return, as well as natural gas input and output boundary through pipeline systems. The application of these guidelines requires the assessment of acceptable levels of risk of loss of life and property both outside and within the boundaries of the facility. On the other hand, the PN-EN 13645: 2008 [39] standard issued risk assessment requirements and examples for installations with a small storage capacity (from 5 tons to 200 tons). These standards are optional and are intended to improve safety in LNG-consuming facilities, in particular at reloading and storage depots and gas supply stations for vehicles. The American National Fire Protection Association (NFPA) introduced the NFPA 59A, 2019 [40] standard for LNG storage and transshipment, containing guidelines for the location, design, construction, maintenance and operation of LNG production, storage and handling facilities.

The European ADR agreement of 2021, regulating the international road transport of dangerous goods [41], contains the rules of operation for loading LNG tanks. This document is divided into two annexes covering general provisions and provisions concerning equipment and transport operations. It includes, among others, the requirements for the design, construction, control and testing of LNG tanks. LNG vehicles must meet the requirements of the PN EN ISO 20421-2 [42] standard issued to specify operational requirements for large transport cryogenic tanks with vacuum insulation. These performance requirements include commissioning, charging, refrigerant collection, in-plant transportation, storage, maintenance, periodic inspection and emergency procedures. Additional requirements may apply for the transport of these tanks by public roads, rail, inland waterway, sea and air transport; they are specified in specific provisions. The European standard PN EN 13530-2 [43] presents specifications for the design, production, control and testing of large vacuum insulated tanks with a capacity of more than 1000 litres mounted on road vehicles, permanently or with the possibility of disassembly, with the exception of tanks for toxic liquids.

Experimental study of a 200 l LNG tank under fire conditions

As part of the DOB-BIO6/02/50/2014 project entitled "Development of methods for neutralizing the risk of explosion in selected technical gas tanks, including alternative power sources in a fire environment for the needs of rescuers participating in rescue and firefighting operations" financed by the National Centre For Research and Development, one experiment was performed with a 200-liter vacuum-insulated cryogenic tank containing LNG. The test was carried out at the Artillery and Armament Training

skraplania, magazynowania, odparowywania, przesyłu i obsługi LNG i gazu ziemnego (NG). Wyznaczone granice obowiązywania przepisów to wejście/wyjście LNG przez kolektor statku, włączając połączenie powrotu oparów i załadunku/rozładunku cysterny oraz powrót oparów, a także połączenie załadunku/rozładunku wagonów kolejowych i powrót oparów, oraz granica wejścia i wyjścia gazu ziemnego przez systemy rurociągów. Zastosowanie tych wytycznych wymaga oszacowania akceptowalnych poziomów ryzyka utraty życia oraz mienia zarówno na zewnątrz, jak i wewnątrz granic zakładu. Natomiast w normie PN-EN 13645:2008 [39] wydano wymagania dotyczące oceny ryzyka i przykłady dla instalacji o małej pojemności magazynowej (od 5 ton do 200 ton). Standardy te są opcjonalne i mają na celu poprawę bezpieczeństwa w obiektach użytkujących LNG, w szczególności na terenie baz przeładunkowo-magazynowych oraz stacji zasilania gazem pojazdów. Amerykańskie Narodowe Stowarzyszenie Ochrony Przeciwpożarowej (ang. *National Fire Protection Association*, NFPA) wprowadziło standard NFPA 59A, 2019 [40] dotyczący magazynowania i przeładunku LNG, zawierający wytyczne z zakresu lokalizacji, projektowania, budowy, utrzymania i eksploatacji obiektów produkujących, przechowujących i obsługujących LNG.

Umowa europejska ADR z 2021 r. regulująca międzynarodowy przewóz drogowy towarów niebezpiecznych [41] zawiera zasady eksploatacji przy załadunku cystern LNG. Dokument ten podzielono na dwa załączniki obejmujące przepisy ogólne i przepisy dotyczące sprzętu i operacji transportowych. Zawiera m.in. wymagania dotyczące projektowania, budowy i kontroli oraz badania zbiorników LNG. Ciężarówki na LNG muszą spełniać wymagania normy PN EN ISO 20421-2 [42] wydanej w celu specyfikacji wymagań eksploatacyjnych dla dużych transportowych zbiorników kriogenicznych z izolacją próżniową. Te wymagania eksploatacyjne obejmują oddawanie do użytkowania, napełnianie, pobieranie czynnika, transport wewnątrz zakładu, magazynowanie, konserwację, kontrolę okresową i procedury awaryjne. Do celów transportu tych zbiorników na drogach publicznych, koleję, w żegludzie śródlądowej, transporcie morskim i powietrznym, mogą mieć zastosowanie dodatkowe wymagania; są one określone w przepisach szczegółowych. Norma europejska PN EN 13530-2 [43] przedstawia specyfikację dotyczące projektowania, wytwarzania kontroli i badań dużych zbiorników izolowanych próżnią o pojemności powyżej 1000 litrów montowanych na pojazdach drogowych, na stałe lub z możliwością demontażu z wyjątkiem zbiorników na płyny toksyczne.

Badanie eksperymentalne zbiornika 200 l LNG w warunkach pożarowych

W ramach projektu DOB-BIO6/02/50/2014 pt. „Opracowanie metod neutralizacji zagrożenia wybuchu wytypowanych zbiorników z gazami technicznymi, w tym alternatywnymi źródłami zasilania w środowisku pożarowym na potrzeby ratowników biorących udział w akcjach ratowniczo-gaśniczych” finansowanego przez Narodowe Centrum Badan i Rozwoju wykonano jeden eksperyment z udziałem 200 l zbiornika kriogenicznego izolowanego próżnią zawierającego LNG. Badania przeprowadzono

Centre in Toruń. As a leader, the following institution participated in the research consortium – the Main School of Fire Service, then as members – the Warsaw University of Technology, Gdańsk University of Technology, Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute, CORONA Sp. z o.o. The purpose of this research was to test the actual explosion of the selected LNG tank, including the determination of the impact range of the fragments of the exploding tank, determination of the fire zone and the maximum pressure in the tank.

The LNG tank was placed in a tank filled with a 2:1 mixture of gasoline and diesel oil with a volume of about 20 litres (see Figure 2). The initial vapour pressure in the LNG tank with vacuum insulation was 14.6 bar. After 3 minutes of heating the tank, methane was released through the safety valve. The released gas ignited and burned with a quiet flame directed upwards for a maximum length of 5 m. In the final phase of the experiment, after 11 minutes, the tank was shot twice (see Figure 3). The moments at which the tank was shot are marked on the diagram of pressure changes in the cylinder (see Figure 4). The analysis of the technical condition of the LNG tank showed the breaking of the plate securing the vacuum jacket of the apparatus after the experiment (see Figure 5).



Figure 2. LNG tank placed in a tank with gasoline and diesel fuel
Rycina 2. Zbiornik z LNG ustawiony w wannie z benzyną i olejem napędowym

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

na poligonie Centrum Szkolenia Artylerii i Uzbrojenia w Toruniu. W konsorcjum badawczym brali udział jako lider – Szkoła Główna Służby Pożarniczej, następnie jako członkowie Politechniki Warszawskiej, Politechniki Gdańskiej, Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowy Instytut Badawczy, CORONA Sp. z o.o. Celem realizacji tych badań było przeprowadzenie badania rzeczywistego wybuchu wytopianego zbiornika LNG, w tym określenie zasięgu rażenia odłamkami eksplodującego zbiornika, wyznaczenie strefy ognia oraz ciśnienia maksymalnego w zbiorniku.

Zbiornik z LNG umieszczony został w zbiorniku wypełnionym mieszaniną benzyny i oleju napędowego w stosunku 2:1 o objętości ok. 20 l (zob. ryc. 2). Ciśnienie początkowe par w zbiorniku LNG z izolacją próżniową wynosiło 14.6 barów. Po 3 minutach ogrzewania zbiornika nastąpiło uwolnienie metanu przez zawór bezpieczeństwa. Uwolniony gaz zapalił się i palił się spokojnym płomieniem skierowanym w górę na długości maksymalnie 5 m. W końcowej fazie eksperymentu po 11 minutach zbiornik został dwukrotnie przestrzelony (zob. ryc. 3). Momenty przestrzelenia zbiornika zostały zaznaczone na wykresie zmian ciśnienia w butli (zob. ryc. 4). Analiza stanu technicznego zbiornika LNG wykazała zerwanie płytki zabezpieczającej próżniowy płaszcz aparatury po eksperymencie (zob. ryc. 5).



Figure 3. LNG tank after activation of the safety valve and after burning
Rycina 3. Zbiornik LNG po aktywacji zaworu bezpieczeństwa i spaleniu

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

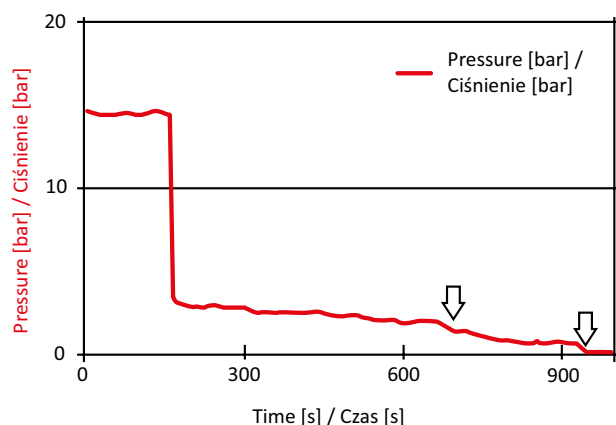


Figure 4. Pressure course in the LNG tank. The time marked with arrows shows the time when shots were fired into the tank

Rycina 4. Przebieg ciśnienia w zbiorniku z LNG. Zaznaczony strzałkami czas ukazuje czas oddania strzałów do zbiornika

Source: Final report of the DOB-BIO6/02/50/2014 project.

Źródło: Raport końcowy projektu DOB-BIO6/02/50/2014.

The conducted experiment showed that the LNG tank selected for the tests did not explode under the conditions of the tested fire. The accumulated excess vapours in the tank vented through the safety valve (in this case it was a vacuum valve), formed a flammable mixture with air and ignited to form a jet fire. The gas stream fire gradually decreased with the time the fuel spill burned up and the gas burned. Hence, in the scenarios of the events involving an LNG tank, heated in a fire with a heat stream, the possibility of creating a jet flame directed upwards (not heating the tank) should be considered and during such an event an LNG tank with a capacity of 200 litres should be placed with observation for free gas burnout.

Summary

Fire and explosion hazards of LNG during its transport, storage or use result mainly from its flammability, high density of liquid LNG at its boiling point at atmospheric pressure.

Depending on the thermal exposure, heat losses to the environment under fire conditions, the type of emission, time to ignition and the type of effective ignition stimulus – a fire or explosion of a combustible mixture made of LNG is possible.

The rate of LNG leaks, the size of the spillages, air humidity, terrain characteristics (especially the congestion of obstacles) determine the dispersion of the LNG cloud and the possible effects of an explosion.

The combustion of the natural gas significantly depends on the time of applying an effective source of ignition and the time of formation of the fuel-air cloud.

In case of the ignition of LNG vapours, a flash fire of a cloud of vapours with air, jet fire, and fire of a spill or an explosion of a mixture of vapours with air or BLEVE is possible.



Figure 5. Broken vacuum fuse

Rycina 5. Zerwany bezpiecznik próżniowy

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Przeprowadzony eksperyment pokazał, że wytypowanego do badań zbiornik LNG w warunkach testowanego pożaru nie uległ wybuchowi. Zgromadzony nadmiar par w zbiorniku znalazł ujście poprzez zawór bezpieczeństwa (w tym przypadku był to zawór próżniowy), utworzył mieszaninę palną z powietrzem i zapalił się, tworząc *jet fire*. Pożar strumienia gazu stopniowo zmniejszał się wraz z czasem wypalania rozlewiska paliwa i spalania gazu. Stąd też należy rozpatrywać w scenariuszach zdarzeń z udziałem zbiornika LNG, ogrzewanego w warunkach pożaru strumieniem ciepła możliwość tworzenia płomienia strumieniowego skierowany do góry (nie ogrzewającego zbiornik) i podczas takiego zdarzenia postawić zbiornik LNG o pojemności 200 litrów wraz z obserwacją do swobodnego wypalenia gazu.

Podsumowanie

Zagrożenia pożarowo-wybuchowe LNG podczas jego transportu, magazynowania czy też stosowania wynikają głównie z jego palności, dużej gęstości ciekłego LNG w jego temperaturze wrzenia przy ciśnieniu atmosferycznym.

W zależności od ekspozycji cieplnej, strat ciepła do otoczenia w warunkach pożarowych, rodzaju emisji, czasu do zapłonu i typu efektywnego bodźca zapłonu - możliwy jest pożar lub wybuch mieszaniny palnej utworzonej z LNG.

Szybkość wycieków LNG, rozmiar rozlewisk, wilgotność powietrza, charakterystyka terenu (szczególnie zatłoczenie przeszkód), decydują o dyspersji chmury LNG i możliwych skutkach wybuchu.

Spalanie gazu ziemnego istotnie zależy od czasu przyłożeniem efektywnego źródła zapłonu i czasu utworzenia obłoku paliwo -powietrze.

W przypadku zapłonu par LNG możliwy jest pożar błyskawiczny chmury par z powietrzem, pożar strumieniowy, pożar rozlewiska lub wybuch mieszaniny par z powietrzem czy BLEVE.

Literature analysis was carried out as part of the DOB-BIO9/15/02/2018 project “Innovative research and training station LNG Trainer” implemented for the defence and security of the state used to develop tactics of activities with the use of equipment used by the State Fire Brigade (PSP) during LNG events, financed by the National Centre for Research and Development.

The experimental study was carried out as part of DOB-BIO6/02/50/2014 project “Development of methods for neutralizing the risk of explosion in selected technical gas tanks, including alternative power sources in a fire environment for the needs of rescuers participating in rescue and firefighting operations” implemented for the defence and security of the state financed by the National Centre for Research and Development.

Analizę literaturową wykonano w ramach projektu nr DOB-BIO9/15/02/2018 realizowanego na rzecz obronności i bezpieczeństwa państwa pt. „Innowacyjne stanowisko badawczo-treningowe Trenażer LNG” służące do opracowania taktyki działań z wykorzystaniem sprzętu będącego na wyposażeniu PSP podczas zdarzeń LNG, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Badanie eksperymentalne wykonano w ramach projektu nr DOB-BIO6/02/50/2014 realizowanego na rzecz obronności i bezpieczeństwa państwa pt. „Opracowanie metod neutralizacji zagrożenia wybuchu wytypowanych zbiorników z gazami technicznymi, w tym alternatywnymi źródłami zasilania w środowisku pożarowym na potrzeby ratowników biorących udział w akcjach ratowniczo-gaśniczych” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Literature / Literatura

- [1] Kumar S., Kwon H., Choi K., Lim W., Cho J., Tak K., Moon I., *LNG: an ecofriendly cryogenic fuel for sustainable development*, „Applied Energy” 2011, 88, 4264–4273, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.06.035>.
- [2] U.S. Energy Information Agency, *International Energy Outlook 2017*.
- [3] Mazyan W., Ahmadi A., Ahmed H., Hoorfar M., *Market and technology assessment of natural gas processing: a review*, „Journal of Natural Gas Science and Engineering” 2016, 30, 487–514, <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2016.02.010>.
- [4] Qi M., Park J., Kim J., Lee I., Moon I., *Advanced integration of LNG regasification power plant with liquid air energy storage: Enhancements in flexibility, safety, and power generation*, „Applied Energy” 2020, 269, 115049, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115049>.
- [5] <https://app.mapfre.com/fundacion/html/revistas/seguridad/n127/en/article2.html> [dostęp: 02.11. 2021].
- [6] Abbasi T., Abbasi S.A., *The boiling liquid expanding vapour explosion (BLEVE): mechanism, consequence assessment, management*, „Journal of Hazardous Materials” 2007, 141(3), 489–519.
- [7] Lisowski E., Czyżycki W., *Transport and storage of LNG in container tanks*, „Journal of KONES Powertrain and Transport” 2011, 18(3), 193–201.
- [8] Lisowski E., Czyżycki W., Łazarczyk K., *Simulation and experimental research of internal supports in mobile cryogenic tank*, „Czasopismo Techniczne” 2010, 2-M, 8, 175–184.
- [9] Łaciak M., *Kiedy transport i magazynowanie gazu płynnego, paliw lotniczych, materiałów promieniotwórczych staje się bezpieczne? ADR 2011 w praktyce*, materiały z XXVIII Seminarium Szkoleniowego, Tęgorozie 2011.
- [10] Grzywa E., Molenda J., *Technologia podstawowych syntez organicznych*, WNT, Warszawa 2000.
- [11] Bahadori A., *Cryogenic Insulation Systems for LNG Industries, Thermal Insulation Handbook for the Oil, Gas, and Petrochemical Industries*, Gulf Professional Publishing, 303–321, 2014.
- [12] Mokhtab S., Mak J., Valappil J., Wood D., *Handbook of Liquefied Natural Gas*, Gulf Professional Publishing 2013.
- [13] Yue F., Wenliang L., Shujun C., Zeyuan W., Yongqiang L., *Experimental and simulation study on the capacitive liquid level gauge of LNG vehicular cylinder*, “Measurement” 164 (2020), 107930, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107930>.
- [14] Koopman R.P., Ermak D.L., *Lessons learned from LNG safety research*, „Journal of Hazardous Materials”, 140(3), 412–428, <https://doi:10.1016/j.jhazmat.2006.10.042>.
- [15] Koopman R.P., Baker J., Cederwall R.T., Goldwire H.C., Hogan W.J., Kamppinen L.M., Kiefer R.D., McClure J.W., McRae T.G., Morgan D.L., Morris L.K., *LLNL/NWC 1980 LNG Spill Tests*, Burro Series Data Report, vol. 1., Lawrence Livermore Laboratory 1982.
- [16] Planas-Cuchi E., Gasull N., Ventosa A., Casal J., *Explosion of a road tanker containing liquefied natural gas*, „Journal of Loss Prevention in Process Industries” 2004, 17 (4), 315–321, <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2004.05.005>.
- [17] Cormier B.R., Qi R., Yun G.-W., Zhang Y., Mannan M.S., *Application of computational fluid dynamics for LNG vapor dispersion modeling: A study of key parameters. dissertation*, „Journal of Loss Prevention in Process Industries” 2008, 22(3), 332–352, <https://doi.org/ DOI:10.1016/j.jlp.2008.12.004>.
- [18] Checkel M.D., Ting D.S. K., Bushe W.K., *Flammability limits and burning velocities of ammonia/nitric oxide mixtures*, „Journal of Loss Prevention in Process Industries” 1995, 8(4), 215–220, [https://doi.org/10.1016/0950-4230\(95\)00027-X](https://doi.org/10.1016/0950-4230(95)00027-X).
- [19] Chen J.R., Tsai H.Y., Chien J.H., Pan H.J., *Flow and flame visualization near the upper flammability limits of methane/air and propane/air mixtures at elevated pressures*, „Journal of Loss Prevention in Process Industries” 2011, 24(9), 662–670, <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2011.05.012>.

- [20] Claessen G., Vliegen, J., Joosten G., Geersen T., *Flammability characteristics of natural gases in air at elevated pressures and temperatures*, *Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries: Proceedings of the 5th International Symposium*, Cannes, France, September 15–19, 1986.
- [21] Gieras M., Klemens R., Rarata G., Wolanski P., *Determination of explosion parameters of methane-air mixtures in the chamber of 40 dm³ at normal and elevated temperature*, „Journal of Loss Prevention in Process Industries” 2006, 19(2), 263–270, <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2005.05.004>.
- [22] Vanderstraeten B., Tuerlinckx D., Berghmans J., Vliegen S., Van't Oost E., Smit B., *Experimental study of the pressure and temperature dependence on the upper flammability limit of methane/air mixtures*, „Journal of Hazardous Materials” 1997, 56(3), 237–246, [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(97\)00045-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(97)00045-9).
- [23] Feldbauer G., Heigl J., McQueen W., Whipp R., May W., *Spills of LNG on water: Vaporization and downwind drift of combustible mixtures*, ESSO Research and Engineering Company Report No. EE61D-72 (Performed for the American Petroleum Inst.), 1972.
- [24] Puttock J.S., Blackmore D.R., Colenbrander G.W., *Field experiments on dense gas dispersion*, „Journal of Hazardous Materials” 1982, 6(1–2), 13–41, [https://doi.org/10.1016/0304-3894\(82\)80033-2](https://doi.org/10.1016/0304-3894(82)80033-2).
- [25] Koopman R.P., Baker J., Cederwall R.T., Goldwire H.C., Hogan W.J., Kamppinen L.M., Kiefer R.D., McClure J.W., McRae T.G., Morgan D.L., *LLNL/NWC 1980 LNG spill tests*, Burro Series Data Report, vol. 2, Lawrence Livermore Laboratory 1982.
- [26] Rigas F., Sklavounos S., *Simulation of Coyote series trials–Part II: A computational approach to ignition and combustion of flammable vapor clouds*, „Chemical Engineering Science” 2006, 61(5), 1444–1452, <https://doi.org/10.1016/j.ces.2005.09.005>.
- [27] Brown T., Cederwall R., Chan S., Ermak D., Koopman R., Lamson K., McClure J., Morris L., *Falcon series data report: 1987 LNG vapor barrier verification field trials*, Lawrence Livermore National Lab, CA (USA) 1990.
- [28] Biao S., Wong J., Wadnerkar D., Utikar R.P., Pareek V.K., Guob K., *Multiphase simulation of LNG vapour dispersion with effect of fog formation*, „Applied Thermal Engineering” 2020, 166, 114671, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114671>.
- [29] Eberwein R., Rogge A., Behrendt F., Knaust C., *Dispersion modeling of LNG-Vapor on land – A CFD-Model evaluation study*, „Journal of Loss Prevention in the Process Industries” 2020, 65, 104116, <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104116>.
- [30] Aneziris O., Papazoglou I.A., Konstantinidou M., Nivolianitou Z., *Integrated risk assessment for LNG terminals*, „Journal of Loss Prevention in the Process Industries” 2014, 28, 23–35, <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2013.07.014>.
- [31] Pio G., Salzano E., *The effect of ultra-low temperature on the flammability limits of a methane/air/diluent mixtures*, „Journal of Hazardous Materials” 2019, 362, 224–229, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.09.018>.
- [32] Pio G., Carboni M., Iannaccone T., Cozzani, V., Salzano E., *Numerical simulation of small-scale pool fires of LNG*, „Journal of Loss Prevention in the Process Industries” 2019, 61, 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.06.002>.
- [33] Bartknecht W., *Explosionsschutz, Grundlagen und Anwendung*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1993.
- [34] Bunev V., Bolshova T., Babkin V., *The nature of the upper laminar flammability limit in methane-air mixtures at high pressures*, „Doklady Physical Chemistry” 2013, 452, 52–54, <https://doi.org/10.1134/S001250161307004X>.
- [35] Basshuysen R., *Erdgas und erneuerbares Methan für den Fahrzeugantrieb*, Springer Verlag, Wiesbaden 2015.
- [36] Lee S., *Quantitative risk assessment of fire & explosion for regasification process of an LNG-FSRU*, „Ocean Engineering” 2020, 197(86), 106825, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106825>.
- [37] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/18/UE z dnia 4 lipca 2012 r. w sprawie kontroli zagrożeń poważnymi awariami związanymi z substancjami niebezpiecznymi, zmieniająca, a następnie uchylająca dyrektywę Rady 96/82/WE [Dyrektywa Seveso III] (Dz. Urz. UE L 197 z 24.07.2012), 1–37.
- [38] PN-EN 1473:2021-10 Instalacje i wyposażenie do skroplonego gazu ziemnego – Projektowanie instalacji na lądzie.
- [39] PN-EN 13645:2008 Instalacje i urządzenia do skroplonego gazu ziemnego – Projektowanie instalacji lądowych ze zbiornikami magazynowymi o ładowności od 5 t do 200 t.
- [40] NFPA 59A Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas LNG.
- [41] Umowa europejska dotycząca międzynarodowego przewozu drogowego towarów niebezpiecznych – ADR 2021, <https://dziennikustaw.gov.pl/DU/2021/874>.
- [42] PN-EN ISO 20421-2:2017-05 Zbiorniki kriogeniczne – Duże zbiorniki transportowe z izolacją próżniową – Część 2: Wymagania eksploatacyjne.
- [43] PN-EN 13530-2:2003 Zbiorniki kriogeniczne – Duże zbiorniki przenośne izolowane próżnią – Część 2: Projektowanie, wyrób, kontrola i badania.

SENIOR BRIG. MARZENA PÓŁKA, PH.D., SGSP PROFESSOR – a graduate from the Faculty of Chemistry at the University of Warsaw. Professor and a long-term State Fire Service officer. She is a manager of the Combustion Processes Department at the Safety Engineering and Civil Protection Faculty of the Main School of the Fire Service in Warsaw. In her academic work, she focuses on thermal decomposition, material combustion, fire resistance modifications, description of flammable liquid vapours, gas and dust explosions, as well as, fire and explosion investigations.

DARIUSZ OLCEN, M.SC. ENG. – a graduate of engineering studies at the Main School of Fire Service (2007), a graduate of post-graduate studies in the field of Chemical Rescue – Identification of hazards and liquidation of contamination at the Main School of Fire Service and post-graduate studies in the field of Chemical Rescue at the Nicolaus Copernicus University in Toruń (2018). Advisor for the transport of dangerous goods by road (DGSA). Author and co-author of the current training programs of the Headquarters of the State Fire Service in chemical and ecological rescue as well as CBRN.

BRIG. ROBERT PIEC, PH.D. ENG. – a graduate of the Main School of Fire Service. Doctor of technical sciences in the discipline of environmental engineering, awarded by the resolution of the Scientific Council of the Central Institute for Labour Protection – National Research Institute. He also completed postgraduate studies – Management in the States of Hazards at the Main School of Fire Service, postgraduate studies – Databases at the University of Information Technology and Management, and postgraduate studies with doctoral seminars – Risk analysis at the Academy of Finance. He is the author or co-author of many articles, chapters of monographs and papers presented at national and international conferences. Currently, he is the Director of the Institute of Internal Security of the Main School of Fire Service.

ST. BRYG. DR HAB. MARZENA PÓŁKA, PROF. SGSP – absolwentka Wydziału Chemii na Uniwersytecie Warszawskim. Długoletni funkcjonariusz PSP pełniący obecnie służbę na stanowisku profesora nadzwyczajnego. Obecnie kierownik Katedry Procesów Spalania na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa i Ochrony Ludności Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. Zajmuje się analizą procesów rozkładu termicznego i spalania materiałów, modyfikacją przeciwogniową materiałów, opisem zjawisk wybuchu par cieczy palnych, gazów oraz pyłów, rozpoznawaniem przyczyny powstawania pożarów i wybuchów.

MGR INŻ. DARIUSZ OLCEN – absolwent studiów inżynierskich Szkoły Głównej Służby Pożarniczej (2007), absolwent studiów podyplomowych w zakresie Ratownictwa Chemicznego – Identyfikacja zagrożeń i likwidacja skażeń w SGSP oraz studiów podyplomowych w zakresie Ratownictwa Chemicznego na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu (2018). Doradca ds. transportu drogowego towarów niebezpiecznych (DGSA). Autor i współautor obowiązujących programów szkoleń KG PSP z ratownictwa chemicznego i ekologicznego oraz CBRN.

BRYG. DR INŻ. ROBERT PIEC – absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. Doktor nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska nadany uchwałą Rady Naukowej Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego. Ukończył również studia podyplomowe – Zarządzenie w Stanach Zagrożeń w Szkole Głównej Służby Pożarniczej, studia podyplomowe – Bazy danych w Wyższej Szkole Informatyki Stosowanej i Zarządzania oraz studia podyplomowe z seminariami doktoranckimi – Analiza ryzyka w Akademii Finansów. Jest autorem lub współautorem wielu artykułów, rozdziałów monografii oraz referatów prezentowanych na konferencjach krajowych i zagranicznych. Obecnie pełni obowiązki Dyrektora Instytutu Bezpieczeństwa Wewnętrznego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej.

Piotr Kaczmarzyk^{a) b)*}, Wojciech Klapsa^{a)}, Paweł Janik^{a)}, Piotr Krawiec^{b)}

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

^{b)} *Poznan University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Machine Design / Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Instytut Konstrukcji Maszyn*

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

Identification and Evaluation of Technical and Operational Parameters of Mobile Positive Pressure Ventilation Fans Used during Rescue Operations

Identyfikacja i ocena parametrów techniczno-użytkowych mobilnych wentylatorów nadciśnieniowych stosowanych podczas działań ratowniczych

ABSTRACT

Aim: The aim of the article is to indicate the essential technical and operational parameters of mobile fans and to present the proposed testing methodologies (as well as dedicated infrastructure) allowing to confirm the indicated features.

Project and methods: In many places around the world, scientists conduct tests related to the use of mechanical tactical ventilation with the use of mobile positive pressure ventilation fans. These devices are used by fire protection units, among others, for the removal of thermal decomposition products resulting from fires, posing a threat to people staying in construction facilities during events and hindering rescue operations. Achieving the expected effects through the use of mechanical tactical ventilation depends on many factors, among others, on the appropriate technical parameters and the ability to use the fan. Describing the essential features that should be characterized by the devices in question, attention in particular should be paid to: mobility, durability, reliability and effectiveness. To confirm these features, mobile fans should be tested using properly validated test methodologies. This publication presents a draft of the test program that allows to confirm the effectiveness of mobile fans, i.e. aerodynamic efficiency (flow rate), stream shape (area of the effective speed distribution), operating time, noise, weight and dimensions.

Conclusions: Mobile fans used by fire protection units are an important tool supporting the effectiveness of rescue operations. However, in order for them to be used in an optimal way, it is necessary to comprehensively examine the technical parameters, and then – adequately to these parameters – to develop appropriate procedures for their use. In the context of the aforementioned testing, despite the large scientific achievements in this field, there are still areas that require improvement, with particular emphasis on standardized testing methodologies and the measurement infrastructure dedicated to them. For this reason, the authors indicated important technical and functional features that determine the effectiveness of mobile fans and recommended selected methods on the basis of which these features can be verified. The intention of the project is to provide rescuers with greater comfort when choosing and using the devices in question. The basis for this comfort is to be aware of the availability of equipment with confirmed functional characteristics and the possibility of referring to the developed guidelines for the proper use of fans in accordance with their parameters.

Key words: mobile positive pressure ventilation fans, tests of mobile fans, functional properties of fans

Article type: review article

Received: 16.11.2021; **Reviewed:** 25.11.2021; **Accepted:** 25.11.2021;

Authors' ORCID IDs: P. Kaczmarzyk – 0000-0003-4310-6086; W. Klapsa – 0000-0002-6481-587X; P. Janik – 0000-0003-4498-7575; P. Krawiec – 0000-0003-3076-0337;

The authors contributed the equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 74–91, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.5>;

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 wskazanie istotnych parametrów techniczno-użytkowych mobilnych wentylatorów oraz przedstawienie propozycji metodyk badawczych (a także dedykowanej infrastruktury) pozwalających potwierdzić wskazane cechy.

Projekt i metody: W wielu miejscach na świecie naukowcy prowadzą badania związane ze stosowaniem mechanicznej wentylacji taktycznej z wykorzystaniem mobilnych wentylatorów nadciśnieniowych. Urządzenia te są wykorzystywane przez jednostki ochrony przeciwpożarowej m.in. do usuwania powstałych w wyniku pożarów produktów rozkładu termicznego, stanowiących zagrożenie dla osób przebywających w trakcie zdarzeń w obiektach

budowlanych oraz utrudniających działania ratownicze. Osiągnięcie oczekiwanych efektów poprzez zastosowanie mechanicznej wentylacji taktycznej zależy od wielu czynników, m.in. od odpowiednich parametrów technicznych oraz umiejętności zastosowania wentylatora. Opisując istotne cechy, jakimi powinny charakteryzować się przedmiotowe urządzenia, w szczególności należy zwrócić uwagę na: mobilność, trwałość, niezawodność oraz skuteczność działania. Aby potwierdzić te cechy, mobilne wentylatory powinny zostać poddane badaniom z wykorzystaniem odpowiednio zwalidowanych metodyk badawczych. W niniejszej publikacji przedstawiono projekt programu badań, pozwalający uwierzytelnić efektywność działania mobilnych wentylatorów, tj.: wydajność aerodynamiczną (wielkość przepływu), kształt strugi (powierzchnię efektywnego rozkładu prędkości), czas pracy, hałas, masę oraz wymiary.

Wnioski: Mobilne wentylatory, stosowane przez jednostki ochrony przeciwpożarowej, stanowią ważne narzędzie wspomagające efektywność prowadzonych działań ratowniczych. Jednak, aby mogły być one wykorzystywane w sposób optymalny, konieczne jest wszechstronne zbadanie parametrów technicznych, a następnie – adekwatne do tych parametrów – opracowanie odpowiednich procedur ich użycia. W kontekście wspomnianych badań, pomimo dużego dorobku naukowego w tej dziedzinie, nadal można dostrzec obszary wymagające doskonalenia, ze szczególnym uwzględnieniem znormalizowanych metodyk badawczych oraz dedykowanej im infrastruktury pomiarowej. Z tego względu zespół autorski wskazał istotne cechy techniczno-użytkowe warunkujące efektywność działania mobilnych wentylatorów oraz zarekomendował wybrane metody, na podstawie których cechy te mogą zostać zweryfikowane. Intencją przedsięwzięcia jest zapewnienie ratownikom większego komfortu przy wyborze oraz korzystaniu z omawianych urządzeń. Podstawą tego komfortu ma być świadomości dysponowania sprzętem o potwierdzonych cechach użytkowych oraz możliwość odwołania się do opracowanych wytycznych w zakresie prawidłowego użytkowania wentylatorów zgodnie z posiadanymi przez nie parametrami.

Słowa kluczowe: mobilne wentylatory nadciśnieniowe, badania mobilnych wentylatorów, właściwości użytkowe wentylatorów

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 16.11.2021; **Zrecenzowany:** 25.11.2021; **Zaakceptowany:** 25.11.2021;

Identyfikatory ORCID autorów: P. Kaczmarzyk – 0000-0003-4310-6086; W. Kłapsa – 0000-0002-6481-587X; P. Janik – 0000-0003-4498-7575; P. Krawiec – 0000-0003-3076-0337;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 74–91, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.5>;

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

Introduction

During fires of buildings, there is a possibility of phenomena that may endanger the safety of its users. One of them is the emission of toxic products of thermal decomposition. This phenomenon is particularly dangerous during fires in which large amounts of plastics [1–3] or impregnated materials [4] are burned. Such materials are commonly found in apartments, offices, warehouses and many other rooms. During their combustion, chemical compounds such as SO₂, NO₂, NO, HCN, CO₂, CO, HCl, HBr and HF may be released, the elevated concentrations of which in the air may be hazardous to human life and health [1–3].

In order to remove harmful products of combustion in buildings, techniques included in the area of tactical ventilation are used. Among them the following stand out [5]:

- anti-ventilation (based on measures related to insulation/fire suppression),
- gravitational ventilation (consisting in the removal of smoke with the use of natural flow phenomena as a result of the existing differences in gas density),
- hydraulic ventilation (carried out by means of a water stream from a nozzle),
- mechanical ventilation – negative pressure (performed with the use of a mobile fan positioned in front of the opening leading to the facility in such a way as to exhaust smoke from inside the facility),
- mechanical ventilation – overpressure (performed with the use of a mobile fan, whose task is to supply fresh air to the interior of the building).

Wprowadzenie

W trakcie pożarów obiektów budowlanych istnieje możliwość wystąpienia zjawisk mogących zagrażać bezpieczeństwu jego użytkowników. Jednym z nich jest emisja toksycznych produktów rozkładu termicznego. Zjawisko to jest szczególnie niebezpieczne podczas pożarów, w których spalane są duże ilości tworzyw sztucznych [1–3] lub materiałów impregnowanych [4]. Takie materiały są powszechnie obecne w mieszkaniach, biurach, magazynach i wielu innych pomieszczeniach. Podczas ich spalania mogą wydzielać się związki chemiczne, takie jak: SO₂, NO₂, NO, HCN, CO₂, CO, HCl, HBr oraz HF, których podwyższone stężenia w powietrzu mogą być niebezpieczne dla życia i zdrowia ludzi [1–3].

W celu usunięcia szkodliwych produktów spalania w obiektach budowlanych stosowane są techniki wpisane w obszar wentylacji taktycznej. Wśród nich wyróżnia się m.in. [5]:

- anty-wentylację (opierającą się na działaniach związanych z izolacją/tłumieniem pożaru),
- wentylację grawitacyjną (polegającą na usuwaniu dymu z wykorzystaniem zjawisk naturalnego przepływu w wyniku istniejących różnic w gęstości gazów),
- wentylację hydrauliczną (realizowaną za pomocą strumienia wody z prądownicy),
- wentylację mechaniczną – podciśnieniową (wykonywaną przy zastosowaniu mobilnego wentylatora ustawionego przed otworem prowadzącym do obiektu w taki sposób, aby wywiewał dym z wnętrza obiektu),
- wentylację mechaniczną – nadciśnieniową (realizowaną przy użyciu mobilnego wentylatora, którego zadaniem jest nawiewanie świeżego powietrza do wnętrza obiektu).

When analysing the current scientific trend, it is noted that in many places around the world scientists conduct numerous studies related to the use of tactical (mechanical) ventilation using mobile fans. The conducted research mainly concerns the assessment of the effectiveness of this type of units in building structures. Citing selected literature, it is worth mentioning the research carried out by Loughheed, who together with his research team [6] published the results of research on the effectiveness of PPV (positive pressure ventilation) in high-rise buildings. The team tested different fan positioning distances in front of the door opening (i.e. 1.2 m; 1.8 m; and 2.8 m). During the tests, researchers confirmed that the amount of air flow was greatest when the fan was located closer to the door, but this did not translate into the stability of the air flow in the facility. In literature, there are also publications related to the assessment of the efficiency of operation of mobile fans with the use of computational fluid dynamics (CFD). Kerber assessed the ability of CFD software to reproduce the flow generated by PPV fans [7]. In his study, he showed that FDS (fire dynamics simulator) belonging to NIST (National Institute of Standards and Technology) ensures the correct representation of the PPV (positive pressure ventilation) flow pattern and corresponds well with the experiments. Ezekoye et al. [8] examined the use of PPV in a three-story building. After performing the experiments, the authors formulated the following conclusions:

1. The distance of the positioning of the fan in front of the door opening influences the amount of air flow generated by the mobile fan.
2. The larger the volume of the facility, the less efficient ventilation with the use of a PPV fan due to the larger area where potential leaks in the structure of the facility may occur.
3. By increasing the size of the outlet opening, the flow loss is reduced and thus the efficiency of the provided ventilation is increased.

Also Panindre [9] conducted studies aimed at assessing the impact of modifying the size of the inlet opening on the efficiency of PPV ventilation. In his research, he showed that the efficiency of a mobile fan can be increased by placing a smoke curtain in the upper area of the surface of the door opening. In his publication, he indicated approximately the value for the ideal fan arrangement, which is 1.2 m of the distance from the opening to the door opening and a smoke curtain covering the upper part of the inlet opening at a height of 0.3 m from the upper edge of the fan.

In addition to the tests on the effectiveness of mobile fans in real conditions, the literature on the subject also includes items describing the evaluation of operating parameters with the use of test stands. Fritsche et al. in their publication [10] indicated that the values of aerodynamic efficiency of mobile fans declared by the manufacturers may differ from the actual ones due to the lack of a standardized research methodology for testing this type of devices. In their works, Fritsche et al. presented a test stand and test methodology allowing to measure the flow rate of PPV fans. Analysing the achievements mentioned above of the scientists in the field of research on mobile positive pressure ventilation fans, it can be noticed that this area of research is currently

Analizując obecny trend naukowy, zauważa się, że w wielu miejscach na świecie naukowcy prowadzą liczne badania związane ze stosowaniem wentylacji taktycznej (mechanicznej) przy użyciu mobilnych wentylatorów. Realizowane badania w głównej mierze dotyczą oceny skuteczności działania tego typu jednostek w obiektach budowlanych. Przytaczając wybrane pozycje literaturowe, należy wspomnieć o badaniach wykonanych przez Loughheed'a, który ze swoim zespołem badawczym [6] opublikował wyniki badań dotyczących skuteczności PPV (ang. *positive pressure ventilation*) w budynkach wysokościowych. Zespół przetestował różne odległości pozycjonowania wentylatora przed otworem drzwiowym (tj. 1,2 m; 1,8 m; i 2,8 m). W trakcie testów badacze potwierdzili, że wielkość przepływu powietrza była największa, gdy wentylator był zlokalizowany bliżej drzwi, niemniej jednak nie przekładało się to na stabilność przepływu powietrza w obiekcie. W literaturze dostępne są również publikacje związane z oceną efektywności działania mobilnych wentylatorów z wykorzystaniem analiz numerycznych (ang. *computational fluid dynamics*, CFD). Kerber ocenił zdolność oprogramowania CFD do odtwarzania przepływu wytwarzanego przez wentylatory PPV [7]. W swoim opracowaniu wykazał, że FDS (ang. *fire dynamics simulator*) należący do NIST (National Institute of Standards and Technology) zapewnia właściwe odzwierciedlenie wzorca przepływu PPV (ang. *positive pressure ventilation*) i dobrze koresponduje z eksperymentami. Ezekoye i in. [8] zbadali zastosowanie PPV w budynku trzykondygnacyjnym. Po wykonaniu eksperymentów autorzy sformułowali następujące wnioski:

1. Odległość pozycjonowania wentylatora przed otworem drzwiowym ma wpływ na wielkość przepływu powietrza generowaną przez mobilny wentylator.
2. Im większa jest objętość obiektu, tym wentylacja z wykorzystaniem wentylatora PPV jest mniej wydajna z uwagi na większy obszar, gdzie mogą występować potencjalne nieszczelności struktury obiektu.
3. Poprzez zwiększenie rozmiaru otworu wylotowego, zmniejsza się straty przepływu, a tym samym zwiększa się efektywność realizowanej wentylacji.

Również Panindre [9] przeprowadził badania mające na celu ocenę wpływu modyfikacji wielkości otworu wlotowego na efektywność wentylacji PPV. W swoich badaniach wykazał, że skuteczność mobilnego wentylatora może wzrosnąć dzięki umieszczeniu kurtyny dymowej w górnym obszarze powierzchni otworu drzwiowego. W swojej publikacji wskazał on w przybliżeniu wartość dla idealnego rozmieszczenia wentylatora, która wynosi 1,2 m odległości od otworu od otworu drzwiowego oraz kurtyny dymowej, zasłaniającej górną część otworu wlotowego, umieszczonej na wysokości 0,3 m od górnej krawędzi wentylatora.

Obok testów dotyczących skuteczności działania mobilnych wentylatorów w warunkach rzeczywistych w literaturze przedmiotu obecne są również pozycje opisujące ocenę parametrów działania z wykorzystaniem stanowisk testowych. Fritsche i in. w swojej publikacji [10] wskazali, że deklarowane przez producentów wartości wydajności aerodynamicznej mobilnych wentylatorów mogą się różnić od rzeczywistych ze względu na brak znormalizowanej metodyki badawczej do testów tego typu urządzeń. W swoich pracach Fritsche i in. zaprezentowali stanowisko badawcze i metodykę

developing dynamically. There is no doubt that one of the determinants of its development is the constantly progressing technology, providing new design solutions, with particular emphasis on various types of power supply and systems directing the air stream flow. Due to the nature of the use of this type of devices, it is very important that the parameters determining their effectiveness are properly verified (based on validated testing methodologies), and the process of evaluating the results is based on useful and measurable criteria. In Poland so far no requirements and no dedicated test methods have been defined to confirm that individual types of fans have certain technical and operational features that determine the effectiveness of their operation during fires. Therefore, this article attempts to present key requirements for these devices that they should meet, and the scope of tests that would enable confirmation of compliance with these requirements.

Mobile fans – construction and features accompanying their operation

When describing the construction of mobile positive pressure ventilation fans, it should be noted that their design is generally similar in terms of the components. Devices of this type are made of:

- rotor (usually made of plastic),
- rotor housing (metal or plastic),
- drive system (electric, combustion or hydraulic) and dedicated accessories,
- other elements: frames, fasteners, carrying handles, mechanism for changing the angle of air flow, transport wheels.

Despite the similarities mentioned above, individual fans differ in terms of quality and technical details regarding the manufacture of the elements (e.g. shape and size of the rotor blades) from which they are made. These differences depend on the technological advancement of their production and assembly processes. As a result, the technical and operational parameters of the individual types of the considered devices are also different. Knowledge of the specificity of the parameters in question is the starting point for the analysis, the effect of which is to develop criteria for the optimal use of the fans in question in rescue and firefighting operations, e.g. in the context of their proper setting (positioning). The key factors influencing the performance of individual components of the considered devices are discussed below.

Rotating element and rotor housing

When analysing the elements responsible for pressing air through the axial impellers, it should be noted that these types of components may differ in the material of manufacture, as well

as badań pozwalające dokonać pomiaru wielkości przepływu wentylatorów PPV. Analizując przytoczone powyżej dokonania naukowców w obszarze badań mobilnych wentylatorów nadciśnieniowych, można zauważyć, że aktualnie ten obszar badań dynamicznie się rozwija. Nie ulega wątpliwości, iż jednym z determinantów jego rozwoju jest dokonujący się ciągle postęp technologii, dostarczającej nowych rozwiązań konstrukcyjnych, ze szczególnym uwzględnieniem różnych rodzajów zasilania oraz systemów kierujących przepływ strugi powietrza. Z uwagi na charakter wykorzystania tego typu urządzeń bardzo ważne jest, aby parametry decydujące o ich skuteczność działania były odpowiednio zweryfikowane (na podstawie zwalidowanych metodyk badawczych), a proces oceny wyników przebiegał w oparciu o użyteczne i mierzalne kryteria. W Polsce do tej pory nie określono wymagań oraz dedykowanej metody badań potwierdzających posiadanie przez poszczególne typy wentylatorów określonych cech techniczno-użytkowych, warunkujących skuteczność ich pracy w trakcie pożarów. W związku z powyższym w niniejszym artykule podjęto próbę przedstawienia w odniesieniu do tych urządzeń kluczowych wymagań, jakie powinny one spełniać oraz zakresu badań, które umożliwiłyby potwierdzenie spełnienia przedmiotowych wymagań.

Mobilne wentylatory – budowa oraz cechy towarzyszące eksploatacji

Opisując budowę mobilnych wentylatorów nadciśnieniowych, należy zaznaczyć, że ich konstrukcja pod względem elementów składowych jest na ogół podobna. Urządzenia tego typu zbudowane są z:

- wirnika (wytworzonego najczęściej z tworzywa sztucznego),
- obudowy wirnika (wykonywanej z metalu lub tworzywa sztucznego),
- układu napędowego (elektrycznego, spalinowego lub hydraulicznego) oraz dedykowanego osprzętu,
- pozostałych elementów: ramy, mocowania, uchwytów do przenoszenia, mechanizmu do zmiany kąta nawiewu strugi powietrza, kół transportowych.

Pomimo powyższych podobieństw, poszczególne wentylatory różnią się między sobą jakością oraz detalami technicznymi dotyczącymi wykonania elementów (np. kształtu i wielkości łopatek wirnika), z których są wyprodukowane. Różnice te zależą od stopnia zaawansowania technologicznego procesów ich produkcji oraz montażu. W efekcie różne są też parametry techniczno-użytkowe poszczególnych typów rozpatrywanych urządzeń. Znajomość specyfiki przedmiotowych parametrów jest punktem wyjścia do analizy, której efektem ma być opracowanie kryteriów optymalnego wykorzystania omawianych wentylatorów w działaniach ratowniczo-gaśniczych, m.in. w kontekście ich właściwego ustawienia (pozycjonowania). Poniżej omówiono kluczowe czynniki wpływające na charakterystykę pracy poszczególnych elementów składowych rozpatrywanych urządzeń.

Element wirujący i obudowa wirnika

Analizując elementy odpowiedzialne za tłoczenie powietrza przez wirniki osiowe, należy wskazać, że tego typu komponenty mogą różnić się materiałem wykonania, a także liczbą i wielkością

as the number and size of the blades. The interaction of the moving blade with the jet is determined by its profile, chord and inclination angle in relation to the spinning plane. The described features of the impeller have a significant impact on the efficiency of the fan operation, because they determine the force with which the device will act on the air stream. In turn, when discussing the external structure of the fan rotor casing, it should be mentioned that it is usually in the form of a steel mesh (located on the front and rear surfaces of the rotor) and a sheet – securing the rotor in the circumference. On the market there are also fans with housings made of plastic.

Fan units are divided according to the type of used rotating element [11]. This is how the following are distinguished:

- traditional fans generating a cone-shaped stream,
- “turbo” fans, which, due to the presence of specially shaped blades in combination with a dedicated housing (also acting as a flow straightener), give the air stream a shape resembling a cylinder.

The visualization of the air stream shapes that can be generated by the PPV fan is shown in Figure 1, and the photos of representative fan units (conventional and “turbo”) are presented in Figure 2.

łopatek. Interakcję ruchomej łopatką ze strumieniem determinuje jej profil, cięciwa i kąt inklinacji względem płaszczyzny wirowania. Opisane cechy wirnika mają znaczący wpływ na skuteczność działania wentylatora, ponieważ warunkują one siłę, z jaką urządzenie oddziaływać będzie na strugę powietrza. Z kolei omawiając konstrukcję zewnętrzną obudowy wirnika wentylatorów, należy wspomnieć, że na ogół ma ona postać stalowej siatki (usytuowanej na frontowej i tylnej powierzchni wirnika) oraz blachy – zabezpieczającej wirnik w obwodzie. Na rynku dostępne są również wentylatory posiadające obudowy wykonane z tworzywa sztucznego.

Jednostki wentylatorowe dzieli się ze względu na rodzaj zastosowanego elementu wirującego [11]. W ten sposób wyróżnia się:

- wentylatory tradycyjne, generujące strugę kształtem przypominającą stożek,
- wentylatory typu „turbo”, które ze względu na obecność specjalnie uformowanych łopatek w połączeniu z dedykowaną obudową (pełniącą również rolę prostownicy przepływu), nadają strudze powietrza kształt przypominający walec.

Wizualizację kształtów strugi powietrza, jakie mogą zostać wygenerowane przez wentylator PPV, przedstawia rycina 1, a zdjęcia reprezentatywnych jednostek wentylatorowych (konwencjonalnej oraz typu „turbo”) zostały zaprezentowane na rycinie 2.

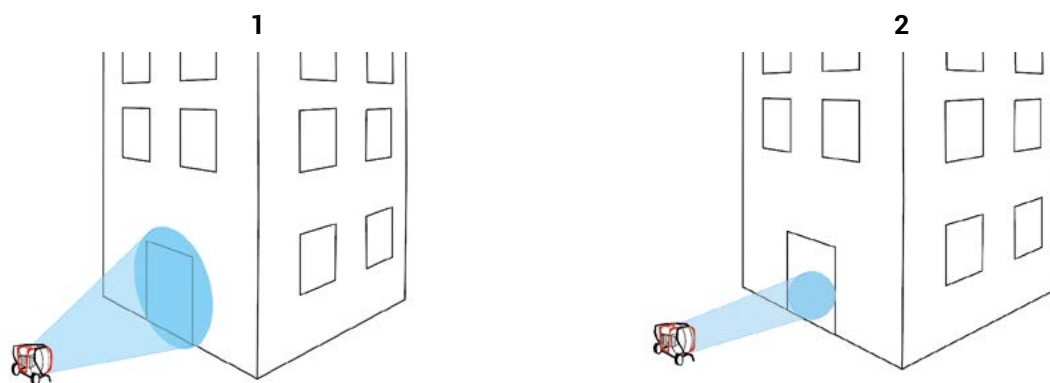


Figure 1. Visualization of the shape of the blown stream generated by mobile positive pressure ventilation fans. On the left (1) a conical stream, on the right (2) a cylindrical stream

Rycina 1. Wizualizacja kształtu nawiewanej strugi generowanej przez mobilne wentylatory nadciśnieniowe. Po lewej (1) kształt strugi stożkowy, po prawej (2) struga w kształcie walca

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.



Figure 2. A photo showing an example of a conventional (on the left) and turbo fan (on the right).

Rycina 2. Fotografia przedstawiająca przykładowy wentylator konwencjonalny (po lewej) oraz typu turbo (po prawej).

Source / Źródło: [12–13].

When analysing the issues related to the structure of the rotor and the formed air stream, it should be mentioned that the type of fan, with particular emphasis on the parameters influencing the shape and speed profile, will also determine a very important parameter – the positioning distance of the unit in front of the door opening. The literature on the subject [5–6, 9, 11, 14–15] includes the results of empirical research on the basis of which recommendations were developed regarding the optimal positioning of conventional and “turbo” units. In case of conventional fans, it has been shown that the fan (depending on the type of the unit) should be positioned at a distance of 2 to 5 m from the inlet, respectively, at an angle of 15 to 30 degrees, so that the stream tightly covers the said opening. With regard to the positioning of the “turbo” fans, the parameters mentioned above declared by the manufacturers are within the following ranges: distance: 3–7 m, angle of inclination: 8–25°. The issues related to the positioning distance of the fan are very important in the context of implementing effective tactical ventilation. Properly selected distance and angle of inclination of the unit allows to support certain ventilation techniques, using the attribute of the shape of the generated stream.

Drive system

Another important component of a mobile fan, determining its efficiency, is the drive unit with which it is equipped. On the market of mobile PPV fans, there are three types of drive units, respectively: internal combustion engines (the most common solution), electric motors and hydraulic (water) drive.

It is worth noting that a vast majority of fan units do not have drive gears – the fan rotor is mounted directly on the drive shaft. However, there are only a few units on the market equipped with cable transmissions. Internal combustion engines are characterized by the highest power transferred to the fan shaft – in the range from 2 to 18 [KM]. An undoubted advantage of using this type of units is the possibility of their convenient movement in the area of the rescue operation area. To operate such a unit, no additional infrastructure is needed to power the drive (electricity or water stream).

When considering the disadvantages related to the operation of internal combustion engines, it should be remembered that this type of units – compared to other drives – generate the highest noise level, which is an undesirable factor during the carried out activities (it may hinder communication between rescuers). Moreover, the exhaust fumes produced as a result of engine operation, present in the immediate area of the fan, may cause discomfort to the rescuers, and in the event of prolonged exposure (indoors), due to the content of carbon monoxide, may cause poisoning. In order to reduce the adverse effect of exhaust gases generated by a working engine, it is possible to use a discharge conduit, which – appropriately directed – will slightly reduce the risk of inhaling carbon monoxide. Still with the issues related to fans equipped with combustion engines, the requirements for their proper operation and maintenance should also be mentioned. Assessment of the oil level (preferably before each start-up), cyclical oil change or periodic engine inspections are

Analizując zagadnienia dotyczące konstrukcji wirnika oraz formowanej strugi powietrza, należy wspomnieć, że typ wentylatora, ze szczególnym uwzględnieniem parametrów wpływających na kształt i profil prędkości, będzie determinował również bardzo istotny parametr – dystans pozycjonowania jednostki przed otworem drzwiowym. W literaturze przedmiotu [5–6, 9, 11, 14–15] dostępne są wyniki badań empirycznych, na podstawie których opracowano rekomendacje w zakresie optymalnego sytuowania jednostek określanymi mianem konwencjonalnych oraz typu „turbo”. W przypadku wentylatorów konwencjonalnych wykazano, że wentylator (w zależności od typu jednostki) powinien być pozycjonowany w odległościach odpowiednio od 2 do 5 m od otworu wlotowego, przy kącie nachylenia od 15 do 30 stopni, tak aby struga obejmowała ściśle wspomniany otwór. W odniesieniu do pozycjonowania wentylatorów typu „turbo”, ww. parametry deklarowane przez producentów zawierają się odpowiednio w przedziałach: odległość: 3–7 m, kąt nachylenia: 8–25°. Zagadnienia dotyczące odległości pozycjonowania wentylatora są bardzo istotne w kontekście realizowania efektywnej wentylacji taktycznej. Właściwie dobrany dystans i kąt nachylenia jednostki pozwala wspierać pewne techniki wentylacji, wykorzystujące atrybut kształtu wytworzonej strugi.

Układ napędowy

Kolejnym ważnym komponentem mobilnego wentylatora, warunkującym jego efektywność, jest jednostka napędowa, w jaką został wyposażony. Na rynku mobilnych wentylatorów PPV wyróżnia się odpowiednio trzy typy jednostek napędowych: silniki spalinowe (najpowszechniejsze rozwiązanie), silniki elektryczne oraz napęd hydrauliczny (wodny).

Na uwagę zasługuje fakt, że zdecydowana większość jednostek wentylatorowych nie posiada przekładni napędowych – wirnik wentylatora osadzany jest bezpośrednio na wale napędowym. Na rynku są jednak dostępne nieliczne jednostki wyposażone w przekładnię cięgnową. Silniki spalinowe charakteryzują się największą mocą przekazywaną na wał wentylatora – w zakresie od 2 do 18 [KM]. Niewątpliwą zaletą stosowania tego typu jednostek jest możliwość ich wygodnego przemieszczania podczas akcji ratowniczej. Do eksploatacji takiej jednostki, nie jest potrzebna dodatkowa infrastruktura, niezbędna do zasilania napędu (energia elektryczna czy strumień wody).

Rozpatrując wady związane z eksploatacją silników spalinowych, należy pamiętać, że tego typu jednostki – w porównaniu do innych napędów – generują największy poziom hałasu, który jest niepożądanym czynnikiem w trakcie prowadzonych działań (może utrudniać komunikację pomiędzy ratownikami). Ponadto spaliny produkowane w wyniku pracy silnika, obecne w bezpośrednim obszarze wentylatora, mogą być przyczyną dyskomfortu ratowników, a przy dłuższym czasie ekspozycji (wewnątrz pomieszczeń), w wyniku zawartości tlenu węgla, mogą spowodować zatrucie. W celu zredukowania efektu niekorzystnego oddziaływania gazów spalinowych, generowanych przez pracujący silnik, istnieje możliwość zastosowania przewodu odprowadzającego, który – odpowiednio ukierunkowany – pozwoli nieco zmniejszyć zagrożenie powodowane wdychaniem tlenu węgla. Pozostając jeszcze przy kwestiach dotyczących wentylatorów

just some of the required activities to ensure the correct operation of the combustion engine.

Another type of drive for mobile fans are electric motors powered by various sources of energy: single-phase (230V), three-phase (400V) or accumulator batteries. As a rule, the used electric motors are characterized by lower power compared to internal combustion engines. This, in turn, also affects the aerodynamic efficiency achieved. Describing the advantages of the electric drive, it should be noted that it generates slightly lower noise values and is not accompanied by exhaust emissions. The absence of harmful combustion products means that electric fans can also be used to supply air to hard-to-reach places where the injured may be (e.g. wells). Electric units are also lighter in weight and dimensions, making them easier to place and transport in fire vehicles. On the other hand, the disadvantages that may accompany the operation of electric fans include the limitations of battery operation time and some difficulties in the possibility of moving the unit (if the fan is powered from the mains). In addition, when carrying out the activities, attention should be paid to the substrate on which the power cord may be located. Sharp edges present in the substrate can damage the cable sheath, potentially endangering the rescuers and the bystanders.

The third type of power used to drive mobile fans is water propulsion. The principle of operation of this drive is to connect the fan to a section of the hose line, where the pumped water drives the impeller, and then returns to the tank or is directed to another location. It should be noted that this type of unit generates performance in terms of the efficiency of forced air similar to that of internal combustion or electric engines, with much lower noise emissions. Water driven fans can be successfully used in spaces where explosive atmospheres are present. The inconvenience of operating such a unit is the fact that the spacing of water-driven fans takes much longer, which may turn out to be critical in the context of carrying out rescue operations in a time pressure situation (which often occurs during fires). The aforementioned inconvenience should also be taken into account when it is necessary to change the location of the fan during the action.

Other elements

The basic structural elements determining the operating parameters of positive pressure ventilation fans have been discussed above. They are complemented by:

- mechanism for changing the angle of the air stream – this system is an essential part of the fan, conditioning the effectiveness of ventilation; according to a study by Cimolino et al. [14], changing the angle of the fan impeller can increase the airflow rate by up to 30%;
- transport wheels – in case of fan units with a greater

wyposażonych w silniki spalinowe, należy również wspomnieć o wymaganiach w zakresie prawidłowej ich eksploatacji i konserwacji. Ocena poziomu oleju (najlepiej przed każdym uruchomieniem), cykliczna wymiana oleju czy wykonywanie okresowych przeglądów silnika to tylko niektóre wymagane czynności, zapewniające prawidłowość działania silnika spalinowego.

Innym rodzajem napędu mobilnych wentylatorów są silniki elektryczne, zasilane z różnych źródeł energii: z sieci napięciem jednofazowym (230V), trójfazowym (400V), bądź z baterii akumulatorowych. Co do zasady, stosowane silniki elektryczne charakteryzują się mniejszą mocą w porównaniu do silników spalinowych. To z kolei ma przełożenie również na osiąganą wydajność aerodynamiczną. Opisując zalety elektrycznego napędu, należy zauważyć, że generuje on nieco mniejsze wartości hałasu oraz nie towarzyszy mu emisja spalin. Brak szkodliwych produktów spalania sprawia, że wentylatory elektryczne mogą być wykorzystywane również na potrzeby dostarczania powietrza do trudno dostępnych miejsc, gdzie mogą znajdować się poszkodowani (np. do studni). Jednostki elektryczne charakteryzują się także mniejszym ciężarem oraz wymiarami, dzięki czemu łatwiejsze jest ich umieszczenie i transport w pojazdach pożarniczych. Z kolei wśród wad, które mogą towarzyszyć pracy wentylatorów elektrycznych, należy wskazać ograniczenia czasu pracy akumulatorów oraz pewne utrudnienia w możliwości przemieszczania jednostki (jeśli wentylator zasilany jest z sieci elektrycznej). Ponadto w trakcie realizacji działań, należy zwrócić uwagę na podłoże, na którym może znajdować się kabel zasilający. Ostre krawędzie obecne w podłożu mogą uszkodzić powłokę kabla, co potencjalnie tworzy zagrożenie dla ratowników i osób postronnych.

Trzecim typem zasilania wykorzystywanym do napędzania mobilnych wentylatorów jest napęd wodny. Zasada działania tego napędu polega na podłączeniu wentylatora do odcinka linii węzowej, gdzie tłoczona woda napędza wirnik, a następnie wraca do zbiornika lub jest kierowana w inne miejsce. Należy wskazać, że tego typu jednostki wytwarzają osiągi w zakresie wydajności tłoczonego powietrza podobne jak w przypadku silników spalinowych czy elektrycznych, przy znacznie mniejszej emisji hałasu. Wentylatory z napędem wodnym mogą być z powodzeniem stosowane w przestrzeniach, w których obecne są atmosfery wybuchowe. Niedogodnością eksploatacji takiej jednostki jest fakt, że rozstawienie wentylatorów z napędem wodnym trwa znacznie dłużej, co może okazać się krytyczne w kontekście prowadzenia działań ratowniczych w sytuacji presji czasowej (a taka występuje często w trakcie pożarów). Wspomnianą niedogodność należy także brać pod uwagę w przypadku konieczności zmiany miejsca ustawienia wentylatora w czasie akcji.

Pozostałe elementy

Powyżej omówiono podstawowe elementy konstrukcyjne, warunkujące parametry pracy wentylatorów nadciśnieniowych. Ich dopełnienie stanowią:

- mechanizm zmiany kąta nawiewu strugi powietrza – system ten jest istotną częścią wentylatora, warunkującą efektywność realizowanej wentylacji; według opracowania wykonanego przez Cimolino i in. [14], zmiana kąta ustawienia wirnika wentylatora może zwiększyć wielkość nawiewu nawet o 30%;

- mass (exceeding 35 kg), the fans can be equipped with transport wheels enabling efficient movement within the area of the rescue operation;
- carrying handles – they are an indispensable element of the fan's equipment for its correct positioning and moving in difficult terrain (e.g. between the storeys of a building).

Technical parameters of mobile fans and methods of their verification

Taking into account the dedicated purpose of using mobile fans, it should be pointed out that this type of unit – as mentioned earlier – should be characterized by such features as: mobility, durability, reliability and efficiency. To confirm the characteristics mentioned above, it is necessary to select appropriate testing procedures. Selected testing methodologies are characterized below, together with an attempt to indicate recommendations in the context of their usefulness for the purpose of assessing the aforementioned functional features of mobile positive pressure ventilation fans.

Aerodynamic efficiency

When attempting to quantify the above, generally presented features, which are important from the point of view of the operation of mobile fans, it should be stated that the most important feature for this type of units (which determines mainly the effectiveness of operation) is aerodynamic efficiency. It is a component of such elements as:

- engine power (the indicated parameter depends in particular on the rotational speed of the rotor and the force transmitted to the rotor blades),
- rotor diameter (the larger the area of the blades, the greater the possibility of conveying air masses),
- the method of making the rotor (with particular emphasis on the precision of the blade geometry, in particular its leading edge),
- other components, e.g. the rotor housing (which, due to its design, can act as a guide shaping the flow of the generated air stream).

Despite the apparent simplicity of operation of a mobile fan (connection of the drive system with the rotor mounted on the frame), it should be emphasized that the phenomena related to the generation of flows intended for effective ventilation are quite complex. It is worth noting that the field of science – fluid mechanics – is one of the most complex problems in physics – especially when considering turbulent flows of fluids (in this case gases) with different compositions, densities and temperatures. As for the quality of the pressed air stream – understood as its ability to generate flow through the ventilated volumes – it should be noted that it depends primarily on the rush stream of the generated stream. Fan units producing a stream with a lower degree of turbulence, due to the reduction of the stream loss

- koła transportowe – w przypadku jednostek wentylatorowych o większej masie (przekraczającej 35 kg) wentylatory mogą być wyposażone w koła transportowe umożliwiające sprawne przemieszczanie w obszarze akcji ratowniczej;
- uchwyty do przenoszenia – stanowią niezbędny element wyposażenia wentylatora do jego prawidłowego pozycjonowania oraz przemieszczania w trudnym terenie (np. pomiędzy kondygnacjami budynku).

Parametry techniczne mobilnych wentylatorów i metody ich weryfikacji

Biorąc pod uwagę dedykowane przeznaczenie stosowania mobilnych wentylatorów, należy wskazać, że tego typu jednostki – o czym nadmieniano już wcześniej – powinny charakteryzować się cechami, takimi jak: mobilność, trwałość, niezawodność oraz skuteczność działania. Aby potwierdzić ww. cechy, niezbędne jest wytypowanie odpowiednich procedur badawczych. Poniżej scharakteryzowano wybrane metodyki badawcze z jednoczesną próbą wskazania rekomendacji w kontekście ich przydatności na potrzeby oceny wspomnianych cech użytkowych mobilnych wentylatorów nadciśnieniowych.

Wydajność aerodynamiczna

Podjęwszy próbę kwantyfikacji (zwartościowania) powyższych, ogólnie przedstawionych cech, które są istotne z punktu widzenia eksploatacji mobilnych wentylatorów, należy stwierdzić, że najważniejszą cechą dla tego typu jednostek (determinującą w głównej mierze skuteczność działania) stanowi wydajność aerodynamiczna. Jest ona składową takich elementów, jak:

- moc silnika (od wskazanego parametru zależy w szczególności prędkość obrotowa wirnika i siła przekazywana na łopaty wirnika),
- średnica wirnika (im większa powierzchnia łopatek, tym większa możliwość tłoczenia mas powietrza),
- sposób wykonania wirnika (ze szczególnym uwzględnieniem precyzji wykonania geometrii łopaty, a w szczególności jej krawędzi natarcia),
- inne komponenty, np. obudowa wirnika (która ze względu na swoją konstrukcję może pełnić rolę kierownicy kształtującej przepływ generowanej strugi powietrza).

Pomimo pozornej prostoty działania mobilnego wentylatora (połączenie układu napędowego z wirnikiem osadzonego na ramie) należy podkreślić, że zjawiska związane z generowaniem przepływów przeznaczonych do skutecznej wentylacji są dość złożone. Warto przy tym zauważyć, że dziedzina nauki – mechanika płynów – stanowi jedno z najbardziej złożonych zagadnień fizyki – w szczególności, jeśli rozpatrywane są przepływy turbulentne płynów (w tym przypadku gazów) o zróżnicowanych składach, gęstości i temperaturze. Jeśli chodzi o kwestie jakości tłoczonej strugi powietrza – rozumianej jako jej zdolność do wytwarzania przepływu przez objętości wentylowane – należy nadmienić, że jest ona zależna przede wszystkim od strumienia pędu generowanej strugi. Jednostki wentylatorowe wytwarzające strugę o mniejszym

velocity, will be able to forcing air masses over longer distances. Fans, characterized by a significant flow turbulence, will work less effectively – the stream they generate in the presence of turbulence (where the mass of the air stream increases by strong induction of ambient air) will reduce speed much faster and may change the direction of the flow. With regard to the parameter of the aerodynamic performance, the methodology by which the indicated parameter can be determined should also be mentioned. There are many methodologies that can be used to test aerodynamic performance. Depending on which methodology is selected for testing, the obtained results may differ significantly, and their incorrect interpretation may mislead potential users in the context of their actual usefulness in rescue operations. Therefore, it is very important that the selected methodology most accurately reflects the potential operating conditions of the mobile fan during rescue operations. Modified traversing method (i.e. measurement of the flow velocity in close proximity to the rotor), evaluation of the air supply in open flow, tests according to PN-EN ISO 5801 or ANSI/AMCA 240-15, are just some of the methods that can be used to evaluate the performance aerodynamics of the mobile fans.

For example, as a result of measuring the flow velocity with an anemometer in the immediate area of the fan rotor, using the previously mentioned traverse method, dividing the surface of the rotor into equal rings [16–17], the amount of air flow just behind the rotor is assessed. On the other hand, the indicated method does not take into account the losses that may occur during the transport of the air stream over a specified distance. As a result of this method of measurement, the highest velocity values will be obtained. Moreover, the described measurement is burdened with the risk of significant inaccuracies due to the possible fluctuations and uneven flows of the air stream. The method in question does not allow for the assessment of the air stream additionally induced by the stream mixing with the environment – this is because this phenomenon occurs at a certain distance behind the fan. The above conditions justify the lack of recommendation of such a measurement method to assess the aerodynamic efficiency of the considered devices.

Another test that can be performed to assess the aerodynamic performance of mobile fans is the study of speed profiles at varying distances from the fan. This test allows you to evaluate the amount of air flow in an open flow. The test method consists of measuring (at appropriately defined points) the value of the air stream velocity generated by the fan, which is set at a certain distance in front of the test stand. The undoubted advantage of the described test is the possibility of introducing obstacles (e.g. a fragment of a wall with an opening) between the fan and the measuring plane. This gives an opportunity to estimate the amount of flow in conditions similar to the real ones. It is also possible to estimate the value of the air mass flux transported inside a building, as well as to estimate the losses caused by the presence of a given obstacle. Additionally, the indicated test takes into account the geometric parameters related to the fan positioning, i.e. the setting distance or the angle of the impeller inclination. Recognizing the advantages of the above method, it was decided to recommend its use for the purpose of assessing

stopniu turbulentności, dzięki ograniczeniu wytracania prędkości strugi, będą zdolne do przetłaczania mas powietrza na większe odległości. Wentylatory, charakteryzujące się znaczną burzliwością przepływu, będą pracować mniej efektywnie – struga, którą wytworzą w obecności turbulencji (gdzie nastąpi wzrost masy strumienia powietrza poprzez silną indukcję powietrza z otoczenia), znacznie szybciej będzie wytracać prędkość, a ponadto może zmienić kierunek przepływu. W odniesieniu do parametru wydajności aerodynamicznej należy również wspomnieć o metodyce, w oparciu o którą wskazany parametr może być wyznaczony. Otóż istnieje wiele metodyk, które można wykorzystać na potrzeby badania wydajności aerodynamicznej. W zależności od tego, jaka metodyka zostanie wytypowana do badań, uzyskane wyniki mogą znacząco się różnić, a ich niewłaściwa interpretacja może wprowadzać potencjalnych użytkowników w błąd w kontekście rzeczywistej przydatności w działaniach ratowniczych. Dlatego bardzo ważne jest, aby wytypowana metodyka jak najwierniej odzwierciedlała potencjalne warunki pracy mobilnego wentylatora podczas działań ratowniczych. Zmodyfikowana metoda trawersowania (czyli pomiar prędkości przepływu w bliskiej odległości od wirnika), ocena wielkości nawiewu w przepływie otwartym, badania wg PN-EN ISO 5801 lub wg ANSI/AMCA 240-15, to tylko niektóre metody, jakie mogą zostać wykorzystane do oceny wydajności aerodynamicznej mobilnych wentylatorów.

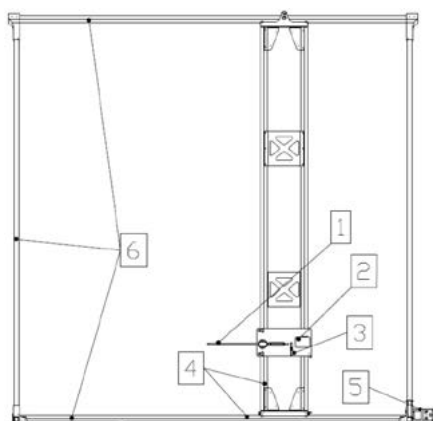
Na przykład w wyniku pomiaru prędkości przepływu za pomocą anemometru w bezpośrednim obszarze wirnika wentylatora, z wykorzystaniem przywołanej już wcześniej metody trawersowania, dzielącej płaszczyznę powierzchni wirnika na równe pierścienie [16–17], dokonuje się oceny wielkości przepływu powietrza tuż za wirnikiem. Natomiast wskazana metoda nie uwzględnia w żaden sposób strat, jakie mogą wystąpić podczas transportu strugi powietrza na określoną odległość. W efekcie takiego sposobu pomiaru zostaną uzyskane największe wartości prędkości. Ponadto opisany pomiar obarczony jest ryzykiem wystąpienia znaczącej niedokładności z uwagi na mogące pojawić się fluktuacje i nierównomierne napływy strugi powietrza. Przedmiotowa metoda nie pozwala również ocenić strumienia powietrza dodatkowo zaindukowanego przez strugę mieszącą się z otoczeniem – dzieje się tak, ponieważ zjawisko to zachodzi na określonym dystansie za wentylatorem. Powyższe uwarunkowania uzasadniają brak rekomendacji takiego sposobu pomiaru do oceny wydajności aerodynamicznej rozpatrywanych urządzeń.

Innym testem, który może zostać wykonany na potrzeby oceny wydajności aerodynamicznej mobilnych wentylatorów, jest badanie profili prędkości w zmiennych odległościach od wentylatora. Pozwala ono ocenić wielkość przepływu strugi powietrza w przepływie otwartym. Metoda badania polega na zmierzeniu (w odpowiednio zdefiniowanych punktach) wartości prędkości strugi powietrza generowanej przez wentylator, który ustawiany jest w określonej odległości przed stanowiskiem badawczym. Niewątpliwą zaletą opisywanego badania jest możliwość wprowadzenia przeszkód (np. fragmentu ściany z otworem) pomiędzy wentylator a płaszczyznę pomiarową. Daje to sposobność oceny wielkości przepływu w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Istnieje również możliwość oszacowania wartości strumienia mas powietrza transportowanych do wnętrza obiektu, jak również oszacowania

the operational parameters of tactical fans, with the provision that the measurement results obtained in this way (in open flow) should not be used in the context of the assessment of the pressure values that may be generated inside the volume of a facility.

Following the above recommendation, CNBOP-PIB prepared a concept of an appropriate test stand, the diagram of which is presented in Figure 3. It includes such components as:

- 1 – a measuring probe for the assessment of flow velocity, mounted on the transporting element;
- 2 – measurement module enabling the acquisition of measurement data;
- 3 – laser pointer for assessing the positioning distance of the mobile fan in front of the test stand;
- 4 – vertical and horizontal guides for moving the transporting element;
- 5 – drive system;
- 6 – station body;
- 7 – fan;
- 8 – platform for PPV fan positioning.



strat powodowanych przez obecność danej przeszkody. Dodatkowo wskazany test uwzględni parametry geometryczne związane z pozycjonowaniem wentylatora, tj. odległość ustawienia czy kąt nachylenia wirnika. Dostrzegając zalety powyższej metody, postanowiono rekomendować jej wykorzystanie na potrzeby oceny parametrów użytkowych wentylatorów taktycznych, z zastrzeżeniem, że uzyskanych w ten sposób wyników pomiarów (w przepływie otwartym) nie należy wykorzystywać w kontekście oceny wartości ciśnień, jakie mogą zostać wygenerowane wewnątrz kubatury obiektu.

W ślad za powyższą rekomendacją w CNBOP-PIB przygotowano koncepcję odpowiedniego stanowiska badawczego, którego schemat został przedstawiony na rycinie 3. W jego ramach przewidziano takie elementy składowe, jak:

- 1 – sonda pomiarowa do oceny prędkości przepływu, osadzona na elemencie transportującym;
- 2 – moduł pomiarowy umożliwiający akwizycję danych pomiarowych;
- 3 – wskaźnik laserowy do oceny odległości pozycjonowania mobilnego wentylatora przed stanowiskiem badawczym;
- 4 – pionowe i poziome prowadnice do przemieszczania elementu transportującego;
- 5 – układ napędowy;
- 6 – korpus stanowiska;
- 7 – wentylator;
- 8 – podest do pozycjonowania wentylatora.

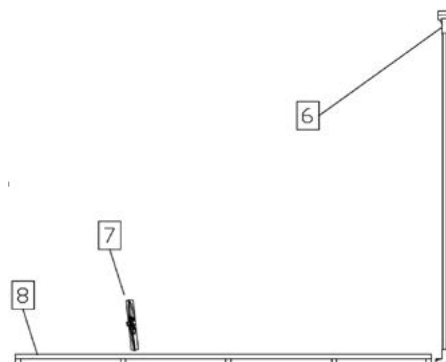


Figure 3. Diagram of a test stand for measuring the distribution of stream velocity generated by mobile positive pressure ventilation fans – front view (on the left) and side view (on the right)

Rycina 3. Schemat stanowiska badawczego do pomiaru rozkładu prędkości strugi generowanej przez mobilne wentylatory nadciśnieniowe – widok od frontu (po lewej) oraz widok boczny (po prawej)

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Using the indicated stand, it will be possible to assess the speed of the air stream generated by a mobile fan in three dimensions (length, height and width). The functionality of the stand will enable the assessment of the size of the airflow streams generated by the mobile fans, taking into account the variable test parameters, i.e. different types of fans, variable positioning conditions, the presence of obstacles, etc. The device will also enable the assessment of the shape of the air stream and the area of effective distribution. In addition, the test stand under development will allow to measure the flow rate in field conditions

Za pomocą wskazanego stanowiska możliwa będzie ocena prędkości przepływu strugi powietrza generowanej przez mobilny wentylator w trzech wymiarach (długość, wysokość i szerokość). Funkcjonalność stanowiska umożliwi ocenę wielkości strumieni przepływu strugi powietrza generowanej przez mobilne wentylatory przy uwzględnieniu zmiennych parametrów badań, tj. różne typy wentylatorów, zmienne warunki pozycjonowania, obecność przeszkód itd. Dzięki zastosowanej aparaturze będzie można dokonać oceny kształtu strugi powietrza, powierzchni efektywnego rozkładu. Dodatkowo opracowywane stanowisko badawcze pozwoli

inside the existing buildings on the surface of door and/or window openings.

A test method based on PN-EN ISO 5801 Fans – Performance testing using standardized airways [18] is also used to assess the aerodynamic efficiency of the fans. The scheme of the test stand (channel configuration, type B) described by this standard is shown in Figure 4. In the adopted layout of the stand, the following equipment was assumed:

- 1 – fan positioning area;
- 2 – simulation section (channel confusor designed to adjust the dimensions of the fan rotor to the diameter of the test channel);
- 3 – round stand channel/static pressure measurement section;
- 4 – round channel equipped with a star-shaped flow straightener;
- 5 – circular channel, area for static and dynamic pressure measurement;
- 6 – fan air flow throttling section.

na przeprowadzenie pomiarów wielkości przepływu w warunkach poligonowych wewnątrz istniejących obiektów budowlanych na powierzchni otworów drzwiowych i/lub okiennych.

Do oceny wydajności aerodynamicznej wentylatorów stosowana jest również metoda badawcza realizowana w oparciu o standard PN-EN ISO 5801 Wentylatory – Badania właściwości użytkowych z zastosowaniem stanowisk znormalizowanych [18]. Schemat stanowiska badawczego (konfiguracja kanałowa, typ B), jakie opisuje ten standard, przedstawiono na rycinie 4. W przyjętym układzie stanowiska założono jego następujące wyposażenie:

- 1 – obszar pozycjonowania wentylatora;
- 2 – sekcja symulacyjna (konfuzor kanałowy mający na celu dopasować wymiary wirnika wentylatora do średnicy kanału badawczego);
- 3 – okrągły kanał stanowiska / sekcja pomiaru ciśnienia statycznego;
- 4 – okrągły kanał wyposażony w prostownicę przepływu w kształcie gwiazdy;
- 5 – okrągły kanał obszar pomiaru ciśnienia statycznego oraz dynamicznego;
- 6 – sekcja dławienia przepływu powietrza wentylatora.

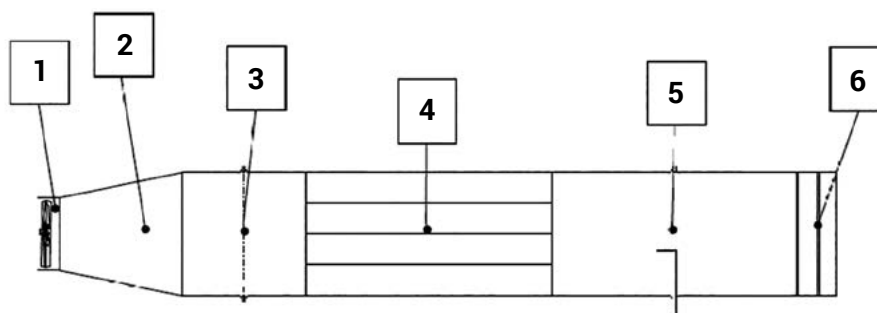


Figure 4. Diagram of the test stand constructed on the basis of the requirements of PN-EN ISO 5801 test standard (side view)

Rycina 4. Schemat stanowiska badawczego wykonanego w oparciu o wymagania standardu badawczego PN-EN ISO 5801 (widok boczny)

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

During the test, the fan is mounted directly to the test channel inlet using a confuser that adjusts the rotor size to the test channel diameter. It should be noted here that PN-EN ISO 5801 (configuration of the stand in the form of a pipe channel) defined the relationship between the minimum and maximum diameter of the rotor that could be adapted to the test channel. Due to the indicated limitation, in order to carry out testing on the aerodynamic efficiency of the fan family (with a variable rotor size), it would be necessary to build at least a few pipe channels with a diameter similar to the size of the fan rotor. The principle of measuring the amount of air flow in accordance with PN-EN ISO 5801 is carried out by measuring the static and dynamic pressure values with the use of pressure transducers and Prandtl tubes. On the basis of the measured pressure values obtained under the conditions of variable position of the throttle (choke element), the fan characteristics are determined after appropriate conversion (dependence of the generated stream on the

Podczas testu wentylator montowany jest bezpośrednio do otworu wlotowego kanału badawczego z wykorzystaniem konfuzora dopasowującego wymiar wirnika do średnicy kanału badawczego. Należy tutaj wskazać, że norma PN-EN ISO 5801 (konfiguracja stanowiska w postaci kanału rurowego) określiła relację pomiędzy minimalną i maksymalną średnicą wirnika, jaka może zostać dopasowana do kanału badawczego. Ze względu na wskazane ograniczenie, w celu realizacji badań wydajności aerodynamicznej rodziny wentylatorów (o zmiennej wielkości wirnika), należałoby wybudować co najmniej kilka kanałów rurowych średnicą zbliżonych do wielkości wirnika wentylatora. Zasada pomiaru wielkości przepływu powietrza wg PN-EN ISO 5801 realizowana jest poprzez pomiar wartości ciśnienia statycznego oraz dynamicznego z wykorzystaniem przetworników ciśnienia oraz rurki Prandtla. Na podstawie zmierzonych wartości ciśnienia, uzyskanych w warunkach zmiennego położenia przepustnicy (elementu dławiącego), po odpowiednim przeliczeniu

back pressure). Considering the possibility of using the indicated methodology to assess the aerodynamic efficiency of mobile fans, it should be stated that due to the test conditions (evaluation of the flow rate in the duct), the test will be inappropriate. It is true that the described test is carried out on the basis of a widely recognized, international test standard, which is undoubtedly an advantage, but due to the nature of the operation of mobile fans (free flow), the methodology indicated is not recommended in this regard. The described standard has been designed to evaluate fan units intended to work as ducted – mounted, for example, in ventilation shafts.

The test dedicated mainly to mobile fans is the test designed by the American National Standard Institute, which is described in a research standard ANSI/AMCA 240 Laboratory methods of testing mobile positive pressure ventilation fans in order to assess their aerodynamic efficiency [19]. The diagram of the test stand used to conduct the test is presented in Figure 5. The test channel consists of:

- 1 – a platform for mounting a mobile fan;
- 2 – test stand opening, dimensions 2.03 x 0.9 m, imitating an actual door opening;
- 3 – rectangular test chamber/static pressure measuring section;
- 4 – a set of flow equalizing nets with appropriate perforation;
- 5 – measuring chamber/static pressure measurement section;
- 6 – a set of standardized measuring nozzles;
- 7 – measuring chamber/static pressure measurement section;
- 8 – a set of flow equalizing nets;
- 9 – shaped piece changing the cross-section from square to round;
- 10 – reversible system equipped with an auxiliary fan, enabling the discharge and supply of air.

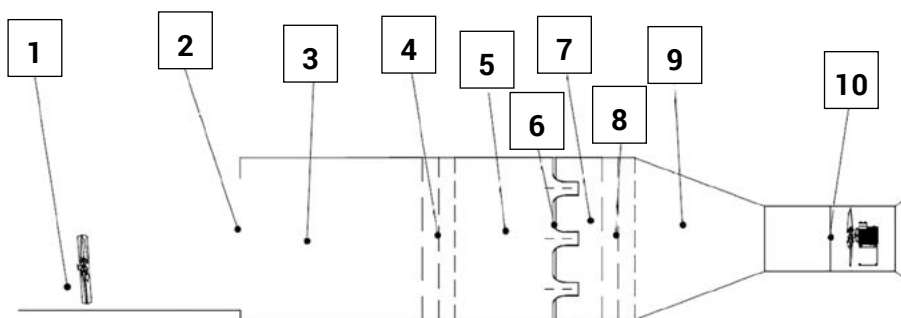


Figure 5. Diagram of a test stand constructed on the basis of ANSI-AMCA 240-15 test standard (side view)

Rycina 5. Schemat stanowiska badawczego wykonanego w oparciu o wymagania standardu badawczego ANSI-AMCA 240-15 (widok boczny)

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

The test performed on the basis of ANSI/AMCA 240 consists of setting a mobile positive pressure ventilation fan (in free-flow conditions) at a specified distance in front of the door opening

określana jest charakterystyka wentylatora (zależność generowanego strumienia od przeciwcisnienia). Rozpatrując możliwość zastosowania wskazanej metodyki do oceny wydajności aerodynamicznej mobilnych wentylatorów, należy stwierdzić, że ze względu na warunki testów (ocena wielkości przepływu w kanale) badanie będzie niewłaściwe. Co prawda opisany test realizowany jest w oparciu o powszechnie uznaną, międzynarodową normę badawczą, co niewątpliwie jest pewną zaletą, ale ze względu na charakter pracy mobilnych wentylatorów (wolny przepływ) wskazana metodyka nie jest rekomendowana w tym zakresie. Opisany standard został zaprojektowany do oceny jednostek wentylatorowych przeznaczonych do pracy jako kanałowe – montowanych np. w szachtach wentylacyjnych.

Badaniem dedykowanym głównie wentylatorom mobilnym jest test zaprojektowany przez American National Standard Institute, który opisano w standardzie badawczym ANSI/AMCA 240 Laboratoryjne metody badań mobilnych wentylatorów nadciśnieniowych w celu oceny ich wydajności aerodynamicznej [19]. Schemat stanowiska badawczego służącego przeprowadzaniu przedmiotowego testu został przedstawiony na rycinie 5. Kanał badawczy zbudowany jest z:

- 1 – podest do mocowania mobilnego wentylatora;
- 2 – otwór stanowiska badawczego o wymiarach 2,03 x 0,9 m, imitujący rzeczywisty otwór drzwiowy;
- 3 – prostokątna komora badawcza / sekcja pomiarowa ciśnienia statycznego;
- 4 – zestaw siatek wyrównujących przepływ o stosownej perforacji;
- 5 – komora pomiarowa / sekcja pomiaru ciśnienia statycznego;
- 6 – zestaw znormalizowanych dysz pomiarowych;
- 7 – komora pomiarowa / sekcja pomiaru ciśnienia statycznego;
- 8 – zestaw siatek wyrównujących przepływ;
- 9 – kształtka zmiany przekroju z kwadratowego na okrągły;
- 10 – rewersyjny układ wyposażony w wentylator pomocniczy, umożliwiający odprowadzanie i dostarczanie powietrza.

Test wykonywany w oparciu o standard ANSI/AMCA 240 polega na ustawieniu mobilnego wentylatora nadciśnieniowego (w warunkach wolnego przepływu) w określonej odległości przed

of the test chamber, in which there are flow straighteners, standardized nozzles, equipment for multi-point static pressure measurement and an auxiliary fan (located at the end of the tunnel). The activated fan, from a certain distance (without the presence of a duct), blows a stream of air onto the surface of the door opening, which then (under the prevailing negative pressure [-25Pa] or overpressure [+25Pa] – generated by the auxiliary fan) spreads inside the test chamber, displacing through the flow straightener and the corresponding measuring nozzles. Based on the measured pressure values inside the test chamber, under the test conditions described above, the fan characteristics are determined, supplemented with free-flow phenomena under standardized conditions.

It should be stated that the test based on the American ANSI/AMCA 240-15 standard is the most appropriate test for this type of device. Compared to the other described test methods, this test best reflects the end-use conditions of mobile fans. In addition, the test is carried out on the basis of an internationally recognized test procedure, which strictly describes the requirements for the test stand in terms of the used measuring equipment, taking into account the accuracy of the installed devices. An additional distinguishing advantage of the stand is the fact that the described method, when assessing aerodynamic performance, also takes into account the geometric parameters of fan positioning in front of the test stand (i.e. distance from the stand, rotor inclination angle and its height from the ground). Due to the wide functionality of the equipment intended for the assessment of aerodynamic efficiency of mobile fans, CNBOP-PIB undertakes efforts aimed at designing and creating the described testing infrastructure.

Air stream shape (effective distribution area)

Another feature, of which assessment is important in terms of determining the usefulness of tactical fans, is the shape of the generated air stream. As mentioned earlier, the effective air stream distribution area may determine the effectiveness of the ventilation. In case of unfavourable fan positioning, the ventilation efficiency may be reduced.

Identification of the considered shape is possible with the use of a dedicated measurement plane and tools for recording a visual image. Additionally, in order to obtain an appropriate contrast, paraffinic smoke from a set of at least two smoke generators with appropriate capacity is forced through the fan. The visualization of such a study is presented in Figure 6.

Another method that allows to determine the shape of the stream is to study surface distribution of velocity. It can be performed using the aforementioned stand for assessing the characteristics of the velocity profile of the air stream. As part of this method, the values of the flow velocity at varying distances in front of the plane of the fan impeller are assessed. The method developed at CNBOP-PIB – as opposed to the visualization (with the use of generators and a mesh plane) – enables to obtain quantitative data, defining the characteristics of the stream

otworem drzwiowym komory badawczej, w której obecne są prostownice przepływu, znormalizowane dysze, aparatura do wielopunktowego pomiaru ciśnienia statycznego oraz wentylator pomocniczy (zlokalizowany na końcu tunelu). Uruchomiony wentylator, z pewnej odległości (bez obecności kanału), nawiewa strugę powietrza na powierzchnię otworu drzwiowego, która następnie (w warunkach panującego podciśnienia [-25Pa] lub nadciśnienia [+25Pa] – wytworzonego przez wentylator pomocniczy) rozprzestrzenia się wewnątrz komory badawczej, przemieszczając się przez prostownicę przepływu oraz odpowiednie dysze pomiarowe. Na podstawie zmierzonych wartości ciśnień wewnątrz komory badawczej, w warunkach testu opisanych jak wyżej, wyznaczana jest charakterystyka wentylatora uzupełniona o zjawiska strumienia swobodnego w znormalizowanych warunkach.

Należy stwierdzić, że test przeprowadzany w oparciu o amerykański standard ANSI/AMCA 240-15 jest najodpowiedniejszym badaniem przeznaczonym dla tego typu urządzeń. W porównaniu do innych opisanych metod badawczych, niniejsze badanie najlepiej odzwierciedla końcowe warunki stosowania wentylatorów mobilnych. Ponadto test realizowany jest w oparciu o międzynarodową, uznaną procedurę badawczą, która ściśle opisuje wymagania dotyczące stanowiska badawczego w zakresie zastosowanej aparatury pomiarowej z uwzględnieniem dokładności instalowanych urządzeń. Dodatkową zaletą wyróżniającą stanowisko jest fakt, że opisana metoda podczas oceny wydajności aerodynamicznej uwzględnia również geometryczne parametry pozycjonowania wentylatora przed stanowiskiem badawczym (tj. odległość od stanowiska, kąt nachylenia wirnika oraz jego wysokość od podłoża). Ze względu na szeroką funkcjonalność aparatury przeznaczonej do oceny wydajności aerodynamicznej mobilnych wentylatorów, CNBOP-PIB podejmuje starania ukierunkowane na zaprojektowanie oraz wytworzenie opisanej infrastruktury badawczej.

Kształt strugi powietrza (powierzchnia efektywnego rozkładu)

Kolejną cechą, której ocena jest istotna w aspekcie określenia przydatności wentylatorów taktycznych, jest kształt generowanej strugi powietrza. Jak wspomniano już wcześniej, powierzchnia rozkładu efektywnego strumienia powietrza może warunkować skuteczność realizowanej wentylacji. W przypadku zastosowania niekorzystnego pozycjonowania wentylatora skuteczność wentylacji może ulec zmniejszeniu.

Dokonanie identyfikacji rozpatrywanego kształtu możliwe jest z zastosowaniem dedykowanej płaszczyzny pomiarowej oraz narzędzi do rejestracji obrazu wizyjnego. Dodatkowo na potrzeby uzyskania stosownego kontrastu, przez wentylator przetłaczany jest dym parafinowy z zestawu co najmniej dwóch generatorów dymu o stosownej wydajności. Wizualizacja takiego badania została przedstawiona na rycinie 6.

Inną metodą, pozwalającą określić kształt strugi, jest badanie powierzchniowego rozkładu prędkości. Może ono zostać wykonane z wykorzystaniem wspomnianego wcześniej stanowiska do oceny charakterystyki profilu prędkości przepływu strugi powietrza. W ramach tej metody ocenie poddawane są wartości prędkości przepływu w zmiennych odległościach przed płaszczyzną wirnika wentylatora. Opracowywana w CNBOP-PIB metoda

in three dimensional planes (length, height and width). Moreover, it also allows to estimate the mass and momentum flux for the analysed geometrical quantities. The diagram of the visualization of the test results of velocity distribution for the selected distance of 3 m is presented in Figure 7.

– w odróżnieniu od wizualizacji (z wykorzystaniem wytornic oraz płaszczyzny siatkowej) – umożliwia uzyskanie danych o charakterze ilościowym, określających charakterystykę strugi w trzech płaszczyznach wymiarowych (długość, wysokość i szerokość). Ponadto pozwala oszacować również strumień masy i pędu dla analizowanych wielkości geometrycznych. Schemat wizualizacji wyników badań rozkładu prędkości dla wybranej odległości 3 m został przedstawiony na rycinie 7.



Figure 6. Visualization of the shape of the air stream generated by a “turbo” fan – experimental research
Rycina 6. Wizualizacja kształtu strugi powietrza wygenerowanej przez wentylator typu „turbo” – badania eksperymentalne
Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

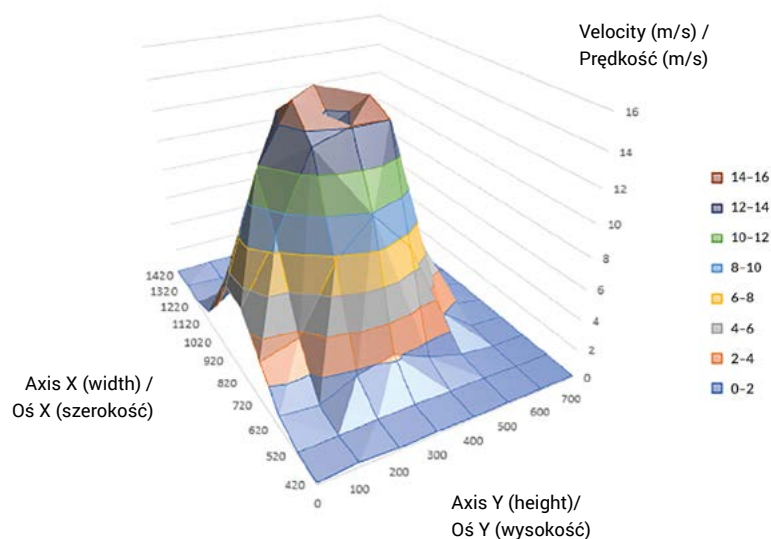


Figure 7. Distribution of the velocity profile of the air stream generated by a representative mobile turbo fan – measurement at a distance of 3 m from the measuring surface

Rycina 7. Rozkład profilu prędkości strugi powietrza generowanej przez reprezentatywny mobilny wentylator typu turbo – pomiar w odległości 3 m od powierzchni pomiarowej

Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

Other features: noise, working time, weight and dimensions

Determining (measuring) the remaining parameters that should be confirmed in the test process of fans is a relatively simpler task in relation to the parameters discussed above. In this context, the following measurement methods and tools are recommended:

Pozostałe cechy: hałas, czas pracy, masa oraz wymiary

Określenie (pomiar) pozostałych parametrów, jakie powinny zostać potwierdzone w procesie badawczym wentylatorów, jest zadaniem relatywnie prostszym w odniesieniu do parametrów omówionych powyżej. W tym kontekście rekomenduje się następujące metody i narzędzia pomiarowe:

- fan operation time – a parameter important to determine both for units powered by an internal combustion engine and an electric engine. On the basis of its measurement, it is possible to specify how long the fan will be able to pump the air stream into the building interior, while maintaining appropriate operating parameters (whether it is for the evacuation of people from the facility or to facilitate access for rescue teams). Confirmation of the parameter under consideration on the fan sample may be made using the measuring equipment in the form of a time meter and equipment allowing to determine the maintenance function of specific aerodynamic parameters (e.g. a duct test stand according to ISO 5801);
- noise – as already mentioned, excessive noise is a factor that hinders rescue operations (e.g. interfering with communication between the rescuers). It can also cause additional discomfort to the evacuees; as part of the recommended set of testing methodologies for measuring the parameter in question, it is proposed to use digital sound intensity meters, positioned at varying distances from the fan sample. Moreover, it is assumed that the measurement will be performed in a soundproof room (e.g. inside an anechoic chamber);
- size of the fan unit – confirmation of fan sizes will allow the user to verify (before purchase) whether the device can be placed in the standard construction of the fire vehicles or will require the preparation of dedicated means of transport. In addition, due to the specificity of the operation of mobile fans, it is also recommended to evaluate the mechanism of changing the angle of the fan impeller; to confirm the geometrical parameters, the use of a tape measure and a spirit level is assumed;
- fan weight – determining this parameter is important, among others, in the context of assessing the absorption of the appropriate number of the rescuers necessary to provide a given type of a ventilator. To confirm the mass of the fan unit, it is possible to use a balance with an appropriate measuring range.
- czas pracy wentylatora – parametr istotny do określenia zarówno dla jednostek napędzanych silnikiem spalinowym, jak i elektrycznym. Na podstawie jego pomiaru możliwe jest sprecyzowanie, jak długo wentylator będzie mógł tłoczyć strugę powietrza do wnętrza budynku, utrzymując przy tym odpowiednie parametry pracy (czy to na potrzeby prowadzenia ewakuacji osób z obiektu, czy ułatwienia dostępu dla ekip ratowniczych). Potwierdzenie rozpatrywanego parametru na próbce wentylatora może zostać wykonane za pomocą wyposażenia pomiarowego w postaci miernika czasu oraz aparatury pozwalającej na określenie funkcji utrzymania określonych parametrów aerodynamicznych (np. kanałowego stanowiska pomiarowego wg ISO 5801);
- hałas – jak już wspomniano, nadmierny hałas jest czynnikiem, który utrudnia prowadzenie działań ratowniczych (np. zakłócanie komunikacji między ratownikami). Może także powodować dodatkowy dyskomfort wśród osób ewakuowanych; w ramach rekomendowanego zestawu metodyk badawczych do pomiaru przedmiotowego parametru proponuje się wykorzystanie cyfrowych mierników natężenia dźwięku, pozycjonowanych w zmiennych odległościach od próbki wentylatora. Ponadto zakłada się, że pomiar będzie przeprowadzany w wyłumionym pomieszczeniu (np. wewnątrz komory bezechowej);
- rozmiar jednostki wentylatora – potwierdzenie rozmiarów wentylatora pozwoli zweryfikować użytkownikowi przed zakupem, czy urządzenie będzie mogło być umieszczane w standardowej zabudowie pojazdów pożarniczych, czy też będzie wymagało przygotowania dedykowanych środków transportu. Ponadto – ze względu na specyfikę pracy mobilnych wentylatorów – rekomenduje się również ocenę mechanizmu zmiany kąta wirnika wentylatora; do potwierdzenia parametrów geometrycznych zakłada się wykorzystanie przymiaru wstęgowego oraz poziomic;
- masa wentylatora – określenie tego parametru jest istotne m.in. w kontekście oceny absorbowania odpowiedniej liczby ratowników, niezbędnych do sprawienia danego typu wentylatora. Do potwierdzenia masy jednostki wentylatorowej możliwe jest wykorzystanie wagi o odpowiednim zakresie pomiarowym.

Summary and conclusions

Mobile fans used by the fire protection units are an important tool supporting the effectiveness of rescue operations in certain situations. However, in order for them to be used in an optimal way, it is necessary to comprehensively examine the technical parameters, and then – adequately to these parameters – develop appropriate procedures for their use, including the selection of an appropriate location and positioning parameters. In the context of the aforementioned testing, despite the large scientific achievements in this field, there are still areas that require improvement, with particular emphasis on standardized testing methodologies and the measurement infrastructure dedicated

Podsumowanie i wnioski

Mobilne wentylatory, stosowane przez jednostki ochrony przeciwpożarowej, stanowią ważne narzędzie, wspomagające w określonych sytuacjach efektywność prowadzonych działań ratowniczych. Jednak aby mogły być one wykorzystywane w sposób optymalny, konieczne jest wszechstronne zbadanie parametrów technicznych, a następnie – adekwatnie do tych parametrów – opracowanie odpowiednich procedur ich użycia, włączając w to wybór odpowiedniego miejsca ustawienia i parametrów pozycjonowania. W kontekście wspomnianych badań, pomimo dużego dorobku naukowego w tej dziedzinie, nadal można dostrzec obszary wymagające doskonalenia, ze

to them. For this reason, the authors indicated important technical and functional features that determine the effectiveness of mobile fans and recommended selected methods on the basis of which the indicated features can be verified.

Ultimately, based on the aforementioned recommendations, creating several new test stands and using the existing ones at CNBOP-PIB is planned, which will allow for a comprehensive assessment of the most important operational parameters of the mobile fans. The intention of this undertaking is to provide the rescuers with greater convenience in selecting and using the devices in question. The basis for this comfort is to be aware of the availability of the equipment with confirmed functional characteristics and the possibility of referring to the developed guidelines for the proper use of the fans in accordance with their parameters. Defining the operational parameters under consideration will also translate into issues of a logistic nature, e.g. facilitating the process of defining the specifications of contract conditions in the procedures of public procurement. Currently, many manufacturers and distributors offer devices on the market that are characterized by many variable and often incompatible parameters.

As a continuation of the experimental work, the researchers also plan to carry out field tests with the use of multi-storey facilities, which will allow to assess and compare the effectiveness of the selected types of mobile fans in the field conditions.

The research presented in the article was carried out as part of the Ministry of Education and Science programme "Implementation Doctorate" executed in 2020–2024 (agreement no. DWD/4/22/2020).

szczególnym uwzględnieniem znormalizowanych metodyk badawczych oraz dedykowanej im infrastruktury pomiarowej. Z tego względu zespół autorski wskazał istotne cechy techniczno-użytkowe warunkujące efektywność działania mobilnych wentylatorów oraz zarekomendował wybrane metody, na podstawie których wskazane cechy mogą zostać zweryfikowane.

Docelowo, w oparciu o wspomniane rekomendacje, przewidywane jest stworzenie kilku nowych oraz wykorzystanie już istniejących w CNBOP-PIB stanowisk badawczych pozwalających na kompleksową ocenę najistotniejszych parametrów użytkowych mobilnych wentylatorów. Intencją tego przedsięwzięcia jest zapewnienie ratownikom większej wygody przy wyborze oraz korzystaniu z omawianych urządzeń. Podstawą tego komfortu ma być świadomość dysponowania sprzętem o potwierdzonych cechach użytkowych oraz możliwość odwołania się do opracowanych wytycznych w zakresie prawidłowego użytkowania wentylatorów zgodnie z posiadanymi przez nie parametrami.

Definiowanie rozpatrywanych parametrów użytkowych będzie miało również przełożenie na kwestie o charakterze logistycznym, np. ułatwienie procesu określania specyfikacji warunków zamówienia w postępowaniach o udzielenie zamówienia publicznego. Obecnie na rynku wielu producentów i dystrybutorów oferuje urządzenia, które charakteryzują się wieloma zmiennymi oraz nierzadko nieporównywalnymi parametrami.

W ramach kontynuacji prac eksperymentalnych zespół badaczy planuje również wykonać badania poligonowe z wykorzystaniem obiektów wielokondygnacyjnych, co pozwoli ocenić i porównać skuteczność działania wybranych typów mobilnych wentylatorów w warunkach poligonowych.

Badania przedstawione w artykule zostały przeprowadzone w ramach programu „Doktorat Wdrożeniowy” Ministerstwa Edukacji i Nauki realizowanego w latach 2020–2024 (umowa nr DWD/4/22/2020).

Literature / Literatura

- [1] Krawiec P., Warguła Ł., Małozieć D., Kaczmarzyk P., Dziechciarz A., Czarnańska-Komorowska D., *The Toxicological Testing and Thermal Decomposition of Drive and Transport Belts Made of Thermoplastic Multilayer Polymer Materials*, „Polymers” 2020, 12, 2232, <https://doi.org/10.3390/polym12102232>.
- [2] Krawiec P., Warguła Ł., Czarnańska-Komorowska D., Janik P., Dziechciarz A., Kaczmarzyk P., *Chemical compounds released by combustion of polymer composites flat belts*, „Scientific Reports” 2021, 11(1), 1–10, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87634-9>.
- [3] Krawiec P., Warguła Ł., Dziechciarz A., Małozieć D., Ondrušová D., *Evaluation of chemical compound emissions during thermal decomposition and combustion of V-belts*, „Przemysł Chemiczny” 2020, 99(1), 92–98, <https://doi.org/10.15199/62.2020.1.12>.
- [4] Rabajczyk A., Zielecka M., Małozieć D., *Hazards Resulting from the Burning Wood Impregnated with Selected Chemical Compounds*, „Applied Sciences” 2020, 10, 6093, <https://doi.org/10.3390/app10176093>.
- [5] Bugaj G., *Wentylacja nadciśnieniowa (cz. 1)*, „Przegląd Pożarniczy” 2013, 12, 27–31, <https://www.ppoz.pl/images/dokumenty/pp/pppw/122013pw.pdf>.
- [6] Loughheed G.D., McBride P.J., Carpenter D.W., *Positive pressure ventilation for high-rise buildings*, National Research Council Canada, Institute for Research in Construction, 2002, <https://doi.org/10.4224/20378500>.

- [7] Kerber S., Walton W.D., *Characterizing positive pressure ventilation using computational fluid dynamics*, US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, 2003, <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.7065>.
- [8] Ezekoye O.A., Svensson S., Nicks R., *Investigating positive pressure ventilation*, In Proceedings of 11th international fire science and engineering conference (Interflam'07), 3rd–5th September 2007, London.
- [9] Panindre P., Mousavi N.S., Kumar S., *Improvement of Positive Pressure Ventilation by optimizing stairwell door opening area*, „Fire Safety Journal” 2017, 92, 195–198, <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.06.007>.
- [10] Fritsche M., Epple, P., Delgado, *A Development of a Measurement Method for the Classification and Performance Evaluation of Positive Pressure Ventilation (PPV) Fans*, Conference: ASME 2018 5th Joint US-European Fluids Engineering Division Summer Meetin, American Society of Mechanical Engineers, <https://doi.org/10.1115/FEDSM2018-83278>.
- [11] Kokot-Góra S., *Poznaj swoje narzędzia pracy (cz. 1)*, „Przeгляд Pożarniczy” 2014, 8, 16.
- [12] <https://strazakom.pl/turbowentylatory/turbowentylator-gx-350.html> [dostęp: 20.09.2021].
- [13] <https://klimasklep.pl/dmuchawa-strazacka-fogo-mw-22-wentylator-oddymiajacy-p-1671.html> [dostęp: 20.09.2021].
- [14] Cimolino U., Emrich C., Svensson, S., *Taktische Ventilation: Be-und Entlüftungssysteme im Einsatz*, Ecomed-Storck GmbH 2012.
- [15] Kerber S., Walton W.D., *Effect of positive pressure ventilation on a room fire. Gaithersburg, US Department of Commerce*, National Institute of Standards and Technology 2005, <https://www.govinfo.gov/content/pkg/GOVPUB-C-13-c343e6873147b69465bad279479bb4de/pdf/GOVPUB-C13-c343e6873147b69465bad279479bb4de.pdf>
- [16] PN-ISO 5221 Rozprowadzanie i rozdział powietrza – Metody pomiaru przepływu strumienia powietrza w przewodzie.
- [17] ISO 3966:2008 Measurement of fluid flow in closed conduits – Velocity area method using Pitot static tubes.
- [18] PN-EN 5801:2017-12 Wentylatory – Badanie właściwości użytkowych z zastosowaniem stanowisk znormalizowanych.
- [19] ANSI/AMCA Standard 240-15 Laboratory Methods of Testing Positive Pressure Ventilators for Aerodynamic Performance Rating.

PIOTR KACZMARZYK, M.SC. ENG. – a graduate of the Faculty of Fire Safety Engineering at The Main School of Fire Service. Since 2015 he has been working in the Laboratory of Combustion Processes and Explosions at the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute. His professional activity is associated with reaction to fire of building materials, explosion and fire protection systems, fire ventilation systems effectiveness evaluation using CFD tools. He is an author of many publications, technical standards and elaboration associated with building fire safety.

JUNIOR BRIG. WOJCIECH KLAPSA, M.SC. ENG. – a graduate of the Main School of Fire Service in Warsaw and the Military University of Technology in Warsaw, Faculty of Chemistry. Currently, he serves at Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwożarowej – Państwowy Instytut Badawczy in the Laboratory of Combustion Processes and Explosions as a manager. Author or co-author of articles on fire safety and flammable properties of building materials. At CNBOP-PIB, he deals with the subject of technical expertise of buildings, court opinions in the field of determining the causes of fires and research in the field of reaction to fire of construction products, as well as determining the explosive parameters of flammable substances. A speaker at national and international conferences, as well as a lecturer during exercises, workshops and training during training courses and other course

MGR INŻ. PIOTR KACZMARZYK – absolwent Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego w Szkole Głównej Służby Pożarniczej. Obecnie pracuje w Laboratorium Procesów Spalania i Wybuchowości w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwożarowej – Państwowym Instytucie Badawczym. Działalność zawodowa autora jest związana z takimi zagadnieniami jak: reakcja na ogień materiałów budowlanych, systemy zabezpieczeń przeciwpożarowych i przeciwwybuchowych obiektów budowlanych, ocena skuteczności działania systemów wentylacji pożarowej wykorzystujących narzędzia CFD. Jest autorem wielu publikacji, standardów technicznych oraz opracowań związanych z bezpieczeństwem pożarowym budynków.

ML. BRYG. MGR INŻ. WOJCIECH KLAPSA – absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie i Wydziału Chemii na Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Obecnie pełni służbę w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwożarowej – Państwowym Instytucie Badawczym w Zespole Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości na stanowisku Kierownika. Autor lub współautor artykułów o tematyce bezpieczeństwa pożarowego oraz właściwości palnych materiałów budowlanych. W CNBOP-PIB zajmuje się tematyką ekspertyz technicznych budynków, opinii sądowych w zakresie ustalania przyczyn pożarów oraz badaniami w zakresie reakcji na ogień wyrobów budowlanych, jak również wyznaczaniem parametrów wybuchowych substancji palnych. Prelegent na konferencjach krajowych i zagranicznych, a także wykładawca podczas ćwiczeń oraz warsztatów i treningów na szkoleniach i kursach.

SENIOR BRIG. PAWEŁ JANIK, PH.D. ENG. – he completed his master's studies at the Main School of Fire Service in Warsaw and doctoral studies at the Poznań University of Economics (now Poznań University of Economics), as well as post-graduate studies in IT at the Lodz University of Technology and crisis management at the Central School of the Fire Service. Since 2018, he has been the director of CNBOP-PIB. Specialty: safety science.

PIOTR KRAWIEC, PH.D. ENG. PP PROF. – a graduate of the Faculty of Mechanical Engineering at the Poznan University of Technology. He obtained his doctoral degree in 2002 and in 2011 a postdoctoral degree. Since 1994, he has been working at the Department of Fundamentals of Machine Design. His specialization includes: machine-construction and operation, computer aided design, material testing, drive control, cargo transportation safety

ST. BRYG. DR INŻ. PAWEŁ JANIK – ukończył studia magisterskie w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie oraz studia doktorskie w Akademii Ekonomicznej w Poznaniu (obecnie Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu), a także studia podyplomowe z zakresu informatyki na Politechnice Łódzkiej oraz zarządzania kryzysowego w SGSP. Od 2018 r. jest dyrektorem CNBOP-PIB. Specjalność: nauki o bezpieczeństwie.

DR HAB. INŻ. PIOTR KRAWIEC, PROFESOR PP – ukończył studia na Wydziale Budowy Maszyn Politechniki Poznańskiej. Stopień doktora uzyskał w 2002 r., natomiast w 2011 r. stopień doktora habilitowanego. Od 1994 r. pracuje w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn. Specjalność – budowa i eksploatacja maszyn, komputerowe wspomaganie projektowania, badania materiałów, sterowanie napędami, bezpieczeństwo transportu ładunków

Maciej Zawistowski^{a)*}, Radosław Fellner^{b)}

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

^{b)} *the Main School of Fire Service/ Szkoła Główna Służby Pożarniczej*

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

Important Parameters and Settings in Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in Operational Work of the Fire Brigade

Istotne parametry i ustawienia w bezzałogowych statkach powietrznych (BSP) w pracy operacyjnej straży pożarnej

ABSTRACT

Aim: The article presents a set of parameters and settings for unmanned aerial vehicles (UAV), which is crucial in the operational work of the fire brigade and its importance for the quality of the final material obtained from an RGB camera or a thermal imaging camera.

Introduction: Unmanned aerial vehicles (UAVs) are more often and more boldly used by various uniformed formations, including pilots of the State Fire Service and Volunteer Fire Brigades. Currently, they are used to perform recognition of situations and coordination of activities with the use of RGB and thermal imaging cameras. There are also other applications of UAV, including firefighting, but at the moment they are only conceptual solutions, as they have not been tested during an actual firefighting operation. According to the authors, a drone is currently only a carrier of additional devices and its functionality during the operation depends largely on certainty and reliability of a given UAV structure, as well as on the type and quality of the elements and sensors mounted on it.

Methodology: A review of literature and press reports, as well as the authors' experience in working with UAVs and the results of their research were used to analyse the topic.

Conclusions: Indicating a set of key parameters for the UAVs used by fire brigade users is only possible to define its application. Therefore, in this study, the authors presented the most common use of unmanned aerial vehicles, for which key parameters were indicated and the impact of these factors on the obtained results of drones was described. Due to the frequent neglect of camera operation and the importance of their parameters, the authors described the most frequently set parameters of photographs and their impact on the final result, which is of key importance for the usefulness of the collected material.

Keywords: parameters, UAV, settings, rescue, fire brigade

Type of article: review article

Received: 04.10.2021; Reviewed: 28.10.2021; Accepted: 02.11.2021;

Authors' ORCID IDs: M. Zawistowski – 0000-0001-9832-0376; R. Fellner – 0000-0002-9095-4996;

The authors contributed the equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 92–118, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.6>;

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

ABSTRAKT

Cel: W artykule przedstawiono zbiór parametrów i ustawień bezzałogowych statków powietrznych (BSP), który jest kluczowy w pracy operacyjnej straży pożarnej oraz jego znaczenie dla jakości finalnego materiału uzyskanego z kamery RGB lub kamery termowizyjnej.

Wprowadzenie: Bezzałogowe statki powietrzne (BSP) coraz częściej i odważniej stosowane są przez różne formacje mundurowe, w tym przez pilotów Państwowej Straży Pożarnej i Ochotniczych Straży Pożarnych. Obecnie służą one do wykonywania rozpoznawania sytuacji i koordynacji działań z wykorzystaniem kamer RGB i termowizyjnych. Pojawiają się również inne zastosowania BSP, w tym do gaszenia pożarów, jednak na ten moment są to jedynie rozwiązania koncepcyjne, ponieważ nie zostały poddane testom w czasie rzeczywistej akcji gaśniczej. Zdaniem autorów dron obecnie jest jedynie nośnikiem dodatkowych urządzeń i jego funkcjonalność w trakcie akcji zależy w dużej mierze od pewności i niezawodności danej konstrukcji BSP, a także od rodzaju i jakości elementów i czujników na niej zamontowanych.

Metodologia: Do analizy tematu wykorzystano przegląd literatury i doniesień prasowych, a także doświadczenie autorów w pracy z BSP oraz wyniki prowadzonych przez nich badań.

Wnioski: Wskazanie zbioru parametrów kluczowych dla BSP wykorzystywanego przez użytkowników straży pożarnej jest możliwe jedynie poprzez zdefiniowanie jego zastosowania. Dlatego w niniejszej pracy autorzy przedstawili najczęstsze wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych, do których

wskazano kluczowe parametry i opisano wpływ tych czynników na uzyskane rezultaty pracy dronów. Ze względu na częste zaniedbania w zakresie obsługi kamery i znaczenia ich parametrów, autorzy opisali najczęściej ustawiane parametry zdjęć i ich wpływ na efekt końcowy, który ma kluczowe znaczenie dla użyteczności zbieranego materiału.

Słowa kluczowe: ratownictwo, parametry, BSP, straż pożarna, ustawienia

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 04.10.2021; **Zrecenzowany:** 28.10.2021; **Zaakceptowany:** 02.11.2021;

Identyfikatory ORCID autorów: M. Zawistowski – 0000-0001-9832-0376; R. Fellner – 0000-0002-9095-4996;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 92–118, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.6>;

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

Introduction

In order to comprehensively answer the question what set of parameters and settings of unmanned aerial vehicles is crucial for the work of a firefighter and how these parameters affect the possibility of using a given UAV structure, first of all, it is necessary to consider how the fire brigades use unmanned aerial vehicles, popularly called drones. Based on the review of literature [14] and internet reports, it can be concluded that the possibilities of using unmanned aerial vehicles in the fire service are very wide. The authors propose a division of UAVs into those used for:

- search and rescue,
- extinguishing fires,
- monitoring and observation,
- other purposes (e.g. detecting harmful substances, ensuring communication, carrying small loads, etc.).

More and more companies present solutions for the construction of firefighting drones. However, these are usually large structures that have never been used in real firefighting operations, but only presented at shows. The examples are presented later in the article. Currently, drones, much more often than the firefighting function, play a supporting role, providing a view of the field of action from above and thus allowing for better coordination of rescue and firefighting operations, as well as providing up-to-date photographic maps called orthophotomaps and maps of temperature distribution. The following actions supported by UAVs are distinguished in the scientific literature:

- detection, monitoring, firefighting,
- search and rescue,
- damage assessment, increasing situational awareness, material transport, risk assessment.

Besides the above examples of using drones, they can also be used in other ways. There are many constructions that allow, among others:

- detecting of hazardous substances,
- moving small loads,
- providing radio communication in the area affected by a natural disaster.

Each of the applications mentioned above, due to the different use, determines the fulfilment of other technical requirements by the UAV and a separate configuration of its parameters. Thus, structures adapted to a specific purpose will have to meet other

Wprowadzenie

Aby móc odpowiedzieć kompleksowo na pytanie, jaki zbiór parametrów i ustawień bezzałogowych statków powietrznych jest kluczowy dla pracy strażaka oraz jak parametry te wpływają na możliwości wykorzystania danej konstrukcji BSP, należy w pierwszej kolejności zastanowić się, w jaki sposób funkcjonariusze straży wykorzystują bezzałogowe statki powietrzne, popularnie nazywane dronami. Na podstawie przeglądu literatury [14] i doniesień internetowych można stwierdzić, że możliwości zastosowania bezzałogowych statków powietrznych w straży pożarnej są bardzo szerokie. Autorzy proponują podział BSP na służące do:

- poszukiwań i ratownictwa,
- gaszenia pożarów,
- monitoringu i obserwacji,
- innych celów (np. detekcja substancji szkodliwych, zapewnienie komunikacji, przenoszenie niewielkich ładunków itp.).

Coraz częściej firmy prezentują rozwiązania w zakresie konstrukcji dronów gaśniczych. Są to jednak z reguły duże konstrukcje, które nie były nigdy wykorzystywane w rzeczywistych akcjach gaśniczych, a jedynie prezentowane na pokazach. Przykłady przedstawiono w dalszej części artykułu. Obecnie zdecydowanie częściej drony zamiast funkcji gaśniczej pełnią rolę wspomagającą, zapewniając widok pola działań z góry i tym samym pozwalając na lepszą koordynację akcji ratowniczo-gaśniczej oraz dostarczając aktualnych map fotograficznych zwanych ortofotomapami oraz map rozkładu temperatury. W literaturze naukowej wyróżniono następujące zadania wspierane przez BSP:

- detekcja, monitoring, zwalczanie pożarów,
- poszukiwanie i ratownictwo,
- ocena zniszczeń, zwiększenie świadomości sytuacyjnej, transport materiałów, ocena ryzyka.

Poza powyższymi przykładami użycia dronów mogą one również być wykorzystane w inny sposób. Istnieje wiele konstrukcji pozwalających na m.in.:

- wykrywanie substancji niebezpiecznych,
- przenoszenie niewielkich ładunków,
- zapewnianie łączności radiowej na obszarze dotkniętym klęską żywiołową.

Każde z powyższych zastosowań ze względu na różne wykorzystanie determinuje spełnienie przez BSP innych wymagań

technical requirements in order to correctly and safely perform the entrusted tasks.

Key parameters and settings for unmanned aerial vehicles

The authors of the article base their knowledge both on experience in research and flights, as well as consultations with representatives of State Fire Brigade (PSP) and Volunteer Fire Brigade units (OSP), as well as the results of the work of the UAV teams of the Chief Commandant of the State Fire Service¹. In their opinion, it is impossible to clearly define all the most important parameters of a drone without indicating its intended use. However, it is possible to define homogeneous settings, e.g. concerning the safety of operations with the use of UAVs. One of the examples of settings for such functions are those related to spatial awareness (e.g. geofencing, geocaching) and emergency – e.g. hovering or RTH (return to home).

Considering the dynamic progress of unmanned systems and seeing them as a useful tool for ensuring public safety, protection of health and life and property, as well as the need to verify the parameters and performance of unmanned vehicles, the Commander-in-Chief of the State Fire Service, by decision No. 51 of 4 June 2020, he appointed a working team for new products, i.e. “Unmanned and autonomous platforms”, “Unmanned aerial vehicles”, “Robots”². The task of the team is not only to define the technical and operational requirements for the products of unmanned platforms (flying, driving and floating), which are important in the operational work of fire protection units, but also to develop research methodologies and methods for checking the reliability and repeatability of platform parameters. By September 2021, the team had developed a working material containing the proposed technical and operational requirements for UAVs.

Moreover, by decision no. 3 of 25 January 2021 the Commander-in-Chief of the State Fire Service appointed a task force to develop the documentation necessary to obtain a Certificate of the Operator of Light Unmanned Aerial Systems for the State Fire Service and to develop the rules for the use of unmanned aerial vehicles in the State Fire Service. As part of the work,

technicznych i osobną konfiguracją jego parametrów. Tym samym konstrukcje przystosowane do określonego celu będą musiały spełniać inne wymagania techniczne w celu poprawnej i bezpiecznej realizacji powierzonych zadań.

Kluczowe parametry i ustawienia bezzałogowych statków powietrznych

Autorzy artykułu opierają swoją wiedzę zarówno na doświadczeniu w badaniach i lotach oraz konsultacjach z przedstawicielami jednostek PSP i OSP, jak i wynikach prac zespołów ds. BSP Komendanta Głównego PSP¹. W ich opinii nie można określić jednoznacznie wszystkich najważniejszych parametrów drona bez wskazania jego docelowego zastosowania. Możliwe jest natomiast określenie jednorodnych ustawień np. dotyczących bezpieczeństwa operacji z wykorzystaniem BSP. Jednym z przykładów ustawień takich funkcji są te dotyczące świadomości przestrzennej (np. *geofencing*, *geocaching*) oraz awaryjne – np. zawis czy RTH (ang. *return to home*).

Mając na uwadze dynamiczny postęp systemów bezzałogowych oraz dostrzegając w nich przydatne narzędzie służące zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego, ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także uwzględniając potrzebę weryfikacji parametrów i osiągnięć pojazdów bezzałogowych, Komendant Główny PSP decyzją nr 51 z dn. 04.06.2020 r. powołał zespół roboczy ds. nowych wyrobów tj. „Platform bezzałogowych i autonomicznych”, „Bezzałogowych statków powietrznych”, „Robotów”². Zadaniem zespołu jest nie tylko określenie wymagań techniczno-użytkowych wyrobów platform bezzałogowych (latających, jeżdżących i pływających), które są istotne w pracy operacyjnej jednostek ochrony przeciwpożarowej, ale także opracowanie metodyk badawczych i metod sprawdzania wiarygodności i powtarzalności parametrów platform. Do września 2021 r. zespół opracował roboczy materiał zawierający proponowane wymagania techniczno-użytkowe dla BSP.

Ponadto, decyzją nr 3 z dn. 25 stycznia 2021r. Komendant Główny PSP powołał zespół zadaniowy do wypracowania dokumentacji niezbędnej do uzyskania Certyfikatu Operatora Lekkich Systemów Bezzałogowych Statków Powietrznych dla PSP oraz opracowania zasad użytkowania bezzałogowych statków powietrznych w PSP. W ramach prac zespół stworzył jednolitą,

¹ Consultations were carried out during meetings with PSP officers and OSP colleagues during the scientific conferences DroneTech World Meeting in Toruń and the works of: the task force of the Commander-in-Chief of the State Fire Service to develop the documentation necessary to obtain a Certificate for the Operator of the Light Unmanned Aerial Systems for the State Fire Service (Decision No. 3 of 2021), a working group on new products “Unmanned and autonomous platforms, Unmanned aerial vehicles, Robots” as part of the Team of the Commander-in-Chief of the State Fire Service to monitor changes in the regulation of the Minister of Interior and Administration of 20 June 2007 on the list of products used to ensure public safety or the protection of health and life and property, as well as the rules for issuing admittance for use of these products (Decision No. 51 of 2020).

² As part of the Team of the Commander-in-Chief of the State Fire Service to monitor changes in the Regulation of the Minister of Interior and Administration of 20 June 2007 (Polish Journal of Laws: Dz. U. 2007 nr 143 poz. 1002, as amended) on the list of products used to ensure public safety or protect health and life and property, as well as the rules for issuing admittance for use of these products.

¹ Konsultacji dokonywano podczas spotkań z funkcjonariuszami PSP i druhami OSP w ramach konferencji naukowych DroneTech World Meeting w Toruniu oraz prac: Zespołu zadaniowego Komendanta Głównego PSP do wypracowania dokumentacji niezbędnej do uzyskania Certyfikatu Operatora Lekkich Systemów Bezzałogowych Statków Powietrznych dla PSP oraz opracowania zasad użytkowania bezzałogowych statków powietrznych w PSP (Decyzja nr 3 z 2021 r.), grupy roboczej w zakresie nowych wyrobów „Platformy bezzałogowe i autonomiczne, Bezzałogowe statki powietrzne, Roboty” w ramach Zespołu Komendanta Głównego PSP do monitorowania zmian w rozporządzeniu Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dn. 20.06.2007 r. wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także zasad wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania (Decyzja nr 51 z 2020 r.).

² W ramach Zespołu Komendanta Głównego Państwowej Straży Pożarnej do monitorowania zmian w rozporządzeniu Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 20 czerwca 2007 r. (Dz.U. 2007 nr 143, poz.1002 ze zm.) w sprawie wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także zasad wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania.

the team created a uniform, comprehensive instruction for the development of using the UAVs within the structures of the State Fire Service.

All of these functions are based on the use of GNSS (global navigation satellite system), so to ensure their correct operation it should be verified whether:

- a drone sees enough satellites to correctly determine its position,
- a drone is correctly pointing to its position,
- “forbidden areas”, into which the drone is not to enter, are correctly marked on the map,
- an appropriate automatic safety function has been set, which is activated when the geocaching zone is violated (hover, RTH, emergency landing),
- the RTH altitude is appropriate.

The very selection of the appropriate emergency function and knowledge of its operation is also very important, especially in terms of safety. Emergency functions are usually triggered automatically in several situations, i.e. when the following occurs:

- critically low battery,
- loss of control signal,
- loss of GNSS positioning.

The selection of appropriate parameters and programming the emergency function based on them is very important when the drone is to perform an action specified by the operator, e.g. fly under an obstacle (e.g. under a bridge) while searching for a person or during inspection. If RTH is set as an emergency function, the aircraft will start to ascend automatically shortly after losing communication and will most likely hit an obstacle from below and fall. In order to avoid such a situation, the emergency function should be set to the so-called hovering. In the event of losing communication with the drone or the GNSS system, this will allow the pilot to approach and regain control of the unmanned aerial vehicle.

In addition to the safety functions mentioned above, which are present in almost every – commercially offered – professional UAV, we can more and more often observe the installation of various types of obstacle sensors. They are very useful because, on one hand, they allow for the safe implementation of various types of automatic algorithms that help pilots in their work (by automating some of the tasks), and on the other hand, they inform them about the location and approach of buildings, structures and other objects during a flight.

The figures below (see Figure 1 and 2) show examples of the two most commonly used technologies:

- ultrasonic sensors mounted, among others in Yuneec Typhoon H520,
- optical sensors mounted, among others in DJI Matrice 300.

While the Yuneec H520 has sensors mounted only on the front of the device, the DJI Matrice 300 is equipped with a number of sensors, giving the pilot full information about the distance of the drone from all obstacles around it.

kompleksową instrukcję rozwoju wykorzystania BSP w ramach struktur PSP.

Wszystkie z tych funkcji opierają się na wykorzystywaniu systemów GNSS (ang. *global navigation satellite system*), dlatego dla zapewnienia ich poprawnego działania należy się upewnić, że:

- dron widzi liczbę satelitów wystarczającą do poprawnego określenia swojego położenia,
- dron prawidłowo wskazuje swoją pozycję,
- „obszary zabronione”, w które dron ma nie wnikać, zaznaczone są na mapie poprawnie,
- ustawiono odpowiednią automatyczną funkcję bezpieczeństwa uruchamianą w momencie naruszenia strefy geocaching (zawis, RTH, lądowanie awaryjne),
- wysokość powrotu do domu (RTH) jest odpowiednia.

Sam wybór odpowiedniej funkcji awaryjnej i wiedza na temat jej działania też ma bardzo duże znaczenie, szczególnie dla bezpieczeństwa. Funkcje awaryjne najczęściej uruchamiają się automatycznie w kilku sytuacjach, tj. gdy następuje:

- krytycznie niski poziom baterii,
- utrata sygnału sterującego,
- utrata pozycjonowania GNSS.

Dobór odpowiednich parametrów i zaprogramowanie na ich podstawie funkcji awaryjnej ma bardzo duże znaczenie w sytuacji, gdy dron ma wykonać określoną przez operatora czynność np. przelecieć pod przeszkodą (np. pod mostem) w trakcie poszukiwań osoby czy inspekcji. Jeśli jako funkcję awaryjną ustawiono RTH, dron chwilę po utracie komunikacji zacznie się automatycznie wznosić, w konsekwencji najprawdopodobniej uderzy w przeszkodę od spodu i spadnie. Aby uniknąć takiej sytuacji, funkcja awaryjna powinna być ustawiona na tzw. zawis. W przypadku utraty komunikacji z dronem lub systemem GNSS pozwoli to na zbliżenie się pilota i odzyskanie kontroli nad bezzałogowym statkiem powietrznym.

Poza powyższymi funkcjami bezpieczeństwa, które występują w prawie każdym – oferowanym komercyjnie – profesjonalnym BSP, coraz częściej możemy zaobserwować montowanie różnego rodzaju czujników przeszkód. Są one bardzo przydatne, ponieważ z jednej strony pozwalają na bezpieczną realizację różnych rodzajów automatycznych algorytmów pomagających pilotom w pracy (poprzez automatyzację części zadań), a z drugiej informują ich o położeniu i zbliżaniu się w trakcie lotu do budynków, konstrukcji i innych obiektów.

Na poniższych rycinach (zob. ryc. 1 i 2) przedstawiono przykłady dwóch najczęściej stosowanych technologii:

- czujników ultradźwiękowych montowanych m.in. w Yuneec Typhoon H520,
- czujników optycznych montowanych m.in. w DJI Matrice 300.

Podczas gdy Yuneec H520 posiada czujniki zamontowane jedynie z przodu urządzenia, to DJI Matrice 300 wyposażony jest w szereg czujników, dając pilotowi pełną informację o odległości drona od wszystkich przeszkód wokół niego.



Figure 1. An example of the use of ultrasonic sensors mounted in the Yuneec H520 (marked in red on the left) and the view of the message on the GCS (on the right)

Rycina 1. Przykład wykorzystania czujników ultradźwiękowych montowanych w Yuneec H520 (zaznaczono na czerwono po lewej) oraz widok komunikatu na GCS (po prawej)

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.



Figure 2. An example of optical sensors mounted in DJI Matrice 300 (on the left) the view of the message on the GCS (on the right)

Rycina 2. Przykład czujników optycznych montowanych w DJI Matrice 300 (po lewej) oraz widok komunikatu na GCS (po prawej)

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

An important parameter related to the comfort of UAV service and safety indicated by PSP officers and OSP colleagues [12] – especially in the case of out of sight flights (BVLOS) is the ground station, and more precisely the communication range and the quality of displaying the image by the UAV camera at the ground control station. These values are often overlooked when selecting equipment, but are important for rescue and firefighting operations. The displays used for UAV operations should be as bright as possible so that the information and view from the camera are legible even on a sunny day. In practice, it is assumed that the display brightness of 1000 cd/m² is sufficient for the screen to be readable even in direct sunlight. Using smartphones as an additional screen or screens with low brightness of 400–600 cd/m² is often insufficient, especially in sunny weather. The photo below shows a comparison of two different GCS (ground control station).

Istotnym parametrem związanym z komfortem obsługi BSP i bezpieczeństwem wskazanym przez funkcjonariuszy PSP i druhów OSP [12] – szczególnie w przypadku lotów poza zasięgiem wzroku (BVLOS) jest stacja naziemna, a dokładniej zasięg komunikacji i jakość wyświetlania obrazu z kamery BSP w naziemnej stacji kontroli. Te wartości często pomija się w trakcie wyboru sprzętu, tymczasem są one istotne z punktu widzenia operacji ratowniczo-gaśniczych. Wyświetlacze wykorzystywane do operacji BSP powinny mieć jak najwyższą jasność, aby informacje i podgląd z kamery były czytelne nawet w trakcie słonecznego dnia. W praktyce przyjmuje się, że jasność wyświetlacza na poziomie 1000 cd/m² jest wystarczająca, aby ekran był czytelny nawet przy pełnym słońcu. Wykorzystanie smartfonów jako dodatkowego ekranu lub ekranów o niskiej jasności na poziomie 400–600 cd/m² często jest niewystarczające, szczególnie w trakcie słonecznej pogody. Na zdjęciu poniżej przedstawiono porównanie dwóch różnych stacji naziemnych GCS (ang. *ground control station*).



Figure 3. Comparison of the brightness of the screens of Yuneec Typhoon H520 ground stations (on the left, brightness approx. 400 cd/m²) and DJI Matrice 300 (on the right, brightness up to 1000 cd/m²)

Rycina 3. Porównanie jasności ekranów stacji naziemnych Yuneec Typhoon H520 (po lewej, jasność ok. 400 cd/m²) oraz DJI Matrice 300 (po prawej, jasność do 1000 cd/m²)

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Firefighting drones

Firefighting drones are primarily intended to deliver and distribute the extinguishing agent in hard-to-reach places or where the risk of endangering the life and health of a firefighter would be too high. Currently, the availability of this type of structures is very limited, often they were not checked during the actual action, but only as part of various tests and demonstrations. The greatest difficulty that this type of machine has to deal with is the need to climb up with the extinguishing agent, often weighing a multiple of the weight of the drone itself. In addition, it is worth paying attention to the fact that the drone during the actual operation will have to counteract, among others, gusts of wind, kickback caused by the administration of the extinguishing agent or changes in the position of the centre of gravity resulting from its movement inside the tank. Therefore, such structures must have a high load capacity (MTOM – maximum take-off mass) while maintaining a relatively low own weight, be characterized by high flight stability and have an adequate reserve of power necessary to lift the load and properly operate the drone. As a result, unmanned air ships with a multi-rotor structure, containing at least six engines, are most often used for the action. This allows for a high MTOM parameter (maximum take-off mass) and, at the same time, high stabilization in flight.

The power supply in this type of a drone must provide enough energy to cover the energy requirements of all engines at all times. In view of the above, due to a large MTOM mass of this design, it should be assumed that the batteries must have high capacity and current efficiency or be tethered.

According to the authors, in the case of such use of UAVs, their control range is not a key parameter. Such UAVs should be used locally, without the need for a long flight with the maximum allowable load. On one hand, this will allow for some protection of the place of use of such a device, and on the other – for a better use of electricity used to power the drone.

Drony gaśnicze

Drony gaśnicze mają służyć przede wszystkim do dostarczenia i dystrybucji środka gaśniczego w trudno dostępnych miejscach lub tam, gdzie ryzyko narażenia życia i zdrowia strażaka byłoby zbyt wysokie. Obecnie dostępność tego typu konstrukcji jest bardzo niewielka, często nie były one sprawdzane w trakcie rzeczywistej akcji, a jedynie w ramach różnego rodzaju testów i pokazów. Największą trudnością, z jaką muszą sobie poradzić tego typu maszyny, jest konieczność wzniesienia się do góry wraz ze środkiem gaśniczym, często ważącym wielokrotność wagi samego drona. Dodatkowo warto zwrócić uwagę na fakt, że dron w trakcie rzeczywistej akcji będzie musiał przeciwdziałać m.in. porywom wiatru, odrzutowi spowodowanemu podawaniem środka gaśniczego czy zmianom położenia środka ciężkości wynikającym z jego przemieszczania się wewnątrz zbiornika. W związku z powyższym tego rodzaju konstrukcje muszą posiadać duży udźwig (MTOM – ang. *maximum take-off mass*) przy zachowaniu stosunkowo niskiej masy własnej, charakteryzować się dużą stabilnością lotu oraz posiadać odpowiedni zapas mocy, niezbędny do wyniesienia ładunku i odpowiedniego operowania dronem. W efekcie najczęściej do akcji są wykorzystywane bezałogowe statki powietrzne o konstrukcji wielowirnikowej, zawierające co najmniej sześć silników. Pozwala to na uzyskanie wysokiego parametru MTOM (maksymalnej masy startowej) i jednocześnie dużej stabilizacji w locie.

Zasilanie w tego rodzaju dronie musi zapewniać wystarczającą ilość energii, aby w każdej chwili pokryć zapotrzebowanie na energię wszystkich silników. W związku z powyższym ze względu na dużą masę MTOM tej konstrukcji należy założyć, że akumulatory muszą posiadać dużą pojemność i wydajność prądową lub być zasilane przewodowo (ang. *tethered*).

Według autorów, w przypadku takiego wykorzystania BSP, ich zasięg sterowania nie jest parametrem kluczowym. Tego rodzaju BSP powinny być wykorzystane lokalnie, bez konieczności dalekiego przelotu z maksymalnym dopuszczalnym obciążeniem. Pozwoli to z jednej strony na pewne zabezpieczenie miejsca wykorzystywania takiego urządzenia, z drugiej na lepsze wykorzystanie energii elektrycznej służącej do zasilania drona.



Figure 4. Examples of UAVs designed to extinguish fires: SKU: FFU-012, manufacturer UAVForDrone (on the left), firefighting drone, manufacturer AERONES (on the right)

Rycina 4. Przykłady BSP przeznaczonych do gaszenia pożarów: SKU: FFU-012, producent UAVForDrone (po lewej), dron gaśniczy, producent AERONES (po prawej)

Source / Źródło: [13–14].

Drones for monitoring and observation

Drones intended for reconnaissance and coordination of activities constitute a group of products most often used in both the State and Volunteer Fire Brigades. These types of machines, due to their easy availability, low weight and relatively low cost, are often used by these formations to provide support: while searching for people [15], during the reconnaissance of the operation site [16], during the firefighting operation [17], during flooding and flood risk [18].

As you can see, drones intended for this type of operation must have a long range – both for control and video transmission – in such a manner that the material recorded with the use of UAVs can be transmitted as soon as possible to the command and communication vehicle or the person coordinating the operations. Currently, the range declared by manufacturers of multi-rotor ships, which are most often used in such operations, often exceeds 4 km. However, it should be noted that this is usually the range tested under ideal conditions, which are very rare in practice. For example, the manufacturer of the Matrice 300 RTK drone declares a range of up to 8 km, while stipulating that it is a range in the so-called open, interference-free area, in accordance with the CE certificate and it is an approximate value for the strength of a radio link [19]. For example, practice gained during exercises in the Kobyłańska Valley [20] or the Olsztyn-Mazury airport organized in 2021 proves that the range is a factor that can still generate problems during the actual action. In a real situation, various types of interference and disturbances from antennas or radars may limit the range of data and image transmission to approx. 1 km.

The common element of all UAVs is to have high-quality cameras, the characteristics of which should start with their resolution. The higher it is, the more detailed the obtained image is. This allows to see more details, to more easily recognize, but it also makes image transmission difficult due to larger file sizes. In case of using UAVs for remote detection, four functions should be indicated, each of which requires higher resolution:

- surveillance – observation over a large area, providing general awareness of the site or the environment,

Drony do monitoringu i obserwacji

Drony przeznaczone do rozpoznania i koordynacji działań stanowią grupę wyrobów najczęściej wykorzystywaną zarówno w Państwowej, jak i Ochotniczej Straży Pożarnej. Tego typu maszyny ze względu na ich łatwą dostępność, niewielką masę i relatywnie niski koszt są często używane przez wspomniane formacje do zapewnienia wsparcia: w trakcie poszukiwań osób [15], w trakcie rozpoznania miejsca działań [16], podczas akcji gaśniczej [17], podczas podtopień i zagrożenia powodziowego [18].

Jak widać, drony przeznaczone do tego typu operacji muszą charakteryzować się dużym zasięgiem – zarówno sterowania, jak i transmisji materiału wideo – w taki sposób, aby nagrany z wykorzystaniem BSP materiał jak najszybciej przetransmitować do wozu dowodzenia i łączności lub osoby koordynującej działania. Obecnie zasięg deklarowany przez producentów wielowirnikowców, które najczęściej są wykorzystywane w takich operacjach, często przekracza 4 km. Należy jednak zaznaczyć, że jest to z reguły zasięg badany w idealnych warunkach, bardzo rzadko występujących w praktyce. Przykładowo, producent drona Matrice 300 RTK deklaruje zasięg aż 8 km, jednocześnie zastrzegając, że chodzi o zasięg w tzw. otwartym, wolnym od zakłóceń terenie, zgodnie z certyfikatem CE i jest on wartością przybliżoną dla siły łącza radiowego [19]. Praktyka zdobyta np. podczas ćwiczeń w Dolinie Kobyłańskiej [20], czy porcie lotniczym Olsztyn-Mazury zorganizowanych w roku 2021 dowodzi, że zasięg jest czynnikiem, który wciąż może generować problemy w trakcie rzeczywistej akcji. W realnej sytuacji różnego rodzaju interferencje oraz zakłócenia pochodzące od anten czy radarów mogą ograniczyć zasięg transmisji danych i obrazu do ok. 1 km.

Wspólnym elementem wszystkich BSP jest posiadanie wysokiej jakości kamer, których charakterystykę warto rozpocząć od ich rozdzielczości. Im jest ona wyższa, tym uzyskany obraz jest bardziej szczegółowy. Pozwala to na dostrzeżenie większej liczby detali, łatwiejsze rozpoznanie, ale niesie ze sobą także utrudnioną transmisję obrazu ze względu na większe rozmiary plików. W przypadku użycia BPS do zdalnej detekcji należy wskazać cztery funkcje, z których każda kolejna wymaga zastosowania większej rozdzielczości:

- detection – the ability to distinguish the object from the background (e.g. heat source, object color),
- classification and recognition – the ability to determine the type of object that has been detected (e.g. human, car, bird, life buoy),
- identification – the ability to accurately identify a person or object (e.g. car brand, registration number).

Currently, the issue of setting the camera is often overlooked during training, but according to the authors, its proper operation and knowledge of its settings are key to obtaining the right material that will be useful for the action leader. Therefore, in the next chapter, the most important – according to the authors – parameters and settings of the camera and their impact on the final result of the drone's work will be presented.

Parameters and settings of RGB cameras

RGB cameras, due to the continuous miniaturization, along with the improvement of their parameters, are one of the basic elements of the equipment of each UAV. The most important parameters and their importance for the taken pictures are presented and described below.

The matrix is the basic element of the camera, and its size is one of the main determinants of the cost of the camera. The larger the size of the matrix, the more light it can allow to pass through, which in turn allows for wider variations in image sharpness. There are many standardized matrix sizes, the size of which is relative to the full frame (36 x 24 mm). Table 1 presents the most common sizes of matrices mounted in the UAVs and cameras with which they are equipped. The larger the matrix, the more details of the image it is able to register. Examples of various matrices mounted in drones and cameras adapted to be carried by UAVs are also included in the Table below.

- dozorowanie – obserwacja na dużym obszarze, zapewniająca ogólną świadomość terenu lub środowiska,
- detekcja – możliwość odróżnienia obiektu od tła (np. źródło ciepła, kolor obiektu),
- sklasyfikowanie i rozpoznanie – zdolność do określenia typu obiektu, jaki został wykryty (np. człowiek, samochód, ptak, boja ratunkowa),
- identyfikacja – możliwość dokładnej identyfikacji człowieka lub obiektu (np. marka samochodu, numer rejestracyjny).

Obecnie kwestia ustawienia kamery jest często pomijana w trakcie szkoleń, jednak zdaniem autorów jej odpowiednia obsługa i wiedza na temat jej ustawień jest kluczowa dla uzyskania odpowiedniego materiału, który będzie użyteczny dla kierującego akcją. W związku z tym w kolejnym rozdziale zostaną przedstawione najważniejsze – według autorów – parametry i ustawienia kamery oraz ich wpływ na efekt końcowy pracy drona.

Parametry i ustawienia kamer RGB

Kamery RGB, ze względu na ciągłą miniaturyzację, wraz z poprawą ich parametrów są jednym z podstawowych elementów wyposażenia każdego BSP. Najważniejsze parametry oraz ich znaczenie dla wykonywanych zdjęć zostały przedstawione i opisane poniżej.

Matryca jest podstawowym elementem kamery, a jej wielkość stanowi jeden z głównych wyznaczników kosztów kamery. Im większy rozmiar matrycy, tym więcej światła jest w stanie ona przepuścić, co w konsekwencji pozwala na szersze zmiany w ostrości obrazu. Istnieje wiele ustandaryzowanych rozmiarów matryc, których wielkość podawana jest względem pełnej klatki (o wymiarach 36 x 24 mm). W tabeli 1 przedstawiono najczęściej występujące rozmiary matryc montowanych w BSP i kamerach, w które są one wyposażone. Im większa matryca, tym więcej szczegółów obrazu jest ona w stanie zarejestrować. Przykłady różnych matryc montowanych w dronach i kamerach przystosowanych do przenoszenia przez BSP także zostały uwzględnione w tabeli poniżej.

Table 1. Examples of the sizes of matrices mounted in the UAVs and cameras with which they are equipped
Tabela 1. Przykłady rozmiarów matrycy montowanych w BSP i kamerach, w które są one wyposażone

No./ Lp.	Size of the matrix / Rozmiar matrycy	Example / Przykład	
		Unmanned aerial vehicle / Bezzałogowy statek powietrzny	Camera / Kamera
1	Full frame / Pełnoklatkowa	DJI Enterprise FlyTech Birdie UAV	Zenmuse P1 Mapping Camera Surveyor 42S
2	1/2.3 inches / 1/2.3 cala Full frame magnification: 5.62x / Powiększenie względem pełnej klatki: 5.62x	DJI Mavic 2 Zoom Parrot BeBop 2 DJI Phantom 4 Mavic Pro	Zenmuse X3 Modus QX30
3	1 inch / 1 cal Full-frame zoom: 2.7x / Powiększenie względem pełnej klatki: 2.7x	DJI Air 2S DJI Phantom 4 Pro Autel EVO II Pro	Zenmuse L1 Yuneec E90 senseFly S.O.D.A. 3D
4	4/3 inches / 4/3 cala Full-frame zoom: 2x / Powiększenie względem pełnej klatki: 2x	PowerEye	Zenmuse X5S
5	APS-C matrix / Matryca APS-C Full-frame zoom: 1.5x / Powiększenie względem pełnej klatki: 1.5x	FlyTech Birdie UAV	Zenmuse X7 senseFly Aeria X

Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

The photograph below (see Figure 5) shows how the size of the observed world changes depending on the size of the matrix.

Na poniższym zdjęciu (zob. ryc. 5) przedstawiono, jak zmienia się rozmiar obserwowanego świata w zależności od wielkości matrycy.



Figure 5. Image size depending on the size of the matrix in relation to the full frame matrix
Rycina 5. Wielkość zdjęcia w zależności od rozmiaru matrycy w odniesieniu do matrycy pełnoklatkowej (ang. *full frame*)

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Apart from the size of the matrix, an important element of the camera is its focal length. It determines the camera's field of vision (FOV), i.e. the size of the reality slice that the camera captures. As a rule, cameras in drones have a fixed focal length that can be changed by changing the lens. We give the focal lengths in millimetres. Human vision has a focal length of approx. 50 mm and a field of view of 40° horizontally for each eye [21]. The angle of view increases as the focal length decreases, but then one can observe the so-called fisheye that distorts off-centre subjects. It may worsen the recognition of a single photo, but currently, in the case of orthophotos and many photographs, appropriate software is able to compensate for this effect. In case of fire observation flights, where due to thermal conditions it is necessary to maintain a reasonable (higher) altitude, it may be reasonable to use cameras with a low FOV. On the other hand, when searching for or observing a large area (e.g. river floods, grass fires), it may be appropriate to fly at lower heights – which allows to maintain adequate detail of the material and use lenses and cameras with a higher FOV parameter in order to maintain the best resolution (at the need to locate and identify objects) and cover as much area as possible. Therefore, the FOV parameter together with the image quality (detail) will determine the target height of the mission and its duration.

Ważnym elementem kamery poza rozmiarem matrycy jest jego ogniskowa. Decyduje ona o kącie widzenia kamery (ang. *field of vision* – FOV) czyli wielkości wycinka rzeczywistości, którą aparat uchwyci. Z reguły kamery w dronach posiadają stałą ogniskową, którą można zmieniać poprzez wymianę obiektywu. Wartości ogniskowej podajemy w milimetrach. Wzrok człowieka posiada ogniskową ok. 50 mm i pole widzenia 40° w poziomie na każde oko [21]. Kąt widzenia zwiększa się wraz ze zmniejszaniem się ogniskowej, jednak wówczas zaobserwować można efekt tzw. rybiego oka, który zniekształca obiekty położone poza głównym planem zdjęcia. Może on pogorszyć rozpoznawalność pojedynczego zdjęcia, jednak obecnie w przypadku ortofotomap i wielu zdjęć odpowiednie oprogramowanie jest w stanie zniwelować ten efekt. W przypadku lotów obserwacyjnych nad pożarami, gdzie ze względu na warunki termiczne konieczne jest utrzymywanie rozsądnej (wyższej) wysokości, zasadnym może być korzystanie z kamer o małym FOV. Natomiast przy poszukiwaniach czy obserwacjach dużego obszaru (np. rozlewiska rzek, pożary traw) właściwym może okazać się wykonywanie lotów na mniejszych wysokościach – co pozwala na zachowanie odpowiedniej szczegółowości materiału oraz zastosować obiektywy i kamery z większym parametrem FOV w celu zachowania jak najlepszej rozdzielczości (na potrzeby lokalizacji i identyfikacji obiektów) oraz obejmowania jak największego obszaru. W związku z powyższym parametr FOV wraz z jakością (szczegółowością) obrazu będzie decydował o docelowej wysokości prowadzenia misji i jej czasie.

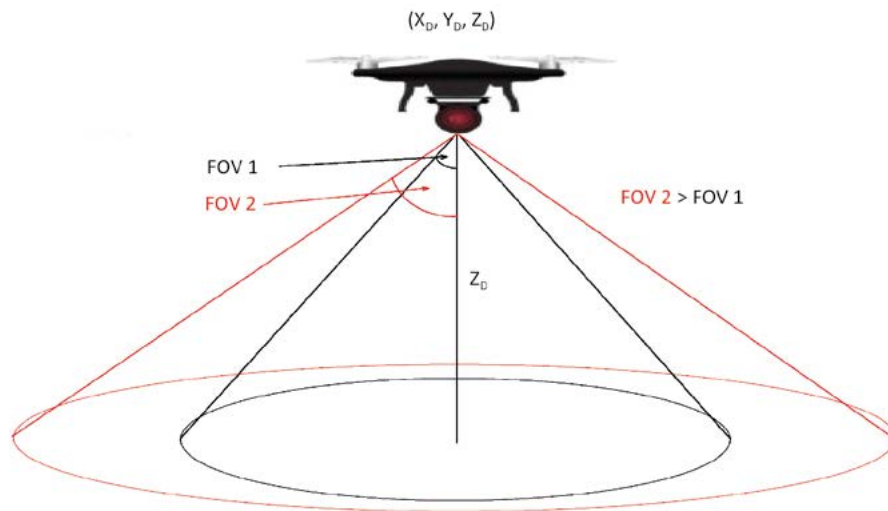


Figure 6. Illustrating the effect of the value of the field of view FOV parameter on a photo
Rycina 6. Zobrazowanie wpływu wartości parametru pola widzenia kamery FOV na zdjęcie
Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

In addition to the parameters that we as users often have no influence on, the cameras offer a set of settings that are designed to configure the appropriate exposure of the photograph. Due to the significant diversity of both the conditions during the mission and the types of situations in which UAVs are used in the fire service, knowledge of the impact of individual parameters is crucial for their practical use. Auto mode, which is adapted to civilian use, may not work properly under unusual conditions (e.g. when monitoring a fire area with high flame brightness). Exposure in photography determines the amount of light that is needed to take a proper photograph. The exposure is adjusted by changing the aperture value and shutter speed in relation to the selected ISO sensitivity. These three interdependent parameters create the so-called exposure triangle. Some cameras have light sensors, allowing automatic or semi-automatic selection of photo parameters to maintain proper exposure. Semi-automatic exposure is informing the user whether there is enough light on the matrix, while the automatic exposure adjusts the aperture to the manually set time, the time to the manually set aperture or both parameters simultaneously according to a set algorithm. However, experience shows that the used algorithms work correctly only under favourable conditions, but in extreme conditions they rarely give satisfactory results.

One of the main parameters that the user of the camera can adjust is the change of the aperture, marked with the letter f . The aperture is a device that regulates the amount of light entering the camera by changing the size of the lens aperture. Currently, it has been adopted to determine the aperture value with successive reciprocal powers of f , obtaining the values shown in Table 2.

Poza parametrami, na które często jako użytkownicy nie mamy wpływu, kamery oferują zestaw ustawień, które mają na celu konfigurację odpowiedniej ekspozycji zdjęcia. Ze względu na znaczne zróżnicowanie zarówno warunków w trakcie misji, jak i rodzajów sytuacji, w jakich BSP wykorzystywane są w straży pożarnej, wiedza na temat wpływu poszczególnych parametrów jest kluczowa dla praktycznego ich wykorzystania. Tryb auto, który jest przystosowany do zastosowań cywilnych często może nie działać poprawnie w niestandardowych warunkach (np. podczas monitorowania obszaru pożaru z dużą jasnością płomieni). Ekspozycja w fotografii określa niezbędną ilość światła, jaka jest potrzebna do wykonania prawidłowego zdjęcia. Dostosowanie ekspozycji odbywa się poprzez zmianę wartości przysłony i czasu naświetlania w stosunku do wybranej czułości matrycy ISO. Te trzy zależne od siebie parametry tworzą tzw. trójkąt ekspozycji. Niektóre aparaty posiadają czujniki oświetlenia, pozwalając na automatyczny lub półautomatyczny dobór parametrów zdjęcia, aby zachować odpowiednią ekspozycję. Ekspozycja półautomatyczna polega na informowaniu użytkownika, czy na matrycę pada wystarczająca ilość światła, natomiast ekspozycja automatyczna dobiera przysłonę do ręcznie ustawionego czasu, czas do ustawionej ręcznie przysłony lub oba parametry jednocześnie według zadanego algorytmu. Doświadczenie pokazuje jednak, że wykorzystywane algorytmy poprawnie działają jedynie w sprzyjających warunkach, jednak w skrajnych rzadko kiedy dają zadowalające rezultaty.

Jednym z głównych parametrów, jaki użytkownik aparatu jest w stanie regulować, jest zmiana otworu przesłony oznaczany literą f . Przesłona jest urządzeniem, które reguluje ilość światła wpadającego do aparatu poprzez zmianę wielkości otworu obiektywu. Obecnie przyjęto oznaczanie wartości przysłony kolejnymi potęgami odwrotności f , otrzymując wartości pokazane w tabeli 2.

Table 2. Aperture value series**Tabela 2.** Typoszereg wartości przysłony

Aperture number / Liczba przysłony								
f/1	f/1,4	f/2	f/2,8	f/4	f/5,6	f/8	f/11

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

The f/1 symbol means that the diameter of the aperture is equal to the diameter of the lens. Increasing the aperture by each new position reduces the amount of light entering the lens by half. Therefore, increasing the aperture will reduce the amount of light entering the camera. Thus, the surroundings will be clearer (it will have more details).

The amount of light entering the camera can be controlled not only by the aperture opening level, but also by the amount of time light enters the camera (shutter speed). Usually this parameter is expressed in seconds or its fractions. Changing the shutter speed greatly affects the appearance of moving subjects. The slower the shutter speed, the more blurred the photo. This parameter is very important when taking pictures during a photogrammetric flight. From a practical point of view, if you need to make a detailed orthophoto in the evening, you need to choose a longer shutter opening time, and therefore, when planning a mission, you should hover UAV with each photo. This translates into the time of completing the mission, which will be longer than in the case of a mission without stopping the UAV with a faster shutter speed during a sunny day. The photographs below (see Figure 7) show how the taken photos change as the exposure time slows down.

Symbol f/1 oznacza, że średnica otworu przysłony jest równa średnicy obiektywu. Zwiększenie przysłony o każdą kolejną pozycję powoduje zmniejszenie ilości wpuszczanego do obiektywu światła o połowę. W związku z powyższym zwiększanie przysłony będzie skutkowało redukcją ilości światła, które wpada do aparatu. Tym samym otoczenie będzie bardziej wyraźne (będzie posiadało więcej szczegółów).

Ilość światła wprowadzanego do aparatu może być regulowana nie tylko poziomem otwarcia przysłony, ale również czasem, przez który światło będzie wpadało do aparatu (czas otwarcia migawki). Zwykle parametr ten wyrażany jest w sekundach lub jej ułamkach. Zmiana czasu otwarcia migawki ma duży wpływ na wygląd obiektów w ruchu. Im dłuższy czas otwarcia migawki, tym zdjęcie będzie bardziej rozmyte. Ten parametr ma bardzo duże znaczenie w przypadku wykonywania zdjęć w trakcie oblotu fotogrametrycznego. Z praktycznego punktu widzenia, w przypadku konieczności wykonania szczegółowej ortofotomapy wieczorem, trzeba dobrać większy czas otwarcia przysłony, a w związku z tym w trakcie planowania misji należy przy każdym zdjęciu wykonać zawis BSP. Ma to przełożenie na czas wykonania misji, który będzie dłuższy niż przy misji bez zatrzymywania BSP z krótszym czasem otwarcia migawki podczas nasłonecznionego dnia. Na poniższych zdjęciach (zob. ryc. 7) przedstawiono, w jaki sposób zmieniają się wykonane fotografie wraz ze zmniejszaniem się czasu naświetlania.

Aperture f/2.8, ISO 100, shutter speed: / Przysłona f/2.8, ISO 100, czas otwarcia migawki:



Figure 7. The effect of changing the shutter speed on photographs (ISO 100, f/2,8)

Rycina 7. Wpływ zmiany czasu naświetlania na zdjęcia (ISO 100, f/2,8)

Source: Niegoszowice OSP.

Źródło: OSP Niegoszowice.

The last parameter characteristic for digital photography is the sensor sensitivity determined by the ISO parameter. It assumes values from 100 to even over 12,000, whereas the range from 100 to 3200 is the most common in UAVs. It is sufficient for taking pictures in standard lighting conditions for which

Ostatnim parametrem charakterystycznym dla fotografii cyfrowej jest czułość matrycy określana przez parametr ISO. Przyjmuje on wartości od 100 do nawet ponad 12 000, przy czym w BSP najczęściej występuje zakres od 100 do 3200. W zupełności wystarcza do wykonywania zdjęć w standardowych

unmanned aerial vehicles are adapted. The higher the ISO value, the brighter the image becomes. As a rule, in good daylight conditions and due to the fact that more light enters a camera at a height (due to the absence of obstacles), it is best to set the ISO parameter to the lowest value. For overcast or late afternoon operations, it may be necessary to increase ISO. Lowering the ISO value may also be useful when collecting material from the firefighting operation, while increasing it will be advisable in the evening. An example of changing the ISO parameter and its effect on the photograph is shown in Figure 8.

warunkach oświetleniowych, do jakich są przystosowane bezzałogowe statki powietrzne. Im wyższa wartość parametru ISO, tym bardziej rozjaśniane jest zdjęcie. Z reguły w warunkach dobrego dziennego oświetlenia i wobec faktu, że do kamery będącej na wysokości (ze względu na brak przeszkód) wpada więcej światła, najlepiej jest ustawiać parametr ISO na najniższą wartość. W przypadku operacji podczas zachmurzenia lub późnym popołudniem może być konieczne zwiększenie ISO. Obniżenie wartości ISO może być również przydatne w trakcie zbierania materiału z akcji gaśniczej, natomiast jego zwiększanie będzie uzasadnione wieczorem. Przykład zmiany parametru ISO i jego wpływ na fotografię zilustrowano na rycinie 8.

ISO 100



ISO 200



ISO 800



ISO 1600



Figure 8. Effect of ISO change on photographs (exposure time 640s, f/2.8)
Rycina 8. Wpływ zmiany ISO na zdjęcia (czas ekspozycji 640s, f/2,8)

Source: Niegoszowice OSP.
Źródło: OSP Niegoszowice.

Another parameter that can often be set in UAV cameras is the colour temperature. This parameter, expressed in Kelvin, determines the temperature of the light source at which the photograph is taken. The choice of colour temperature is related to the white balance and allows for the correct reproduction of colours in the photograph. This is very important in case of all kinds of searches for people, where, in an extreme case, the wrong colour reproduction in the picture may lead to the failure to recognize the wanted person. Table 3 shows the colour temperature ranges for different light sources.

Kolejnym parametrem, który często można ustawiać w kamerach BSP, jest temperatura barwowa. Parametr ten, wyrażony w kelwinach, określa temperaturę źródła światła, przy jakim jest robione zdjęcie. Dobór temperatury barwowej jest powiązany z balansem bieli i pozwala na poprawne odwzorowanie kolorów na zdjęciu. Jest to bardzo ważne w przypadku wszelkiego rodzaju poszukiwań ludzi, gdzie w skrajnym przypadku złe odwzorowanie kolorystyki na zdjęciu może doprowadzić do nierozpoznania osoby poszukiwanej. W tabeli 3 przedstawiono przedziały temperatury barwowej dla różnych źródeł światła.

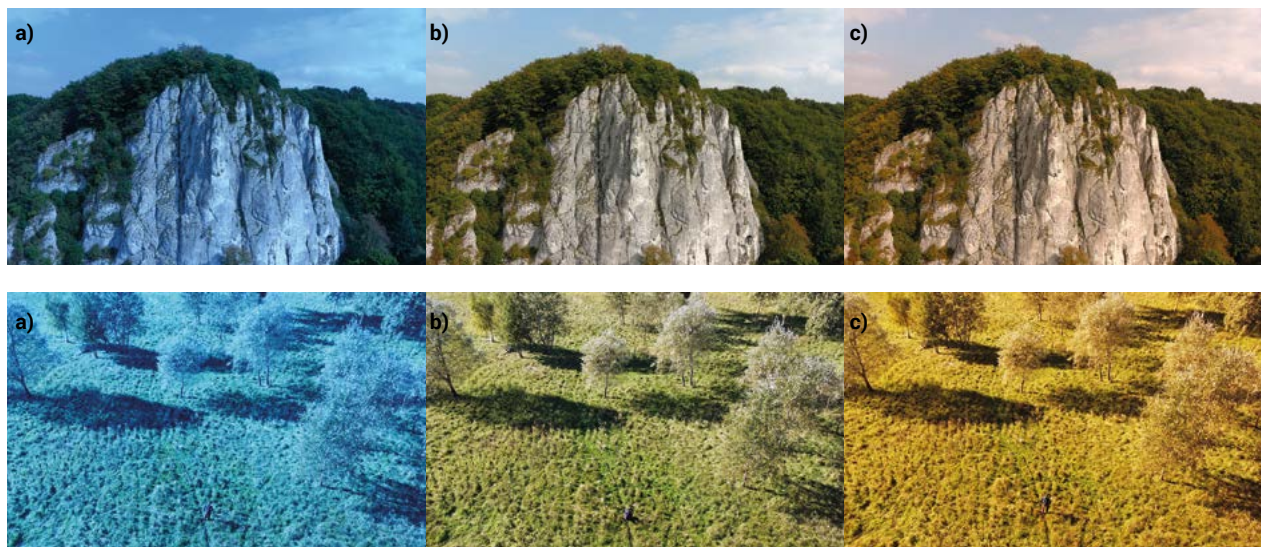
Table 3. Colour temperatures depending on the type of lighting source
Tabela 3. Temperatury barwowe w zależności od rodzaju źródła oświetlenia

No.	Colour temperature [K] / Temperatura barwowa [K]	Source of light / Źródło światła
1	1000–2000	Light of candles / Płomień świec
2	2800–3800	Incandescent lighting / Oświetlenie żarówek
3	3000–4200	Sunrise and sunset / Wschód i zachód słońca
4	5000–6500	Neutral sunlight on a clear day / Neutralne światło słoneczne w bezchmurny dzień
5	5500–7000	Afternoon sunlight / Światło słoneczne po południu
6	6500–8000	Natural light on a cloudy day, as well as this colour temperature, can be seen in the shade / Naturalne światło w pochmurny dzień, a także taką temperaturę barwową widać w cieniu
7	8000–10000	Very cloudy day and after sunset / Bardzo pochmurny dzień i po zachodzie słońca

Source: Own elaboration.
 Źródło: Opracowanie własne.

The photographs below show how the change in colour temperature affects the final photograph (see Figure 9). As you can see, the wrong choice of the colour temperature makes the photo unnatural and may make its analysis difficult, e.g. in terms of searching.

Na poniższych zdjęciach przedstawiono, jak zmiana temperatury barwowej wpływa na ostateczną fotografię (zob. ryc. 9). Jak widać, zły dobór temperatury barwowej powoduje nienaturalność zdjęcia i może utrudnić jego analizę, np. pod kątem poszukiwań.



- a) too low temperature / zbyt niska temperatura,
 b) correctly selected temperature / poprawnie dobrana temperatura,
 c) too high temperature / zbyt wysoka temperatura.

Figure 9. Effect of changing colour temperature on photographs
Rycina 9. Wpływ zmiany temperatury barwowej na zdjęcia

Source: Niegoszowice OSP.
 Źródło: OSP Niegoszowice.

Additional elements for RGB cameras

Before commencing flights with the use of UAVs, the rescuer can choose additional elements (including various filters). Their selection strongly depends on the lighting prevailing at the moment. Filters for unmanned aerial vehicles can be divided into four main categories:

- ultraviolet UV,
- polarizing,
- grey ND,
- others.

Ultraviolet filters began their history with the protection of film in analogue cameras. Currently – due to the use of the photosensitive matrix in cameras – this application is not useful, but UV filters are still occasionally used in unmanned aerial vehicles and protect the camera from dirt or scratches on the lens. In addition, this procedure slightly reduces the amount of invisible to humans UV radiation that enters the camera, which eliminates the characteristic blue glow in photographs taken on a sunny day (e.g. in the mountains).

Elementy dodatkowe do kamer RGB

Już przed przystąpieniem do lotów z wykorzystaniem BSP ratownik ma możliwość dobrania elementów dodatkowych (m.in. różne filtry). Ich dobór jest mocno uzależniony od panującego w danym momencie oświetlenia. Filtry do kamer bezzałogowych statków powietrznych można podzielić na cztery główne kategorie:

- ultrafioletowe UV,
- polaryzacyjne,
- szare ND,
- inne.

Filtry ultrafioletowe swoją historię zaczynały od ochrony filmu w aparatach analogowych. Obecnie – ze względu na wykorzystanie matrycy światłoczułej w kamerach – zastosowanie to nie jest przydatne, jednak filtry UV nadal są sporadycznie stosowane w bezzałogowych statkach powietrznych i zabezpieczają kamerę przed zabrudzeniem czy zdrapaniem obiektywu. Dodatkowo, w nieznacznym stopniu zabieg ten ogranicza ilość niewidzialnego dla człowieka promieniowania UV, które wpada do kamery, co niweluje charakterystyczny niebieski poblask na zdjęciach wykonywanych w słoneczny dzień (np. w górach).

Without UV filter /
Bez filtru UV



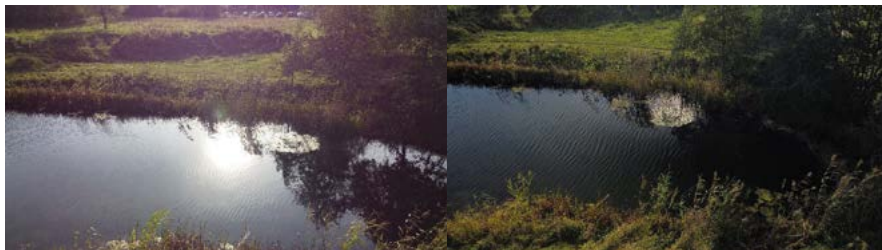
With UV filter /
Z filtrem UV

Figure 10. Effect of using a UV filter on a photograph
Rycina 10. Wpływ zastosowania filtru UV na wykonywane zdjęcie
Source: Niegoszowice OSP.
Źródło: OSP Niegoszowice.

Another group of filters installed in UAV cameras are polarization filters. Their main task is to filter out a specific polarization of light, i.e. in practice to eliminate solar reflections from the surface, e.g. metal or water, which allows to see under its surface. Above all such filters will prove themselves during all kinds of searches in the vicinity of water reservoirs.

Kolejna grupa filtrów montowanych do kamer BSP to filtry polaryzacyjne. Ich głównym zadaniem jest odfiltrowanie określonej polaryzacji światła, czyli w praktyce wyeliminowanie refleksów słonecznych od powierzchni np. metalu lub wody, co pozwala zajrzeć pod jej powierzchnię. Takie filtry sprawdzą się przede wszystkim w trakcie wszelkiego rodzaju poszukiwań w okolicach zbiorników wodnych.

Without
polarizing filter /
Bez filtru
polaryzacyjnego



With polarizing
filter / Z filtrem
polaryzacyjnym

Figure 11. The effect of using a polarizing filter on the taken picture
Rycina 11. Wpływ zastosowania filtru polaryzacyjnego na wykonywane zdjęcie
Source: Niegoszowice OSP.
Źródło: OSP Niegoszowice.

The third type of filters are the so-called grey filters (neutral density – ND). They are used to limit the amount of light let into the camera. This allows to change and better adjust the parameters responsible for exposure, such as shutter speed, the degree of aperture or ISO, described in the article in the section *Parametry i ustawienia kamer RGB*. There are many types and ND filters that vary in the amount of darkness in the image, and their value changes with the successive powers of 2. ND filters are used depending on both solar and artificial lighting (e.g. fire). The most popular ND filters with their proposed use are presented in Table 4.

Trzeci rodzaj filtrów to tzw. filtry szare (ang. *neutral density* – ND). Służą one do ograniczenia ilości wpuszczanego do aparatu fotograficznego światła. Pozwala to na zmianę i lepsze dopasowanie parametrów odpowiedzialnych za ekspozycję, takich jak czas otwarcia migawki, stopień otwarcia przesłony czy ISO, opisanych w artykule w części *Parametry i ustawienia kamer RGB*. Występuje wiele rodzajów i filtrów ND, różniących się stopniem przyciemnienia obrazu, a ich wartość zmienia się wraz z kolejnymi potęgami liczby 2. Filtry ND stosuje się zarówno w zależności od oświetlenia słonecznego, jak i sztucznego (np. pożaru). Najpopularniejsze filtry ND wraz z ich proponowanym zastosowaniem zostały przedstawione w tabeli 4.

Table 4. The use of individual ND filters depending on the type of lighting
Tabela 4. Zastosowanie poszczególnych filtrów ND w zależności od rodzaju oświetlenia

No. / Lp.	Filter / Filtr	Intended use / Przeznaczenie
1	ND4	Dusk or dawn, when the amount of light is not large / Zmierzch lub świt, gdy ilość światła nie jest duża
2	ND8	Cloudy sky / Zachmurzone niebo
3	ND16	Partly cloudy skies / Częściowo zachmurzone niebo
4	ND32	Clear sky / Bezchmurne niebo
5	ND64	Very bright surroundings, e.g. snowy winter during the day / Bardzo jasne otoczenie np. śnieżna zima w dzień

Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

Currently, there are universal ND filters that have the ability to manually adjust the degree of darkness of the image, but they often do not work properly at the periphery of the photographed image and are more expensive than permanent darkening filters. Additionally, the market offers filters combining the dimming function (ND filter) and the elimination of reflections (polarization filter).

Obecnie istnieją uniwersalne filtry ND posiadające możliwość manualnej regulacji stopnia przyciemniania obrazu, jednak często nie działają one poprawnie na obrzeżach fotografowanego obrazu i są droższe od filtrów o stałym przyciemnieniu. Dodatkowo na rynku oferowane są filtry łączące funkcję przyciemniania (filtr szary ND) oraz eliminacji refleksów (filtr polaryzacyjny).

Without ND filter /
Bez filtru ND



With ND4 filter /
Z filtrem ND4

With ND8 filter /
Z filtrem ND8



With ND16 filter /
Z filtrem ND16

With ND32 filter /
Z filtrem ND32



Figure 12. The effect of ND grey filters on the taken picture (exposure time: 160s, f/2.8, ISO 100)

Rycina 12. Wpływ filtrów szarych ND na wykonywane zdjęcie (czas ekspozycji: 160s, f/2,8, ISO 100)

Source: Niegoszowice OSP.

Źródło: OSP Niegoszowice.

The last group consists of all other filters. They generate various artistic effects, but their application is irrelevant in case of fire brigades. This group of filters includes, among others:

- star filters – generating an effect of, for example, stars in photographs,
- colour filters – aimed at highlighting and enhancing a specific colour,
- half filters – as a special example of a grey filter that darkens only part of the frame,
- others.

In conclusion, on one hand the selection of appropriate additional elements for cameras used in unmanned aerial vehicles has a large impact on the manner of conducting the mission and its parameters (e.g. height), on the other hand, it affects the quality of the delivered material and thus the speed and accuracy of its processing, and ultimately its usefulness for the carried out activities. Due to the wide range of cameras used by the fire brigade, one type of camera cannot be selected – this equipment should be selected depending on the needs and conditions that prevail or are expected at the site of the operation.

Parameters and settings of thermal imaging cameras

Thermal imaging cameras, including those mounted on UAVs, are increasingly used during various actions involving firefighters. However, it should be noted that having appropriate parameters predestines a given type of thermal imaging camera for specific applications. There are five main factors that influence the possible application of the camera. These are:

- measurement range,
- focal length and field of view (FOV),
- detector resolution,
- thermal sensitivity,
- spectral range,
- image refresh rate.

Ostatnią grupę stanowią wszystkie inne filtry. Generują one różne efekty artystyczne, jednak ich zastosowanie nie ma znaczenia w przypadku działalności straży pożarnej. Do tej grupy filtrów należy zaliczyć m.in.:

- filtry gwiazdkowe – generujące na zdjęciach efekt np. gwiazd,
- filtry barwne – mające na celu podkreślenie i uwydatnienie określonego koloru,
- filtry połówkowe – jako specjalny przykład filtru szarego, przyciemniającego jedynie część kadru,
- inne.

Podsumowując, dobór odpowiednich elementów dodatkowych do kamer stosowanych w bezałogowych statkach powietrznych z jednej strony ma duży wpływ na sposób prowadzenia misji i jej parametry (np. wysokość), z drugiej strony wpływa na jakość dostarczonego materiału i tym samym szybkość oraz dokładność jego obróbki, a ostatecznie jego użyteczności dla prowadzonych działań. Ze względu na szeroki zakres wykorzystywania kamer przez straż pożarną nie można wybrać kamery jednego rodzaju – sprzęt ten należy dobierać w zależności od potrzeb i warunków, jakie panują lub są spodziewane w miejscu akcji.

Parametry i ustawienia kamer termowizyjnych

Kamery termowizyjne, w tym te montowane na BSP, coraz częściej są wykorzystywane w trakcie różnych akcji z udziałem strażaków. Należy zauważyć jednak, że posiadanie odpowiednich parametrów predestynuje dany rodzaj kamery termowizyjnej do określonych zastosowań. Można wyróżnić pięć zasadniczych czynników, które wpływają na możliwe zastosowanie kamery. Są to:

- zakres pomiarowy,
- ogniskowa i pole widzenia (FOV),
- rozdzielczość detektora,
- czułość termiczna,
- zakres spektralny,
- częstotliwość odświeżania obrazu.



Figure 13. The appearance of Zenmuse H20T camera
Rycina 13. Widok kamery Zenmuse H20T

Source: <https://www.DJI.com> [access: 20.09.2021].
Źródło: <https://www.DJI.com> [dostęp: 20.09.2021].

The first mentioned parameter in the thermal imaging camera – the measurement range – corresponds to the temperature range that the camera will be able to measure. Wrong selection of the measuring range to the temperature of the objects being filmed may lead to blurring the image, making it impossible to recognize other objects. This is especially important in extreme situations with elevated temperatures. Depending on the expected values, sufficient measuring ranges as below can be assumed:

- for inspection of electrical installations – from 0°C to 300°C,
- to search for people – from 0°C to 50°C,
- during fires – to 1500°C.

Thermal imaging cameras most often installed in UAVs have measurement ranges from about -40°C to 550°C. For the time being, due to a relatively high cost and low measuring range, their usefulness is limited. Along with the increase of temperature range to the level of 1500°C and above, the use of such cameras can be very helpful in terms of checking damage to steel structures of warehouses, etc.

Another parameter of thermal imaging cameras is the focal length and the related field of view (FOV). As in the case of RGB cameras, also here the focal length defines what lens will be used, and in combination with the resolution of the detector,

Pierwszy wymieniony parametr – zakres pomiarowy – w kamerze termowizyjnej odpowiada zakresowi temperatur, jakie będzie w stanie mierzyć kamera. Zły dobór zakresu pomiarowego do temperatury obiektów filmowanych może doprowadzić do rozmycia obrazu, uniemożliwiając rozpoznanie innych obiektów. Ma to szczególne znaczenie w sytuacjach ekstremalnych, gdzie występują podwyższone temperatury. W zależności od spodziewanych wartości możemy przyjąć wystarczające zakresy pomiarowe jak poniżej:

- do inspekcji instalacji elektrycznych – od 0°C do 300°C,
- do poszukiwań ludzi – od 0°C do 50°C,
- przy pożarach – do 1500°C.

Kamery termowizyjne najczęściej montowane w BSP posiadają zakresy pomiarowe od ok. -40°C do 550°C. Stosunkowo wysoki koszt oraz niski zakres pomiarowy powoduje, że ich przydatność jest na razie ograniczona. Wraz ze wzrostem zakresu temperatury do poziomu 1500°C i powyżej zastosowanie takich kamer może być bardzo pomocne pod kątem sprawdzania uszkodzeń konstrukcji stalowych hal magazynowych itp.

Kolejnym parametrem kamer termowizyjnych jest ogniskowa i związane z nią pole widzenia (FOV). Podobnie jak w przypadku kamer RGB, także tutaj ogniskowa definiuje jaki obiektyw będzie użyty, a w połączeniu z rozdzielczością detektora określa pole

Zenmuse H20T THERMAL CAMERA PARAMETERS / KAMERA TERMOWIZYJNA PARAMETRY	
Lens / Obiektyw	DFOV: 40.6° Focal length: 13.5 mm (equivalent: 58 mm) Aperture: f/1.0 Focus: 5 m do ∞ / DFOV: 40.6°
	Ogniskowa: 13.5 mm (ekwiwalent: 58 mm) Przysłona: f/1.0 Ostrość: 5 m do ∞
Digital zoom / Zoom cyfrowy	1x, 2x, 4x, 8x
Video resolution / Rozdzielczość video	640x512 @
Frequency / Częstotliwość	30 Hz
Video format / Format video	MP4
Image resolution / Rozdzielczość obrazu	640x512
Image format / Format obrazu	R-JPEG (16 bit)
Pixel size / Rozmiar piksela	12 μm
Band / Pasma	8–14 μm
Sensitivity (NETD) / Czułość (NETD)	≤50 mK @ f/1.0
Temperature measurement / Pomiar temperatury	Spot, measured centrally / Punktowy, mierzony centralnie
Temperature range / Zakres temperatur	from -40°C to 150°C (High Gain) from -40°C to 550°C (Low Gain) / od -40°C do 150°C (High Gain) od -40°C do 550°C (Low Gain)

it determines the field of view of the camera, i.e. the fragment of reality that the camera covers. As in case of RGB cameras, also here the focal length defines what lens will be used, and in combination with the resolution of the detector, it determines the field of view of the camera, i.e. the fragment of reality that the camera covers. As a rule, in the work of a firefighter, a wide-angle lens (angle of view approx. 45° – 55°) is better suited, providing a wide picture of reality, thus helpful, for example, in searching. In order to measure specific points, the so-called telephoto lenses work better (with angles of view in the range of 5° – 15°).

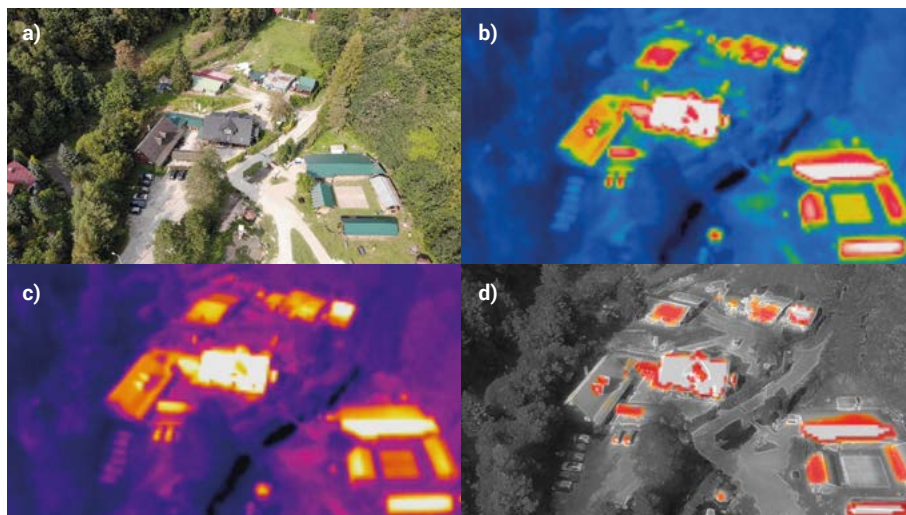
As in RGB cameras resolution is another important parameter. For infrared cameras, it is given in pixels, not in megapixels. The higher the resolution of the thermal imaging camera, the more accurate the image. For instance, the resolution of 320×240 allows the recognition of a person standing from a distance of about 125 m [22]. Unfortunately, as the resolution increases, so does the cost of the hardware.

Currently, industrial thermal imaging cameras have HD resolution (i.e. at the level of 1024×768 pixels, i.e. 0.8 Mpix). As standard, unmanned aerial vehicles use thermal imaging cameras with a resolution of 640×512 or – less frequently – 336×256 . The resolution of cameras (or in fact the accuracy and readability of photographs) can be improved by using various filters and by overlapping the detected edges from the RGB image and the thermal image. Such a procedure is carried out by the software almost in real time, thanks to which the legibility is improved, which facilitates the subsequent use of the material by other people. Another solution is to use a colour palette to colour the heat source. Depending on the manufacturer and model of the camera, these can be: Fusion, Rainbow, Globow, Icefire, Iron Black, Iron Red, Cool, White, Black and others.

widzenia kamery, czyli wycinek rzeczywistości, który kamera obejmuje. Z reguły w pracy strażaka lepiej sprawdzi się obiektyw szerokokątny (kąt widzenia ok. 45° – 55°), dający szeroki obraz rzeczywistości, pomocny tym samym np. w poszukiwaniach. W celu pomiaru konkretnych punktów lepiej sprawdzą się tzw. teleobiektywy (o kątach widzenia w zakresie 5° – 15°).

Rozdzielczość jest kolejnym ważnym – podobnie jak w kamerach RGB – parametrem. W przypadku kamer termowizyjnych jest on podawany w pikselach, a nie megapikselach. Im wyższa rozdzielczość kamery termowizyjnej, tym dokładniejszy obraz. Przykładowo, rozdzielczość 320×240 umożliwia już rozpoznanie osoby stojącej z dystansu ok. 125 m [22]. Niestety wraz ze wzrostem rozdzielczości wzrasta również koszt sprzętu.

Obecnie kamery termowizyjne przemysłowe posiadają rozdzielczość HD (tzn. na poziomie 1024×768 pikseli czyli 0,8 Mpix). Standardowo w bezzałogowych statkach powietrznych wykorzystuje się kamery termowizyjne o rozdzielczości 640×512 lub – rzadziej – 336×256 . Rozdzielczość kamer (a w zasadzie dokładność i czytelność zdjęć) może być poprawiona dzięki zastosowaniu różnych filtrów oraz poprzez nałożenie się wykrytych krawędzi z obrazu RGB i obrazu termowizyjnego. Taki zabieg realizowany jest poprzez oprogramowanie prawie w czasie rzeczywistym, dzięki czemu poprawia się czytelność, co ułatwia późniejsze wykorzystanie materiału przez inne osoby. Kolejnym rozwiązaniem jest zastosowanie palety barw koloryzującej źródła ciepła. W zależności od producenta i modelu kamery mogą to być: Fusion, Rainbow, Globow, Icefire, Iron Black, Iron Red, Cool, White, Black i inne.



a) view from RGB camera / widok z kamery RGB,
 b) infrared view with rainbow palette / widok termowizyjny z paletą rainbow,
 c) infrared view with iron palette / widok termowizyjny z paletą iron,
 d) view with superimposed RGB and thermal images / widok z nałożonymi obrazami RGB i termowizyjnym.

Figure 14. The appearance of Zenmuse H20T camera
Rycina 14. Widok kamery Zenmuse H20T

Source: Niegoszowice OSP.
 Źródło: OSP Niegoszowice.

The properties of individual colour palettes in thermal imaging cameras are shown in Figure 15.

Właściwości poszczególnych palet barw w kamerach termowizyjnych przedstawiono na rycinie 15.

				
WHITE HOT: displays warmer objects in white and cooler objects in black / WHITE HOT: wyświetla cieplejsze obiekty na biało, a chłodniejsze – na czarno	BLACK HOT: inverted version of White Hot, displaying warmer objects as white and cooler objects as black; useful in winter scenery / BLACK HOT: odwrócona wersja White Hot, wyświetlająca cieplejsze obiekty jako białe, a chłodniejsze jako czarne; przydatna w sceneriach zimowych	RAINBOW: a general-purpose palette, with warm colours representing the hottest part of the image and cool colours representing the coldest; suitable for locating objects in environments with minimal heat differences / RAINBOW: paleta ogólnego przeznaczenia, z ciepłymi kolorami reprezentującymi najgorętszą część obrazu i chłodnymi kolorami reprezentującymi najzimniejsze; nadaje się do lokalizowania obiektów w środowiskach o minimalnych różnicach ciepła	RAINBOW HC (High Contrast) adds greater (than Rainbow) contrast to the image, allowing to see more even details and see subtle temperature differences; best suited for scenes with minimal heat change / RAINBOW HC (High Contrast) dodaje większy (niż w Rainbow) kontrast do obrazu, co pozwala zobaczyć bardziej równomierne szczegóły i dostrzec subtelne różnice temperatur; najlepiej nadaje się do scen z minimalną zmianą ciepła	IRONBOW: quickly identifies thermal anomalies and body heat, hot objects are displayed in brighter, warm colours, while cold objects are marked with dark, cool colours / IRONBOW: szybko identyfikuje anomalie termiczne i ciepło ciała, gorące obiekty są wyświetlane w jaśniejszych, ciepłych kolorach, podczas gdy zimne obiekty oznaczone są ciemnymi, chłodnymi kolorami
				
LAVA: displays warmer objects in red, cooler ones – in blue; useful for quick capturing of temperature of objects in low contrast environments / LAVA: wyświetla cieplejsze obiekty na czerwono, chłodniejsze – na niebiesko; przydatna do szybkiego uchwycenia temperatury obiektów w środowiskach o niskim kontraście	ARCTIC: displays warmer objects in yellow and cooler objects in blue; darker shading catches even slight changes in temperature / ARCTIC: wyświetla cieplejsze obiekty na żółto, a chłodniejsze – na niebiesko; ciemniejsze cieniowanie wyłapuje nawet niewielkie zmiany temperatury	GLOWBOW: displays warmer objects in yellow and cooler objects in red / GLOWBOW: wyświetla cieplejsze obiekty na żółto, a chłodniejsze – na czerwono	GRADED FIRE: displays warmer objects in white and cooler objects in black; the hottest temperatures are displayed in yellow and the coldest temperatures are displayed in purple / GRADED FIRE: wyświetla cieplejsze obiekty na biało, a chłodniejsze – na czarno; najgorętsze temperatury są wyświetlane na żółto, najzimniejsze na fioletowo	HOTTEST: displays warmer objects in white and cooler objects in black; only the hottest temperatures are displayed in yellow / HOTTEST: wyświetla cieplejsze obiekty na biało, a chłodniejsze na czarno; na żółto wyświetlane są tylko najgorętsze temperatury

Figure 15. Characteristics of colour palettes of thermal imaging cameras
Rycina 15. Charakterystyka palet kolorów kamer termowizyjnych

Source: <https://www.dronefly.com/autel-evo-ii-dual-usp.html> [access: 23.09.2021].
Źródło: <https://www.dronefly.com/autel-evo-ii-dual-usp.html> [dostęp: 23.09.2021].

Parameters of thermal imaging cameras are often presented in such a way that the image resolution is compared with the refresh rate. In the mentioned Zenmuse H20T camera the frequency is 30 Hz, which means that the image is refreshed 30 times per second. This ensures a smooth image, faster updating of the camera view and ultimately enables a more reliable assessment of the situation during operations. The lower the frequency, the more choppy, time-lapse movement of the image.

Parametry kamery termowizyjnej często prezentowane są w ten sposób, że rozdzielczość obrazu zestawiana jest z częstotliwością jego odświeżania. We wspomnianej kamerze Zenmuse H20T częstotliwość wynosi 30 Hz, co oznacza, że obraz odświeżany jest 30 razy na sekundę. Zapewnia to płynny obraz, szybszą aktualizację widoku z kamery i docelowo umożliwia bardziej wiarygodną ocenę sytuacji podczas działań. Im mniejsza częstotliwość, tym bardziej rwany, poklatkowy ruch obrazu.

Thermal sensitivity (noise equivalent temperature difference – NETD) is the fourth parameter that should be considered when selecting a thermal imaging camera. NETD is the minimum temperature difference the camera is able to observe. The relationship is as follows: the smaller the value of the parameter (expressed in mK), the more sensitive (better) the camera is, because it enables the detection of smaller temperature differences, and therefore provides more accurate data. It is also worth paying attention to the temperature at which this parameter is measured – some manufacturers artificially lower it, providing values at a higher temperature (e.g. 50°C instead of 30°C, which is standard for the industry).

The last parameter is the spectral range, i.e. the range of the recorded waves. As a rule, the most popular cameras record wavelengths of 8–14 μm (long-wave range), but there are cameras that record waves of other infrared wavelengths (e.g. 3–5 μm , the so-called mid-infrared). Such cameras have a number of additional features. The most interesting is that the cameras operating in the mid-infrared range can see through glass, thanks to which they can be used, for example, to quickly identify and locate people trapped in high-rise office buildings. In addition, such thermal imaging cameras can detect gas leaks such as propane, methane or butane.

Multispectral cameras

Multispectral cameras are increasingly being considered for use in search and rescue operations. They have even greater possibilities than RGBs and thermal imaging cameras, because apart from recording in the range of visible light (RGB cameras) and infrared radiation (thermal imaging cameras), they also record microwaves up to ultraviolet. In practice, these are cameras with several sensors operating in parallel (see Figure 16).



Figure 16. DJI P4 Multispectral multispectral camera
Rycina 16. Kamera multispektralna DJI P4 Multispectral

Source: <http://www.swiatdronow.pl/dji-p4-multispectral-nowy-dron-dla-rolnictwa> [access: 23.09.2021].
Źródło: <http://www.swiatdronow.pl/dji-p4-multispectral-nowy-dron-dla-rolnictwa> [dostęp: 23.09.2021].

Due to the above and due to the necessity of greatest miniaturization of multispectral cameras adapted to be carried by unmanned aerial vehicles, their prices are very high. In addition, an important aspect in the case of using these cameras is applying appropriate algorithms for processing the obtained spectral

Czułość termiczna (ang. *noise equivalent temperature difference* – NETD) jest czwartym parametrem, na który warto zwrócić uwagę przy doborze kamery termowizyjnej. NETD to minimalna różnica temperatur, którą kamera jest w stanie zaobserwować. Zależność jest następująca: im mniejsza wartość parametru (wyrażona w mK), tym bardziej czuła (lepiej) kamera, ponieważ umożliwia ona wykrycie mniejszych różnic temperatur, a zatem dostarcza dokładniejszych danych. Warto w tym momencie również zwrócić uwagę na temperaturę, w jakiej jest mierzony ten parametr – część producentów sztucznie go zaniża, podając wartości w temperaturze wyższej (np. 50°C zamiast 30°C, która jest standardowa dla branży).

Ostatnim parametrem jest zakres spektralny, czyli zakres rejestrowanych fal. Z reguły najbardziej popularne kamery rejestrują fale o długości 8–14 μm (zakres długofalowy), jednak pojawiają się kamery rejestrujące fale o innych długościach podczerwieni (np. 3–5 μm , tzw. średnia podczerwień). Takie kamery posiadają szereg dodatkowych właściwości. Do najciekawszych należy zaliczyć to, że kamery pracujące w zakresie średniej podczerwieni widzą przez szkło, dzięki czemu mogą posłużyć np. do szybkiej identyfikacji i lokalizacji osób uwięzionych w wysokich biurowcach. Dodatkowo takie kamery termowizyjne posiadają możliwość wykrywania wycieków gazów, takich jak propan, metan czy butan.

Kamery multispektralne

Kamery multispektralne są coraz częściej rozważane do wykorzystywania w trakcie akcji poszukiwawczych i ratowniczych. Posiadają jeszcze większe możliwości niż kamery RGB i termowizyjne, ponieważ poza rejestracją w zakresie światła widzialnego (kamery RGB) oraz promieniowania podczerwonego (kamery termowizyjne) rejestrują również mikrofały aż do ultravioletu. W praktyce są to kamery posiadające w sobie kilka czujników działających równolegle (zob. ryc. 16).

W związku z powyższym oraz ze względu na konieczność jak największej miniaturyzacji kamer multispektralnych dostosowanych do przenoszenia przez bezałogowe statki powietrzne ich ceny są bardzo wysokie. Dodatkowo ważnym aspektem w przypadku wykorzystania tych kamer jest stosowanie odpowiednich

images and using appropriate spectral models. This means that the interpretation of unprocessed material from a multispectral camera is very difficult – to detect various objects, it is necessary to know the range of radiation they emit (i.e. their spectral models).

The greatest advantages of multispectral cameras include the ability to detect objects partially hidden, e.g. under dense trees, and even objects shallowly buried underground. Apart from the previously presented applications of RGB cameras and thermal imaging cameras, there are many examples of the possible use of multispectral cameras which include:

- searching for bodies [23],
- searching for people [24],
- detection of mines [25],
- detection of hidden plane wrecks [26],
- testing the moisture of bedding / substrate [27],
- detection of chemical compounds [28],
- assessment of the condition of vegetation after a fire [29].

Another application of unmanned aerial vehicles

As indicated in the introduction, UAVs have a wide range of applications and can support the activities of rescuers in a wide range. Increasingly, unmanned aerial vehicles are being retrofitted with various types of systems, including enabling the measurement of concentrations and composition of various substances, including hazardous ones. Such a set can be a great element of additional equipment for CBRN units (chemical, biological, radiological and nuclear), ensuring quick recognition of the situation, determining the type of substance and its concentration without exposing the firefighters. Currently, there are many different systems on the market that cooperate with UAVs, e.g. SOWA, Scendroid DR1000, Nosacz, AtmonFL [30]. Some of the mentioned systems (e.g. SOWA) are tested on specific drone constructions and dedicated to them, which means that the manufacturer has provided the necessary power reserve and planned the installation of the system on the drone. Some systems available on the market are universal, but not every drone is able to work with them. In this case, it is necessary to provide a device with a sufficient reserve of power, so that it is able to bear an additional sensor (which may weigh between 200 and 1500 g) and to counteract the gusts of wind for which it has been adapted. In addition, it is very important that the system is mounted as close as possible to the centre of gravity of the drone, then it has the least impact on the stability of the UAV. The system should not cover the communications antennas or GNSS positioning systems. The photograph below (see Figure 17) shows Yuneec Typhoon H520 drone with installed ATMON FL sensor.

algorytmów przetwarzania i obróbki otrzymanych obrazów spektralnych oraz korzystania z odpowiednich modeli spektralnych. Oznacza to, że interpretacja nieopracowanego materiału z kamery multispektralnej jest bardzo trudna – do wykrywania różnych obiektów musimy znać zakres promieniowania, jaki emitują (czyli ich modele spektralne).

Do największych zalet kamer multispektralnych należy zaliczyć zdolność wykrywania obiektów częściowo ukrytych np. pod gęstym zadrzewieniem, a nawet obiektów płytko zakopanych pod ziemią. Istnieje wiele przykładów możliwego zastosowania kamer multispektralnych, do których – poza wcześniej przedstawionymi zastosowaniami kamer RGB i kamer termowizyjnych – należy:

- poszukiwanie ciał [23],
- poszukiwanie ludzi [24],
- wykrywanie min [25],
- wykrywanie ukrytych wraków samolotów [26],
- badanie wilgotności ściółki/podłoża [27],
- wykrywanie związków chemicznych [28],
- ocena stanu roślinności po pożarze [29].

Inne zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych

Jak wskazano we wstępie, BSP posiadają szeroki wachlarz zastosowań i mogą wspierać działania ratowników w szerokim zakresie. Coraz częściej bezzałogowe statki powietrzne doposażają się w różnego rodzaju układy m.in. umożliwiające pomiar stężeń i składu różnych substancji, w tym niebezpiecznych. Taki zestaw może być świetnym elementem dodatkowego wyposażenia jednostek CBRN (ang. *chemical, biological, radiological and nuclear*), zapewniając szybkie rozpoznanie sytuacji, określenie rodzaju substancji i jej stężenia bez narażania strażaków. Obecnie na rynku istnieje wiele różnych systemów współpracujących z BSP, np. SOWA, Scendroid DR1000, Nosacz, AtmonFL [30]. Część z wymienionych systemów (np. SOWA) jest przetestowana na konkretnych konstrukcjach dronów i im dedykowana, co oznacza, że producent zapewnił niezbędny zapas mocy i przewidział montaż systemu na dronie. Niektóre systemy dostępne na rynku są uniwersalne, jednak nie każdy dron jest w stanie z nimi współpracować. W tym przypadku należy zapewnić urządzeniu odpowiedni zapas mocy, tak aby było w stanie udźwignąć dodatkowy czujnik (który może ważyć między 200 a 1500 g) oraz przeciwdziałać podmuchom wiatru, do jakich zostało przystosowane. Dodatkowo bardzo ważne jest, aby system był zamontowany jak najbliżej środka ciężkości drona, wówczas w najmniejszym stopniu wpływa na stabilność BSP. System nie powinien zakrywać anten do komunikacji lub systemów pozycjonowania GNSS. Na zdjęciu poniżej (zob. ryc. 17) przedstawiono drona Yuneec Typhoon H520 z zamontowanym czujnikiem ATMON FL.



Figure 17. Yuneec Typhoon H520 with installed ATMON FL air quality measurement system by Nanosens
Rycina 17. Yuneec Typhoon H520 z zamontowanym systemem pomiaru jakości powietrza ATMON FL firmy Nanosens
Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

In this type of application, it is also advantageous that both the UAV and the sensor that performs the measurement have a long range, which will effectively reduce the risk of poisoning the pilot. The very specificity of CBRNE actions and the necessity to perform long-term monitoring require a long time of UAV operation. As a result, long-term flight is possible, as well as monitoring of both the concentration of substances and people in the immediate vicinity.

In case of using UAVs for CBRNE operations, its construction is important. It should be airtight and made of chemically resistant materials. On one hand, this will allow flying in aggressive chemical environments, and on the other for relatively simple and quick decontamination of the structure and its re-use. Working in an explosive atmosphere is an aspect no less important that must be met by UAVs in the course of CBRNE tasks. Such situations can happen in places such as refineries, paint shops, etc. Therefore, structures that operate in such conditions should additionally meet the requirements of the ATEX directive. During the review of literature, individual reports about UAVs that would be able to meet these requirements were found [31], but this topic is of great interest [32].

Another application of UAVs, more and more often considered under various projects, is the use of swarms of unmanned aerial vehicles, whose task is to automatically ensure and maintain communication between individual units participating in the rescue and firefighting operation. Such a solution seems to be particularly interesting in the context of extensive disasters and is the subject of analyses e.g. in the ASSISTANCE project [33]. In this case, the key parameters for UAVs will be: appropriate UAV transmission range proper for the type of communication network being set up, resistance to weather conditions such as

W tego typu zastosowaniach korzystne jest również, aby zarówno BSP, jak i sensor dokonujący pomiaru posiadały duży zasięg, co skutecznie ograniczy ryzyko zatrucia pilota. Sama specyfika akcji CBRNE i konieczność wykonania długotrwałego monitoringu wymaga długiego czasu pracy BSP. W rezultacie możliwy jest długotrwały lot i monitoring zarówno stężenia substancji, jak i ludzi w najbliższej okolicy.

W przypadku wykorzystania BSP do akcji CBRNE ważna jest jego konstrukcja. Powinna być ona szczelna i wykonana z materiałów odpornych chemicznie. Pozwoli to z jednej strony na lot w agresywnych środowiskach chemicznych, z drugiej na stosunkowo prostą i szybką dekontaminację konstrukcji i jej ponowne użycie. Nie mniej istotnym aspektem, jaki muszą spełniać BSP w trakcie zadań CBRNE jest praca w atmosferze wybuchowej. Takie sytuacje mogą się zdarzyć w miejscach takich jak rafinerie, rozlewnie lakierów itp. W związku z tym konstrukcje, które pracują w takich warunkach, dodatkowo powinny spełniać wymagania stawiane w dyrektywie ATEX. W trakcie przeglądu literatury odnaleziono pojedyncze doniesienia o BSP, który byłby w stanie sprostać tym wymaganiom [31], niemniej temat ten cieszy się dużym zainteresowaniem [32].

Innym zastosowaniem BSP, coraz częściej rozważanym w ramach różnych projektów, jest wykorzystanie rojów bezzałogowych statków powietrznych, których zadaniem jest automatyczne zapewnienie i utrzymywanie komunikacji pomiędzy poszczególnymi jednostkami biorącymi udział w akcji ratowniczo-gaśniczej. Takie rozwiązanie wydaje się być szczególnie ciekawe w kontekście rozległych katastrof i jest przedmiotem analiz m.in. w projekcie ASSISTANCE [33]. W tym przypadku kluczowymi parametrami stawianymi BSP będą: odpowiedni zasięg transmisji BSP właściwy dla rodzaju ustawianej sieci komunikacyjnej,

rain and wind, and sufficient battery life. The last parameter can be omitted assuming that the drone is powered from an external energy source through a tethered wire.

The last possible use of a drone, mentioned in the introduction, is for transport purposes. This design, due to its intended use, has similar requirements to firefighting drones, but the emphasis on individual parameters changes. Similarly to the firefighting drone, the transport drone must also have an appropriate MTOM parameter that allows to carry a load of the right weight. It is also very important in these constructions to place the load as close as possible to the UAV's centre of mass in order to minimize the impact on stability of the flight. A large mass at a distance from the centre of gravity during turns and gusts of wind will act like a pendulum, causing unstable flight. Unlike firefighting drones, another parameter that is important in transport structures is the range of data transmission (telemetry and video) and flight time. As a rule, cargo will not be moved over short distances, so it is crucial to ensure the appropriate range and flight time.

Cargo drones can be used by fire brigades to carry small loads such as AED (automated external defibrillator), medicines or samples. Such use of UAVs will be particularly applicable in difficult terrain, e.g. in a flood-affected area, enabling quick and easy delivery of medicines to people in need.

Summary and conclusions

This article presents an overview of selected UAV parameters and settings important in the operational work of the fire brigade. Thus, it is part of a research area related to the operational use of UAVs and the standardization, and certification of UAVs.

It is worth noting that although PSP and OSP units are increasingly willing to use UAVs, it is still necessary to disseminate knowledge about the impact of individual parameters and the selection of settings on the functionality and effectiveness of using UAVs during rescue operations. The transfer of such knowledge is important because most of the officers using UAVs during an operation are trained in accordance with civilian guidelines, which do not take into account the specificity of the work and often do not discuss additional elements of UAV equipment, such as cameras and their settings.

Thermal imaging can detect human body heat regardless of lighting conditions, so even small drones equipped with a thermal imaging camera can be used to recognize human activity. Their use also allows to find hot spots, e.g. a wooden ceiling, due to which it is possible to withdraw firefighters from an area where a roof can collapse. The above considerations also show that while a thermal imaging camera can be a useful and even invaluable tool, its parameters are important. As mentioned, a camera with a resolution of 140x140 or 320x256 pixels will allow locating an object, but not identifying it (it will be impossible to determine whether, for example, an anthill or a human has been noticed).

odporność na warunki atmosferyczne takie jak opady i wiatr oraz odpowiednio długi czas pracy na baterii. Ostatni parametr może być pominięty przy założeniu, że dron zasilany jest z zewnętrznego źródła energii poprzez przewód (ang. *tethered*).

Ostatnim, przytoczonym we wstępie, możliwym wykorzystaniem drona jest użycie go do celów transportowych. Taka konstrukcja, ze względu na przeznaczenie, ma zbliżone wymagania do dronów gaśniczych, jednak nacisk na poszczególne parametry się zmienia. Podobnie jak dron gaśniczy, także dron transportowy musi charakteryzować się odpowiednim parametrem MTOM pozwalającym na przeniesienie ładunku o odpowiedniej masie. Bardzo ważne w tych konstrukcjach jest również umieszczenie ładunku jak najbliżej środka masy BSP, w celu jak najmniejszego wpływu na stabilność lotu. Duża masa umieszczona w odległości od środka ciężkości w trakcie zakrętów i podmuchów wiatru będzie działała podobnie do wahadła, powodując niestabilny lot. Inny parametr, który w przeciwieństwie do dronów gaśniczych jest istotny w konstrukcjach transportowych to zasięg transmisji danych (telemetrii i wideo) i czas lotu. Przenoszenie ładunków z reguły nie będzie odbywało się na krótkich odległościach, dlatego kluczowym jest zapewnienie odpowiedniego zasięgu i czasu lotu.

Drony cargo mogą być wykorzystywane przez straż pożarną do przenoszenia niewielkich ładunków takich jak AED (ang. *automated external defibrillator*), lekarstwa, czy próbki. Takie wykorzystanie BSP będzie miało szczególne zastosowanie w trudnym terenie np. obszarze dotkniętym powodzią, umożliwiając szybkie i łatwe dostarczenie lekarstw dla osób potrzebujących.

Podsumowanie i wnioski

W niniejszym artykule zawarto przegląd wybranych parametrów i ustawień BSP istotnych w pracy operacyjnej straży pożarnej. Tym samym wpisuje się on w nurt badań związanych z zastosowaniem operacyjnym BSP oraz z normalizacją, standaryzacją i certyfikacją BSP.

Warto zaznaczyć, że mimo iż jednostki PSP i OSP coraz chętniej wykorzystują BSP, nadal konieczne jest upowszechnianie wiedzy na temat wpływu poszczególnych parametrów i doboru ustawień na funkcjonalność oraz efektywność użycia BSP podczas działań ratowniczych. Przekazanie takiej wiedzy jest istotne, ponieważ większość funkcjonariuszy korzystających z BSP w trakcie akcji jest szkolona zgodnie z wytycznymi cywilnymi, które nie uwzględniają specyfiki pracy oraz często nie omawiają dodatkowych elementów wyposażenia BSP, takich jak kamery i ich ustawienia.

Obrazowanie termowizyjne potrafi wykryć ciepło ludzkiego ciała niezależnie od warunków oświetleniowych, dzięki czemu nawet małe drony wyposażone w kamerę termowizyjną mogą być wykorzystywane do rozpoznawania aktywności człowieka. Ich zastosowanie umożliwi także odnalezienie gorących punktów np. drewnianego stropu, dzięki czemu możliwe jest wycofanie strażaków z obszaru zagrożonego zarwaniem dachu. Z powyższych rozważań wynika także, że o ile kamera termowizyjna może być przydatnym, a nawet nieocenionym narzędziem, o tyle istotne są jej parametry. Jak wspomniano, kamera o rozdzielczości

It should be emphasized that the analyses, conclusions and recommendations presented in the article undoubtedly have a practical dimension, as they can serve not only as a guide when selecting UAVs and its configuration for the planned mission and activities, but also to determine its parameters for the needs of tenders and orders. They can also be useful in developing technical recommendations and recommendations increasing the reliability and performance of UAVs, as well as constitute a basis for further research and development works on the construction and application of UAVs in fire brigades.

There is no doubt that this article does not exhaust a wide range of issues on the matter. It requires further in-depth analyses and tests in order to maximize the benefits of using UAVs, as well as to increase the reliability and safety of the used devices. Moreover, it is also advisable to continue research work aimed at developing methodologies for UAV verification and their parameters in a repeatable, reliable and precise manner.

The results of these works may allow initial systematization of operational aspects related to the use of UAVs in rescue and firefighting operations. For the time being, no such analyses have been carried out. The results of this work can be used for further research and reflection. They should be treated as part of a very complex issue, which is undoubtedly the use of UAVs in rescue and firefighting operations.

The authors of the article would like to thank the firefighters from Niegoszowice Volunteer Fire Brigade (Małopolskie Voivodeship) for providing photographic materials, the possibility of practical verification of parameters during joint exercises, as well as valuable advice and tips.

List of abbreviations

AED	automatic external defibrillator – automatic, portable and easy-to-use defibrillator adapted to work outside
ATEX	atmosphere explosible – EU directive specifying the requirements for components intended for use in potentially explosive atmospheres
BSP	unmanned aerial vehicle – UAV – any aircraft in operation or intended to be operated without a pilot on board, which can operate autonomously or be remotely piloted
BVLOS	beyond visual line of sight – drone flight beyond the pilot's line of sight
cd/m ²	SI unit for defining brightness. The unit used in the past was the nit
ND grey filters	neutral density – filters that do not change the colour of the photographed image, which at the same time suppress the amount of incoming light.

140x140 czy 320x256 pikseli pozwoli na zlokalizowanie obiektu, ale już nie na jego identyfikację (niemożliwe będzie stwierdzenie, czy dostrzeżono np. mrowisko czy człowieka).

Należy podkreślić, że zestawione w artykule analizy, wnioski i rekomendacje mają niewątpliwie wymiar praktyczny, gdyż mogą posłużyć nie tylko jako wskazówka podczas doboru BSP i jego konfiguracji do planowanej misji i działań, ale także do określenia jego parametrów na potrzeby przetargów i zamówień. Mogą także okazać się przydatne przy opracowywaniu zaleceń technicznych i zaleceń zwiększających niezawodność i osiągi BSP, a także stanowić podstawę do dalszych prac badawczo-rozwojowych nad budową i zastosowaniem BSP w straży pożarnej.

Nie ulega wątpliwości, że niniejszy artykuł nie wyczerpuje bogatej problematyki. Wymaga ona dalszych pogłębionych analiz i badań, w celu maksymalizacji korzyści z zastosowania BSP, a także zwiększenia niezawodności i bezpieczeństwa wykorzystywanych urządzeń. Co więcej, wskazane jest również kontynuowanie prac badawczych ukierunkowanych na opracowanie metodyk weryfikacji BSP i ich parametrów w sposób powtarzalny, wiarygodny i precyzyjny.

Wyniki tych prac mogą pozwolić na wstępne usystematyzowanie aspektów operacyjnych dotyczących wykorzystania BSP w działaniach ratowniczo-gaśniczych. Do tej pory nie przeprowadzono takich analiz. Wyniki tej pracy mogą zostać wykorzystane do dalszych badań i refleksji. Należy je traktować jako część bardzo złożonego zagadnienia, jakim niewątpliwie jest wykorzystanie BSP w działaniach ratowniczo-gaśniczych.

Autorzy artykułu pragną złożyć serdeczne podziękowania strażakom-druhom z OSP Niegoszowice (woj. małopolskie) za udostępnienie materiałów zdjęciowych, możliwość praktycznej weryfikacji parametrów podczas wspólnych ćwiczeń oraz cenne rady i wskazówki.

Wykaz skrótów

AED	(ang. <i>automatic external defibrillator</i>) – automatyczny, przenośny i prosty w obsłudze defibrylator przystosowany do pracy na zewnątrz
ATEX	(ang. <i>atmosphere explosible</i>) – dyrektywa UE określająca wymagania stawiane elementom przeznaczonym do użytku w strefach zagrożonych wybuchem
BSP	bezzałogowy statek powietrzny (ang. <i>unmanned aerial vehicle</i> – UAV) – dowolny statek powietrzny eksploatowany lub przeznaczony do eksploatacji bez pilota na pokładzie, który może działać autonomicznie lub być pilotowany zdalnie
BVLOS	(ang. <i>beyond visual line of sight</i>) – lot dronem poza granicą wzroku pilota
cd/m ²	jednostka SI definiująca jasność. Dawniej stosowaną jednostką był nit

	<p>Their proper application allows for a greater range of changes in the parameters responsible for the exposure</p>	Filtry szare ND	(ang. <i>neutral density</i>) – filtry niezmiennające barwy fotografowanego obrazu, które jednocześnie tłumią ilość wpadającego światła. Ich odpowiednie zastosowanie pozwala na większy zakres zmian parametrów odpowiedzialnych za ekspozycję
FOV	field of vision – the angle of the camera view specified in degrees	FOV	(ang. <i>field of vision</i>) – kąt widzenia kamery określany w stopniach
GCS	ground control station – any device or apparatus to control, data acquisition and communicate with the unmanned aerial vehicles by the pilot also allowing the monitoring of UAV parameters in any phase of flight. Usually includes control sticks and monitor enabling flight management and a preview of the image from the camera placed on the UAV	GCS	(ang. <i>ground control station</i>) – naziemna stacja kontroli – dowolne urządzenie lub aparatura do sterowania, pozyskiwania danych i komunikacji z bezzałogowymi statkami powietrznymi przez pilota, umożliwiająca również monitorowanie parametrów BSP w dowolnej fazie lotu. Zazwyczaj zawiera drążki sterowe i monitor umożliwiający zarządzanie lotem oraz podgląd obrazu z kamery umieszczonej na BSP
Geocaching	a security system aimed at preventing the UAV from leaving the mission area	Geocaching	system bezpieczeństwa mający na celu uniemożliwienie opuszczenia danego obszaru misji przez BSP
Geofencing	a safety system used in UAV that prevents the aircraft from entering a specific (e.g. forbidden) area of the airspace	Geofencing	system bezpieczeństwa stosowany w BSP uniemożliwiający wlecenie statkowi powietrznemu w określony (np. zabroniony) obszar przestrzeni powietrznej
ISO	in photography, it is a parameter that defines a uniform sensitivity of the matrix in a camera	ISO	w fotografii jest to parametr definiujący ujedynoliczoną czułość matrycy w aparacie fotograficznym
MTOM	maximal take-off mass – the maximum take-off mass that the UAV can bear together with its unladen mass	MTOM	(ang. <i>maximal take-off mass</i>) – maksymalna masa startowa, jaką jest w stanie unieść BSP razem z masą własną
NETD	noise equivalent temperature difference – sensitivity of the thermal camera or minimum detectable temperature difference that takes into account the noise signal from the thermal sensor of the thermal camera. It describes how well the infrared detector is able to distinguish very small differences in thermal radiation in an image and is usually expressed in millikelvins [mK]	NETD	(ang. <i>noise equivalent temperature difference</i>) – czułość kamery termowizyjnej lub minimalna wykrywalna różnica temperatur, która uwzględni sygnał szumu z czujnika termicznego kamery termowizyjnej. Określa ona, jak dobrze detektor termowizyjny jest w stanie rozróżnić bardzo małe różnice w promieniowaniu cieplnym na obrazie i jest wyrażana zazwyczaj w milikelwinach [mK]
Orthophotomap	a map made on the basis of a photograph, e.g. from the UAV	Ortofotomapa	mapa wykonana na podstawie fotografii zdjęciowej np. z BSP
OSP	Volunteer Fire Brigade – a volunteer uniform rescue formation, intended in particular to fight fires, natural disasters or other local threats	OSP	Ochotnicza Straż Pożarna – ochotnicza umundurowana formacja ratownicza, przeznaczona w szczególności do walki z pożarami, klęskami żywiołowymi lub innymi miejscowymi zagrożeniami
PSP	State Fire Service – a professional uniformed rescue formation, intended in particular to fight fires, natural disasters or other local threats	PSP	Państwowa Straż Pożarna – zawodowa umundurowana formacja ratownicza, przeznaczona w szczególności do walki z pożarami, klęskami żywiołowymi lub innymi miejscowymi zagrożeniami
RTH	return to home – UAV safety function which is an emergency return to the starting point at a certain height	RTH	(ang. <i>return to home</i>) – funkcja bezpieczeństwa BSP polegająca na awaryjnym powrocie do punktu startu na określonej wysokości
GNSS systems	global navigation satellite systems – systems enabling navigation on the ground using data obtained from geostationary satellites	Systemy GNSS	(ang. <i>global navigation satellite systems</i>) – systemy umożliwiające nawigację na ziemi za pomocą danych uzyskiwanych z satelit geostacjonarnych
UV	ultraviolet – range of electromagnetic radiation with a wavelength from 10nm to 400nm invisible to humans	UV	(ang. <i>ultraviolet</i>) – zakres promieniowania elektromagnetycznego o długości fali od 10nm do 400nm niewidzialnego dla człowieka
VLOS	visual line of sight – flight with a drone in sight of the pilot for the entire duration of the operation	VLOS	(ang. <i>visual line of sight</i>) – lot z dronem w zasięgu wzroku pilota przez cały okres trwania operacji

Literature / Literatura

- [1] Akhloufi M.A., Couturier A., Castro N.A., *Unmanned aerial vehicles for wildland fires: Sensing, perception, cooperation and assistance*, „Drones” 2021, 5(1), 15, <https://doi.org/10.3390/drones5010015>.
- [2] Roldán-Gómez J.J., González-Girona E., Barrientos A., *A Survey on Robotic Technologies for Forest Firefighting: Applying Drone Swarms to Improve Firefighters' Efficiency and Safety*, „Applied Sciences” 2021, 11(1), 363, <https://doi.org/10.3390/app11010363>.
- [3] Konrad R., Serrano D., Strupler P., *Unmanned Aerial Systems – Chapter 3*, [w:] *Search and Rescue Robotics – From Theory to Practice*, IntechOpen, Chorwacja 2017, 3840, <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.68449>.
- [4] Jurecka M., Niedzielski T., *Poszukiwanie osób zaginionych w terenach otwartych: przegląd stosowanych metod*, Rozprawy Naukowe Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego 47, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław 2020, 6990.
- [5] <https://www.gov.pl/web/kmpsp-plock/konferencja-prasowa-podsumowujaca-dzialania-przeciwpowodziowe-w-plocku> [dostęp: 23.09.2021]; https://www.sadyogrody.pl/logistyka_i_opakowania/107/portugalia_straz_pozarna_uzywa_dronow_w_walce_z_pozarami_lasow,26856.html [dostęp: 23.09.2021]; <http://www.sdis78.fr/les-interventions/40-feu/2148-intervention-victor-5-ans-sauve-sa-famille-des-flammes> [dostęp: 23.09.2021].
- [6] Akhloufi M.A., Couturier A., Castro N.A. (2021), *UNMANNED AIRCRAFT SYSTEM (UAS) SEARCH AND RESCUE* – Addendum to the National Search and Rescue Supplement to the International Aeronautical and Maritime Search and Rescue Manual, National Search and Rescue Committee, Version 1.0, 2016, 2–8.
- [7] <https://www.facebook.com/Pompierdsdu13/posts/2758222150878836> [dostęp: 23.09.2021].
- [8] Vanderhorst H.R., Suresh S., Renukappa S., Heesom D., *Strategic framework of Unmanned Aerial Systems integration in the disaster management public organisations of the Dominican Republic*, „International Journal of Disaster Risk Reduction” 2021, 56, 5, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102088>.
- [9] Rabajczyk A., Zboina J., Zielecka M., Fellner R., *Monitoring of Selected CBRN Threats in the Air in Industrial Areas with the Use of Unmanned Aerial Vehicles*, „Atmosphere” 2020, 11(12), 1373, 2020, 11–12, <https://doi.org/10.3390/atmos11121373>.
- [10] Schierbeck S., et al., *Automated external defibrillators delivered by drones to patients with suspected out-of-hospital cardiac arrest*, „European Heart Journal” 2021, 2–4, <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab498>.
- [11] Hayat S., Yanmaz E., Muzaffar R., *Survey on unmanned aerial vehicle networks for civil applications: A communications viewpoint*, „IEEE Communications Surveys & Tutorials” 2016, 18(4), 2624–2627.
- [12] Sprawozdanie za rok 2020 z pracy badawczej pn. „Określenie metodyk badawczych bezzałogowych platform latających mających zastosowanie w działaniach PSP”, nr 083/CD/CNBOP-PIB/MNISW/2020, Józefów 2021, 30–31.
- [13] <https://www.uavfordrone.com/product/fire-fighting-drone-with-dry-powder-fire-extinguishing-boom/> [dostęp: 20.09.2021].
- [14] https://www.youtube.com/watch?v=U0VFWyviLio&ab_channel=IntelligentSystemsSIA [dostęp: 20.09.2021].
- [15] https://www.ospkety.pl/2021-09-22-poszukiwania-bobrek/?fbclid=IwAR0rwwljjzbpMgMbCDXRfrMq5D0-0WWD8jxWqob2PoxNP_wkl2M5X9QASKXA [dostęp: 23.09.2021]; <http://www.swiatdronow.pl/saruav-w-akcji-poszukiwania-35-latka-w-nowogrodzcu> [dostęp: 23.09.2021].
- [16] <https://www.youtube.com/watch?v=Gmf4oBenlY8> [dostęp: 23.09.2021].
- [17] <https://www.youtube.com/watch?v=D3BWpoJ6ijs> [dostęp: 23.09.2021].
- [18] <https://www.facebook.com/NiegoszowiceOSP/posts/1319313458484391> [dostęp: 23.09.2021].
- [19] https://enterprise.dji-ars.pl/produkty/matrice-300-rtk/?gclid=Cj0KCQjw18WKBhCUARIsAFiW7Jzhjrf0leq23I7k0y-ubM8iEBdt_Y7YQlJrU9RI9IGkjCcqTFNOH60gaAg7SEALw_wcB [dostęp: 27.09.2021].
- [20] https://www.youtube.com/watch?v=Ebe_BXXk49kv [dostęp: 27.09.2021].
- [21] https://pl.wikipedia.org/wiki/Obiektyw_standardowy [dostęp: 27.09.2021].
- [22] Pruss W., *Zastosowanie kamer termowizyjnych w działaniach ratowniczych*, SUPRON, 2016, 28.
- [23] Gallego A.J., Pertusa A., Gil P., Fisher R.B., *Detection of bodies in maritime rescue operations using unmanned aerial vehicles with multispectral cameras*, Wiley Online Library, [dok. elektr.] <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/rob.21849>.
- [24] Blondel P., Potelle A., Pégard C., Lozano R., *Fast and viewpoint robust human detection for sar operations*, IEEE International Symposium on Safety Security, and Rescue Robotics (SSRR), Hokkaido, Japan, 2014, 1–6.
- [25] Zare A., Bolton J., Gader P., Schatten M., *Vegetation mapping for landmine detection using long-wave hyperspectral imagery*, „IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.” 2008, vol. 46, 172–178.
- [26] Eismann M.T., Stocker A.D., Nasrabadi N.M., *Automated Hyperspectral Cueing for Civilian Search and Rescue*, „Proceedings of the IEEE” 2009, 97(6), 1031–1055.
- [27] Brandon M., Niemann L. and J.D., *Controls on Spatial Patterns of Soil Moisture in a Semiarid Montane Catchment with Aspect-Dependent Vegetation*, Konferencja Hydrology Days 2009.
- [28] Cygański A., *Metody spektroskopowe w chemii analitycznej*, WNT, Warszawa 1993.
- [29] Fernández-Guisuraga J.M., Sanz-Ablanedo E., Suárez-Seoane S., Calvo, L., *Using unmanned aerial vehicles in postfire vegetation*

survey campaigns through large and heterogeneous areas: Opportunities and challenges, „Sensors” 2018, 18 (2), 586, <https://doi.org/10.3390/s18020586>.

- [30] Zboina J., Zawistowski M., Sowa T., *Ocena jakości powietrza z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych*, „Przemysł Chemiczny” 2020, 99 (7), 988993, <https://doi.org/10.15199/62.2020.7.4>.
- [31] <https://emag.directindustry.com/flying-with-the-first-atex-drone/> [dostęp: 08.09.2021]. <https://www.atexshop.com/explosion-proof-drone-intrinsically-safe.html> [dostęp: 08.09.2021].

[com/explosion-proof-drone-intrinsically-safe.html](https://www.atexshop.com/explosion-proof-drone-intrinsically-safe.html) [dostęp: 08.09.2021].

- [32] Marques M.M., Teles D., Rodrigues A.V., Lobo V., Gouveia-Carvalho J., Antunes W., Duarte F., *Chemical and radiological detection using UAV's with ATEX compliance: Proof of concept in port and maritime incident-based scenarios*, OCEANS 2018 MTS/IEEE, Charlest, 2018, s. 1–5.
- [33] <https://assistance-project.eu/> [dostęp: 08.09.2021].

MACIEJ ZAWISTOWSKI, M.SC. ENG – pilot of unmanned aerial vehicles, graduate of the Faculty of Electrical Engineering at the Warsaw University of Technology, in 2013-2018 he worked at Electrotechnical Institute in Międzyzlesie in the Department of Measurement and Diagnostic Systems and the Department of Electrical Drives and Controls. Since 2018, he has been working at Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute in Józefów in the Drone Center Department. Head of the international project “ASSISTANCE – Adapted Situation Awareness tools and tailored training scenarios for increasing capabilities and enhancing the protection of First Responders” (Horizon 2020). Member of Niegoszowice Volunteer Fire Brigade.

RADOSŁAW FELLNER, M.SC. – between 2018–2021, senior engineering and technical specialist at Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute, from 2021 a senior specialist at the Institute of Internal Security at the Main School of Fire Service. Instructor and pilot of unmanned aerial vehicles, participant in exercises and research projects using drones for: the State Fire Service, Police, Border Guard, airports. Co-organizer of the DroneTech World Meeting in Toruń – the largest cyclical international event in Poland devoted to unmanned technologies and systems.

MGR INŻ. MACIEJ ZAWISTOWSKI – pilot bezzałogowych statków powietrznych, absolwent wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej, w latach 2013–2018 pracował w Instytucie Elektrotechniki w Międzyzlesiu w zakładach Systemów Pomiarowo-Diagnostycznych oraz Zakładzie Napędów Elektrycznych i Sterowania. Od 2018 r. pracuje w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowym Instytucie Badawczym w Józefowie w dziale Centrum Dronów. Kierownik międzynarodowego projektu “ASSISTANCE – Adapted Situation Awareness tools and tailored training scenarios for increasing capabilities and enhancing the protection of First Responders” (Horyzont 2020). Druh OSP Niegoszowice.

MGR RADOSŁAW FELLNER – w latach 2018–2021 starszy specjalista inżynierjno-techniczny w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowym Instytucie Badawczym, od 2021 r. starszy specjalista w Instytucie Bezpieczeństwa Wewnętrznego w Szkole Głównej Służby Pożarniczej. Instruktor i pilot bezzałogowych statków powietrznych, uczestnik ćwiczeń i projektów badawczych z wykorzystaniem dronów dla: Państwowej Straży Pożarnej, Policji, Straży Granicznej, portów lotniczych. Współorganizator DroneTech World Meeting w Toruniu – największego w Polsce, cyklicznego międzynarodowego wydarzenia poświęconego technologiom i systemom bezzałogowym.

12-14 July 2022

Krakow, Poland



ETCC 2022
EUROPEAN TECHNICAL COATINGS CONGRESS

Coatings
Inspirations

Since 1950

www.etcc2022.org

ETCC 2022 European Technical Coatings Congress 12-14 lipca 2022 w Krakowie

Prezentacje dotyczą najnowszych osiągnięć naukowych i technicznych w tematyce:
**Farby. Lakiery. Surowce. Kleje. Materiały Budowlane. Materiały związane.
Technologie i Innowacje.**

Ten prestiżowy kongres organizowany jest od 70 lat, teraz po raz pierwszy w Polsce.

**TERMIN ZGŁASZANIA ABSTRAKTÓW:
30 STYCZEŃ 2022**

Tu są Innowacje!

Wymierne Korzyści:

- Sześć równoległych Sesji z referatami.
Prezentacje Posterów.

Program Kongresu ETCC2022 w:

www.etcc2022.org/en/congress/congress-program

- **Sesje Plenarne.**

Keynote speakers, prezentowani na stronie:

www.etcc2022.org/en/congress/speakers

- **Wystawa. Prezentacje osiągnięć naukowych, technicznych, produktów, urządzeń, usług.**

Rejestracja przez:

www.etcc2022.org/en/congress/exhibition

- **Sesja „Summer School”**

Program w:

www.etcc2022.org/en/congress/summer-school



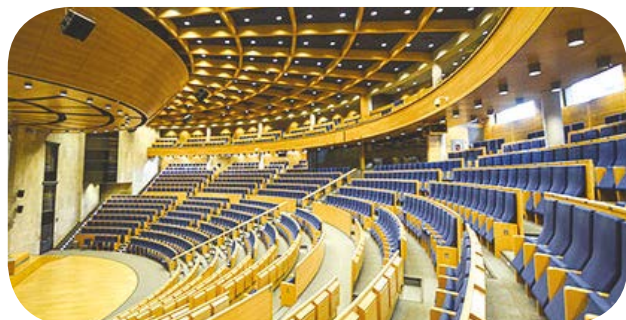
UDZIAŁ W KONGRESIE

Zarejestruj się poprzez:

www.etcc2022.org/en/registration

PUBLIKACJE wystąpień w czasopismach fachowych,
szczegóły w:

www.etcc2022.org/en/congress/publication-in-journals



Nagrody po 1000 Euro

przyznawane w kategoriach:

- Najlepszy referat
- Najlepszy referat młodego naukowca (wiek do 35 lat)
- Najlepszy referat o tematyce ekologicznej
- Inne nagrody i wyróżnienia

Bliższe szczegóły na stronie kongresu: www.etcc2022.org

W przypadku pytań proszę o kontakt, e-mail:

- etcc2022@sitpchem.org.pl
- koziel.jozef@gmail.com

Jesteśmy w mediach
społecznościowych:



Krzysztof Cygańczuk^{a)*}, Paweł Wolny^{b)}

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

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

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

A Chance for the Climate. Fuel of the 21st Century – Analysis of the Perspective of Climate Neutrality on the Example of the Polish Hydrogen Strategy

Szansa dla klimatu. Paliwo XXI w. – analiza perspektywy neutralności klimatycznej na przykładzie Polskiej Strategii Wodorowej

ABSTRACT

Aim: This article attempts to present the issues related to the search for alternatives to energy resources in all sectors of the economy. The direction of the search is to choose “green energy” (in this case hydrogen), which, due to its potential wide application, is already beginning to be treated as an instrument of carbon neutrality. Most EU countries have agreed that they will be carbon-neutral by 2050, which should result in the reduction of greenhouse gas emissions to the atmosphere by around 95% compared to the beginning of the gas emissions calculation in 1990. However, achieving emission neutrality will require a far-reaching elimination of emissions not only in the power sector, but also in other sectors (including industry, transport and heating). These areas still rely on emission fossil fuels (coal, crude oil and natural gas), which cannot be directly replaced with electricity from RES.

Introduction: Hydrogen is not a source of energy, but it is a very effective carrier. Although it is practically not in the free state, it is very often found in the form of chemical compounds such as CH₄ (methane) or H₂O (water). In order to extract the energy it contains, it must be isolated from the molecules it is composed of. Hydrogen can be transported via gas pipelines (gaseous) or tankers (liquefied). It is currently used in the petrochemical industry, including for oil refining and chemical industry for the production of fertilizers, ammonia or methanol. Recently, hydrogen has become a topic that is often discussed in the public space in the context of climate protection (and thus decarbonisation of the economy). This fuel is credited with extraordinary potential and applicability in so many areas that it should be widely regarded as oil of the 21st century and a key element of the new energy policy. Moreover, the investment in hydrogen should support sustainable growth and job creation, which will be critical when recovering from the COVID-19 pandemic.

Methodology: The article provides an overview of research questions and the most recent results of considerations. It presents a multidimensional and interdisciplinary analysis of the suitability of alternative fuels and the implementation of the related projects. The analysis of the topic was based on, among others, on the project of the Polish Hydrogen Strategy, which is important for the further development of research topics and cooperation in this field.

Conclusions: For the energy sector that processes available forms of energy, hydrogen is probably a good choice for the future. It can be an alternative to natural gas in providing backup capacity for renewable energy sources that produce energy dependent on weather conditions (i.e. sun and wind). Hydrogen, which has the advantage of high energy density, is also a good tool for storing renewable energy and for transmitting and distributing renewable energy over long distances. Due to this, green energy from regions of the world with high insolation and wind energy, such as Australia, Latin America or North Africa, could be transferred over long distances (taking into account losses in energy networks it would be a much more economical solution). It would not require high-cost investments in new infrastructure. The article deals with the aspects relating to all parts of the value chain – production, transmission, storage and use of hydrogen, taking into account the legal conditions at the national (Polish Hydrogen Strategy) and the EU level, and proposing sustainable support systems and measurable goals.

Keywords: green hydrogen, synthetic fuel, renewable energy, solar fuel, hydrogen

Article type: review article

Received: 14.10.2021; **Reviewed:** 29.11.2021; **Accepted:** 30.11.2021;

Authors' ORCID IDs: K. Cygańczuk – 0000-0003-1550-5880; P. Wolny – 0000-0001-6863-338X;

The authors contributed the equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 120–138, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.7>;

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

ABSTRAKT

Cel: W ramach niniejszego artykułu podjęto próbę przybliżenia kwestii związanych z poszukiwaniem alternatyw dla surowców energetycznych we wszystkich sektorach gospodarki. Kierunek poszukiwań zmierza do wyboru „zielonej energii” (w tym przypadku wodoru), który ze względu na potencjalne szerokie zastosowanie już zaczyna być traktowany jako instrument neutralności emisyjnej. Większość krajów UE uzgodniła, że do 2050 r. uda im się osiągnąć neutralność emisyjną, co powinno skutkować zmniejszeniem emisji gazów cieplarnianych do atmosfery o ok. 95% w porównaniu z początkiem naliczenia emisji gazów w 1990 roku. Osiągnięcie neutralności emisyjnej wymagać będzie jednak daleko idącego wyeliminowania emisji nie tylko w elektroenergetyce, lecz także w pozostałych sektorach (m.in. przemyśle, transporcie czy ciepłownictwie). Obszary te wciąż opierają się na emisyjnych paliwach kopalnych (węglu, ropie naftowej i gazie ziemnym), których bezpośrednie zastąpienie energią elektryczną z OZE jest niemożliwe.

Wprowadzenie: Wodór nie jest źródłem energii, lecz jej bardzo efektywnym nośnikiem. Choć praktycznie nie występuje w stanie wolnym, to bardzo często spotyka się go w postaci związków chemicznych, takich jak CH_4 (metan) czy H_2O (woda). Aby wydobyć zawartą w nim energię, należy go wyizolować z cząsteczek, w których skład wchodzi. Wodór może być transportowany za pomocą gazociągów (w stanie gazowym) lub tankowców i cystern (w stanie skroplonym). Stosowany jest aktualnie w przemyśle petrochemicznym, m. in. do rafinacji ropy naftowej i przemyśle chemicznym do produkcji nawozów, amoniaku lub metanolu. W ostatnim czasie wodór stał się tematem często omawianym w przestrzeni publicznej w kontekście dotyczącym ochrony klimatu (a więc i dekarbonizacji gospodarki). Paliwu temu przypisuje się nadzwyczajny potencjał i możliwości zastosowania w tak wielu obszarach, że powinno być ono traktowane powszechnie jako ropa XXI wieku oraz kluczowy element nowej polityki energetycznej. Ponadto, inwestycja w wodór powinna wspierać zrównoważony wzrost i tworzenie miejsc pracy, które będą miały kluczowe znaczenie w kontekście wychodzenia z kryzysu spowodowanego pandemią COVID-19.

Metodologia: Artykuł zawiera przegląd pytań badawczych i najbardziej aktualnych rezultatów rozważań. Przedstawia wielowymiarową oraz interdyscyplinarną analizę przydatności paliw alternatywnych oraz realizacji związanych z nimi projektów. Podczas analizy tematu oparto się m.in. na projekcie Polskiej Strategii Wodorowej, która jest istotna dla dalszego rozwoju tematów badawczych i współpracy w tej dziedzinie.

Wnioski: Dla energetyki zajmującej się przetwarzaniem dostępnych form energii, wodór to prawdopodobnie dobry wybór na przyszłość. Może on być alternatywą dla gazu ziemnego w zapewnieniu mocy zapasowych dla odnawialnych źródeł energii, które produkują energię zależną od warunków atmosferycznych (tj. słońca i wiatru). Wodór, którego zaletą jest wysoka gęstość energetyczna, jest także dobrym narzędziem do magazynowania energii ze źródeł odnawialnych oraz do przesyłania i dystrybuowania energii ze źródeł odnawialnych na duże odległości. Dzięki niemu zielona energia z rejonów świata o wysokiej insolacji i energii wiatru, takich jak Australia, Ameryka Łacińska czy Płn. Afryka, mogłaby być transferowana na duże odległości (przy uwzględnieniu strat w sieciach energetycznych byłoby to zdecydowanie bardziej ekonomiczne rozwiązanie). Nie wymagałoby to przeprowadzenia wysokonakładowych inwestycji w nową infrastrukturę. W artykule poruszono aspekty dotyczące wszystkich części łańcucha wartości – produkcji, przesyłu, magazynowania i wykorzystania wodoru, biorąc pod uwagę uwarunkowania prawne na poziomie krajowym (Polska Strategia Wodorowa) i unijnym oraz proponując zrównoważone systemy wsparcia oraz mierzalne cele.

Słowa kluczowe: zielony wodór, paliwo syntetyczne, energia odnawialna, paliwo słoneczne, wodór

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 14.10.2021; **Zrecenzowany:** 29.11.2021; **Zaakceptowany:** 30.11.2021;

Identyfikatory ORCID autorów: K. Cygańczuk – 0000-0003-1550-5880; P. Wolny – 0000-0001-6863-338X;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 120–138, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.7>;

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

Introduction

The Polish Hydrogen Strategy (PSW) [1] is one of a number of emerging national and regional policies and strategies driven by changes in the energy and climate policies driven by the shift from fossil fuels to low-carbon technologies. The implementation of its assumptions has been planned in two stages (the first is to last until 2030, the second – until 2040). PSW was created as a result of the changes taking place in the European and global energy landscape, which force technological development in the areas of modern methods of production, transport and exploitation of hydrogen. Hydrogen as a fuel can be an important factor in the decarbonisation of industry and represent a major energy powerhouse to achieve the goals of the Paris Agreement [2].

Modern hydrogen technologies – due to their connections with many branches of industry – should constitute an essential element of the efforts to maintain the competitiveness of the Polish economy. The situation on the current energy market provides an opportunity for hydrogen to play a significant role in creating

Wprowadzenie

Polska Strategia Wodorowa (PSW) [1] jest jedną z licznie powstających krajowych i regionalnych polityk i strategii, których siłą napędową są przemiany w polityce energetycznej i klimatycznej, spowodowane odejściem od paliw kopalnych na rzecz technologii niskoemisyjnych. Realizację jej założeń zaplanowano w dwóch etapach (pierwszy ma potrwać do 2030 r., drugi do 2040 r.). PSW powstała w konsekwencji dokonujących się zmian w europejskim i światowym krajobrazie energetycznym, które wymuszają rozwój technologiczny w obszarach nowoczesnych metod produkcji, transportu i eksploatacji wodoru. Wodór jako paliwo może być ważnym czynnikiem w procesie dekarbonizacji przemysłu i stanowić ważną pozycję w dziedzinie energii, niezbędną dla osiągnięcia celów Porozumienia Paryskiego [2].

Nowoczesne technologie wodorowe – ze względu na powiązania z wieloma gałęziami przemysłu – powinny stanowić zasadniczy element wysiłków na rzecz utrzymania konkurencyjności polskiej gospodarki. Sytuacja na obecnym rynku energii stwarza

a low-carbon economy. The business and technological spheres are conducive to the development of production, transmission and exploitation of hydrogen simultaneously in the power industry, industry and transport.

Fundamentals of hydrogen technologies

Hydrogen is released as a by-product in the refining and chemical industries, and its annual global production is about 120 million tonnes. The main sources of hydrogen production are natural gas and coal. In the process of reforming the natural gas, approx. 75% of the annual global production of hydrogen is generated, and another 23% – from coal [3, 11]. The remaining symbolic production comes from crude oil and electrolysis.

The costs of producing hydrogen from the natural gas are mainly influenced by: gas price, capital expenditure and the availability of technology. These are the three most important ingredients that we classify as technical and economic factors. Fuel costs – in this case natural gas – are the main component of cash outlays, representing 45% to 75% of the production costs. Low prices of the raw material in the countries that are the largest manufacturers of the natural gas (according to the report of the British Petroleum *Statistical Review of World Energy 2020* [4] are: the United States, Russia, Iran, Qatar) are key to a significant reduction in the cost of hydrogen production. The world's major gas importers such as Japan, South Korea, China (despite being the fifth largest manufacturer of the natural gas) and India will pay more for hydrogen production due to additional transportation costs. High gas prices also apply to Poland.

Key messages of the Polish Hydrogen Strategy

The main recipient of hydrogen is the chemical industry, and to a lesser extent also: refining, metallurgy, transport and energy. This element is obtained in very diverse and different processes: from steam reforming of hydrocarbons, through electrolysis, to bacterial fermentation.

Hydrogen production technologies by primary energy sources:

- Coal
 - coal gasification,
 - CCS (carbon capture and storage of CO₂),
 - CCU (carbon capture and utility of CO₂);
- Natural gas or crude oil
 - steam reforming,
 - by-product in refining processes,
 - separation from coke oven gas,
 - pyrolysis.

It should be remembered that the so-called brown hydrogen is not a low-carbon fuel because its synthesis is related to the extraction and processing of the natural gas. As a consequence, carbon dioxide, a greenhouse gas, is emitted into the atmosphere.

szansę, aby wodór odegrał znaczącą rolę w tworzeniu gospodarki niskoemisyjnej. Sfery biznesowe i technologiczne sprzyjają rozwojowi produkcji, przesyłu i eksploatacji wodoru jednocześnie w energetyce, przemyśle i w transporcie.

Podstawy technologii wodorowych

Wodór wydziela się jako produkt uboczny w przemyśle rafineryjnym i chemicznym, a jego roczna światowa produkcja wynosi ok. 120 mln ton. Głównymi źródłami produkcji wodoru są gaz ziemny i węgiel. W procesie reformingu gazu ziemnego powstaje ok. 75% rocznej światowej produkcji wodoru, a kolejne 23% – z węgla [3, 11]. Pozostała symboliczna część produkcji pochodzi z ropy naftowej i elektrolizy.

Na koszty produkcji wodoru z gazu ziemnego wpływają przede wszystkim: cena gazu, nakłady inwestycyjne i dostępność technologii. To trzy najważniejsze składniki, które klasyfikujemy jak czynniki techniczne i ekonomiczne. Podstawowym składnikiem nakładów pieniężnych, stanowiących od 45% do 75% kosztów produkcji, są koszty paliwa – w tym przypadku gazu ziemnego. Niskie ceny surowca w krajach będących największymi producentami gazu ziemnego (według raportu firmy British Petroleum *Statistical Review of World Energy 2020* [4] są to: Stany Zjednoczone, Rosja, Iran, Katar) są kluczowe dla znaczącego obniżenia kosztów produkcji wodoru. Główni importerzy gazu na świecie, tacy jak Japonia, Korea Płd., Chiny (mimo że są piątym największym producentem gazu ziemnego) i Indie będą płacić więcej za produkcję wodoru ze względu na dodatkowe koszty transportu. Wysokie ceny gazu dotyczą również Polski.

Kluczowe przesłania Polskiej Strategii Wodorowej

Głównym odbiorcą wodoru jest przemysł chemiczny, a w mniejszym stopniu także: rafineryjny, metalurgiczny, transportowy oraz energetyczny. Pierwiastek ten jest pozyskiwany w bardzo różnorodnych i odmiennych procesach: od reformingu parowego węglowodorów, przez elektrolizę, po fermentację bakteryjną.

Technologie produkcji wodoru według źródeł energii pierwotnej:

- Węgiel
 - zgazowanie węgla,
 - CCS (ang. *carbon capture and storage* – wychwytywanie i geologiczne składowanie CO₂),
 - CCU (ang. *carbon capture and utility* – wychwytywanie CO₂ oraz jego utylizacja);
- Gaz ziemny lub ropa naftowa
 - reforming parowy,
 - produkt uboczny w procesach rafineryjnych,
 - separacja z gazu koksowniczego,
 - piroliza.

Należy przy tym pamiętać, że tzw. brązowy wodór nie jest paliwem niskoemisyjnym, ponieważ jego synteza związana jest

- Biomass
 - biomass gasification;
- RES
 - electrolysis;
- Nuclear energy
 - electrolysis,
 - pyrolysis,
 - high temperature reactors (HTR).

From electrolysis powered by electricity from renewable sources comes the so-called green hydrogen, which is the only recognized – from the point of view of decarbonisation – technological process that produces hydrogen. As mentioned above, the further development of this source depends on electricity prices and the improvement of catalyst efficiency, as their current efficiency is far from being satisfactory. The replacement of platinum in electrolyzers with a cheaper and more accessible catalyst seems to be of key importance.

The energy potential of hydrogen and the fact that it is the most popular element on Earth provide grounds for the claim that it will soon become one of the main energy carriers used in the world. Therefore, it is highly probable that the hydrogen market will contribute to the comprehensive development and will enable the achievement of the goal of obtaining climate neutrality in energy-intensive sectors of the economy.

The aim of the Polish Hydrogen Strategy is both the development of central and local competences in the area of producing key elements in the value chain of modern hydrogen technologies. For this purpose, it is necessary to develop electrolyser and fuel cell installations, distribution networks, hydrogen storage facilities and refuelling infrastructure. As a result of appropriate support for research and development, our country has the opportunity to use the scientific potential and expert experience in the field of hydrogen technologies, relying on its own innovative technologies.

The progress of hydrogen technology is both an opportunity and a challenge for many sectors of the economy in Poland. However, for this it is necessary to create appropriate legal and economic conditions related to the possibility of using hydrogen in new areas, such as production, energy storage or transport. At the same time, the hydrogen economy requires developing effective directions. There will be more and more renewable and low-emission sources of generating electricity in the national power system. The photovoltaic sector has been developing intensively for several years, mainly due to the rapidly increasing number of prosumers. In addition, construction of small and large offshore wind farms is underway. The implementation of these activities will significantly change the perception of the entire power system and its functioning. In the future a connected and integrated multi-sector energy system will be based on renewable energy sources and will allow to use this space for hydrogen technologies.

z wydobyciem i przetwarzaniem gazu ziemnego. W konsekwencji do atmosfery emitowany jest dwutlenek węgla będący gazem cieplarnianym.

- Biomasa
 - zgazowanie biomasy;
- OZE
 - elektroliza;
- Energia jądrowa
 - elektroliza,
 - piroliza,
 - reaktory wysokotemperaturowe (HTR).

Z elektrolizy zasilanej energią elektryczną ze źródeł odnawialnych pochodzi tzw. zielony wodór, który jest jedynym uznawanym – z punktu widzenia dekarbonizacji – procesem technologicznym wytwarzającym wodór. Jak wspomniano powyżej, dalszy rozwój tego źródła uzależniony jest od cen energii elektrycznej i poprawy efektywności katalizatorów, ponieważ ich obecna efektywność jest daleko niesatysfakcjonująca. Kluczowe wydaje się zastąpienie platyny w elektrolizerach tańszym i bardziej dostępnym katalizatorem.

Potencjał energetyczny wodoru oraz fakt, że jest najpopularniejszym pierwiastkiem na Ziemi, stanowi podstawę do twierdzenia, że w dość bliskim czasie stanie się on jednym z głównych nośników energii wykorzystywanych na świecie. Jest zatem wysoce prawdopodobne, że rynek wodoru będzie brał udział we wszechstronnym rozwoju i umożliwi realizację celu, jakim jest dążenie do neutralności klimatycznej energochłonnych sektorów gospodarki.

Celem Polskiej Strategii Wodorowej jest zarówno rozwój centralnych, jak i lokalnych kompetencji w obszarze wytwarzania kluczowych elementów z łańcucha wartości nowoczesnych technologii wodorowych. W tym celu konieczny jest rozwój instalacji elektrolizerów i ogniw paliwowych, sieci dystrybucji, magazynów wodoru oraz infrastruktury tankowania. W wyniku odpowiedniego wsparcia badań i rozwoju nasz kraj ma szansę wykorzystać potencjał naukowy i doświadczenie eksperckie w obszarze technologii wodorowych, bazując na własnych innowacyjnych technologiach.

Postęp technologii wodorowej jest jednocześnie szansą, jak i wyzwaniem dla wielu sektorów gospodarki w Polsce. Do tego potrzeba jednak stworzenia odpowiednich warunków prawnych i ekonomicznych związanych z możliwością wykorzystania wodoru w nowych obszarach, takich jak produkcja, magazynowanie energii lub transport. Jednocześnie gospodarka wodorowa wymaga skutecznego określenia kierunków rozwoju. W krajowym systemie elektroenergetycznym będzie się pojawiało coraz więcej odnawialnych i niskoemisyjnych źródeł wytwarzania energii elektrycznej. Od kilku lat intensywnie rozwija się sektor fotowoltaiki, głównie dzięki lawinowo zwiększającej się ilości prosumentów. Ponadto realizowana jest budowa małych i dużych farm wiatrowych na morzu. Realizacja tych działań poważnie zmieni postrzeganie całego systemu elektroenergetycznego oraz jego funkcjonowanie. Połączony i zintegrowany wielosektorowy system energetyczny w przyszłości będzie oparty na odnawialnych źródłach energii i pozwoli zagospodarować tę przestrzeń do wykorzystania technologii wodorowych.

Goals and activities of the Polish Hydrogen Strategy

The main goal of the PSW is to build Polish infrastructure for the hydrogen economy, including through the development and research, acquiring know-how and hydrogen technologies and their use to achieve the goals of climate neutrality and maintain the competitiveness of the Polish economy. Hydrogen technologies are part of the European Green Deal [5].

Strategic importance of the hydrogen economy

The implementation of the hydrogen strategy is essential to increase the capacity of conventional and nuclear power plants and to facilitate their cooperation with unstable sources. Moreover, in the coming years, the construction of a nuclear power plant in Pątnów is planned based on private capital. The power plant will operate on the basis of the most modern and safest technologies, the so-called small modular reactors (SMR), which will be used in the industry as units producing useful heat with high parameters, which can strengthen the decarbonisation of the heating sector and produce hydrogen in a way that does not endanger our planet.

In Poland's energy balance, increasing the share of electricity generated with the use of renewable energy sources (RES) is a great development challenge not only for our country, but also for most developed economies in the world. Due to the problems with energy storage for large powers and services for balancing power systems, further rapid development of renewable energy sources is not possible, taking into account the need to ensure the security of electricity supply. Therefore, the increase in the share of photovoltaics, wind energy and other renewable energy sources in the entire energy system causes problems related to the balance of supply and demand in the area of energy security of the country. Hydrogen is an alternative to RES, which can act as energy storage and thus participate in increasing the possibilities of RES integration in the country's energy system. Hydrogen as an energy source also enables an innovative electricity storage solution.

Perspective

Financial outlays that will be allocated to the development of hydrogen technologies will not only reduce dust emissions (especially in sectors of the economy with high emissions), but also become a driving force for economic growth by providing new jobs in the context of the COVID-19 pandemic and retraining of employees in departments threatened with reduction. New hydrogen technologies will serve the country's development policy, among others, by creating new competences for employees and creating new Polish trademarks and export products.

Cele i działania Polskiej Strategii Wodorowej

Głównym celem PSW jest zbudowanie polskiej infrastruktury dla gospodarki wodorowej, m.in. poprzez rozwój prac badawczo-rozwojowych, pozyskanie know-how i technologii wodorowych oraz ich wykorzystanie na rzecz osiągnięcia celów neutralności klimatycznej i utrzymania konkurencyjności polskiej gospodarki. Technologie wodorowe są składową Europejskiego Zielonego Ładu [5].

Strategiczne znaczenie gospodarki wodorowej

Aby zwiększyć moc elektrowni konwencjonalnych i jądrowych oraz usprawnić ich współpracę ze źródłami niestabilnymi, niezbędna jest realizacja strategii wodorowej. Ponadto w perspektywie najbliższych lat, bazując na kapitale prywatnym, planuje się budowę elektrowni jądrowej w Pątnowie. Elektrownia będzie pracowała w oparciu o najnowocześniejsze i najbezpieczniejsze technologie tzw. małych reaktorów modułowych (ang. *small modular reactors*, SMR), które znajdą zastosowanie w przemyśle jako jednostki produkujące ciepło użytkowe o wysokich parametrach, mogące umacniać dekarbonizację sektora ciepłowniczego oraz wytwarzać wodór w sposób niezagrażający naszej planecie.

W bilansie energetycznym Polski zwiększenie udziału energii elektrycznej wytwarzanej z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii (OZE) jest wielkim wyzwaniem rozwojowym nie tylko dla naszego kraju, ale także dla większości rozwiniętych gospodarek świata. Z powodu problemów z magazynowaniem energii dla dużych mocy oraz usług służących bilansowaniu systemów elektroenergetycznych, dalszy lawinowy rozwój OZE nie jest możliwy, biorąc pod uwagę konieczność zapewnienia bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej. Dlatego wzrost udziału fotowoltaiki, energetyki wiatrowej oraz innych źródeł OZE w całym systemie energetycznym powoduje problemy związane z równowagą podaży i popytu w obszarze bezpieczeństwa energetycznego kraju. Wodór jest alternatywą dla OZE, która może pełnić rolę magazynu energii i dzięki temu uczestniczyć w zwiększaniu możliwości integracji OZE w systemie energetycznym kraju. Wodór jako źródło energii umożliwia również innowacyjne rozwiązanie magazynowania energii elektrycznej.

Perspektywa

Nakłady finansowe, które zostaną przeznaczone na rozwój technologii wodorowych, pozwolą nie tylko na obniżenie emisji pyłów (szczególnie w sektorach gospodarki o wysokiej emisyjności), ale także staną się kołem zamachowym dla wzrostu gospodarczego poprzez zapewnienie nowych miejsc pracy w kontekście kryzysu związanego z COVID-19 oraz przekwalifikowania pracowników w działach zagrożonych redukcją. Nowe technologie wodorowe posłużą polityce rozwojowej państwa m.in. poprzez tworzenie nowych kompetencji dla pracowników i wytworzenie nowych polskich znaków towarowych i produktów eksportowych.

Polish hydrogen economy

The Polish hydrogen economy means combined activities such as: technologies for the production, storage, distribution and use of hydrogen, including micro and macro methods of producing, storing and transporting hydrogen using the transmission grid as well as other forms of transport, and then using it as a final product (transport, industry, heating, industrial and individual power engineering in electricity generation systems).

The priority is to support the demand, including building appropriate technical conditions and discounts and incentives for enterprises, as well as guaranteeing the financing of hydrogen technologies from the support programs of the European Commission, which will allow for their further development. Especially at the beginning of the operations, financial resources are necessary, and in particular at the time of constructing pilot installations, building know-how and conducting advanced research. Due to the appropriate support for research and development, Poland has a unique opportunity to use its scientific potential and expert experience in the hydrogen technology sector, based on domestic, innovative technologies.

Poland's activity for energy and climate

Poland is an active player involved in global efforts for the climate. Our most important international declarations in the field of climate policy include agreements concluded within the framework of the United Nations:

- UNFCCC Convention of 1992,
- Kyoto Protocol of 1997,
- Paris Agreement, effective from 2016.

The priority of the Paris Agreement is to accelerate the global response to the dangers of climate change in the context of sustainable development and efforts to eradicate poverty – reducing the increase in the global average temperature to less than 2°C above pre-industrial levels and taking all measures to reduce growth temperatures up to 1.5°C. According to the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) in its report [6], hydrogen technologies in the decarbonisation of industry and energy may be the last chance to preserve and save a climate that would be friendly to humans and animals.

According to the decision of the European Commission presented in 2018 at COP-24 in Katowice [7], it was announced in the Commission Communication The European Green Deal, the long-term and strategic goal agreed for the European Union (EU) is to achieve climate neutrality by 2050. As it says in the document: "EU industry needs climate and resource pioneers to develop the first commercial applications of breakthrough technologies in key industrial sectors by 2030. Key areas include clean hydrogen, fuel cells and other alternative fuels, energy storage, and capture, storage and utilization of carbon dioxide".

The Committee responded to this demand with a Communication of 8 July 2020 entitled "A Hydrogen Strategy for a Climate Neutral Europe" [8]. This strategy, in conjunction with the EU Strategy

Polska gospodarka wodorowa

Polska gospodarka wodorowa polega na połączonych działaniach, takich jak: technologie wytwarzania, magazynowania, dystrybucji i wykorzystania wodoru, obejmujące mikro i makro sposoby produkowania, magazynowania i transportu wodoru z wykorzystaniem sieci przesyłowej, jak i innych form transportu, a następnie wykorzystanie go jako produktu ostatecznego (transport, przemysł, ciepłownictwo, energetyka przemysłowa i indywidualna w układach wytwarzania energii elektrycznej).

Priorytetem jest wsparcie popytu, w tym zbudowanie właściwych warunków technicznych i ulg oraz zachęt dla przedsiębiorstw, a także zagwarantowanie finansowania technologii wodorowych z programów wspomagających Komisji Europejskiej, co pozwoli na ich dalszy rozwój. Zwłaszcza na początku działalności środki finansowe są niezbędne, a w szczególności w momencie powstawania instalacji pilotażowych, budowania know-how i przeprowadzania zaawansowanych badań. Dzięki właściwemu wsparciu badań i rozwoju Polska ma niepowtarzalną szansę wykorzystać swój potencjał naukowy i doświadczenie eksperckie w sektorze technologii wodorowych, bazując na krajowych, innowacyjnych technologiach.

Aktywność Polski na rzecz energii i klimatu

Polska jest aktywnym graczem zaangażowanym w globalne wysiłki podejmowane na rzecz klimatu. Do naszych najważniejszych deklaracji międzynarodowych w obszarze polityki klimatycznej należą umowy zawarte w ramach Organizacji Narodów Zjednoczonych:

- Konwencja UNFCCC z 1992 r.,
- Protokół z Kioto z 1997 r.,
- Porozumienie Paryskie, obowiązujące od 2016 r.

Priorytetem Porozumienia Paryskiego jest dynamizacja globalnej odpowiedzi na niebezpieczeństwa związane ze zmianami klimatu na tle zrównoważonego rozwoju i starań na rzecz likwidacji ubóstwa – obniżenie wzrostu średniej temperatury globalnej do poziomu niższego niż 2°C powyżej poziomu sprzed epoki przemysłowej oraz podjęcie wszelkich działań mających na celu zmniejszenie wzrostu temperatury do 1,5°C. Jak podaje United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) w swoim raporcie [6] technologie wodorowe w dekarbonizacji przemysłu i energetyki mogą stanowić ostatnią szansę, aby zachować i uratować klimat, który byłby przyjazny dla ludzi i zwierząt.

Zgodnie z decyzją Komisji Europejskiej zaprezentowaną w 2018 r. na COP-24 w Katowicach [7], ogłoszoną w Komunikacie Komisji Europejski Zielony Ład, długoterminowym i strategicznym celem uzgodnionym dla Unii Europejskiej (UE) jest uzyskanie neutralności klimatycznej do 2050 r. Jak napisano w dokumencie: „unijny przemysł potrzebuje pionierów w dziedzinie klimatu i zasobów, którzy do 2030 r. opracowaliby pierwsze komercyjne zastosowania przełomowych technologii w kluczowych sektorach przemysłu. Najważniejsze obszary obejmują czysty wodór, ogniwa paliwowe i inne paliwa alternatywne, magazynowanie energii oraz przechwytywanie, składowanie i utylizację dwutlenku węgla”.

for the Integration of Energy Systems [9], supports the European Union's efforts to achieve a climate neutral economy, based on the intention of the European Green Deal.

Poland also often takes part in the discussion on the future shape of the hydrogen market in the European Union, and the presented SGP aims to accelerate activities both domestically and internationally.

Current sources of hydrogen in Poland and possibilities for the development of hydrogen technology

Poland is at the forefront of the global ranking of hydrogen manufacturers [10], but the share of hydrogen production in the water electrolysis process is symbolic. The annual production of hydrogen in Poland is approximately 1 million tons. Produced by refineries and chemical plants, it is used in the refining and production of mineral fertilizers and chemicals. In Poland, the energy and energy-intensive industry emit annually into the atmosphere approximately 350 million tons of CO₂ [11]. Diversification of energy sources is a long process and currently the vast majority of electricity is generated using fossil fuels. Intersectoral connections (for example, the electricity system with the gas sector or the electricity system with the transport sector) are unfortunately not very common. The use of the potential of renewable energy sources is limited by technical and location conditions, and the production of economically competitive hydrogen from nuclear sources will be possible after the commissioning of the first element. Unfortunately, the date of this investment is constantly postponed. Research and development works on technologies related to the hydrogen economy have been carried out in Poland for years. As part of SGP, goals were formulated to develop the hydrogen economy broken down in accordance with the value chain, which distinguishes three priority areas of hydrogen use: energy, transport and industry.

Polish scientific and research potential

Poland has well-developed research institutes in the field of hydrogen technologies and numerous institutions and research teams, and the industry has significant experience in the design of high-temperature and low-temperature fuel cells and hydrogen storage. The Polish industry has experts in the field of the construction of fuel cells and electrolyzers, starting with the development of electrode materials, electrolyte and technologies for obtaining thin-film ceramics, modelling mass and energy flows through the structure, and ending with issues related to testing the efficiency and life of cells. National chemical plants have many years of experience in the field of production, distribution, storage and use of hydrogen. The launch of an entirely Polish

Reakcją komisji na to zapotrzebowanie był komunikat z 8 lipca 2020 r. zatytułowany „Strategia w zakresie wodoru na rzecz Europy neutralnej dla klimatu” [8]. Strategia ta w połączeniu ze strategią UE na rzecz integracji systemów energetycznych [9] popiera dążenia Unii Europejskiej do uzyskania gospodarki neutralnej dla klimatu, na podstawie zamiaru określonego w Europejskim Zielonym Ładzie.

Polska także często zabiera głos w dyskusji o przyszłym kształcie rynku wodoru na forum Unii Europejskiej, a zaprezentowana PSW ma na celu przyspieszenie działań zarówno na arenie krajowej, jak i międzynarodowej.

Obecne źródła wodoru w Polsce i możliwości rozwoju technologii wodorowej

Polska plasuje się w czołówce globalnego rankingu producentów wodoru [10], lecz udział produkcji wodoru w procesie elektrolizy wody jest symboliczny. Roczna produkcja wodoru w Polsce wynosi ok. 1 mln ton. Wytwarzany przez rafinerie oraz zakłady chemiczne jest wykorzystywany w procesach rafinacji i produkcji nawozów mineralnych oraz chemikaliów. W Polsce energetyka i energochłonny przemysł emitują rocznie do atmosfery ok. 350 mln ton CO₂ [11]. Dywersyfikacja źródeł energii jest procesem długotrwałym i obecnie zdecydowana większość energii elektrycznej wytwarzana jest poprzez użycie paliw kopalnych. Połączenia międzysektorowe (przykładowo systemu elektroenergetycznego z sektorem gazowniczym lub systemu elektroenergetycznego z sektorem transportu) są niestety niezbyt często spotykane. Wykorzystanie potencjału źródeł OZE jest ograniczone warunkami technicznymi i lokalizacyjnym, a produkcja konkurencyjnego pod względem ekonomicznym wodoru ze źródeł jądrowych będzie możliwa po uruchomieniu pierwszego bloku. Niestety termin tej inwestycji jest ciągle przesuwany. Prace badawczo-rozwojowe nad technologiami związanymi z gospodarką wodorową realizowane są w Polsce od lat. W ramach PSW sformułowano cele odnośnie rozwoju gospodarki wodorowej w podziale zgodnym z łańcuchem wartości, który wyróżnia trzy priorytetowe obszary wykorzystania wodoru: energetykę, transport i przemysł.

Polski potencjał naukowo-badawczy

Polska posiada instytuty naukowo-badawcze dobrze rozwinięte w dziedzinie technologii wodorowych oraz liczne instytucje i zespoły badawcze, ponadto przemysł dysponuje znaczącym doświadczeniem w sferze projektowania wysokotemperaturowych i niskotemperaturowych ogniw paliwowych oraz przechowywania wodoru. Polski przemysł posiada ekspertów w dziedzinie zagadnień dotyczących konstrukcji ogniw paliwowych i elektrolizerów, rozpoczynając od opracowania materiałów elektrodowych, elektrolitu oraz technologii otrzymywania cienkowarstwowych tworzyw ceramicznych, modelowania przepływów masy i energii poprzez konstrukcję, a kończąc na zagadnieniach związanych z testowaniem efektywności i okresu życia ogniw. Krajowe zakłady chemiczne dysponują wieloletnim

hydrogen research program, the ultimate goal of which will be the construction and implementation of a system of electrolyzers, fuel cells and other components for hydrogen apparatus, will enable the launch of the national specialty of hydrogen management. It will be necessary to ensure participation in the program of the best scientific and research centres, universities, research institutes, units of the Polish Academy of Sciences and private entities interested in the subject of hydrogen technologies. Poland – with due legal and financial support – has a chance to use its scientific potential and experience of specialists in the field of hydrogen technologies, and to rely on its own innovative technologies independent in terms of raw materials.

Production and categories of hydrogen

Hydrogen currently accounts for an insignificant part of the global and European energy portfolio. It is produced from fossil fuels, in particular natural gas (steam reforming) or coal (thermal coal conversion processes). The Hydrogen Strategy Policy assumes that climate neutrality will be achieved by implementing hydrogen production with the use of zero-emission technologies.

The largest manufacturer of hydrogen in Poland is Grupa Azoty S.A., which produces approx. 420 thousand tons of this raw material, which accounts for approx. 42% of the total hydrogen production. The remaining companies use virtually all production for their own needs (see Figure 1):

- Grupa LOTOS, with a market share of approx. 14%, production of approx. 145 thousand tons/year,
- PKN Orlen, with a share of approx. 14%, production of approx. 145 thousand tons/year,
- Jastrzębska Spółka Węglowa, with a share of approx. 7%, production of approx. 75 thousand tons/year,
- other plants, approx. 23% [12].

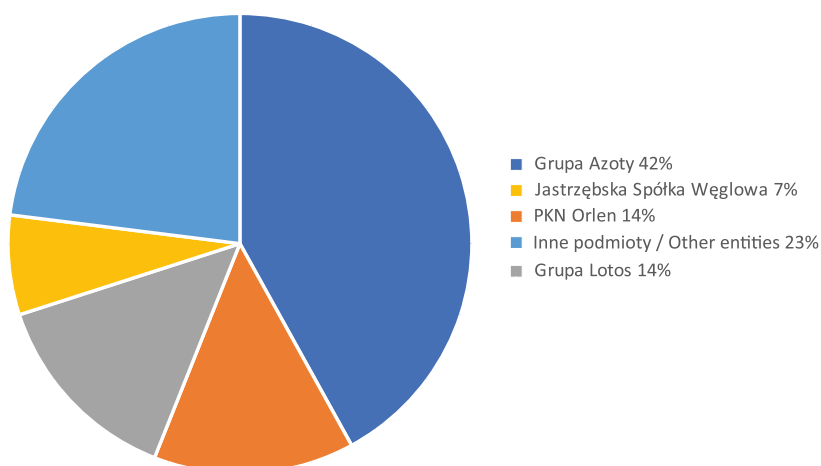


Figure 1. Hydrogen production in Poland in 2020
Rycina 1. Produkcja wodoru w Polsce w 2020 r.

Source: Polish Hydrogen Strategy [1].
Źródło: Polska Strategia Wodorowa [1].

doświadczeniem w sferze produkcji, dystrybucji, przechowywania oraz wykorzystania wodoru. Uruchomienie całościowo polskiego wodorowego programu badawczego, którego ostatecznym celem będzie skonstruowanie i wykonanie systemu elektrolizerów, ogniw paliwowych i pozostałych komponentów dla aparatury wodorowej, pozwoli na uruchomienie krajowej specjalności, jaką będzie gospodarka wodorowa. Niezbędnym będzie zapewnienie uczestnictwa w programie najlepszych ośrodków naukowo-badawczych, uczelni wyższych, instytutów badawczych, jednostek PAN oraz podmiotów prywatnych zainteresowanych tematyką dotyczącą technologii wodorowych. Polska – przy należyтым wsparciu prawnym i finansowym – ma szansę wykorzystać swój potencjał naukowy i doświadczenie specjalistów w zakresie technologii wodorowych oraz bazować na własnych, niezależnych surowcowo, innowacyjnych technologiach.

Produkcja i kategorie wodoru

Wodór obecnie stanowi nieznaczną część światowego i europejskiego portfela energetycznego. Wytwarzany jest z paliw kopalnych, w szczególności z gazu ziemnego (reforming parowy) lub węgla (procesy termicznego przekształcania węgla). Polityka Strategii Wodorowej zakłada, że neutralność klimatyczną uda się osiągnąć poprzez wdrożenie produkcji wodoru przy zastosowaniu technologii bezemisyjnych.

Największym producentem wodoru w Polsce jest Grupa Azoty S.A., która wytwarza ok. 420 tys. ton tego surowca, co stanowi ok. 42% udziału w całej produkcji wodoru. Pozostałe spółki właściwie całość produkcji wykorzystują na własne potrzeby (zob. ryc. 1):

- Grupa LOTOS, z udziałem w rynku ok. 14%, produkcja ok. 145 tys. ton/rok,
- PKN Orlen, z udziałem ok. 14%, produkcja ok. 145 tys. ton/rok,
- Jastrzębska Spółka Węglowa, z udziałem ok. 7%, produkcja ok. 75 tys. ton/rok,
- inne zakłady, ok. 23% [12].

Polish Hydrogen Strategy classifies hydrogen into three harvesting categories with different emission levels:

1. Conventional hydrogen – hydrogen produced in the following fossil fuel processing processes: steam reforming of the natural gas, coal gasification and coke oven gas separation. Currently, almost all conventional hydrogen is obtained in Poland, which is produced by the industry. The emissivity of CO₂ in these processes is respectively: above 5.8 kg CO₂ eq/kg H₂ when using natural gas and above 10 kg CO₂ eq/kg H₂ when the primary energy product is coal [13]. Given this important emissivity difference, the production of hydrogen from natural gas is projected to continue during the transition period. With currently available technologies, obtaining conventional hydrogen is cheaper than others, because it is waste in both described cases. Increasing the profitability of alternative hydrogen sources is influenced by the constantly increasing costs of natural gas and the fees for CO₂ emissions applied in the European Union.
2. Low-emission hydrogen – hydrogen produced from non-renewable or renewable energy sources with a negligible carbon footprint. The value of this footprint has not been definitively formulated, but scientific sources report the value below 5.8 kg CO₂ eq/kg H₂ [13].
3. Renewable hydrogen – it is produced during the electrolysis of water, which uses electricity from renewable sources. During its production, CO₂ emissions are at a low level – less than 1 kg CO₂ eq/kg H₂. The advantage of this technology is the probability of achieving a very high purity of the produced gas (at least 99.999%, so-called hydrogen 5.0). An additional method of producing renewable hydrogen are P2G (Power to Gas) installations, in which the overproduction of electricity from RES is used to produce hydrogen.

Currently, there are 300 electrolyzers operating in the EU, which provide about 4% of the total hydrogen production [13]. At present in Poland there are only prototype installations, built as part of research and development projects. At the same time, many entrepreneurs plan to implement pilot studies and demonstrations of this technology in the short term [14]. The application of the potential of renewable energy to generate hydrogen in Poland is currently difficult due to the scarcity of appropriate installations and the low level of commercialization of existing technologies. Unfortunately, comprehensive solutions aimed at the proper use of surplus electricity from renewable energy sources by generating hydrogen in the electrolysis process in the period of decline in energy demand also do not work. The reason is the high cost of electrolyser installation and the system's high demand for electricity from renewable energy sources. The process of water electrolysis is one of the simplest methods of hydrogen production, however, due to its low profitability (expensive and ineffective catalysts), it is not widely used. This is the effect of lower costs of the technology of producing hydrogen from natural gas using methods burdened with CO₂ emission to the atmosphere [15].

Polska Strategia Wodorowa klasyfikuje wodór w trzech kategoriach pozyskiwania o różnych poziomach emisyjności:

1. Wodór konwencjonalny – wodór wyprodukowany w następujących procesach przetwarzania paliw kopalnych: reformingu parowym gazu ziemnego, zgazowaniu węgla oraz separacji z gazu koksowniczego. Aktualnie w Polsce pozyskuje się niemal w całości wodór konwencjonalny, wyprodukowany na zapotrzebowanie ze strony przemysłu. Emisyjność CO₂ w tych procesach wynosi odpowiednio: powyżej 5,8 kg CO₂ eq/kg H₂ przy użyciu gazu ziemnego oraz powyżej 10 kg CO₂ eq/kg H₂, gdy produktem energii pierwotnej jest węgiel [13]. Uwzględniając tę ważną różnicę emisyjności, prognozuje się, że produkcja wodoru z gazu ziemnego w okresie przejściowym będzie utrzymana. Przy obecnie dostępnych technologiach, pozyskiwanie wodoru konwencjonalnego jest tańsze od innych, ponieważ stanowi on odpad w obu opisywanych przypadkach. Na zwiększenie opłacalności alternatywnych źródeł wodoru wpływają stale wzrastające koszty gazu ziemnego oraz opłaty za emisję CO₂ stosowane w Unii Europejskiej.
2. Wodór niskoemisyjny – wodór wyprodukowany z nieodnawialnych lub z odnawialnych źródeł energii ze znikomym śladem węglowym. Wartość tego śladu nie została ostatecznie sformułowana, lecz w źródłach naukowych podaje się wielkość poniżej 5,8 kg CO₂ eq/kg H₂ [13].
3. Wodór odnawialny – wytwarzany jest w trakcie elektrolizy wody, podczas której wykorzystano energię elektryczną pochodzącą z OZE. Podczas jego wytwarzania emisja CO₂ znajduje się na niewielkim poziomie – poniżej 1 kg CO₂ eq/kg H₂. Zaletą tej technologii jest prawdopodobieństwo osiągnięcia bardzo wysokiej czystości wytworzonego gazu (przynajmniej 99,999 %, tzw. wodór 5,0). Dodatkowym sposobem wytworzenia odnawialnego wodoru są instalacje P2G (ang. *Power to Gas*), w których nadprodukcja energii elektrycznej pochodzącej z OZE spożytkowana jest do wyprodukowania wodoru.

Aktualnie w UE pracuje 300 elektrolizerów zapewniających ok. 4% całkowitej produkcji wodoru [13]. W Polsce obecnie działają jedynie instalacje prototypowe, zbudowane w ramach projektów badawczo-rozwojowych. Jednocześnie wielu przedsiębiorców planuje w krótkiej perspektywie czasowej realizację badań pilotażowych i pokazów tej technologii [14]. Zastosowanie potencjału OZE do wytworzenia wodoru w Polsce jest aktualnie utrudnione ze względu na niedostatek odpowiednich instalacji i słaby poziom komercjalizacji istniejących technologii. Niestety nie działają także rozwiązania kompleksowe, skierowane w stronę właściwego spożytkowania nadwyżki energii elektrycznej z OZE przez wytworzenie wodoru w procesie elektrolizy w okresie spadku zapotrzebowania na energię. Przyczyną są wysokie koszty instalacji elektrolizerów oraz duże zapotrzebowanie systemu na prąd z OZE. Proces elektrolizy wody jest jedną z najprostszych metod wytwarzania wodoru, jednak ze względu na niską opłacalność (drogie i mało efektywne katalizatory) nie jest ona powszechnie stosowana. Jest to efekt niższych kosztów technologii wyprodukowania wodoru z gazu ziemnego metodami obciążonymi emisją CO₂ do atmosfery [15].

Hydrogen as a product of electrolysis can be used in various ways. Due to the use of fuel cells, it can be converted into electricity again. When compressed, it can be stored and utilized as transport fuel, and it is likely that it can become a component for chemical syntheses. By reacting with carbon dioxide, hydrogen can be converted into synthetic methane and distributed via gas networks. Depending on the used infrastructure and the target applications, in some amounts pure hydrogen can be combined with a conventional gas fuel. The production of electrolytic hydrogen is possible in the vicinity of wind farms or photovoltaic farms, as well as coal, gas or nuclear power plants (e.g. in the USA, Great Britain) [15].

Further perspective

It is predicted that after 2030 there will be real progress in the production of hydrogen by connecting electrolyzers in nuclear power plants. All types of reactors can be used in the hydrogen production process. However, this requires serious legislative and organizational changes to enable the implementation of this project. Around 2030, the production of hydrogen manufactured in the nuclear power plants is to be based not only on zero emissions, but also on an increased scale of production. The production of hydrogen in nuclear power plants is certainly justified, especially during the so-called night restrictions, in which the nuclear blocks reduce their power, which adversely affects their work. The proposed solution is to use the surplus energy while reducing the power demand by powering the electrolyzers, which will result in almost no-cost production of hydrogen. Its acquisition will be a permanent process – as opposed to that from RES. This will allow the electrolyzers to work more efficiently and will certainly extend their service life. This solution is being implemented in three nuclear power plants in the USA. It is planned for several such power plants to be opened in Great Britain, and at the same time this technology is being launched in older AGR facilities and in newly built EPR facilities (HPC, Sizewell C). The French government is also interested in obtaining hydrogen from electricity produced by the nuclear power plants and renewable energy (it has allocated EUR 7 billion for this purpose).

In the near future, producing hydrogen using heat from high-temperature reactors (HTR) is also planned. The technology of producing hydrogen due to the use of heat from high-temperature reactors in the pyrolysis process in obtaining hydrogen from water or methane shows high efficiency due to low losses in energy conversion.

Strategy objectives

The strategy includes designated priority areas that will allow the sectors to be linked, which will allow:

- increasing the consumption of electricity from RES, and
- its management by designated areas of the economy (some sectors of industry, transport and heat and power generation).

Wodór jako wytwór elektrolizy można wykorzystać na różne sposoby. Dzięki wykorzystaniu ogniw paliwowych może zostać powtórnie konwertowany w energię elektryczną. Skompresowany może być przechowywany i zagospodarowany jako paliwo transportowe i prawdopodobnym jest, że może zostać składnikiem do syntez chemicznych. W reakcji z dwutlenkiem węgla wodór może zostać przemieniony w metan syntetyczny i być rozsyłany za pomocą sieci gazowych. W zależności od użytej infrastruktury i docelowych zastosowań, w pewnych ilościach czysty wodór może zostać połączony z konwencjonalnym paliwem gazowym. Produkcja wodoru elektrolitycznego jest możliwa w okolicach farm wiatrowych lub fotowoltaicznych, a także elektrowni węglowych, gazowych czy jądrowych (np. w USA, Wielkiej Brytanii) [15].

Dalsza perspektywa

Przewiduje się, że po 2030 roku realny będzie postęp w produkcji wodoru poprzez podłączenie elektrolizerów w elektrowniach jądrowych. W procesie produkcji wodoru można wykorzystywać wszystkie typy reaktorów. Wymusza to jednak poważne zmiany legislacyjne i organizacyjne umożliwiające realizację tego przedsięwzięcia. Około 2030 r. produkcja wodoru wytwarzanego w elektrowniach jądrowych ma opierać się nie tylko na zerowej emisyjności, ale także na zwiększonej skali produkcji. Wytworzenie wodoru w elektrowniach jądrowych z pewnością jest uzasadnione, szczególnie w czasie tzw. ograniczeń nocnych, w których bloki jądrowe zmniejszają swoją moc, co niekorzystnie wpływa na ich pracę. Proponowanym rozwiązaniem jest wykorzystanie nadwyżek energii w czasie zmniejszenia zapotrzebowania na moc poprzez zasilanie elektrolizerów, co spowoduje niemalże bezkosztową produkcję wodoru. Jego pozyskiwanie będzie procesem stałym – w przeciwieństwie do tego z OZE. Pozwoli to na efektywniejszą pracę elektrolizerów i z pewnością wydłuży ich żywotność. Rozwiązanie to wdrażane jest w trzech elektrowniach atomowych w USA. Planowane jest otwarcie kilku takich elektrowni w Wielkiej Brytanii, a jednocześnie technologia ta uruchamiana jest w starszych obiektach typu AGR oraz w nowobudowanych typu EPR (HPC, Sizewell C). Rząd francuski jest również zainteresowany otrzymaniem wodoru z prądu wytwarzanego przez elektrownie jądrowe i OZE (przeznaczył na ten cel 7 mld euro).

W niedalekiej przyszłości planuje się również wytwarzanie wodoru z wykorzystaniem ciepła z reaktorów wysokotemperaturowych (HTR). Technologia wytwarzania wodoru dzięki wykorzystaniu ciepła z reaktorów wysokotemperaturowych w procesie pirolizy w pozyskiwaniu wodoru z wody lub metanu wykazuje wysoką skuteczność dzięki niskim stratom w konwersji energii.

Cele strategii

Strategia obejmuje wyznaczone obszary priorytetowe, które umożliwią łączenie sektorów, co pozwoli na:

- zwiększenie konsumpcji energii elektrycznej pochodzącej z OZE oraz
- zagospodarowanie jej przez wyznaczone obszary gospodarki (niektóre sektory przemysłu, transportu oraz elektrociepłownictwo).

Objective no. 1: launching hydrogen technologies in the energy sector

The intensification of the share of low-emission hydrogen technologies in the energy and heating sectors will enable the reduction of the emission intensity of the energy sector and the diversification of the energy production area. This will reduce the consumption of fossil fuels and reduce imports, which is expected to lead to an increase in the level of energy security. The use of hydrogen technologies in the economy is by all means desirable due to the rapid increase in electricity from renewable energy sources (RES) in Poland's energy resources (due to the problems described above with its storage). According to the forecast of renewable energy consumption, the share of renewable energy sources in electricity production in 2030 will be no less than 32%. Most of the power obtained from RES depends on weather conditions, which is why it is so important to enable the use of overproduction of electricity to produce hydrogen (using the electrolysis process), which can be used to produce electricity during periods of shortage of this generated from RES.

Cel nr 1: uruchomienie technologii wodorowych w energetyce

Zintensyfikowanie udziału niskoemisyjnych technologii wodorowych w energetyce i ciepłownictwie pozwoli na zmniejszenie emisyjności sektora energetycznego i dywersyfikację obszaru produkcji energii. Pozwoli to na obniżenie zużycia paliw kopalnych i redukcję importu, co ma doprowadzić do podniesienia poziomu bezpieczeństwa energetycznego. Zastosowanie technologii wodorowych w gospodarce jest ze wszech miar pożądane ze względu na lawinowy przyrost energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii (OZE) w zasobach energetycznych Polski (ze względu na opisywane powyżej problemy z jej magazynowaniem). Według prognozy zużycia energii odnawialnej, udział OZE w produkcji energii elektrycznej w 2030 r. wyniesie nie mniej niż 32%. Większość mocy uzyskanej z OZE zależy od warunków pogodowych, dlatego tak ważne jest, aby umożliwić wykorzystanie nadprodukcji energii elektrycznej do produkcji wodoru (z wykorzystaniem procesu elektrolizy), który zmagazynowany będzie mógł być wykorzystany do produkcji energii elektrycznej w okresach niedoboru tej wytwarzanej z OZE.

Table 1. Forecast of renewable energy consumption in Poland in 2020–2040
Tabela 1. Prognoza zużycia energii odnawialnej w Polsce w latach 2020–2040

		2020	2030	2040
Share of renewable energy in gross in final energy consumption / Udział energii ze źródeł odnawialnych w konsumpcji ostatecznej energii brutto	Share of renewable energy in gross in final energy consumption / Udział energii z OZE w zużyciu końcowym energii brutto	15.0%	23.0%	28.5%
Gross final energy consumption from renewable sources in the power industry / Konsumpcja energii ostatecznej brutto ze źródeł odnawialnych w elektroenergetyce	Share of renewable energy in the power industry / Udział energii z OZE w elektroenergetyce	22.1%	31.8%	39.7%
Gross final energy consumption from renewable sources in heating and cooling / Konsumpcja energii ostatecznej brutto ze źródeł odnawialnych w ciepłownictwie i chłodnictwie	Share of renewable energy in heating and cooling / Udział energii z OZE w ciepłownictwie i chłodnictwie	17.4%	28.4%	34.4%
Gross final energy consumption from renewable sources in transport / Konsumpcja energii ostatecznej brutto ze źródeł odnawialnych w transporcie	Share of renewable energy in transport / Udział energii z OZE w transporcie	10.0%	14.0%	22.0%

Source: Draft Energy Policy of Poland until 2040.

Źródło: Projekt Polityki Energetycznej Polski do 2040 r.

The next stage is planned for 10 years and, as a result, research and development works from the perspective of the first 5 years should be implemented and launched as hydrogen installations. In addition, at this stage, it is planned to create a smart-scale fuel cell installation for housing estates, single-family houses in the suburbs, as well as public utility facilities as, for example, an emergency power source.

Następny etap zaplanowany jest na 10 lat i w efekcie prace badawczo rozwojowe z perspektywy pierwszych 5 lat powinny zostać wdrożone i uruchomione jako instalacje wodorowe. Rok 2030 powinien być początkiem wykorzystania wodoru jako magazynów energii dla systemów energetycznych wchodzących w skład OZE. Dodatkowo na tym etapie przewiduje się stworzenie instalacji ogniw paliwowych w skali smart dla osiedli mieszkaniowych, domów jednorodzinnych na przedmieściach, a także obiektów użyteczności publicznej w charakterze np. źródła zasilania awaryjnego.

Table 2. Activities in the area of implementing hydrogen in the energy sector for 2020–2030
Tabela 2. Działania w zakresie wdrożenia wodoru w energetyce na lata 2020–2030

ACTIVITIES / CZYNNOŚCI	
<p>2025</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. The use of hydrogen technologies in the energy sector, including the definition of the legal framework for their operation. / Zastosowanie technologii wodorowych w energetyce, w tym określenie ram prawnych ich funkcjonowania. 2. Commissioning of P2G installation of class 1 MW based on Polish technologies – support for stabilizing the operation of distribution networks; such an installation will manufacture 3,150 MWh of hydrogen/year. / Uruchomienie instalacji P2G klasy 1 MW na bazie polskich technologii – wsparcie dla stabilizacji pracy sieci dystrybucyjnych; instalacja taka wyprodukuje 3 150 MWh wodoru/rok. 3. Co-combustion of hydrogen in gas turbines (depending on the technical capabilities of the turbine). / Współspalanie wodoru w turbinach gazowych (w zależności od możliwości technicznych turbiny). 4. R&D support in the creation of co- and polygeneration systems for apartment blocks, small housing estates and public utility buildings from 10 kW to 250 kW using fuel cells. / Wsparcie B+R w zakresie tworzenia układów ko- i poligeneracyjnych dla bloków mieszkalnych, małych osiedli oraz obiektów użyteczności publicznej od 10 kW do 250 kW z wykorzystaniem ogniw paliwowych. 5. Technical analysis and the possibility of developing large-scale salt caverns for hydrogen storage. / Dokonanie analizy technicznej i możliwości zagospodarowania wielkoskalowych kavern solnych pod magazynowanie wodoru. 	<p>2030</p> <ol style="list-style-type: none"> 6. Commissioning of co- and polygeneration installations, e.g. medium-sized combined heat and power plants (50 MWt), where the main fuel is hydrogen (demand approx. 580 GWh per year). / Uruchomienie instalacji ko- i poligeneracyjnych, np. elektrociepłowni średniej wielkości (50 MWt), gdzie głównym paliwem będzie wodór (zapotrzebowanie ok. 580 GWh rocznie). 7. Start using hydrogen as an energy storage – approx. 4,700 MWh of electricity generated with the input of 11 GWh of energy. / Rozpoczęcie wykorzystania wodoru jako magazynu energii – ok. 4700 MWh wytworzonej energii elektrycznej przy wkładzie 11 GWh energii. 8. Installation of systems for apartment blocks, small estates and public utility buildings from 10 kW to 250 kW using fuel cells. / Instalacja układów dla bloków mieszkalnych, małych osiedli oraz obiektów użyteczności publicznej od 10 kW do 250 kW z wykorzystaniem ogniw paliwowych.

Source: Polish Hydrogen Strategy.

Źródło: Polska Strategia Wodorowa.

Objective no. 2: use of hydrogen as an alternative fuel in transport

One way to reduce CO₂ emissions is to use hydrogen for transport. This element can replace conventional fuels, primarily in urban (buses), road (heavy and long-distance transport), rail (electric locomotives and traction vehicles equipped with fuel cells and batteries) and sea transport, as well as in aviation and unmanned aerial vehicles (UAV).

Currently, technologies are being implemented in transport, the use of which is expected to reduce CO₂ emissions into the atmosphere. These include, for example, battery electric vehicles (BEV), hybrid electric vehicles (HEV) and plug-in hybrid electric vehicles (PHEV). However, the source of electricity, i.e. hard coal, lignite and natural gas, remains a problem. To fully decarbonise this sector, the use of fuel cell electric vehicles (FCEVs) will be necessary. FCEVs have a special role to play in the areas of public transport as well as heavy and long-distance road transport, where the use of BEVs is limited. It is important due to the enormous fuel consumption in these types of transport, especially in large agglomerations.

The future of hydrogen in transport lies not only in the automotive sector, but also in the aviation, rail and maritime sectors. There are plans to use this raw material in the rail transport sector at the level of regional transport. The proposal to use this fuel on longer routes (e.g. cargo transport) seems to be particularly rational. However, the most fuel-consuming units are in maritime transport – powerful cruise ferries with high energy and power

Cel nr 2: wykorzystanie wodoru jako paliwa alternatywnego w transporcie

Jednym ze sposobów redukcji emisji CO₂ jest użycie wodoru w transporcie. Pierwiastek ten może zastąpić paliwa konwencjonalne przede wszystkim w transporcie miejskim (autobusy), drogowym (transport ciężki i długodystansowy), kolejowym (elektrowozy i pojazdy trakcyjne wyposażone w ogniwa paliwowe i baterie) oraz morskim, a także w lotnictwie i bezałogowych statkach powietrznych (BSP).

Obecnie w transporcie wdrażane są technologie, których wykorzystanie ma wpłynąć na redukcję emisji CO₂ do atmosfery. Należą do nich np. pojazdy elektryczne (ang. *battery electric vehicle*, BEV), hybrydowe pojazdy elektryczne (ang. *hybrid electric vehicle*, HEV) i hybrydowe pojazdy elektryczne typu plug-in (ang. *plugin hybrid electric vehicle*, PHEV). Jednak w dalszym ciągu problemem zostaje źródło energii elektrycznej, czyli węgiel kamienny, brunatny i gaz ziemny. Aby dokonać całkowitej dekarbonizacji w tym sektorze, niezbędnym będzie zastosowanie pojazdów na ogniwa paliwowe (ang. *fuel cell electric vehicle*, FCEV). Szczególną rolę pojazdy FCEV mają do spełnienia w obszarach transportu publicznego oraz drogowego transportu ciężkiego i długodystansowego, gdzie możliwość wykorzystania BEV jest ograniczona. Jest to istotne ze względu na ogromne zużycie paliwa w tych typach transportu, zwłaszcza w dużych aglomeracjach.

Przyszłość wodoru w transporcie to nie tylko sektor samochodowy, ale także lotniczy, kolejowy i morski. W planach jest zastosowanie tego surowca w sektorze transportu kolejowego na

requirements, enormous fuel consumption requirements and limited options for choosing a low CO₂ fuel.

Currently, the use of hydrogen in the maritime and river transport sector is symbolic – limited to small demonstration projects. However, worth mentioning is the emerging GreenPort program. Some port authorities are actively creating infrastructure for providing services in terms of alternative fuels, including hydrogen.

It is estimated that in the planned 5-year period it is possible to organize an appropriate platform enabling the technical conditions for the use of 500 hydrogen-powered zero-emission buses manufactured in Poland. These buses would generate a demand for approximately 3,232 tons of hydrogen per year. It is estimated that this investment would additionally require the construction of 32 hydrogen refuelling stations and a hydrogen purification installation to the purity level of 99.999%. At the beginning – due to transport needs – public transport buses should be provided for large agglomerations and densely populated areas. At the same time, within 5 years, works related to the operation of passenger trains and hydrogen-powered locomotives should be supported (due to the plan to replace them with diesel locomotives, which run on sections difficult to electrify).

In the next 10 years, using hydrogen in heavy road transport, rail transport, sea and river transport is planned. Increasing the number of hydrogen buses to 2,000 and the further development of refuelling infrastructure and treatment installations is planned. It is also planned to replace diesel trains with hydrogen ones. According to forecasts of the demand for hydrogen, in 2030 consumption in the transport sector will reach approx. 32,500 tons per year.

poziomie przewozów regionalnych. Szczególnie racjonalna wydaje się być propozycja wykorzystania tego paliwa na dłuższych trasach (np. przewozy cargo). Jednak najbardziej paliwożerne jednostki funkcjonują w transporcie morskim – potężne promy wycieczkowe, charakteryzujące się wysoką energochłonnością i zapotrzebowaniem na moc, mają potężne wymagania w zakresie zużycia paliwa i ograniczone możliwości w wyborze paliwa o niskiej emisyjności CO₂.

Aktualnie wykorzystanie wodoru w sektorze transportu morskiego i rzeczno jest symboliczne – ogranicza się do małych projektów demonstracyjnych. Warty wspomnienia jest jednak powstający program GreenPort. Kapitanaty niektórych portów aktywnie tworzą infrastrukturę umożliwiającą świadczenie usług w zakresie paliw alternatywnych, w tym wodoru.

Szacuje się, że w zaplanowanym okresie 5 lat możliwe jest zorganizowanie odpowiedniej platformy umożliwiającej techniczne warunki do użytkowania 500 wyprodukowanych w Polsce autobusów zeroemisyjnych napędzanych wodorem. Autobusy te generowałyby zapotrzebowanie na ok. 3232 ton wodoru rocznie. Ocenia się, że inwestycja ta wymagałaby dodatkowo wybudowania 32 stacji tankowania wodoru oraz instalacji do oczyszczania wodoru do poziomu czystości 99,999%. Na początku – ze względu na potrzeby transportowe – powinno się zapewnić autobusy komunikacji miejskiej dla dużych aglomeracji i obszarów gęsto zaludnionych. Równolegle w ciągu 5 lat należałoby wspierać prace dotyczące eksploatacji pociągów osobowych oraz lokomotyw napędzanych wodorem (ze względu na plan zastąpienia nimi lokomotyw spalinowych, które kursują na odcinkach trudnych do elektryfikacji).

W ciągu najbliższych 10 lat przewiduje się zagospodarowanie wodoru w ciężkim transporcie samochodowym, przewozach kolejowych, transporcie morskim i rzeczno. Planuje się powiększenie liczby autobusów wodorowych do 2000 oraz dalszy rozwój infrastruktury tankowania i instalacji do oczyszczania. Przewiduje się wymianę pociągów spalinowych na wodorowe. Jak wynika z prognoz zapotrzebowania na wodór, w 2030 r. zużycie w sektorze transportu sięgnie ok. 32 500 ton rocznie.

Table 3. Activities in the field of implementing hydrogen as an alternative fuel in transport for the period 2020–2030
Tabela 3. Działania w zakresie wdrożenia wodoru jako paliwa alternatywnego w transporcie na lata 2020–2030

ACTIVITIES / CZYNNOŚCI	
2025	2030
<p>9. Starting the use of zero-emission hydrogen-powered buses – 500 new hydrogen buses manufactured in Poland, generating a demand for 3,232 tons, i.e. 108 GWh of hydrogen per year. / Rozpoczęcie eksploatacji autobusów zeroemisyjnych napędzanych wodorem – 500 nowych autobusów wodorowych wyprodukowanych w Polsce, generujących popyt na 3232 ton, tj. 108 GWh wodoru rocznie.</p> <p>10. Development of a network of hydrogen refuelling stations – 32 new stations. / Rozwój sieci stacji tankowania wodoru – 32 nowe stacje.</p> <p>11. Establishment of a hydrogen purification installation up to the purity standard of 99.999%. / Powstanie instalacji do oczyszczania wodoru do standardu czystości 99,999%.</p> <p>12. Production of the first hydrogen trains / locomotives that will replace their diesel counterparts on routes difficult to electrify. / Produkcja pierwszych pociągów/lokomotyw wodorowych, które zastąpią ich spalinowe odpowiedniki na trudnych do zelektryfikowania trasach.</p>	<p>15. Further development of the hydrogen refuelling infrastructure. / Dalszy rozwój infrastruktury tankowania wodoru.</p> <p>16. Starting the use of 2,000 hydrogen buses manufactured in Poland. /Rozpoczęcie eksploatacji 2000 autobusów wodorowych wyprodukowanych w Polsce.</p> <p>17. Further development of the hydrogen purification plant to the purity standard of 99.999% / Dalszy rozwój instalacji do oczyszczania wodoru do standardu czystości 99,999%.</p> <p>18. Gradual replacement of diesel trains with hydrogen trains. / Stopniowe zastępowanie pociągów spalinowych pociągami wodorowymi.</p> <p>19. Development of using hydrogen in heavy, rail, sea and river transport (total demand for 32,462 tons, i.e. 1081 GWh of hydrogen per year, which is approx. 3% of the current production from fossil fuels). / Rozwój wykorzystania wodoru w transporcie ciężkim, kolejowym, morskim i rzeczno (łączne zapotrzebowanie na 32 462 ton, tj. 1081 GWh wodoru rocznie, co stanowi ok. 3% obecnej produkcji z paliw kopalnych).</p>

13. Researching the possibility and profitability of using synthetic gases in the transport of hydrogen methanation. / Zbadanie możliwości i opłacalności zastosowania w transporcie gazów syntetycznych powstałych w procesie metanizacji wodoru.
14. Launching pilot programs for using hydrogen in heavy road, rail, sea and river transport. / Uruchomienie programów pilotażowych wykorzystania wodoru w transporcie ciężkim kołowym, kolejowym, morskim i rzeczny.
20. Production of synthetic fuels through the reaction of hydrogen with CO, CO₂, N₂ (demand approx. 240 GWh per year). / Wytwarzanie paliw syntetycznych w reakcji wodoru z CO, CO₂, N₂ (zapotrzebowanie ok. 240 GWh rocznie).

Source: Polish Hydrogen Strategy [1].

Źródło: Polska Strategia Wodorowa [1].

Objective no. 3: supporting the decarbonisation of the industry

Poland is one of the largest CO₂ emitters in Europe – it emits approximately 350 million tons of CO₂ equivalent annually into the atmosphere. Heavy industry, mining and metallurgy are among the sectors of the economy in which achieving climate neutrality is the most difficult. The use of low-emission hydrogen in this sector would be a great success for our country and would allow a significant reduction in greenhouse gas emission to the atmosphere.

Most of the hydrogen on the Polish market is not used in energy or transport, but is consumed by the industry (mainly chemical and refining). In the chemical industry, hydrogen is necessary for the production of ammonia, while in the refining industry it is used in the refining process – it effectively removes sulphur and binds unsaturated compounds that adversely affect the quality of fuels. Hydrogen is also used in other sectors of the economy, such as the textile, pharmaceutical, tanning and confectionery industries, and is used for the production of plastics, hydrogen peroxide and OXO alcohols. In the industry, we can see the greatest progress in the consumption of low-emission hydrogen. Electrolysis with the use of RES will reach cost parity for selected products and processes after 2030 with a further increase in the prices of CO₂ certificates [17].

Cel nr 3: wsparcie dekarbonizacji przemysłu

Polska należy do największych w Europie emitentów CO₂ – rocznie emituje do atmosfery ok. 350 mln ton ekwiwalentnego CO₂. Przemysł ciężki, górnictwo i hutnictwo należą do gałęzi gospodarki, w której osiągnięcie neutralności klimatycznej jest najtrudniejsze. Zastosowanie wodoru niskoemisyjnego w tym sektorze byłoby wielkim sukcesem naszego kraju i pozwoliłoby na znaczącą redukcję emisji gazów cieplarnianych do atmosfery.

Większość wodoru na polskim rynku nie znajduje zastosowania w energetyce lub transporcie, lecz jest konsumowane przez przemysł (głównie chemiczny i rafineryjny). W przemyśle chemicznym wódór jest niezbędny do produkcji amoniaku, natomiast w przemyśle rafineryjnym stosuje się go w procesie rafinacji – skutecznie usuwa siarkę i wiąże związki nienasycone, które niekorzystnie wpływają na jakość paliw. Wódór ma także zastosowanie w innych sektorach gospodarki, takich jak przemysł włókienniczy, farmaceutyczny, garbarski, cukierniczy oraz służy do produkcji tworzyw sztucznych, nadtlenu wodoru czy alkoholi OXO. W przemyśle możemy zauważyć największy progres w zużyciu niskoemisyjnego wodoru. Elektroliza z wykorzystaniem OZE osiągnie paritet kosztów dla wybranych produktów i procesów po 2030 r. przy dalszym wzroście cen certyfikatów CO₂ [17].

Table 4. Activities in the field of industrial decarbonisation, through the use of hydrogen, for the years 2020–2030

Tabela 4. Działania w zakresie dekarbonizacji przemysłu, poprzez wykorzystanie wodoru, na lata 2020–2030

ACTIVITIES / CZYNNOŚCI	
<p>2025</p> <p>21. Supporting activities aimed at obtaining and applying low-emission hydrogen for petrochemical production processes, chemical and fertilizer based on green industrial energy. / Wsparcie działań na rzecz pozyskania i zastosowania niskoemisyjnego wodoru do procesów produkcji petrochemicznej, chemicznej oraz nawozowej w oparciu o zieloną energetykę przemysłową.</p> <p>22. Introduction of difference carbon contract as an instrument to support the climate transformation of the industry. / Wprowadzenie węglowego kontraktu różnicowego jako instrumentu wsparcia transformacji klimatycznej przemysłu.</p> <p>23. Pilot technological projects for sectors where it is difficult to achieve climate neutrality – in particular steel production in the primary smelting process (Dąbrowa Górnicza). / Pilotażowe projekty technologiczne dla sektorów, w których trudno jest osiągnąć neutralność klimatyczną – w szczególności produkcja stali w procesie pierwotnego wytopu (Dąbrowa Górnicza).</p> <p>24. Financial and organizational support for feasibility studies of industrial hydrogen valleys as part of the construction of industrial closed-loop processes. / Wsparcie finansowe i organizacyjne studiów wykonalności przemysłowych dolin wodorowych w ramach budowy przemysłowych procesów o obiegu zamkniętym.</p>	<p>2030</p> <p>25. At least 5 hydrogen valleys will be created with a significant element of hydrogen transmission infrastructure (pipelines). / Powstanie co najmniej 5 dolin wodorowych ze znaczącym elementem infrastruktury przesyłowej wodoru (rurociągi).</p>



Source: Institute for Chemical Processing of Coal. / Źródło: Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla.

Source: Polish Hydrogen Strategy [1].

Źródło: Polska Strategia Wodorowa [1].

Objective no. 4: hydrogen production in new installations

Hydrogen production methods depend on many factors, including cost, energy system structure, technology readiness level, financial conditions and legal stability. They determine how and in which areas hydrogen is used in individual countries.

The European Green Deal and the EU's Hydrogen Strategy have set a direction, the strategic goal of which for Poland until 2030 is to ensure conditions for launching installations for the production of hydrogen from low- and zero-emission sources. This direction does not have an obligatory production condition and does not constitute a criticism of our current hydrogen production methods, but is intended to mobilize the Polish industry to transform towards a low-emission economy. It is an incentive for innovative activities that will allow Polish entrepreneurs to choose an appropriate development moment – which include obtaining funds from the EU and international financial institutions – on the basis of global climate action.

Cel nr 4: produkcja wodoru w nowych instalacjach

Metody produkcji wodoru są zależne od wielu czynników, takich jak koszty, struktura systemu energetycznego, poziom gotowości technologicznej oraz warunki finansowe i stabilność prawna. Od nich zależy w jaki sposób i na jakich terenach w poszczególnych krajach stosuje się wodór.

Europejski Zielony Ład i Strategia wodorowa UE wyznaczyły kierunek, którego celem strategicznym dla Polski do 2030 r. jest zapewnienie warunków dla uruchomienia instalacji do produkcji wodoru ze źródeł nisko- i zeroemisyjnych. Kierunek ten nie ma obligatoryjnego warunku produkcji i nie oznacza krytyki naszych dotychczasowych metod wytwarzania wodoru, lecz ma na celu zmobilizowanie polskiego przemysłu do transformacji w kierunku gospodarki niskoemisyjnej. Jest to zachęta do działań nowatorskich, które pozwolą polskim przedsiębiorcom wybrać odpowiedni momentu rozwojowy – w tym pozyskanie środków finansowych, oferowanych przez UE i międzynarodowe instytucje finansowe – na podstawie globalnych działań na rzecz klimatu.

Table 5. Hydrogen production activities for 2020–2030**Tabela 5. Działania w zakresie produkcji wodoru na lata 2020–2030**

ACTIVITIES / CZYNNOŚCI	
2025	2030
<p>26. Launching an installation for the production of hydrogen from low-emission sources with a total capacity of min. 50 MW:</p> <ul style="list-style-type: none"> – in the process of electrolysis, – from biomethane, – waste gases, – from natural gas using CCS/CCU, – by pyrolysis and other alternative hydrogen production technologies. / Uruchomienie instalacji do produkcji wodoru ze źródeł niskoemisyjnych o łącznej mocy min. 50 MW: – w procesie elektrolizy, – z biometanu, – gazów odpadowych, – z gazu ziemnego z wykorzystaniem CCS/CCU, – na drodze pirolizy oraz innych alternatywnych technologii pozyskiwania wodoru. <p>27. Launching the production of synthetic gases in the hydrogen methanation process and the use of low-emission hydrogen in the production of NH₃. / Uruchomienie wytwarzania gazów syntetycznych w procesie metanizacji wodoru oraz wykorzystanie niskoemisyjnego wodoru w produkcji NH₃.</p>	<p>28. Using the installed capacity in RES for the production of hydrogen and synthetic fuels based on the electrolysis process; the installed capacity of the electrolyzers will reach 2 GW, which will allow to generate approx. 6,415 GWh, i.e. 193,643 tons of hydrogen per year, i.e. approx. 20% of the total current hydrogen production in Poland. / Wykorzystanie mocy zainstalowanej w OZE dla potrzeb produkcji wodoru i paliw syntetycznych w oparciu o proces elektrolizy; zainstalowana moc elektrolizerów sięgnie 2 GW, co pozwoli wytworzyć ok. 6415 GWh, tj. 193,643 ton wodoru rocznie czyli ok. 20% całkowitej obecnej produkcji wodoru w Polsce.</p> <p>29. Providing conditions for the construction of hydrogen production installations at nuclear power plants. / Zapewnienie warunków do budowy instalacji do produkcji wodoru przy elektrowniach jądrowych.</p>

Source: Polish Hydrogen Strategy [1].

Źródło: Polska Strategia Wodorowa [1].

Objective no. 5: efficient and safe distribution of hydrogen

For the effective development of the hydrogen economy, effective distribution of the raw material from the production site to the final recipient and its safe storage are necessary. Currently, hydrogen transport is divided into pipelines, roads and railways.

As part of the transmission, it is possible to transport hydrogen in the current natural gas distribution networks, after adapting them to the transport of hydrogen admixture. According to the International Energy Agency, a 5% hydrogen admixture in the natural gas transmission network would increase the interest in this fuel. At the same time, it would lower the costs of bringing the fuel to the market [18]. It would not require large investment expenditures, as the conditions of the entire process are in line with the

Cel nr 5: skuteczna i bezpieczna dystrybucja wodoru

Dla efektywnego rozwoju gospodarki wodorowej konieczna jest skuteczna dystrybucja surowca z miejsca produkcji do odbiorcy finalnego oraz jego bezpieczne magazynowanie. Aktualnie transport wodoru jest podzielony na rurociągowy, drogowy i kolejowy.

W ramach przesyłu istnieje możliwość transportowania wodoru w obecnych sieciach dystrybucyjnych gazu ziemnego, po dostosowaniu ich do transportu domieszki wodoru. Według Międzynarodowej Agencji Energetyki 5% domieszka wodoru w sieci przesyłowej gazu ziemnego zwiększyłoby zainteresowanie tym paliwem. Jednocześnie obniżyłoby to koszty wprowadzenia paliwa na rynek [18]. Nie wymagałoby to dużych nakładów inwestycyjnych, ponieważ warunki całego procesu są zgodne z regulacjami Unii

European Union regulations. According to them, the gas network is to enable the injection of renewable gases, such as: biomethane, biogas, synthetic methane, coal gas and hydrogen [19].

The implementation of Objective 5 is related to the gradual expansion of the hydrogen transmission and distribution network. However, before starting its implementation, it is necessary to analyse the most effective methods of energy transmission for the development of the hydrogen economy by assessing, among others, the economic justification for the location of hydrogen production sources – whether near the largest recipients or the largest RES manufacturers, or the production of synthetic natural gas (SNG) transmitted through existing gas pipelines. In the next 5 years, it will be necessary to evaluate the existing infrastructure in terms of the possibility of injecting hydrogen and transporting hydrogen-gas mixtures. However, in the time perspective until 2030, it is planned to implement the conclusions of the analyses.

Europejskiej. Według nich sieć gazociągowa ma umożliwić załączanie gazów odnawialnych, takich jak: biometan, biogaz, metan syntetyczny, gaz z pokładów węglowych oraz wodór [13].

Wykonanie celu 5. wiąże się z sukcesywną rozbudową sieci przesyłu i dystrybucji wodoru. Jednak przed przystąpieniem do jego realizacji należy wykonać analizy najskuteczniejszych metod przesyłu energii dla rozwoju gospodarki wodorowej poprzez ocenę m.in. uzasadnienia ekonomicznego lokalizacji źródeł pozyskiwania wodoru – czy w pobliżu największych odbiorców, czy największych producentów OZE, bądź produkcji syntetycznego gazu ziemnego (SNG) przesyłanego istniejącymi gazociągami. W najbliższych 5 latach niezbędne będzie dokonanie oceny istniejącej infrastruktury pod względem możliwości załączania wodoru i przesyłu mieszanin wodoru z gazem. Natomiast w perspektywie czasowej do 2030 r. planuje się wdrożenie wniosków z przeprowadzonych analiz.

Table 6. Hydrogen distribution activities for 2020–2030

Tabela 6. Działania w zakresie dystrybucji wodoru na lata 2020–2030

ACTIVITIES / CZYNNOŚCI	
2025	2030
30. Development of hydrogen transmission and distribution network – development of an analysis of the most optimal form of energy transmission for the development of the hydrogen economy; electricity transmission / hydrogen transmission / SNG with the existing gas network / hydrogen transmission through dedicated pipelines. / Rozwój sieci przesyłu i dystrybucji wodoru – opracowanie analizy w zakresie najbardziej optymalnej formy przesyłu energii na rzecz rozwoju gospodarki wodorowej: przesył energii elektrycznej/przesył wodoru/SNG istniejącą siecią gazową/przesył wodoru dedykowanymi rurociągami.	33. Adapting the selected sections of the gas network to the transmission and distribution of hydrogen doped with gas. / Dostosowanie wybranych odcinków sieci gazowej do przesyłu i dystrybucji wodoru domieszkowanego do gazu.
31. “Hydrogen Highway” – feasibility study for the North-South pipeline. / „Autostrada wodorowa” – opracowanie studium wykonalności rurociągu północ-południe.	34. Construction of dedicated pipelines for hydrogen transmission and distribution or expansion of the power grid to transmit electricity. / Budowa dedykowanych rurociągów do przesyłu i dystrybucji wodoru lub rozbudowa sieci elektroenergetycznej w celu przesyłu energii elektrycznej.
32. Examination of the existing gas infrastructure in terms of the possibility of injection of hydrogen and transmission of hydrogen-gas mixtures. / Zbadanie istniejącej infrastruktury gazowej pod kątem możliwości załączania wodoru i przesyłu mieszanin wodoru z gazem.	35. Feeding into gas networks SNG manufactured in P2G systems. / Wprowadzenie do sieci gazowych SNG wyprodukowanego w systemach P2G.

Source: Polish Hydrogen Strategy [1].

Źródło: Polska Strategia Wodorowa [1].

Objective no. 6: creating a stable regulatory environment

The most important activities aimed at creating a stable regulatory environment are presented in Table 7.

Cel nr 6: utworzenie stabilnego otoczenia regulacyjnego

Najważniejsze działania w celu utworzenia stabilnego otoczenia regulacyjnego przedstawia tabela 7.

Table 7. Activities to create a stable regulatory environment for the years 2021–2022

Tabela 7. Działania w zakresie utworzenia stabilnego otoczenia regulacyjnego na lata 2021–2022

ACTIVITIES / CZYNNOŚCI	
2021	2022
36. Developing a regulatory framework for the functioning of hydrogen as an alternative fuel in transport. / Opracowanie ram regulacyjnych funkcjonowania wodoru jako paliwa alternatywnego w transporcie.	38. Developing a legislative hydrogen package – regulations specifying the details of the functioning of the market, implementing EU law in this area and implementing a system of incentives for the production of low-emission hydrogen (work to start in 2021) / Opracowanie legislacyjnego pakietu wodorowego – przepisów określających szczegóły funkcjonowania rynku, implementujących prawo UE w tym zakresie oraz wdrażających system zachęt do produkcji niskoemisyjnego wodoru (rozpoczęcie prac jeszcze w 2021 r.)
37. Establishing the foundations for the functioning of the hydrogen market. / Utworzenie podstaw funkcjonowania rynku wodoru.	

Source: Polish Hydrogen Strategy [1].

Źródło: Polska Strategia Wodorowa [1].

Horizontal activities

In addition to the basic activities set out in the PSW objectives, the following activities are planned:

- Using Polish research and development potential for the development of hydrogen technologies (detailed plans for the support of research and development are specified in section 3.3. of the PSW).
- Achieving the status of a state supplier of electrolysers, pyrolysis installations, fuel cells and hydrogen tanks, reactors and catalysts for methanation (P2G) [20], or for P2L technology [21] and other components (including pipelines, valves, gaskets, compressors, pumps, protection automatics).

Due to the initial stage of the development of the hydrogen economy, the activity of submitting applications will be important throughout the entire process of implementing the strategy – from the beginning to the end of the process. Only projects that are part of the activities presented in the PSW – addressed to the entrepreneurs, business environment institutions, research and scientific units and public administration institutions for the implementation of innovative projects related to hydrogen technologies will be positively assessed. The enactment of support programs for the investors is aimed at the development of the Polish economy based on innovative solutions using modern hydrogen technologies.

Projected investment outlays

By 2025, the implementation of the objectives related to the implementation of hydrogen technologies in energy and transport as well as ensuring the planned production (50 MW of electrolysers) will require investments of approximately PLN 2 billion. This estimate does not take into account the costs of electricity needed to produce hydrogen, the maintenance costs of hydrogen buses (fuel, service), and the development of transmission and distribution.

In the perspective of 2030, the available knowledge allows to estimate only the costs related to the investments in electrolysers (approx. PLN 9 billion), depending on the selected technology (alkaline/PEM/SOEC) and the purchase of further buses (approx. PLN 4.4 billion) and refuelling stations (about PLN 1.2 billion).

Table 8. Summary of the necessary investment outlays
Tabela 8. Podsumowanie koniecznych nakładów inwestycyjnych

Summary of the necessary financial outlays [PLN million] / Podsumowanie koniecznych nakładów finansowych [mln PLN]				
	until 2025 / do 2025		until 2030/ do 2030	
500 hydrogen buses / 500 autobusów wodorowych	1,452		1,500 buses / 1500 autobusów	4,356
32 refuelling stations / 32 stacje tankowania	256		150 refuelling stations / 150 stacji tankowania	1,200
50 MW of electrolysers / 50 MW elektrolizerów	288		2GW of electrolysers / 2GW elektrolizerów	9,160
Sum / Suma	1,996		Sum / Suma	14,716

Source: Polish Hydrogen Strategy [1].
Źródło: Polska Strategia Wodorowa [1].

Działania horyzontalne

Poza podstawowymi czynnościami określonymi w ramach celów PSW, planowane są działania o charakterze horyzontalnym w całym okresie trwania strategii wodorowej:

- Wykorzystanie polskiego potencjału badawczo-rozwojowego do opracowywania technologii wodorowych (szczegółowe plany dotyczące wsparcia badań i rozwoju zostały określone w części 3.3. PSW), przez cały okres czasowy strategii.
- Osiągnięcie statusu państwa dostawcy elektrolizerów, instalacji pirolizy, ogniw paliwowych i zbiorników na wodór, reaktorów i katalizatorów do metanizacji (P2G) [19], czy też do technologii P2L [20] oraz innych komponentów (m.in. rurociągi, zawory, uszczelki, sprężarki, pompy, automatyka zabezpieczeniowa), realizowany w końcowym etapie strategii.

Ze względu na początkowy etap rozwoju gospodarki wodorowej, w całym procesie realizacji strategii – od rozpoczęcia do zakończenia procesu – ważną będzie aktywność składania aplikacji. Pozytywnie zaopiniowane będą wyłącznie projekty, które wpisują się w działania przedstawione w PSW – skierowane do przedsiębiorców, instytucji otoczenia biznesu, jednostek badawczych i naukowych oraz instytucji administracji publicznej na realizację innowacyjnych projektów związanych z technologiami wodorowymi. Uchwalenie programów wsparcia dla inwestorów ma na celu rozwój polskiej gospodarki w oparciu o innowacyjne rozwiązania wykorzystujące nowoczesne technologie wodorowe.

Przewidywane nakłady inwestycyjne

Do 2025 r. realizacja celów związanych z wdrożeniem technologii wodorowych w energetyce i transporcie oraz z zapewnieniem planowanej produkcji (50 MW elektrolizerów) wymagać będzie inwestycji rzędu ok. 2 mld zł. Szacunek ten nie uwzględnia kosztów energii elektrycznej koniecznej do produkcji wodoru, kosztów utrzymania autobusów wodorowych (paliwo, serwis), ani rozwoju przesyłu i dystrybucji.

W perspektywie 2030 r. dostępna wiedza pozwala szacować obecnie tylko koszty związane z inwestycjami w elektrolizery (ok. 9 mld zł), zależnie od wybranej technologii (alkaliczne/PEM/SOEC) oraz zakupem kolejnych autobusów (ok. 4,4 mld zł) i stacji tankowania (ok. 1,2 mld zł).

Summary

Hydrogen production is the future for improving the global climate. The article presents the main assumptions and objectives of the Polish Hydrogen Strategy, which was based on the European Green Deal and the EU Hydrogen Strategy. The designed objectives and implementation of activities were described, broken down into the next 5 years, the next 10 years and the longest for 30 years, i.e. until 2050.

For such long-term planning to be effective, it requires the consensus of all significant political forces in Poland. Building infrastructure, coherent planning of the next stages of activities requires consistency and accepting the fact that the fruits of long-term hard work can be consumed by political opponents. This is a prerequisite for making the transition to low carbon fuels possible.

Podsumowanie

Produkcja wodoru stanowi przyszłość dla poprawienia sytuacji klimatycznej na świecie. W artykule przedstawiono główne założenia i cele Polskiej Strategii Wodorowej, która została oparta na Europejskim Zielonym Ładzie i Strategii wodorowej UE. Opisano zaprojektowane cele i realizację działań w podziale na najbliższe 5 lat, kolejnych 10 lat i najdłuższy na okres 30 lat, tj. do roku 2050.

Aby tak długofalowe planowanie było skuteczne, wymaga to konsensusu wszystkich znaczących sił politycznych w Polsce. Budowa infrastruktury, spójne planowanie kolejnych etapów działań wymaga konsekwencji oraz zaakceptowania faktu, że owoce wyťažonej, wieloletniej pracy mogą konsumować polityczni przeciwnicy. Jest to warunek konieczny, aby przejście na paliwa niskoemisyjne było możliwe.

Literature / Literatura

- [1] Artykuł opracowano na podstawie dokumentu: „Polska Strategia Wodorowa do roku 2030 z perspektywą do 2040 r. – projekt” przedłożony przez ministra klimatu i środowiska. Obecnie dokument oczekuje na ogłoszenie w „Rządowym Centrum Legislacji. Wykaz aktów oczekujących na ogłoszenie: Lp. 100, data wpływu: 2021.11.25. Uchwała Rady Ministrów w sprawie przyjęcia „Polskiej strategii wodorowej do roku 2030 z perspektywą do 2040 r.” z dnia 02.11.2021 r. Najpóźniejsza data ogłoszenia 2021.12.15. [dostęp: 04.12.2021 r.] Źródło: Rządowe Centrum Legislacji.
- [2] Porozumienie Paryskie do Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, sporządzonej w Nowym Jorku dnia 9 maja 1992 r., przyjęte w Paryżu dnia 12 grudnia 2015 r. <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20170000036> [dostęp: 20.10.2021].
- [3] Maj M., Szpor A., *Kierunki rozwoju gospodarki wodorowej w Polsce*, Polski Instytut Ekonomiczny 7/2019 Working Paper, Warszawa 2019 r.
- [4] Raport British Petroleum, *Statistical Review of World Energy 2020*, edycja 69., <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf> [dostęp: 20.10.2021].
- [5] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów, *Europejski Zielony Ład* z dnia 8 marca 2020 r., COM/2019/640 final, <https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vl4cnhyp1ort> [dostęp: 20.10.2021].
- [6] Towards Hydrogen Societies: Expert Group Meeting, Current advancements in hydrogen technology and pathways to deep decarbonization, https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-04/REPORT_Towards_Hydrogen_Societies.pdf [dostęp: 20.10.2021].
- [7] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów Europejskiego Banku Inwestycyjnego *Czysta planeta dla wszystkich Europejska długoterminowa wizja strategiczna dobrze prosperującej, nowoczesnej, konkurencyjnej i neutralnej dla klimatu gospodarki* z dnia 18 września 2019 r., COM(2018) 773, final <https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vktvm72o8kyq> [dostęp: 20.10.2021].
- [8] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów, *Strategia w zakresie wodoru na rzecz Europy neutralnej dla klimatu* z dnia 8 lipca 2020 r., COM(2020) 301 final, <https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vla6qbjzcok1> [dostęp: 20.10.2021].
- [9] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów, *Impuls dla gospodarki neutralnej dla klimatu: strategia UE dotycząca integracji systemu energetycznego* z dnia 8 lipca 2020 r., COM(2020) 299 final, <https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vla6qbjxnbk0> [dostęp: 20.10.2021].
- [10] Krajowy Plan na rzecz Energii i Klimatu na lata 2021–2030, przekazany do Komisji Europejskiej w dniu 30 grudnia 2019 r., <https://www.gov.pl/web/aktywa-panstwowe/krajowy-plan-na-rzecz-energii-i-klimatu-na-lata-2021-2030-przekazany> [dostęp: 20.10.2021].
- [11] Zespół ds. Rozwoju Przemysłu OZE i Korzyści dla Polskiej Gospodarki, Raport zespołu nr 4, Gospodarka wodorowa. 2020, 14.

- [12] https://www.pkee.pl/file/repository/RAPORT_COP24_ENG_28_11_FINAL.pdf [dostęp: 20.10.2021].
- [13] Międzynarodowa Agencja Energetyczna, *The Future of Hydrogen – Seizing today's opportunities*, 2019, <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen> [dostęp: 20.10.2021].
- [14] *Strategia w zakresie wodoru na rzecz Europy neutralnej dla klimatu*, Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów z dnia 8 lipca 2020 r. COM (2020) 301 final, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0301&from=IT> [dostęp: 20.10.2021].
- [15] <http://pgnig.pl/aktualnosci/-/news-list/id/startuje-nowy-program-wodorowy-pgnig/newsGroupId/10184>, https://www.lotos.pl/322/n,5080/lotos_inicjuje_kolejny_projekt_w_zakresie_wodoru, <https://www.orlen.pl/PL/Biuro-Prasowe/Strony/PKN-ORLEN-wybuduje-hub-wodorowy-we%W%C5%82oc%C5%82awku.aspx> [dostęp: 20.10.2021].
- [16] <https://orsted.com/en/media/newsroom/news/2020/10/143404185982536> [dostęp: 20.10.2021].
- [17] Schnell Ch. (red.), *Łączenie sektorów zielonej energii. Co to oznacza dla Polski? Elektryfikacja, Decentralizacja, Digitalizacja*, Instytut Jagielloński, 2020, 26, http://jagiellonski.pl/files/other/Yyczenie_sektorow_zielonej_energii_Co_to_oznacza_dla_Polski_-_RAPORT_IJ_2020.pdf. [dostęp: 20.10.2021].
- [18] Bloomberg New Energy Finance, *Sector coupling in Europe: powering decarbonisation. Potential and policy implications of electrifying the economy*, 2020, <https://assets.bbhuh.io/professional/sites/24/BNEF-Sector-Coupling-Report-Feb-2020.pdf> [dostęp: 20.10.2021].
- [19] <https://www.ure.gov.pl/pl/urząd/informacje-ogolne/aktualnosci/9307,Czy-wodor-i-technologie-P2G-zoptymalizuj%C5%82a-system-energetyczny-Kolejne-rekomendac.html> [dostęp: 13.10.2021].
- [20] <http://www.ichpw.pl/blog/2021/06/11/rozwoj-technologii-syntezy-metanolu-z-co2-w-ichpw/> [dostęp: 13.10.2021].

COL. RET. KRZYSZTOF CYGAŃCZUK, PH.D. ENG. – he completed his master's studies at the University of Szczecin and doctoral studies at the War Art Academy in Warsaw, as well as postgraduate studies in foreign service at the National Defense Academy, data protection and information security at the Cardinal Stefan Wyszyński University in Warsaw and crisis management at NATO Defense Collage (Rome) and NATO School (Oberammergau). He is an assistant professor at the Department of Studies and Scientific Projects at CNBOP-PIB in Józefów. Specialty – environmental engineering, safety science. Representative of the Technical Committee No. 176 for Military Technology and Supply in the Polish Committee for Standardization.

PAWEŁ WOLNY, PH.D. ENG. – research and teaching assistant professor at the Faculty of Process Engineering and Environmental Protection of the Lodz University of Technology. Research interests: crisis management, modern technologies in rescue, environmental engineering.

PLK REZ. DR INŻ. KRZYSZTOF CYGAŃCZUK – ukończył studia magisterskie na Uniwersytecie Szczecińskim oraz studia doktoranckie w Akademii Sztuki Wojennej w Warszawie, a także studia podyplomowe z zakresu służby zagranicznej w Akademii Obrony Narodowej, ochrony danych i bezpieczeństwa informacji na Uniwersytecie Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie oraz zarządzania kryzysowego w NATO Defence Collage (Rzym) i NATO School (Oberammergau). Jest adiunktem w Dziale Prac Studialnych i Projektów Naukowych w CNBOP-PIB w Józefowie. Specjalność – inżynieria środowiska, nauki o bezpieczeństwie. Przedstawiciel Komitetu Technicznego nr 176 ds. Techniki Wojskowej i Zaopatrzenia w Polskim Komitecie Normalizacyjnym.

DR INŻ. PAWEŁ WOLNY – adiunkt badawczo-dydaktyczny na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej. Zainteresowania naukowe: zarządzanie kryzysowe, nowoczesne technologie w ratownictwie, inżynieria środowiska.

zaprasza do **składania artykułów**
do numeru 1/2022

– publikacja:
CZERWIEC 2022

40
PKT
MEiN



ZAKRES TEMATYCZNY:

- teoria i modelowanie rozwoju pożaru
- metody i środki zapobiegania pożarom oraz ograniczania ich skutków
- dochodzenia popożarowe i analiza ryzyka pożaru
- taktyka, technika i bezpieczeństwo w działaniach ratowniczo-gaśniczych
- aspekty prawne i edukacja w ochronie przeciwpożarowej
- bezpieczeństwo i ochrona ludności
- zagrożenia i ochrona środowiska
- materiały w ochronie środowiska i zagrożeniach pożarowych
- nowoczesne technologie w ochronie przeciwpożarowej i ochronie środowiska

KORZYŚCI:

- bezpłatna publikacja
- 40 pkt na liście MEiN (Zgodnie z komunikatem MEiN z 01.12.2021)
- każdy artykuł otrzymuje identyfikator DOI, rejestrowany w Crossref
- indeksacja w bazach publikacji naukowych



Zapraszamy do kontaktu: sft@cnbop.pl

System zgłoszeń: <https://www.editorialsystem.com/sft>

Wiesław Jaszczur^{a)*}, Szymon Łukasik^{a)}

^{a)} Calisia University / Akademia Kaliska im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego

* Corresponding author / Autor korespondencyjny: w.jaszczur@akademikaliska.edu.pl

Selected Aspects of Crisis Management with the Use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) on the Example of a Traffic Disaster

Wybrane aspekty zarządzania kryzysowego z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych (BSP) na przykładzie katastrofy komunikacyjnej

ABSTRACT

Purpose: The theoretical aim of this study was to present the impact of modern technologies on the improvement of the effectiveness of process activities (documenting) at the site of a communication disaster. On the other hand, the utilitarian goal was to present the improvement of the organization of documenting a mass incident with the use of drones and photogrammetry tools.

Design and methods: As part of the exercise consisting of a simulation of a communication disaster, the activities were documented using the functionality of unmanned aerial vehicles which interact with an IT system (Pix4D application). The characteristic drone models which can be used in the monitoring of a disaster site were presented. The discussed research approach describes the methods used to perform drone flights and to what extent the photogrammetric method of processing digital images obtained from drones was used. The issue of field measurements (control points, control lines), the purpose of which was to determine the accuracy of mapping and matching to the coordinate system, was discussed.

Results: As part of the research, images were captured and taken with the use of UAVs and IT systems, which were collated and compared with the results of measurements from the visual inspection of the disaster site, performed in a traditional manner by the representatives of the procedural entity. A comparative analysis of the collected research material leading to a comparison of the work results captured by means of the traditional procedural forms with the methods and techniques of modern technologies (drone with the Pix4D Cloud application) allows for the following conclusions to be drawn. For short measuring sections (up to 15 meters), the measurement accuracy of the two methods differs by about 1.5%. For longer measuring sections (up to 100 m), the measurement error is approx. 2.3%.

Conclusions: In case of the UAV method and the application Pix4D Cloud, the sources of measurement errors should be seen in the accuracy of rendering of the details of the model (the quality of imaging) and the ability to use this application. On the other hand, when using the police method, in which the measurement trolley is the measuring tool, the sources of error should be seen in the uneven terrain, the obstacles in the terrain, and the measurement error of the tool itself (the trolley). The innovation of the project to use UAVs certainly gains importance especially in a terrain with limited accessibility, i.e. in hilly and mountainous terrain, at road intersections or forks.

Keywords: communication disaster, modern technologies, crisis management

Article type: preliminary report

Received: 08.11.2021; Reviewed: 23.11.2021; Accepted: 24.11.2021;

Author's ORCID IDs: W. Jaszczur – 0000-0002-3756-8041; S. Łukasik – 0000-0002-5716-1476;

The authors contributed the equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 140–152, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.8>;

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

ABSTRAKT

Cel: Celem teoretycznym niniejszego opracowania było przedstawienie wpływu nowoczesnych technologii na poprawę skuteczności działań procesowych (dokumentowania) na miejscu katastrofy komunikacyjnej. Natomiast celem użytecznym artykułu było zaprezentowanie usprawnienia organizacji dokumentowania zdarzenia masowego z wykorzystaniem dronów i narzędzi fotogrametrii.

Projekt i metody: W ramach ćwiczenia – symulacji katastrofy komunikacyjnej – udokumentowano zdarzenia z wykorzystaniem funkcjonalności bezzałogowych statków powietrznych (BSP), które współdziałają z systemem informatycznym (aplikacją Pix4D). Zaprezentowano charakterystyczne modele dronów, które mogą być wykorzystane w monitorowaniu miejsca katastrofy. W omówionym podejściu badawczym opisano metody wykonywania nalołów dronem oraz przedstawiono, w jakim zakresie wykorzystano metodę fotogrametryczną przetwarzania obrazów cyfrowych pochodzących z dronów. Przybliżono zagadnienie pomiarów terenowych (punkty kontrolne, linie kontrolne), których celem było określenie dokładności odwzorowania oraz dopasowania do układu współrzędnych.

Wyniki: W badaniu utrwalono i wykonano obrazy z wykorzystaniem BSP i systemów informatycznych, które następnie zestawiono i porównano z wynikami pomiarów z oględzin miejsca katastrofy, wykonanych w sposób tradycyjny przez przedstawicieli podmiotu procesowego. Analiza porównawcza zgromadzonego materiału badawczego pozwoliła na zestawienie efektów pracy utrwalanych tradycyjnymi formami procesowymi z metodami i technikami nowoczesnych technologii (dron z aplikacją Pix4D Cloud) oraz sformułowanie konkluzji dotyczących dokładności pomiarów w zależności od długości odcinków wymiarowania. Na krótkich odcinkach wymiarowania (do 15 m) dokładność pomiarowa dwóch metod różni się o ok. 1,5%. Na dłuższych odcinkach wymiarowania (do 100 m) błąd pomiaru wynosi ok. 2,3%.

Wnioski: W przypadku metody wykorzystującej BSP i aplikację Pix4D Cloud źródeł błędów pomiarowych należy szukać w dokładności odwzorowania szczegółów modelu (jakości obrazowania) i umiejętności postępowania się tą aplikacją. Z kolei wykorzystując metodę policyjną, w której wózek do pomiarów stanowi narzędzie pomiarowe, źródłem błędów należy dopatrywać się w nierównym ukształtowaniu terenu, występujących przeszkodach terenowych, błędzie pomiarowego samego narzędzia (wózka). Innowacyjność projektu wykorzystania BSP z pewnością zyskuje na znaczeniu szczególnie w terenie o ograniczonej dostępności, tj. w terenie górzystym, pagórkowatym, na przecięciach lub rozwidleniach dróg.

Słowa kluczowe: katastrofa komunikacyjna, nowoczesne technologie, zarządzanie kryzysowe

Typ artykułu: doniesienie wstępne

Przyjęty: 08.11.2021; **Zrecenzowany:** 23.11.2021; **Zaakceptowany:** 24.11.2021;

Identyfikatory ORCID autorów: W. Jaszczur – 0000-0002-3756-8041; S. Łukasik – 0000-0002-5716-1476;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 140–152, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.8>;

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

Introduction

The randomness of incidents, especially those with a high risk factor of threat to human life and health, as well as those in which it is difficult to estimate the unquantifiable effects and losses to the natural environment, determines the need for a systemic and institutional counteraction to the defined challenges and threats. In the state security strategy, these functions in the area of civil protection are carried out within the area of crisis management. Nowadays, it seems that the crisis management system justifiably reinforces the expectations and needs of both the local communities and the regions in terms of protecting people from the devastation of natural disasters and catastrophes, including the effects of communication disasters. Communication disasters are most often caused directly or indirectly by people themselves and they are classified as mass incidents characterised by a sudden and collective threat to the life and health of a large number of citizens.

In a situation of mass communication incidents, risk management is implemented through risk identification, risk analysis and subsequent risk evaluation with a view to its modification. According to ISO 31000, risk identification includes the process of finding, recognising and describing risks. Risk analysis, on the other hand, includes the process of seeking to understand the nature and the risk level [1]. From the perspective of documenting a mass incident within the framework of procedural activities, special importance is attributed to the issue of description of a mass incident, which is accomplished in various forms (among others, a visual inspection report of the accident site, a sketch/plan of the disaster site, photographic documentation, video recording, a visual inspection report of the vehicles, and a report on the state of sobriety of the drivers, witness interview report).

A simulation (exercises) of a communication disaster is certainly an effective learning tool for the entities performing rescue

Wprowadzenie

Losowość zdarzeń szczególnie o wysokim współczynniku zagrożenia dla życia i zdrowia człowieka, a także tych, w których trudno oszacować niewymierne skutki i straty dla środowiska naturalnego, determinuje potrzebę systemowego, instytucjonalnego przeciwdziałania konkretnym wyzwaniom i zagrożeniom. W strategii bezpieczeństwa państwa funkcje te w sferze ochrony ludności realizuje dziedzina zarządzania kryzysowego. Współcześnie uznaje się, że system zarządzania kryzysowego w sposób uzasadniony wzmacnia oczekiwania i potrzeby zarówno lokalnych społeczności, jak i regionów w zakresie ochrony ludności przed zniszczeniami spowodowanymi przez klęski żywiołowe i katastrofy. W tej kwestii należy uwzględnić także katastrofy komunikacyjne, które wywołane są najczęściej bezpośrednio lub pośrednio przez samego człowieka. Zalicza się je do grupy zdarzeń masowych, które stanowią nagłe i zbiorowe zagrożenie życia i zdrowia wielu obywateli.

W sytuacji komunikacyjnych zdarzeń masowych zarządzanie ryzykiem realizowane jest przez jego identyfikację, analizę a następnie ewaluację pod kątem jego modyfikacji. Zgodnie z ISO 31000 identyfikacja ryzyka obejmuje proces jego wyszukiwania, rozpoznawania i opisywania. Natomiast analiza ryzyka uwzględnia proces dążenia do poznania charakteru i poziomu ryzyka [1]. Z perspektywy dokumentowania zdarzenia masowego w ramach czynności procesowych szczególna waga przypisywana jest kwestii opisu samego zdarzenia, który realizowany jest w różnej formie (np. protokołu oględzin miejsca wypadku, szkicu/planu miejsca katastrofy, dokumentacji fotograficznej, zapisu wideo, protokołu oględzin pojazdów i stanu trzeźwości kierujących pojazdami, protokołu przesłuchania świadków).

Z pewnością skuteczne narzędzie poznawcze dla podmiotów realizujących czynności ratowniczo-procesowe stanowi symulacja

and procedural activities¹. Within such framework, confrontation of theory and practice reveals imperfections of the activities, but also contributes to the improvement of the principles of cooperation between services and institutions at a disaster site. Undoubtedly, modern times not only ensure, but in a way also enforce the use of modern technologies which include unmanned aerial vehicles (UAVs) cooperating with IT systems. The innovation of the new technologies makes it possible, on one hand, to raise the cooperation between the crisis management entities to a higher level and, on the other hand, to record and document them procedurally more efficiently as mass incidents and as communication offences within the meaning of the criminal law. Considering the challenges and threats of the modern times, and accepting a systemic approach in the area of risk assessment methods, it is justified to take into account, in public crisis management, the need to adapt new solutions (standards, good practices) using modern technologies.

Considering the framework of this publication, its authors present only a part of the results of the theoretical and practical research which are the aftermath of the simulation of a communication disaster carried out in May 2021 with the participation of units, guards, inspections, and crisis management institutions. The simulation – as an exercise in the field of crisis management – was carried out as part of the scientific and research study. It should be emphasised that the students of the 1st degree course in Internal Security, as actors in some scenes, artfully enacted the roles in the rescue actions and activities on the site of a communication disaster. Thus, it can be said that the carried out research, while ensuring its utilitarian aspect, also included a didactic dimension in the scientific and research work.

Due to a broad range of crisis management issues in the context of a (communication) disaster, the multidimensionality and complexity of the subject, the area of consideration in this publication has been deliberately limited. It came down to identifying the innovative possibilities of using UAV properties to record the visual inspection of the site of an incident and to procedurally document the disaster site. The presented research subject allows to define the purpose of the research seen in cognitive and utilitarian terms.

The cognitive (theoretical) purpose of the research, within the framework of a scientific and research study, takes into account the pursuit of understanding the nature of legal and social determinants of crisis management in the context of a communication disaster, and in the area of risk management (risk identification and handling), understanding of organisational governance, structure and culture, information systems, information flow (understood as resources and knowledge). Whereas the purpose of this study is to present the considerations to what extent modern technologies have an impact on the expected improvement in the effectiveness of procedural activities at the site of a communication disaster.

(ćwiczenia) katastrofy komunikacyjnej¹. W ramach tej działalności konfrontacja teorii z praktyką ujawnia nie tylko niedoskonałości działań, ale także przyczynia się do ulepszenia zasad współdziałania (koordynowania) służb i instytucji na miejscu zdarzenia. Niewątpliwie obecny rozwój nowych technologii nie tylko zapewnia, ale i w pewnym sensie także wymusza stosowanie nowoczesnych rozwiązań, do których zaliczyć można bezałogowe statki powietrzne (BSP) współdziałające z systemami informatycznymi (np. oprogramowaniem PIX4D do profesjonalnego mapowania dronem). Innowacyjność nowych technologii z jednej strony sprawia, że współdziałanie podmiotów zarządzania kryzysowego jest na wyższym poziomie, a z drugiej strony umożliwia w sposób procesowy sprawne utrwalanie i dokumentowanie zdarzeń masowych oraz przestępstw komunikacyjnych w rozumieniu przepisów karnych. Mając na uwadze wyzwania i zagrożenia współczesności, a w obszarze metodyki oceny ryzyka akceptując podejście systemowe, uzasadnione jest w publicznym zarządzaniu kryzysowym uwzględnienie potrzeby adaptacji nowych rozwiązań (standardów, dobrych praktyk) z zastosowaniem nowoczesnych technologii.

Ze względu na ramy niniejszej publikacji jej autorzy prezentują tylko część wyników badań teoretycznych i praktycznych, które stanowią pokłosie zorganizowanej i przeprowadzonej w maju 2021 r. symulacji katastrofy komunikacyjnej z udziałem jednostek straży pożarnej oraz inspekcji i instytucji zarządzania kryzysowego. Symulację – jako ćwiczenie w obszarze zarządzania kryzysowego – zrealizowano w ramach pracy naukowo-badawczej. Należy podkreślić, że niektóre działania ratownicze na miejscu katastrofy komunikacyjnej odtwarzali studenci I stopnia kierunku bezpieczeństwo wewnętrzne. Można zatem powiedzieć, że zrealizowane badania zapewniały zarówno ich aspekt użyteczny, jak również uwzględniały walor dydaktyczny w pracy naukowo-badawczej.

Z uwagi na szeroki zakres problematyki zarządzania kryzysowego w aspekcie katastrofy (komunikacyjnej), wieloaspektowość i złożoność zagadnienia, obszar rozważań w ramach niniejszej publikacji został świadomie ograniczony. Sprowadził się do określenia innowacyjnych możliwości wykorzystania właściwości BSP w rejestrowaniu oględzin miejsca zdarzenia i procesowym dokumentowaniu miejsca katastrofy. Zaprezentowany przedmiot badań pozwolił na sprecyzowanie celu badań, który postrzegany jest w kategoriach poznawczych i użytecznych.

Cel poznawczy (teoretyczny) badań w ramach pracy naukowo-badawczej uwzględnia dążenie do poznania istoty uwarunkowań prawnych i społecznych zarządzania kryzysowego w aspekcie katastrofy komunikacyjnej, a w obszarze zarządzania ryzykiem (identyfikacji ryzyka i postępowania z nim) zrozumienie ładu organizacyjnego, struktury i kultury organizacyjnej, systemów informacyjnych, przepływu informacji (rozumianych jako zasoby i wiedza). Natomiast celem niniejszego opracowania jest zaprezentowanie rozważań, w jakim stopniu nowoczesne technologie mają wpływ na oczekiwaną poprawę skuteczności działań procesowych na miejscu katastrofy komunikacyjnej.

¹ In May 2021, the authors of this publication organised, as part of crisis management, communication disaster simulation exercises with the participation of entities, units, fire brigades, inspections and crisis management institutions.

¹ Autorzy publikacji w ramach zarządzania kryzysowego zorganizowali w maju 2021 r. ćwiczenia symulacyjne katastrofy komunikacyjnej z udziałem podmiotów, jednostek, straży pożarnej, inspekcji i instytucji ZK.

The practical (utilitarian) purpose of the research project was to prepare a scientifically justified concept of improving the crisis management process in a situation of a communication disaster in terms of management and cooperation of services and institutions with the use of modern technologies (UAVs) and to develop the assumptions of risk assessment methods. As part of this publication, it was important to propose an improved organisation of documenting a mass incident using drones and photogrammetry tools.

The above considerations and the content of the project's research justification as well as its defined purposes justified the formulation of the main research problem in the form of a question: How to organise and carry out the crisis management activities, on the example of a communication disaster, with the aim of improving the process of commanding and directing units and institutions involved in such incidents and their procedural documentation using modern technologies (UAVs), taking into account the assumptions of the risk management process?

A consequence of the formulated aim of mitigating the effects of undesirable incidents and disasters, including communication disasters, should be the development of risk identification procedures in a cross-sectional manner using modern technologies. A significant advantage of using unmanned aerial vehicles in the monitoring of mass road incidents is the ability both to control a large number of road safety factors and to record a range of variables.

A photogrammetric method is characteristic for the inspection of communication disaster sites using drones. It has the advantages of reducing visual inspection time, minimising difficulties in situations of limited accessibility (uneven terrain, mountains, viaducts, bridges, etc.) [2]. It should be noted that the quality and efficiency of recording and documenting a mass communication incident is of vital importance in the course of the procedural activities.

UAV models used in the simulation

Unmanned aerial vehicles (see Table 1) and low altitude photogrammetry tools were used in documenting the visual inspection of the site of a communication disaster² [3]. For the purposes of the exercise of a disaster simulation, two models of DJI multicopter aircraft were used – Phantom 4 Pro and Mavic 2 Pro. The specifications of the selected models are available on the manufacturer's website [4]. From the point of view of the purpose of the task, the most relevant, properties have been collected and presented in Table 1.

² Photogrammetry – a branch of technical sciences (geodesy) dealing with obtaining, transforming, presenting and collecting (quantitative and qualitative) information about a given area or object on the basis of photogrammetric images (so-called photographs) or their digital representations.

Cel praktyczny (użyteczny) projektu badawczego sprowadzał się do przygotowania naukowo uzasadnionej koncepcji doskonalenia procesu zarządzania kryzysowego w zakresie kierowania i współdziałania służb i instytucji z wykorzystaniem nowoczesnych technologii (BSP) w sytuacji katastrofy komunikacyjnej oraz opracowania założeń metodyki oceny ryzyka. W ramach publikacji istotne było zaproponowanie usprawnienia organizacji dokumentowania zdarzenia masowego z wykorzystaniem dronów i narzędzi fotogrametrii.

Powyższe rozważania i treści zawarte w uzasadnieniu badań w ramach projektu oraz ich zdefiniowane cele uzasadniały sformułowanie głównego problemu badawczego w postaci pytania – jak organizować i realizować działania w zarządzaniu kryzysowym na przykładzie katastrofy komunikacyjnej, zmierzające do usprawnienia procesu dowodzenia oraz kierowania jednostkami i instytucjami uczestniczącymi w takich zdarzeniach oraz ich procesowego dokumentowania, korzystając z nowoczesnych technologii (BSP) uwzględniających założenia procesu zarządzania ryzykiem?

Konsekwencją sformułowanej chęci ograniczenia skutków niepożądanych zdarzeń i katastrof, w tym katastrof komunikacyjnych, powinno stać się wypracowanie w sposób przekrojowy procedur identyfikacji ryzyka wykorzystujących nowoczesne technologie. Istotną zaletą zastosowania bezzałogowych statków powietrznych w monitoringu drogowego zdarzenia masowego jest możliwość kontroli zarówno dużej liczby czynników bezpieczeństwa ruchu drogowego, jak i rejestrowania szeregu zmiennych.



Charakterystyczną cechą oględzin miejsca katastrof komunikacyjnych z wykorzystaniem dronów jest metoda fotogrametryczna. Jej zalety to ograniczenie czasu oględzin, minimalizowanie trudności w sytuacji ograniczonej dostępności (nierówności terenu, góry, wiadukty, mosty itp.) [2]. Należy zauważyć, że w ramach czynności procesowych istotna jest jakość i sprawność rejestrowania i dokumentowania komunikacyjnego zdarzenia masowego.

Modele BSP wykorzystane w symulacji

W dokumentowaniu oględzin miejsca katastrofy komunikacyjnej wykorzystano bezzałogowe statki powietrzne (zob. tabela 1) oraz narzędzia fotogrametrii niskiego pułapu² [3]. Na potrzeby realizacji ćwiczenia – symulacji katastrofy – wykorzystano dwa modele wielowirnikowców Phantom 4 Pro i Mavic 2 Pro produkcji firmy DJI. Wybrane specyfikacje modeli dostępne są na stronach internetowych producenta [4]. Najistotniejsze cechy, z punktu widzenia celu zadania, zgromadzono i przedstawiono w tabeli 1.

² Fotogrametria – dziedzina nauk technicznych (geodezji) zajmująca się pozyskiwaniem, przekształcaniem, prezentacją i gromadzeniem informacji (ilościowych i jakościowych) dotyczących danego terenu lub obiektu na podstawie zdjęć fotogrametrycznych (tzw. fotogramów) lub ich reprezentacji cyfrowych.

Table 1. Models of unmanned aerial vehicle (UAV) used in monitoring a crash site
Tabela 1. Modele BSP wykorzystane w monitorowaniu miejsca katastrofy

Type of UAV / Rodzaj BSP	DJI Phantom 4 Pro	DJI Mavic 2 Pro
	Four-rotor / Czterowirnikowiec	Four-rotor / Czterowirnikowiec
Type and general appearance / Typ i ogólny wygląd		
Diameter without propellers / Średnica bez śmigieł	350 mm	354 mm
Sensor type / Rodzaj sensora	1" CMOS 20 Mpx	1" CMOS 20 Mpx
Sensor size / Wielkość sensora	12.8 x 8.55 mm	13.2 x 8.8 mm
Max. sensor resolution / Rozdzielczość max. sensora	5,472 × 3,648 px	5,472 × 3,648 px
Single flight time / Czas pojedynczego lotu	30 min	29 min
Field of view (FOV) / Szerokość pola widzenia FOV	84°	77°
Take-off weight / Masa do startu	1,388 g	907 g

Source: Own elaboration.
 Źródło: Opracowanie własne.

The presented models provide the ability to fly in semi-automated mode controlled remotely by the UAV pilot and in automated mode along a pre-programmed route under the supervision of the UAV pilot. Two DJI control applications were used to perform flights in the disaster simulation: DJI Go (basic software with POI mode, among others) and DJI Pilot (advanced route flights, including Grid).

The methods for the processing of the images recorded by UAVs, based on the central projection theory, allow to obtain cartometric representations of reality in the form of solid models and orthogonal projections (topographic maps, orthomosaics). Currently, there is a significant development of the methods of photogrammetric processing of digital images from non-metric cameras whose internal orientation parameters (e.g. focus distance, sensor position in relation to the camera frame, distortion) are unstable and changeable over time. The photogrammetric process starts with the mutual alignment of the photographs, the so-called aerotriangulation. It is the process of calculating the position of images in space by indicating tie points on adjacent photographs, in longitudinal and transverse series. It is carried out with the knowledge of the values of the parameters of the so-called external orientation (basic parameters include spatial position – tilt, deflection, inclination; position in the XYZ reference system) and internal orientation (basic parameters include focal length of the lens, physical size of the photosensitive element, digital resolution of the image, indicators of image distortion). Images from non-metric cameras, including those installed

Zaprezentowane w powyższej tabeli modele zapewniają możliwość wykonywania lotów w trybie półautomatycznym, sterowanym zdalnie przez pilota BSP oraz zautomatyzowanym pod nadzorem pilota BSP po wcześniej zaprogramowanej trasie. Do wykonania lotów w symulacji katastrofy użyto dwóch aplikacji sterujących DJI Go (podstawowe oprogramowanie m.in. z trybem POI) oraz DJI Pilot (zaawansowane loty po trasie, w tym Grid) produkcji firmy DJI.

Metody przetwarzania obrazów zarejestrowanych przez BSP, oparte na teorii rzutu środkowego, pozwalają na uzyskiwanie kartometrycznych reprezentacji rzeczywistości w postaci modeli brył oraz rzutów ortogonalnych (map topograficznych, ortomozaik). Obecnie zauważa się znaczący rozwój metod fotogrametrycznego przetwarzania obrazów cyfrowych pochodzących z kamer niemetrycznych, których parametry orientacji wewnętrznej (np. odległość ogniskowania, położenie sensora względem ramy kamery, dystorsja) są niestałe i zmienne w czasie. Proces fotogrametryczny rozpoczyna się wzajemnym wyrównaniem zdjęć, tzw. aerotriangulacji. Jest to proces polegający na obliczeniu położenia obrazów w przestrzeni przez wskazanie punktów wiążących na sąsiadujących zdjęciach, w podłużnych i poprzecznych szeregach. Odbывается on przy znajomości wartości parametrów tzw. orientacji zewnętrznej (do podstawowych należą: położenie przestrzenne – wychylenie, odchylenie, pochylenie; położenie w układzie odniesienia XYZ) oraz orientacji wewnętrznej (do podstawowych należą: ogniskowa obiektywu, fizyczny rozmiar elementu światłoczułego, rozdzielczość cyfrowa obrazu, wskaźniki dystorsji obrazu). Obrazy z kamer niemetrycznych, w tym także kamer instalowanych na

on board unmanned aerial vehicles, undergo so-called auto-calibration during the aerotriangulation process, during which the above-mentioned parameters are determined each time. This allows to create correctly rendered digital representations using popular digital cameras and drones.

Methods of performing flights

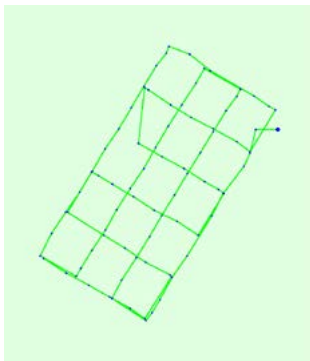
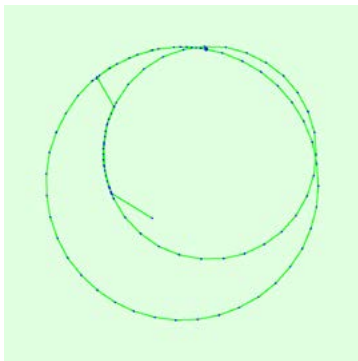
The method of processing digital images from cameras is characterised by performing photogrammetric flights with UAVs. Two image capture methods were used in the disaster simulation exercise. The classic method involved flying the DJI Phantom 4 Pro model along parallel lines in two perpendicular blocks (so-called Grid). The alternative method, on the other hand, involved flying the DJI Mavic 2 Pro model around the point of interest (so-called POI). Table 2 shows the flight grid and other recorded parameters using different UAV models, mode and flight type.

pokładach bezałogowych statków powietrznych, poddawane są w procesie aerotriangulacji tzw. autokalibracji, podczas której wymienione parametry są ustalane każdorazowo. Pozwala to na tworzenie poprawnie odwzorowanych cyfrowych reprezentacji z użyciem popularnych kamer cyfrowych i dronów.

Metody wykonywania nalołów

W metodzie przetwarzania obrazów cyfrowych pochodzących z kamer charakterystyczne jest wykonywanie nalołów fotogrametrycznych z użyciem BSP. W ćwiczeniu symulacji katastrofy zastosowano dwie metody rejestracji obrazów. Metoda klasyczna polegała na przelotach modelem DJI Phantom 4 Pro wzdłuż linii równoległych w dwóch prostopadłych blokach (ang. *grid* – siatka, krata). Natomiast metoda alternatywna polegała na wykonaniu lotów modelem DJI Mavic 2 Pro wokół punktu zainteresowania (ang. *point of interest*, POI). W tabeli 2 przedstawiono siatkę nalołu oraz inne rejestrowane parametry z wykorzystaniem różnych modeli BSP, trybu i rodzaju lotu.

Table 2. Parameters of raids performed at the crash simulation site
Tabela 2. Parametry wykonanych nalołów na miejscu symulacji katastrofy

Type of UAV / Rodzaj BSP	DJI Phantom 4 Pro	DJI Mavic 2 Pro
Type of flight / Rodzaj lotu	Grid	POI
Flight mode / Tryb lotu	Automatic / Automatyczny	Semi-automatic / Półautomatyczny
Theoretical assumptions / Założenia teoretyczne	<ul style="list-style-type: none"> – faster processing speed (regularity) / szybkość przetwarzania większa (regularność) – for large areas, it requires relatively fewer flights than POIs / dla rozległych obszarów wymaga relatywnie mniejszej liczby lotów niż POI – as a result of the processing, a less accurate representation of tall objects is created than in case of POI / w efekcie przetwarzania powstaje mniej dokładne odwzorowanie obiektów wysokich niż przy POI 	<ul style="list-style-type: none"> – slower processing speed (greater image depth, further field of view) / szybkość przetwarzania mniejsza (większa głębokość obrazu, dalsze pole widzenia) – for large areas it requires more flights than Grid / dla rozległych obszarów wymaga większej liczby lotów niż Grid – as a result of processing, a more accurate representation of tall objects is created than with Grid / w efekcie przetwarzania powstaje bardziej dokładne odwzorowanie obiektów wysokich niż przy Grid
Air raid grid / Siatka nalołu		
Number of photos / Liczba zdjęć	84	107
Time of acquiring photos / Czas pozyskania zdjęć	4 min 43 s	5 min 52 s
Direction of imaging / Kierunek obrazowania	Along the direction of flight, tilt approx. 80°, at one height / Zgodnie z kierunkiem lotu, pochylenie ok. 80°, na jednej wysokości	To the center of the axis of rotation, tilt 50-60° at two heights / Do środka osi obrotu, pochylenie 50-60° na dwóch wysokościach

Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

The table above quite clearly shows the difference and the advantage of the parameters obtained with the Grid flight type. This concerns the time of taking the photographs and the speed of their processing, also relatively fewer flights are required for large areas. For the authors of the carried out research, the comparison of the parameters for the two flight types (Grid, POI) is a kind of cognitive surprise.

Field measurements of the disaster simulation site

Prior to the start of the communication disaster simulation exercise, signalling was made and control points and control lines were measured. The purpose of these planned activities was to determine the accuracy of mapping and matching to the coordinate system. This procedure ensured that the accuracy of measurement of the developed numerical models and maps was defined. The acquired images of the incident site with marked photo points provide a scaling of the area covered by the visual inspection (see Figure 1).

Na podstawie powyższej tabeli można zaobserwować dość wyraźną różnicę i przewagę uzyskanych parametrów w przypadku lotów Grid. Lepsze wyniki z zastosowaniem tego rodzaju lotu dotyczą czasu wykonania zdjęć, szybkości ich przetwarzania i relatywnie mniejszej liczby lotów potrzebnych do inspekcji rozległych obszarów. Dla autorów prowadzonych badań zestawienie parametrów dla dwóch rodzajach nalołów (Grid, POI) stanowiło pewnego rodzaju zaskoczenie.

Pomiary terenowe miejsca symulacji katastrofy

Przed rozpoczęciem ćwiczeń symulacyjnych katastrofy komunikacyjnej wykonano sygnalizację i zmierzono punkty oraz linie kontrolne. Celem tych zaplanowanych czynności było określenie dokładności odwzorowania oraz dopasowania do układu współrzędnych. Zabieg ten zapewnił zdefiniowanie dokładności pomiarowej opracowywanych numerycznych modeli oraz map. Pozyskane obrazy miejsca zdarzenia z oznaczonymi fotopunktami umożliwiają skalowanie obszaru objętego oględzinami (zob. ryc. 1).



Figure 1. Location of checkpoints in the area of a communication disaster
Rycina 1. Lokalizacja punktów kontrolnych na obszarze katastrofy komunikacyjnej

Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

The control points are marked with crosses painted on a flat surface (asphalt, paving stones) with dimensions of 40 x 40 cm. Six such points were marked and their positions measured with an Emlid Reach RS2 GNSS receiver in the geodetic coordinate system. The 1 m long control lines were painted on a flat surface at 90 degrees to each other, and a height marking of 1 m from the ground was placed vertically on the left rear pillar of the vehicle used in the simulation. The length measurement was made with a measuring tape.

Development of photogrammetric models

It should be noted that both the POI model and the Grid model were developed using the Pix4D Mapper software. The captured POI images were uploaded to the Pix4D Cloud processing service which enables online presentation of the processing results in the form of mosaics, height rasters, 3D models, and point clouds. In addition, Grid photographs were processed using the desktop version of Pix4D Mapper Desktop.

Georeferencing³ [5] of the models was based on approximate coordinates of the centres of projections recorded on the basis of geographical coordinates of the UAV location using an on-board GNSS receiver. The situational accuracy of such a solution is approx. 2–3 meters. It should be noted that the research situation (the purpose of the task) does not require geodetic accuracy in the operational practice because the analysis of a disaster situation is not linked to the accuracy of matching to a specific coordinate system. The method applied in practice uses a local reference system of FRP (fixed reference point) and FRL (fixed reference line). It should be noted that for the results of the analysis, the accuracy of rendering of the details of the model is important, which is related, among others, to the quality of the imaging.

Due to the differences in the parameters of the workstations processing the material in question, it is not possible to compare the time efficiency taking into account the flight type. In order to illustrate the issue, Table 3 shows the basic characteristics of the parameters of the workstations on which the image processing was performed, and the parameters of the work time spent on individual products.

Punkty kontrolne zaznaczono w postaci krzyży malowanych na płaskim podłożu (asfalcie, kostce brukowej) o wymiarach 40 x 40 cm. Zaznaczono 6 takich punktów, a ich pozycje zmierzono odbiornikiem GNSS Emlid Reach RS2 w układzie współrzędnych geodezyjnych. Linie kontrolne o długości 1 m namalowano na płaskim podłożu pod kątem 90 stopni względem siebie, a w układzie pionowym wprowadzono oznaczenie na wysokości 1 m od podłoża na lewym tylnym słupku pojazdu biorącego udział w symulacji. Pomiar długości wykonany został taśmą pomiarową.

Opracowanie modeli fotogrametrycznych

Należy zaznaczyć, że zarówno model POI, jak i model Grid zostały opracowane z wykorzystaniem oprogramowania Pix4D Mapper. Wykonane zdjęcia POI zostały przesłane do usługi przetwarzania w chmurze Pix4D Cloud, która umożliwia prezentację online wyników przetwarzania w postaci mozaik, rastrów wysokościowych, modeli 3D oraz chmur punktów. Ponadto zdjęcia Grid zostały przetworzone w wersji stacjonarnej Pix4D Mapper Desktop.

Georeferencja³ [5] modeli bazowała na przybliżonych współrzędnych środków rzutów rejestrowanych na podstawie współrzędnych geograficznych lokalizacji BSP z użyciem pokładowego odbiornika GNSS. Dokładność sytuacyjna takiego rozwiązania wynosi ok. 2–3 metry. Istotne jest, że sytuacja badawcza (cel zadania) nie wymaga w praktyce operacyjnej dokładności geodezyjnej, bowiem analiza sytuacji katastrofy nie jest powiązana z dokładnością wpasowania w określony układ współrzędnych. Stosowana w praktyce metoda wykorzystuje lokalny układ odniesienia SPO i SLO – stały punkt odniesienia, stała linia odniesienia. Ponadto należy zauważyć, że na wynik analizy istotne znaczenie ma dokładność odwzorowania szczegółów modelu, która powiązana jest m.in. z jakością obrazowania.

Ze względu na różnice w parametrach stacji roboczych przetwarzających przedmiotowy materiał, nie jest możliwe porównanie efektywności czasowej uwzględniającej typ nalotu. W celu zilustrowania tego zagadnienia w tabeli 3 pokazano podstawową charakterystykę parametrów stacji roboczych, na których odbywało się przetwarzanie obrazów oraz parametry czasu opracowania poszczególnych produktów.

³ Georeferencing – (geomatics), adding to a raster file (usually to an aerial or a satellite photograph) appropriate information regarding the resolution, rotation, and coordinates of one corner (usually the lower left corner) in order to appropriately fit the file into a two-dimensional space in a given coordinate system.

³ Georeferencja (geomatyka) – dodanie do pliku rastrowego (najczęściej zdjęcia lotniczego lub satelitarnego) odpowiedniej informacji dotyczącej rozdzielczości, rotacji i współrzędnych jednego narożnika (zwykle lewego dolnego), w celu odpowiedniego wpasowania tego pliku w dwuwymiarową przestrzeń w zadanym układzie współrzędnych.

Table 3. Characteristics of workstation parameters
Tabela 3. Charakterystyka parametrów stacji roboczych

Type of UAV / Rodzaj BSP	Pix4D Mapper Desktop	Pix4D Cloud
Software version / Wersja oprogramowania	Grid	POI
Number of photos / Liczba zdjęć	84	107
Pixel Terrain Resolution (GSD) / Rozdzielczość terenowa piksela (GSD)	0.87 cm/px	1.23 cm/px
Density of target point cloud / Gęstość docelowej chmury punktów	5,321 pts/m ³ / 5,321 pkt/m ³	3,651 pts/m ³ / 3,651 pkt/m ³
Processor / Procesor	AMD Ryzen 7 2700X Eight-Core Processor	Intel(R) Xeon(R) Platinum 8124M
Number of cores and threads as well as clock speed / Ilość rdzeni i wątków oraz szybkość taktowania zegara	8/16 @ 3.7 GHz	18/36 @ 3.0 GHz
CPU Mark [6] / CPU Mark [6]	17,597	22,298
RAM / Pamięć RAM	32 GB	69 GB
Aerotriangulation time / Czas aerotriangulacji	3 min 23 s	20 min 29 s
Time to generate point cloud / Czas generowania chmury punktów	4 min 49 s	13 min 21 s
Time to generate orthomosaic / Czas generowania ortomozaiki	5 min 50 s	7 min 12 s
Time to generate the DSM altitude raster / Czas generowania rastra wysokościowego DSM	7 min 13 s	2 min 14 s
Time to generate a textured 3D model / Czas generowania modelu 3D teksturowanego	n/a / b.d.	5 min 01 s
Total Processing Time (Without Textured Model) / Całkowity czas przetwarzania (bez modelu teksturowanego)	21 min 15 s	48 min 17 s

Source: Own elaboration.
 Źródło: Opracowanie własne.

The apparent difference in the number of photographs processed between Grid and POI was 27.4%, while the processing time (POI on a server with better parameters than the workstation processing Grid) differed by 227.2%. There are clearly higher processing requirements for POI photographs, which is probably related to a much greater image depth than in Grid. Figure 2 shows the site of the communication disaster simulation with the selected dimensions marked, as relevant to the procedural activities in the Pix4D Cloud application and its functionalities.

Wyraźna różnica w liczbie przetwarzanych zdjęć w układzie Grid i POI wynosiła 27,4%, podczas gdy czas przetwarzania (POI na serwerze o lepszych parametrach niż stacja robocza przetwarzająca Grid) różnił się o 227,2%. Wyraźnie widoczne są wyższe wymagania przetwarzania zdjęć w układzie POI, co zapewne związane jest z dużo większą niż w Grid głębią obrazu. Na rycinie 2 przedstawiono miejsce symulacji katastrofy komunikacyjnej z zaznaczonymi wybranymi wymiarami istotnymi z perspektywy czynności procesowych w aplikacji Pix4D Cloud i jej funkcjonalności.



Figure 2. Crash site with marked dimensions (application functionality)
Rycina 2. Miejsce katastrofy z zaznaczonymi wymiarami (funkcjonalności aplikacji)
Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

In the next stage of the research, images captured and taken with the use of UAVs and IT systems were collated with the results of measurements from the visual inspection of the disaster site performed in a traditional manner by representatives of the procedural entity (see Table 4).

W kolejnym etapie badań obrazy, utrwalone i wykonane z wykorzystaniem BSP i systemów informatycznych, zestawiono z wynikami pomiarów z oględzin miejsca katastrofy, wykonanych w sposób tradycyjny przez przedstawicieli podmiotu procesowego (zob. tabela 4).

Table 4. List of measurements taken traditionally vs. UAV with the application
Tabela 4. Zestawienie pomiarów wykonanych tradycyjnie vs. BSP z aplikacją

Dimension / Wymiar	Drone / Police Measurement / Pomiar dron/policja					
	Trace No. 1 / Ślad nr 1	Trace No. 2 / Ślad nr 2	Trace No. 3 / Ślad nr 3	Trace No. 4 / Ślad nr 4	Trace No. 5 / Ślad nr 5	Trace No. 6 / Ślad nr 6
x [m]	4.398/4.4	9.701/9.8	8.431/8.5	4.318/4.3	9.886/9.9	13.697/13.5
y [m]	30.922/30.1	31.951/31.0	33.084/32,4	34.88/34.3	34.685/34.2*	32.359/31.5

* In the case of trace No. 5, in the inspection report $y = 36.2$ m, whereas on the sketch $y = 34.2$ m / W przypadku śladu nr 5 w protokole oględzin $y = 36,2$ m, natomiast na szkicu $y = 34,2$ m

Track no. 1 – beginning of the scuff mark on the asphalt surface
 Track no. 2 – black coloured case
 Track no. 3 – motorbike helmet
 Track no. 4 – part of the moped's brake lever broken off
 Track no. 5 – black coloured blouse
 Track no. 6 – position of the front left wheel of the bus

Ślad nr 1 – początek śladu rycia na nawierzchni asfaltowej
 Ślad nr 2 – teczka koloru czarnego
 Ślad nr 3 – hełm motocyklowy
 Ślad nr 4 – odłamana część dźwigni hamulca motoroweru
 Ślad nr 5 – bluza koloru czarnego
 Ślad nr 6 – pozycja przedniego lewego koła autobusu

Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

A comparative analysis of the collected research material leading to a comparison of the work results captured by means of the traditional procedural forms with the methods and techniques of modern technologies (drone with the Pix4D Cloud application) allows the following conclusions to be drawn:

Analiza porównawcza zgromadzonego materiału badawczego polegająca na zestawieniu efektów pracy utrwalanych tradycyjnymi formami procesowymi z metodami i technikami nowoczesnych technologii (dron z aplikacją Pix4D Cloud) pozwoliła na sformułowanie następujących konkluzji:

- for short measuring sections (up to 15 m), the measurement accuracy of the two methods differs by about 1.5%,
- for longer measuring sections (up to 100 m), the measurement error is approx. 2.3%.

Sources of measurement errors should be found in:

- the accuracy of rendering the details of the model (the quality of imaging), knowledge of the Pix4D application (in case of the method using UAV and the application),
- uneven terrain, ground obstacles,
- measurement error of the tool itself (trolley),
- inaccuracies in the determination of FPR (building corner with a gutter),
- failure to maintain perpendicularity, parallelism of the reference line to the FRL (in case of the police method, in which the measurement trolley is a measuring tool).

The developed material was compared by fitting into the PUWG (State Geodetic Coordinate System) Poland 2000 geodetic coordinate system using control points signalled and visible in the photographs (see Figure 1). Grid and POI rasters were fitted on the two control points no. 1 and no. 3. The accuracy of the fit was measured on the remaining 4 points.

Among the numerous functionalities of the Pix4D application, the tool for inspecting a given point (place) that makes it possible to view a given place at different times is worth mentioning. In a situation when a drone has registered a given point on other photographs taken earlier or later, it is possible to analyse the process of performance of the procedures by services, units, inspections, guards at a disaster site. It is also possible to display a selected photograph with a marked point for analysis and to load a full resolution photograph which we can crop and then export.

The innovative nature of this project using UAVs certainly gains importance especially in a terrain with limited accessibility, i.e. in hilly and mountainous terrain, at road connections, intersections or forks and over a large area (railway disasters). The properties of drones which include their numerous functionalities, especially when integrated with the IT systems, make this image recording tool even more useful especially in difficult topographically or anthropogenically shaped conditions and terrain.

The UAV functionality for capturing images from a distance cannot be overlooked. In crisis management, a possible direction for the use of drone functionalities could be to coordinate the functions of UAVs with another system, e.g. Crisis management system named Jaśmin, into one integrated security management system in a situation of a major threat. Especially in terms of major non-military threats to the population, e.g. floods, large-scale fires, epidemics or terrorist threats, there is a possibility of online security management, monitoring and risk assessment. At the same time, in crisis situations, it is ensured that crisis management teams can take key decisions, as part of the evaluation procedures, in real time, as adequate to the development of threats, thus minimising the consequences of crisis situations [8].

The research conducted by A. Kobaszyńska, J. Łukasiewicz shows that among the users of unmanned platforms as many as 79% of the respondents indicated the use of these

- na krótkich odcinkach wymiarowania (do 15 m) dokładność pomiarowa dwóch metod różni się o ok. 1,5%,
- na dłuższych odcinkach wymiarowania (do 100 m) błąd pomiaru wynosi ok. 2,3%.

Źródła błędów pomiarów tych metod należy szukać w:

- dokładności odwzorowania szczegółów modelu (jakości obrazowania), znajomości aplikacji Pix4D (w przypadku metody wykorzystującej BSP i aplikację),
- nierównym ukształtowaniu terenu, występujących przeszkodach terenowych,
- błędzie pomiarowym samego narzędzia (wózka),
- niedokładności ustalenia SPO (narożnika budynku z rynną),
- niezachowaniu prostokątności, równoległości linii odniesienia do SLO (w przypadku metody policyjnej, w której wózek do pomiarów stanowi narzędzie pomiarowe).

Opracowany materiał został poddany porównaniu za pomocą sygnalizowanych i widocznych na zdjęciach punktów kontrolnych, z wykorzystaniem układu współrzędnych geodezyjnych PUWG Polska 2000 (zob. ryc. 1). Rastry Grid i POI wpasowano na dwa punkty kontrolne nr 1 oraz nr 3. Dokładność wpasowania zmierzono na pozostałych 4 punktach.

Spośród dostępnych, licznych funkcji aplikacji Pix4D należy zwrócić uwagę na narzędzie inspekcji danego punktu (miejsca), które umożliwia zastosowanie podglądu danego miejsca w różnym czasie. Funkcja ta umożliwia analizę procesu realizacji procedur przez służby, jednostki, inspekcje, strażę na miejscu katastrofy, ponieważ dron zarejestrował dany punkt na kilku (kilkunastu) zdjęciach wykonanych w różnym czasie i z różnej perspektywy. Istnieje także możliwość wyświetlenia wybranego zdjęcia z zaznaczonym punktem do analizy i wczytania pełnej rozdzielczości zdjęcia, na którym mamy możliwość kadrowania a następnie jego eksportu.

Innowacyjność tego przedsięwzięcia z wykorzystaniem BSP z pewnością zyskuje na znaczeniu szczególnie w terenie o ograniczonej dostępności, tj. w terenie górzystym, pagórkowatym, na połączeniach, przecięciach lub rozwidleniach dróg oraz na dużej przestrzeni (katastrofy kolejowe). Drony dzięki swoim licznym funkcjom, szczególnie w zintegrowaniu z systemami informatycznymi, czynią narzędzie do rejestracji obrazów jeszcze bardziej przydatnym zwłaszcza w trudnych, ukształtowanych topograficznie czy antropogenicznie warunkach i terenie.

Nie sposób pominąć funkcjonalności BSP w zakresie rejestracji obrazów z odległości. W zarządzaniu kryzysowym możliwym kierunkiem wykorzystania właściwości dronów może być skoordynowanie funkcji BSP z innym systemem, np. z Systemem zarządzania kryzysowego Jaśmin, w jeden zintegrowany system zarządzania bezpieczeństwem w sytuacji poważnego zagrożenia. Szczególnie w sytuacji poważnych zagrożeń niemilitarnych dla ludności, np. powodzie, pożary wielkopowierzchniowe, epidemie czy zagrożenia terrorystyczne, istnieje możliwość zarządzania bezpieczeństwem, monitorowania i oceny ryzyka w trybie online. Jednocześnie w takich przypadkach dla zespołów zarządzania kryzysowego w ramach procedur ewaluacyjnych zapewnia się możliwość podejmowania kluczowych decyzji w czasie rzeczywistym, adekwatnych do rozwoju zagrożeń, a więc minimalizujących następstwa sytuacji kryzysowych [8].

platforms in geodesy and surveying, 53% of the respondents used unmanned aerial vehicles to control the technical condition of inspected objects, 35% of the entities use unmanned aerial vehicles to record images in the form of photographs or video, and 33% for monitoring and surveillance. Among those surveyed, 15% of entities use unmanned aerial vehicles to collect data with the use of measuring equipment other than cameras. In transport, unmanned aerial vehicles are used by only 5% of entities [9]. The author's social practice shows that unmanned platforms are used at a similarly low, several percent, level in the monitoring of procedural activities of communication disaster incidents or very serious accidents, e.g. at railway-road crossings. Thus, the prospect of using new technologies such as unmanned aerial vehicles [10] which are configured (integrated) with the IT systems provides greater operational efficiency in the procedural documentation of incidents.

As part of the command support systems in the State Fire Service and the Police, drone functionality will certainly be used more frequently in the near future for public safety management, and certainly in the area of road safety [11].

Conclusion

The area of using the functionality of unmanned aerial vehicles integrated with the existing ICT systems will certainly continue to expand to include new fields of human activity. Undoubtedly, modern technologies in the observation and capturing of the crisis reality (communication disaster) provide images of better technical quality that are more permanent and can be transmitted online in real time to the crisis management centre. Therefore, the management of human health and life protection in a crisis situation, with the availability of a wider catalogue of current data from modern technologies, should become more efficient both in rescue operations and in procedural activities in terms of documenting an incident. Especially the second factor, of documenting a mass incident, should take into account the importance of reflecting on the fact that a disaster incident is documented for a few (or several) hours, while it is analysed and evaluated in detail in court proceeding and earlier in pre-trial proceedings, sometimes for a few (or several) years. From the perspective of the author's social practice, undoubtedly the quality of the handling of the incident and the precision of the activities performed by the relevant services are of great importance for victims and the injured, not only in terms of responsibility, guilt and punishment for the committed acts, but also in terms of morality (sense of guilt) or ethics (value of human life).

Certainly, in the considerations referring to the use of modern technologies, one cannot overlook the fact that UAVs, having numerous properties of a utilitarian nature, are also distinguished

Z przeprowadzonych badań A. Kobaszyńskiej i J. Łukasiewiczza wynika, że wśród użytkowników platform bezzałogowych aż 79% ankietowanych wskazało na wykorzystywanie tych platform w geodezji i miernictwie, 53% ankietowanych wykorzystywało bezzałogowe statki powietrzne do kontroli stanu technicznego kontrolowanych obiektów, 35% podmiotów wykorzystuje bezzałogowe statki powietrzne do rejestracji obrazu w formie zdjęć lub filmów, a 33% do monitoringu i nadzoru. Pośród badanych 15% podmiotów wykorzystuje bezzałogowe statki powietrzne do zbierania danych za pomocą aparatury pomiarowej innej niż kamery. W transporcie bezzałogowe statki powietrzne wykorzystywane są tylko przez 5% podmiotów [9]. Z praktyki społecznej autora wynika, że na podobnie niskim, kilkuprocentowym poziomie wykorzystywane są platformy bezzałogowe w monitorowaniu czynności procesowych zdarzeń o charakterze katastrof komunikacyjnych lub bardzo poważnych wypadków np. na przejazdach kolejowo-drogowych. Zatem perspektywa wykorzystywania nowych technologii, takich jak bezzałogowe statki powietrzne [10], które są skonfigurowane (zintegrowane) z systemami informatycznymi, zapewniają większą sprawność działania w procesowym dokumentowaniu zdarzeń.

W najbliższej przyszłości w systemach wspomagania dowodzenia w PSP i Policji funkcjonalność dronów z pewnością będzie częściej wykorzystywana w zarządzaniu bezpieczeństwem publicznym, a niewątpliwie w obszarze bezpieczeństwa ruchu drogowego, bowiem katastrofa komunikacyjna to zagadnienie interdyscyplinarne, skomplikowane i wieloaspektowe [11].

Podsumowanie

Obszar wykorzystywania funkcjonalności bezzałogowych statków powietrznych zintegrowanych z istniejącymi systemami teleinformatycznymi z pewnością stale będzie rozwijany o nowe pola aktywności człowieka. Niewątpliwie nowoczesne technologie w obserwacji i utrwalaniu rzeczywistości kryzysowej (katastrofy komunikacyjne) zapewniają możliwości uzyskiwania lepszej jakości i trwałości obrazu, który można w czasie online przesyłać do centrum zarządzania kryzysowego. Zatem dzięki większej dostępności nowoczesnych technologii i pozyskiwaniu z nich bieżących danych zarządzanie ochroną zdrowia i życia ludzi w sytuacji kryzysowej powinno stać się sprawniejsze zarówno w działaniach ratowniczych, jak i procesowych w sferze dokumentowania zdarzenia. Szczególnie ten drugi czynnik, dokumentowania zdarzenia masowego, powinien uwzględniać znaczenie refleksji, że zdarzenie katastrofy dokumentuje się kilka (kilkanaście) godzin, natomiast szczegółowo jest analizowane i oceniane w procesie sądowym i wcześniej w postępowaniu przygotowawczym niekiedy przez kilka (kilkanaście) lat. Z perspektywy praktyki społecznej autora niewątpliwie jakość obsługi zdarzenia, precyzja wykonanych czynności przez właściwe służby ma ogromne znaczenie dla ofiar i poszkodowanych nie tylko w zakresie odpowiedzialności, winy i kary za popełnione czyny, ale także w sferze moralności (poczucia winy) czy etyki (wartości życia ludzkiego).

Z pewnością w rozważaniach odwołujących się do stosowania nowoczesnych technologii nie można pominąć faktu, że BSP posiadając liczne właściwości o charakterze utylitarnym,

by functions for destructive action in both the military and non-military areas of security environment.

wyróżniają się także funkcjami służącymi do destrukcyjnego działania zarówno w strefie militarnej, jak i niemilitarnej środowiska bezpieczeństwa.

Literature / Literatura

- [1] Polska Norma PN-ISO 31000. Zarządzanie ryzykiem, zasady i wytyczne. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2012, 23.
- [2] Jaszczur W., *Perspektywy stosowania BSP w zarządzaniu kryzysowym*, w: *Wykorzystywanie dronów i robotów w systemach bezpieczeństwa. Teoria i praktyka*, R. Kamprowski, M. Skarżyński, Wydawnictwo Naukowe Wydziału Nauk Społecznych i Dziennikarstwa UAM, Poznań 2020, 61.
- [3] <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/fotogrametria;3902234.html> [dostęp: 01.09.2021].
- [4] <https://www.dji.com/pl/phantom-4-pro/info#specs> oraz <https://www.dji.com/pl/mavic-2/info#specs> [dostęp: 10.10.2021].
- [5] Encyklopedia Leśna, <https://www.encyklopedialesna.pl/haslo/georeferencja/> [dostęp: 01.09.2021].
- [6] <https://www.cpubenchmark.net/compare/Intel-Xeon-Platinum-8124M-vs-AMD-Ryzen-7-2700X/3352vs3238> [dostęp: 01.09.2021].
- [7] <https://cloud.pix4d.com/dataset/898477/map?shareToken=5dc68414-a96d-466f-add0-824a950cb3b2> [dostęp: 01.09.2021].
- [8] Łukasik S., Jaszczur W., *Wybrane aspekty szkolenia na pilotów dronów*, w: *Wykorzystanie robotów i dronów w systemach bezpieczeństwa. Studia interdyscyplinarne*, R. Kamprowski, M. Skarżyński (red.), Wydawnictwo Naukowe Wydziału Nauk Politycznych i Dziennikarstwa UAM, Poznań 2021, 29–30.
- [9] Kobaszyńska A., Łukasiewicz J., *Monitorowanie stanu na przejazdach kolejowo-drogowych z wykorzystaniem statków powietrznych*, w: *Edukacja w bezpieczeństwie i obronności*, W. Scheffs, W. Jaszczur, P. Kamiński (red.), Wyd. KPTN, Kalisz 2020, 380.
- [10] Kamiński P., *Uwarunkowania użytkowe i destrukcyjne wykorzystania bezzałogowych statków powietrznych w bezpieczeństwie niemilitarnym*, „Studia Kaliskie” 2018, 6, 75–76.
- [11] Jaszczur W., *Dylematy identyfikacji wypadku*, „Studia Kaliskie” 2015, 3, 177.

WIESŁAW JASZCZUR, PH.D. – Ph.D. in social sciences, graduate of the Warsaw University of Technology and the University of Wrocław. Employed at the Institute of Safety Sciences of The President Stanisław Wojciechowski Calisia University as an assistant professor. Research interests are related to the subject of education for the safety of school children, crisis management, road safety management. Author, co-author, co-editor of several publications, co-organizer of scientific conferences and seminars. He carries out scientific and research projects in the area of safety management and education of young people for safety. He is a member of the Kalisz Society of Friends of Sciences and International Police Association (IPA).

SZYMON ŁUKASIK, M.SC. ENG. – a graduate of Automation and Robotics at the Silesian University of Technology in Gliwice. Ph.D. student at the Institute of Safety Sciences of The President Stanisław Wojciechowski Calisia University. Scientific interests are related to the subject of economic activity – unmanned aerial vehicles, education of candidates for UAV pilots. Author, co-author, co-editor of several publications, co-organizer of scientific conferences and seminars. CEO of the first drone company in the country engaged in drone swarms.

DR WIESŁAW JASZCZUR – doktor nauk społecznych, absolwent Politechniki Warszawskiej i Uniwersytetu Wrocławskiego. Zatrudniony w Instytucie Nauk o Bezpieczeństwie Akademii Kaliskiej 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 oraz międzynarodowego stowarzyszenia IPA.

MGR INŻ. SZYMON ŁUKASIK – absolwent kierunku Automatyka i Robotyka na Politechnice Śląskiej w Gliwicach. Doktorant w Instytucie Nauk o Bezpieczeństwie Akademii Kaliskiej im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego. Zainteresowania naukowe związane są z tematyką prowadzonej działalności gospodarczej – bezzałogowych statków powietrznych, edukacją kandydatów na pilotów BSP. Autor, współautor, współredaktor naukowy kilku publikacji, uczestnik konferencji naukowych. CEO pierwszej w kraju firmy zajmującej się rojem dronów.

Editorial Staff is **collecting papers** for 1/2022 issue

Publication date:
JUNE 2022

**40
PTS**
Ministry
of Education
and Science



THEMATIC SCOPE:

- fire dynamics and modelling
- fire protection systems and methods of fire prevention and mitigation
- fire investigation and risk analysis
- firefighting tactics, safety and technology
- fire safety legislation and education
- safety and civil protection
- hazards and environmental protection
- materials in environmental protection and fire hazards
- modern technologies in fire and environmental protection

BENEFITS:

- No publication fees
- 40 pts on the Ministry of Education and Science list (according to the Announcement of 01.12.2021)
- Each article assigned with DOI, registered in Crossref
- Indexation in multiple scientific databases



EBSCO



Contact: sft@cnbop.pl

Submit your article via: <https://www.editorialsystem.com/sft>

Dorota Szulczyńska^{a)}, Jacek Roguski^{a)*}

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

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

Complex Approach to Thermal Testing of Firefighters' Protective Clothing

Kompleksowe podejście do badań termicznych odzieży ochronnej strażaków

ABSTRACT

Aim: An extremely important property of firefighters' special clothing is thermal resistance of the clothing materials to heat transfer from radiation or flame. Performing tests with the use of thermal mannequins may contribute to the improvement of clothing sets, as such tests indicate weak points of the tested products. The review article presents information on the testing of special clothing on mannequins and a short history of test stands with the use of thermal mannequins.

Introduction: Using innovative techniques and technologies provides firefighters-rescuers with an appropriate level of safety. Special clothing is a barrier between the human body and the heat and water vapour from the environment. It is this garment that protects the human body from overheating or cooling down.

Methodology: The general test procedure for using thermal mannequins is described in ASTM standards (for instance ASTM F2370 – 10 [1], ASTM F2371 – 10 [2]). Testing of special clothing allowing for an accurate assessment of the degree of protection of the human body against the effects of fire, flame and heat was initiated in the United States. The assumption of these works was to create a mannequin for testing the resistance of clothing equipped with heat sensors to flash fires. Currently, there are around 100 different models of thermal mannequins around the world. Technological progress in the post-war period resulted in the rapid development of mannequins built with a multi-segment structure. This allowed to increase the accuracy of the measurements that simulated heat exchange between the human body and the environment. The data obtained in this manner is repeatable, which allows for standardization of the test requirements for thermal insulation of clothing sets.

Conclusions: Performing tests using thermal mannequins contributes to the improvement of clothing sets in order to increase the safety of the users. The results obtained under the test conditions very accurately indicate the number, location and degree of burns to which the user of such clothing may be exposed.

Keywords: protective clothing, special clothing, thermal mannequin, thermal resistance, test stands to determine thermal loads

Type of article: review article

Received: 27.10.2021; Reviewed: 23.11.2021; Accepted: 23.11.2021;

Authors' ORCID IDs: D. Szulczyńska – 0000-0001-8003-8452; J. Roguski – 0 0000-0002-7848-053X;

The authors contributed the equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 154–163, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.9>;

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

ABSTRAKT

Cel: Niezwykle ważną właściwością strażackich ubrań specjalnych jest odporność termiczna materiałów odzieżowych na przenikanie ciepła pochodzącego z promieniowania lub płomienia. Wykonywanie badań przy użyciu manekinów termicznych może przyczynić się do udoskonalania zestawów odzieżowych, bowiem badania takie wskazują słabe punkty testowanych wyrobów. W artykule mającym charakter przeglądowy przedstawiono informacje na temat prowadzonych badań ubrań specjalnych na manekinach oraz krótką historię stanowisk badawczych z wykorzystaniem manekinów termicznych.

Wprowadzenie: Zastosowanie innowacyjnych technik i technologii zapewnia strażakom-ratownikom odpowiedni stopień bezpieczeństwa. Odzież specjalna stanowi barierę pomiędzy ludzkim ciałem a ciepłem i parą wodną pochodzącymi ze środowiska. To właśnie ubranie ma za zadanie chronić ciało człowieka przed nadmiernym przegrzaniem lub wychłodzeniem.

Metodologia: Ogólna procedura postępowania badawczego z wykorzystaniem manekinów termicznych opisana jest w standardach ASTM (np. ASTM F2370 – 10 [1], ASTM F2371 – 10 [2]). Badania odzieży specjalnej pozwalające na dokładną ocenę stopnia ochrony ludzkiego ciała przed działaniem ognia, płomienia i ciepła zapoczątkowano w Stanach Zjednoczonych. Założeniem wspomnianych prac było stworzenie manekina do badania odporności odzieży na działanie pożarów błyskawicznych, wyposażonego w czujniki ciepła. Obecnie na świecie funkcjonuje ok. 100 różnych modeli manekinów termicznych. Postęp technologiczny w okresie powojennym spowodował szybki rozwój budowanych manekinów, które posiadały wielosegmentową

budowę. Pozwoliło to na zwiększenie dokładności wykonywanych pomiarów symulujących wymianę ciepła między organizmem ludzkim a otoczeniem. Uzyskane w ten sposób dane są powtarzalne, co pozwala na znormalizowanie wymagań badawczych izolacyjności cieplnej zestawów odzieżowych.

Wnioski: Wykonywanie badań przy użyciu manekinów termicznych przyczynia się do udoskonalania zestawów odzieżowych, aby zwiększać bezpieczeństwo użytkowników. Uzyskane w warunkach badawczych wyniki w bardzo dokładny sposób wskazują liczbę, lokalizację i stopień oparzeń, na jakie może być narażony użytkownik takiego ubrania.

Słowa kluczowe: odzież ochronna, ubrania specjalne, manekin termiczny, odporność termiczna, stanowiska badawcze do określenia obciążeń cieplnych

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 27.10.2021; **Zrecenzowany:** 23.11.2021; **Zaakceptowany:** 23.11.2021;

Identyfikatory ORCID autorów: D. Szulczyńska – 0000-0001-8003-8452; J. Roguski – 0 0000-0002-7848-053X;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu.

Proszę cytować: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 154–163, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.9>;

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

Introduction

Rapid industrial development and global warming increase the risk of fires. The fire brigade is the leading rescue service involved in extinguishing fires. Rescue and firefighting operations carried out by the firefighters repeatedly take a long time. While extinguishing fires, rescuers wear the so-called special clothing, which should provide them with an appropriate level of safety. Clothing is a barrier between the human body and the heat and water vapour from the environment [3]. It is this garment that protects the human body from overheating or cooling down. An extremely important property of firefighters' special clothing is the thermal resistance of the clothing materials to heat transfer from radiation or flame.

The method of heat and moisture exchange in the firefighter's personal protective equipment (protective clothing, gloves, boots, helmets) depends on the materials and the used design solutions. Due to the complex phenomena of heat and moisture transport, the greatest risk of burns occurs in the area of clothes and gloves [4]. The factors defining the protective properties of the firefighter's special clothing are the parameters of the material package, which include the thickness of the individual layers and their thermal properties depending on the conditions of use. The protective properties are defined by the coefficient of heat conduction, specific heat and thermal diffusivity [4].

The presence of moisture in the protective clothing influences its thermal properties, and in some situations it may cause burns with steam [5]. The use of an additional layer of clothing (underwear) under special clothing reduces the risk of burns [4].

A necessary condition for ensuring the safety of a firefighter during firefighting and rescue operations is to equip him/her with the personal protective equipment. They include, among others, eye and face protection, head, hearing and respiratory protection, as well as clothing. The basic feature of special clothing is its multifunctionality, which means the ability to maximally protect the user against various external dangers occurring in the firefighter's work environment. If the clothing provides effective protection of a firefighter in a very wide range against various hazards, then it is referred to as special clothing, which is the basic protective clothing of a firefighter. It usually consists of two parts: a jacket

Wprowadzenie

Szybki rozwój przemysłowy oraz globalne ocieplenie powoduje wzrost ryzyka występowania pożarów. Wiodącą służbą ratowniczą uczestniczącą w gaszeniu pożarów jest straż pożarna. Akcje ratowniczo-gaśnicze wykonywane przez strażaków wielokrotnie trwają długo. Ratownicy podczas gaszenia pożarów są ubrani w tak zwane ubrania specjalne, które powinny zapewnić im odpowiedni stopień bezpieczeństwa. Odzież stanowi barierę pomiędzy ludzkim ciałem a ciepłem i parą wodną pochodzącymi ze środowiska [3]. To właśnie ubranie ma za zadanie chronić ciało człowieka przed nadmiernym przegrzaniem lub wychłodzeniem. Niezwykle ważnymi właściwościami strażackich ubrań specjalnych jest odporność termiczna materiałów odzieżowych na przenikanie ciepła pochodzącego od promieniowania lub płomienia.

Sposób wymiany ciepła i wilgoci w ochronach osobistych strażaka (odzieży ochronnej, rękawicach, obuwiu, hełmach) zależy od zastosowanych materiałów i rozwiązań konstrukcyjnych. Największe ryzyko wystąpienia oparzeń – z uwagi na złożone zjawiska transportu ciepła i wilgoci – występuje w obszarze ubrań i rękawic [4]. Czynniki definiującymi właściwości ochronne odzieży specjalnej strażaka są parametry pakietu materiałowego, do których można zaliczyć grubość poszczególnych warstw oraz ich właściwości cieplne zależne od warunków użytkowania. Właściwości ochronne określane są współczynnikiem przewodzenia ciepła, ciepłem właściwym oraz dyfuzyjnością cieplną [4].

Obecność wilgoci w ubraniu ochronnym wpływa na jego właściwości cieplne, a w pewnych sytuacjach może przyczynić się do oparzeń parą wodną [5]. Zastosowanie dodatkowej warstwy ubrania (bielizny) pod ubraniem specjalnym zmniejsza ryzyko wystąpienia oparzenia [4].

Warunkiem koniecznym dla zapewnienia bezpieczeństwa strażaka podczas działań gaśniczo-ratowniczych jest wyposażenie go w środki ochrony indywidualnej. Zalicza się do nich m.in. środki ochrony oczu i twarzy, głowy, słuchu, układu oddechowego, a także odzież. Podstawową cechą ubrania specjalnego jest wielofunkcyjność, która oznacza zdolność maksymalnie skutecznej ochrony użytkownika przed różnicowanymi zewnętrznymi niebezpieczeństwami występującymi w środowisku pracy strażaka. Jeśli odzież

and trousers. In order for the special garment to protect the user in all these unfavourable conditions, it is extremely important to select appropriate materials and construction of the special garment, which will ensure the appropriate comfort of work by meeting a number of requirements regarding parameters related to the body's thermoregulation, water resistance, vapour permeability and mechanical strength. The comfort of use is also of great importance, so that the clothes do not irritate the skin, do not restrict movements or contribute to additional effort with their weight. All requirements for products from the group of personal protective equipment (PPE) are subject to legal regulations and are described in detail in standards. In the countries belonging to the European Union, the standards have been unified and are included in the so-called European standard (PN-EN 469:2021-01) [7].

Protective clothing should comprehensively protect against threats, both from the outside and from the inside. During rescue operations, firefighters are accompanied by stress, haste and increased physical exertion. In order not to overheat, the body produces heat and sweat. A layer of material which is too tight can cause dangerous consequences. These include burns, which are formed due to a lack of protection against heat, as a result of sweat soaking into the material which is in direct contact with the skin. Another dangerous consequence can be stress caused by overheating of the body. It occurs as a result of a disturbed cooling mechanism. When it is not possible to dissipate the heat secreted by the body, its amount continues to increase, thus increasing the body temperature, which in the worst case leads to death due to heat stroke [6].

In Poland, special clothing of the firefighters must meet the provisions of PN-EN 469: 2021-01 [7] and the requirements of the Regulation of the Minister of Interior and Administration of 27 April 2010 amending the regulation on the list of products used to ensure public safety or protection of health and life and property, as well as the rules for issuing admittance of these products for use [8]. Before being admitted for use, this clothing must be subjected to, among others, thermal tests such as:

- resistance to heat transfer from radiation;
- resistance to heat transfer from the flame;
- resistance to spreading flames;
- resistance to soaking.

Tests on thermal mannequins

Initially, the thermal comfort provided by firefighter clothing was tested by surveying the users. The tested clothes were rated on a seven-point scale: hot, warm, slightly warm, comfortable, slightly cool, cool and cold. The subjectivism of the assessment and the imperfection of the rating scale did not allow for correct inference, and thus the introduction of adequate structural,

zapewnia skuteczną ochronę strażaka w bardzo szerokim zakresie przed różnorodnymi zagrożeniami, mówi się wtedy o ubraniu specjalnym, które stanowi podstawowe ubranie ochronne strażaka. Składa się ono najczęściej z dwóch części: kurtki oraz spodni. Aby ubranie specjalne zabezpieczało użytkownika w tych wszystkich niesprzyjających warunkach niezwykle ważną kwestią jest odpowiedni dobór materiałów i konstrukcji ubrania specjalnego, które będzie zapewniać odpowiedni komfort pracy przez spełnienie szeregu wymagań dotyczących parametrów związanych z termoregulacją organizmu, wodoodpornością, paroprzepuszczalnością czy wytrzymałością mechaniczną. Duże znaczenie ma również komfort użytkowania, aby ubranie nie podrażniało skóry, nie ograniczało ruchów albo swoim ciężarem nie przyczyniało się do dodatkowego wysiłku. Wszystkie wymagania dotyczące wyrobów z grupy sprzętu ochrony osobistej (ang. *personal protective equipment*, PPE) podlegają przepisom prawa i zostały szczegółowo opisane w normach. W krajach należących do Unii Europejskiej standardy zostały ujednoczone i zawarte są w normie europejskiej (PN-EN 469:2021-01) [7].

Odzież ochronna powinna kompleksowo zabezpieczać przed zagrożeniami zarówno od zewnątrz, jak i od wewnątrz. Podczas akcji ratowniczych strażakom towarzyszy stres, pośpiech i wzmożony wysiłek fizyczny. Aby nie doprowadzić do przegrzania, organizm wytwarza ciepło i pot. Zbyt szczelna warstwa materiału może powodować niebezpieczne skutki. Należą do nich poparzenia, które tworzą się z powodu braku ochrony przed żarem, w wyniku namakania przez pot materiału znajdującego się w bezpośrednim kontakcie ze skórą. Kolejnym niebezpiecznym następstwem może być stres wywołany przegrzaniem organizmu. Następuje ono na skutek zaburzonego mechanizmem schładzania. Kiedy nie ma możliwości odprowadzenia wydzielanego przez organizm ciepła, jego ilość wciąż wzrasta, podnosi temperaturę ciała, co w najgorszym wypadku prowadzi do śmierci na skutek udaru cieplnego [6].

W Polsce ubrania specjalne strażaków muszą spełniać zapisy normy PN-EN 469:2021-01 [7] oraz wymagania zawarte w rozporządzeniu Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 27 kwietnia 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 [8]. Odzież ta przed dopuszczeniem do użytkowania musi zostać poddana między innymi takim badaniami termicznym jak:

- odporność na przenikanie ciepła pochodzącego z promieniowania;
- odporność na przenikanie ciepła pochodzącego z płomienia;
- odporność na rozprzestrzenianie płomieni;
- odporność na przemakanie.

Badania na manekinach termicznych

Początkowo badania komfortu termicznego, jaki dają ubrania strażackie, prowadzono przez ankietowanie użytkowników. Badane ubrania były oceniane w siedmiostopniowej skali: gorąco, ciepło, lekko ciepło, wygodnie, lekko chłodno, chłodno i zimno. Subiektywizm oceny oraz niedoskonałość skali ocen nie pozwalała na poprawne wnioskowanie, a co za tym idzie wprowadzanie

design and material changes in the production of firefighter's special clothing [9]. The tests with the use of thermal mannequins enables the simulation of the heat exchange that takes place between the body and the environment [10–11], taking into account the heat transfer by convection, thermal conduction and thermal radiation [12–13]. Stands equipped in such a manner are mainly used to test the thermal properties of clothing.

The interest in carrying out tests that allow for the accurate assessment of the degree of protection of the human body against fire, flame and heat by the use of special clothing, so as to prevent burns, began during the Second World War. In the United States, the work was initially carried out by various organizations that aimed to create a mannequin for testing resistance of clothing equipped with heat sensors to flash fire [13].

Currently, there are around 100 different models of thermal mannequins in use worldwide [15–16]. Over time, thermal mannequins became more and more multifunctional and used the latest technological solutions. Initially, the mannequins had a single-section structure, were made of copper and had internal heating, distributed by an in-built fan. In the mid-1940s, the General Electric Company developed a mannequin made of electroplated copper with built-in electrical circuits that evenly heated its entire surface [17]. Plastics and aluminium alloys began to be used for their construction. The multi-segment design allowed to increase the accuracy of the measurements that simulate heat exchange between the human body and the environment. The next stage in the development of the mannequins was the creation of models equipped with the ability to move, simulate the feeling of thermal comfort, as well as simulate breathing or sweating [15]. The closest to today's mannequins was the Swiss model SAM [18] and the American Adam [19].

Performing tests with the use of thermal mannequins allows to obtain repeatable data [15, 20] and, consequently, to standardize the test requirements for thermal insulation of clothing sets. Among the thermal mannequins, the most popular are models manufactured by El du Pont de Nemours and Company. The company has manufactured three complete stands of this type, which are located in Plant in Richmond in the USA, European Technical Centre in Meyrin – Geneva in Switzerland and the Middle East in Dubai. The Thermo-Man test stand is a full-size mannequin made of epoxy resin and a glass-fibre blend. It has 122 thermal sensors located all over the body, except for the hands and feet. The test uses 12 gas burners, fuelled with propane gas, which generate heat energy of 2 cal/cm/sec. Their settings ensure that the temperature in the test fire chamber during a simulated flash fire is maintained in the range of 600–1000°C, and the exposure of the clothing set to its operation takes 3–25 seconds. In addition, the DuPont test stands contain advanced data acquisition that processes information from sensors and signalling third-degree burns occurring during the tests. The information on burns can be obtained through the use of skin damage models developed by the US military and through testing. The results of the performed tests graphically show the number, location and degree of burns to which the user of such clothing may be exposed.

adekwatnych zmian konstrukcyjnych, projektowych oraz materiałowych w produkcji strażackich ubrań specjalnych [9]. Badania przy użyciu manekinów termicznych umożliwiają symulację wymiany ciepła, jaka następuje pomiędzy organizmem a otoczeniem [10–11] z uwzględnieniem wymiany ciepła na drodze konwekcji, przewodzenia cieplnego oraz promieniowania cieplnego (radiacyjnego) [12–13]. Tak wyposażone stanowiska wykorzystuje się głównie do prowadzenia badań właściwości termicznych odzieży.

Zainteresowanie wykonywaniem badań pozwalających na dokładną ocenę stopnia ochrony ludzkiego ciała przed działaniem ognia, płomienia i ciepła przez stosowanie odzieży specjalnej, tak by zapobiegać poparzeniom, miało swój początek w trakcie drugiej wojny światowej. W Stanach Zjednoczonych prace początkowo były realizowane przez różne organizacje, które zakładały stworzenie manekina do badania odporności odzieży na działanie pożarów błyskawicznych (ang. *flash fire*), który wyposażony byłby w czujniki ciepła [13].

Obecnie na świecie pozostaje w użyciu ok. 100 różnych modeli manekinów termicznych [15–16]. Z czasem manekiny termiczne stawały się coraz bardziej wielofunkcyjne i wykorzystywały najnowsze rozwiązania technologiczne. Początkowo manekiny miały budowę jednosegmentową, były wykonane z miedzi oraz zawierały wewnętrzne ogrzewanie, rozprowadzane przez wbudowany wentylator. W połowie lat 40. XX w. General Electric Company opracowało manekin wykonany z miedzi galwanicznej, z wbudowanymi obwodami elektrycznymi, które równomiernie ogrzewały całą jego powierzchnię [17]. Do ich budowy zaczęto wykorzystywać tworzywa sztuczne i stopy aluminium. Wielosegmentowa konstrukcja pozwoliła na zwiększenie dokładności wykonywanych pomiarów symulujących wymianę ciepła między ludzkim organizmem a otoczeniem. Następnym etapem w rozwoju manekinów było tworzenie modeli wyposażonych w zdolność poruszania się, symulacji odczuwania komfortu cieplnego, a także w funkcje symulowania oddechu czy pocenia się [15]. Najbliższy dzisiejszym manekinom był szwajcarski model SAM [18] oraz amerykański Adam [19].

Wykonywanie badań przy użyciu manekinów termicznych pozwala na uzyskiwanie powtarzalnych danych [15, 20] i – co za tym idzie – znormalizowanie wymagań badawczych izolacyjności cieplnej zestawów odzieżowych. Wśród manekinów termicznych najbardziej popularne są modele produkowane przez firmę E. I. du Pont de Nemours and Company. Firma ta wyprodukowała trzy kompletne stanowiska tego typu, które znajdują się w Plant in Richmond w USA, European Technical Center in Meyrin – Geneva w Szwajcarii oraz Middle East w Dubaju. Stanowisko Thermo-Mana to pełnowymiarowy manekin wykonany z żywicy epoksydowej i mieszanki włókien szklanych. Posiada on 122 czujniki termiczne rozlokowane na całym ciele, z wyjątkiem dłoni i stóp. Do badań wykorzystuje się 12 palników gazowych, zasilanych gazem propanowym, które wytwarzają energię cieplną 2 cal/cm/sec. Ich ustawienia gwarantują utrzymanie temperatury w badawczej komorze pożarowej podczas symulowanego pożaru błyskawicznego w zakresie 600–1000°C, a narażenie zestawu ubraniowego na jej działanie przebiega w czasie 3–25 sek. Dodatkowo stanowiska badawcze firmy DuPont zawierają zaawansowaną akwizycję danych przetwarzającą informacje z czujników i sygnalizującą oparzenia trzeciego stopnia występujące w trakcie testów.

Other test stands equipped with thermal mannequins are also used in the world. These are:

- North Carolina State University, USA – “PyroMan”,
- University of Alberta, Canada – “Harry Burns”,
- EMPA Institute in St. Gallen, Switzerland – “Henry”,
- BTTG certification lab in Manchester, Great Britain – “Ralph”,
- Teijin Laboratories, Japan – “Pliff”,
- National Research Institute of Fire and Disaster, Japan,
- Daegu University, Korea,
- Aitex Textile Research Institute, Alcoy, Spain.

Uzyskanie informacji dotyczących oparzeń możliwe jest dzięki użyciu modeli uszkodzeń skóry opracowanych przez wojsko USA oraz podczas badań naukowych. Wyniki przeprowadzonych testów w sposób graficzny pokazują ilość, lokalizację i stopień oparzeń, na jakie może być narażony użytkownik takiego ubrania.

Na świecie wykorzystywane są również inne stanowiska wyposażone w manekiny termiczne. Są to:

- North Carolina State University, USA – „PyroMan”,
- University of Alberta, Kanada – „Harry Burns”,
- EMPA Institute in St.Gallen, Szwajcaria – „Henry”,
- BTTG certification lab in Manchester, Wielka Brytania – „Ralph”,
- Teijin Laboratories, Japonia – „Pliff”,
- National Research Institute of Fire and Disaster, Japonia,
- Daegu University, Korea,
- Aitex Textile Research Institute, Alcoy, Hiszpania.

Table 1. Summary of differences by type of mannequin
Tabela 1. Zestawienie różnic w poszczególnych manekinach

Name of the mannequin / Nazwa manekina	Material / Materiał	Number of sensors / Liczba sensorów	Number of burners / Liczba palników	Heat flux (kW/m ²) / Strumień ciepła (kW/m ²)
Thermo-Man	Polyester resin or glass fibre reinforced with polyester resin / Żywica poliestrowa lub żywica poliestrowa wzmocniona włóknem szklanym	122	12	~150
PyroMan	Polyester resin or glass fibre reinforced with polyester resin / Żywica poliestrowa lub żywica poliestrowa wzmocniona włóknem szklanym	122	8	6–126
Harry Burns	Fiberglass / Włókno szklane	110	6	67–84
Ralph	Plastic reinforced with glass using vinyl ester resin / Tworzywo sztuczne wzmocnione szkłem za pomocą żywicy winyloestrowej	123	12	~84
Henry	Vinyl ester reinforced with glass / Ester winylu wzmocniony szkłem	120	12	~84

Source: Own elaboration based on [22–23].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [22–23].

Increasingly, thermal mannequins are used in various fields of industry (e.g. clothing industry, automotive industry) and science (e.g. environmental engineering to study the climate and human environment in the buildings) [24–25]. Initially, mannequins were manufactured in the shape of men, but with time female equivalents and models of the size of children began to be constructed [26]. Scientific research shows that it does not matter on which of the above types of mannequins thermal tests of clothing are carried out [10].

Coraz częściej manekiny termiczne są wykorzystywane w różnych dziedzinach przemysłu (np. przemysł odzieżowy, motoryzacyjny) i nauki, (np. w inżynierii środowiskowej do badania klimatu i otoczenia człowieka w budynkach) [24–25]. Początkowo produkowano manekiny o posturze mężczyzny, ale z czasem zaczęto również konstruować odpowiedniki żeńskie oraz modele wielkości dzieci [26]. Badania naukowe wskazują, że nie ma znaczenia, na którym z powyższych typów manekinów prowadzone są testy termiczne odzieży [10].

Pain injury area (%) / Obszar bólu (%)	First-degree burn injury area (%) / Obszar oparzenia pierwszego stopnia (%)	2nd degree burn injury area (%) / Obszar oparzenia drugiego stopnia (%)	3rd degree burn injury area (%) / Obszar oparzenia trzeciego stopnia (%)	Predicted total area of burn injury (2nd and 3rd degree) (%) / Przewidywa- ny całkowity obszar oparzenia (II i III stopień) (%)
17,5	0,9	0,9	0,0	0,9

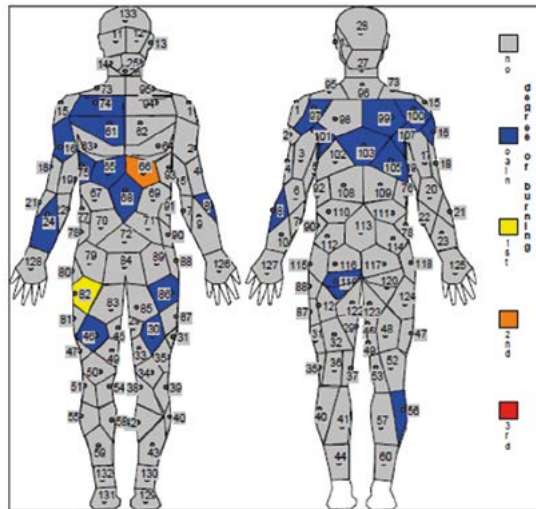


Figure 1. Example results of tests of firefighters' special clothing obtained at the Thermo-Tex stand
Rycina 1. Przykładowe wyniki badań strażackiego ubrania specjalnego uzyskane na stanowisku Thermo-Tex
Source: Data provided by the Aitex laboratory in Spain.
Źródło: Dane udostępnione przez laboratorium Aitex w Hiszpanii.

The general test procedure with the use of thermal mannequins is described in ASTM standard [27]. However, this document relates generally to testing clothing and not specifically to special clothing used by the fire service. Therefore, the methodologies based on thermal mannequins should be optimized and modified, taking into account, among others, the testing of firefighting clothing in full completion (i.e. with breathing apparatus and tank stretchers, helmets, footwear and gloves) [28].

The use of thermal mannequins currently used as a test facility for the firefighters' special clothing has certain limitations:

- the existing thermal mannequins allow testing only in a vertical, upright position, while firefighters often work in a squat or bent position, which may affect the fit of the garment to the firefighter's silhouette and the intensity of thermal exposure;
- the currently used mannequins do not take into account the possibility of conducting tests in conditions of variable humidity, i.e. the influence of various degrees of humidity – both the inner layer of the garment (moisture from sweat) and the outer layer (moisture coming from the water used for extinguishing).

As already mentioned, the currently available models are equipped with the heat sensors located on the body, excluding the hands, feet and head – efforts should be made to develop thermal mannequins with appropriate sensors also on the surfaces

Ogólna procedura postępowania badawczego z wykorzystaniem manekinów termicznych opisana jest w standardach ASTM [27]. Jednakże dokument ten odnosi się ogólnie do testowania odzieży, a nie konkretnie do ubrań specjalnych używanych przez straż pożarną. W związku z tym metodyki oparte na manekinach termicznych należałoby zoptymalizować i zmodyfikować, uwzględniając między innymi prowadzenia badań odzieży strażackiej wraz z pełnym ukończeniem (czyli między innymi z aparatami powietrznymi i noszakami na butlę, hełmami, obuwiem i rękawicami) [28].

Zastosowanie manekinów termicznych obecnie używanych jako zaplecze badawcze odzieży specjalnej strażaków niesie ze sobą pewne ograniczenia:

- istniejące manekiny termiczne umożliwiają prowadzenie badań jedynie w pozycji pionowej wyprostowanej, tymczasem niejednokrotnie strażacy pracują w pozycji kucznej lub pochylonej, co może mieć wpływ na dopasowanie ubrania do sylwetki strażaka oraz na intensywność ekspozycji termicznej;
- aktualnie wykorzystywane manekiny nie uwzględniają również możliwości prowadzenia badań w warunkach zmiennej wilgotności, a więc wpływu różnych stopni wilgotności – zarówno warstwy wewnętrznej ubrania (wilgoć od potu), jak i zewnętrznej (wilgoć pochodząca od wody używanej do gaszenia).

mentioned above, so that it is possible to test the full set of personal protection used by the firefighters during rescue and fire-fighting operations.

The stringent requirements concerning the thermal properties of the special clothing are justified, most of all, by the safety of the firefighters and their comfort of work [29]. During their operations, firefighters deal with various types of fires, so they work in conditions where the ambient temperature differences may be from 100 to 1200°C, and the heat flux density ranges from 0.8 to 210 kW/m² [30, 4]. In the literature, it is generally assumed that we can talk about normal conditions in case of a temperature in the range of 20–70°C and heat flux density up to 2 kW/m², and in hazardous conditions – when the temperature value reaches 70–300°C, and the flux density heat reach 2–20 kW/m². Critical conditions exist when the temperature is 300–1,000°C and the heat flux density is 12–125 kW/m². Due to the temperature and thermal differences occurring in the fire environment, most of the normative tests are carried out with the heat flux density in the range of 80–84 kW/m², which is considered to be the characteristic value of flashover.

Summary

Performing tests with the thermal mannequins can contribute to the improvement of the clothing sets. The results provide information on the weak points of the tested products, which should be eliminated in order to increase the safety of the users. Test stands with thermal mannequins have many advantages, including:

- the ability to simulate heat exchange between the human body and the environment;
- the possibility of testing dry heat transfer in conditions similar to the real ones;
- the objectivity of measuring the thermal insulation of the tested clothing;
- speed, accuracy and repeatability of the tests.

Among the limitations of thermal mannequins currently used as testing facilities for firefighters' special clothing the following can be pointed out:

- no possibility to conduct testing in a position other than vertical and upright;
- the inability to conduct testing in conditions of variable humidity, and thus to verify the impact of various degrees of humidity (both the inner and outer layers of the clothes) on the tested object;
- no mannequins enabling testing the full set of personal protective equipment used by the firefighters.

There are also advantages and disadvantages to the test methods used to test the material packages of clothing used by the fire brigade, as well as the test methods using mannequins to test the entire products.

Jak już wspomniano, obecnie dostępne modele wyposażone są w czujniki ciepła rozmieszczone na ciele z pominięciem dłoni, stóp i głowy – należy dążyć do opracowania manekinów termicznych posiadających odpowiednie czujniki również na wymienionych wyżej powierzchniach, tak aby umożliwić badania pełnego zestawu ochron osobistych używanych przez strażaków podczas prowadzonych akcji ratowniczo-gaśniczych.

Rygorystyczne wymagania dotyczące właściwości termicznych ubrań specjalnych są uzasadnione przede wszystkim bezpieczeństwem strażaków i ich komfortem pracy [29]. Strażacy w czasie działań mają do czynienia z różnymi typami pożarów, pracują więc w warunkach, gdzie różnice temperatury otoczenia mogą wynosić od 100 do 1200°C, a gęstość strumienia ciepła wahać się w przedziale od 0,8 do 210 kW/m² [30, 4]. W literaturze ogólnie przyjmuje się, że o warunkach normalnych możemy mówić w przypadku temperatury w zakresie 20–70°C i gęstości strumienia ciepła do 2 kW/m², zaś o warunkach niebezpiecznych – gdy wartość temperatury sięga 70–300°C, a gęstości strumienia ciepła 2–20 kW/m². W sytuacji, gdy temperatura wynosi 300–1000°C i gęstość strumienia ciepła 12–125 kW/m² mamy do czynienia z warunkami krytycznymi. Ze względu na różnice temperaturowe i cieplne występujące w środowisku pożaru większość normatywnych badań przeprowadza się z zachowaniem gęstości strumienia ciepła w granicach 80–84 kW/m², która uważana jest za wartość charakterystyczną rozgorzenia.

Podsumowanie

Wykonywanie badań przy użyciu manekinów termicznych może przyczynić się do udoskonalania zestawów odzieżowych. Wyniki dostarczają informacji na temat słabych punktów testowanych wyrobów, które należy eliminować w celu zwiększenia bezpieczeństwa użytkowników. Stanowiska badawcze z manekinami termicznymi mają wiele zalet, do których zalicza się:

- możliwość symulowania wymiany ciepła między organizmem ludzkim a otoczeniem;
- możliwość badania suchej wymiany ciepła w warunkach zbliżonych do rzeczywistych;
- obiektywizm pomiaru izolacji termicznej badanej odzieży;
- szybkość, dokładność i powtarzalność badań.

Wśród ograniczeń manekinów termicznych stosowanych obecnie jako zaplecze badawcze odzieży specjalnej strażaków należy wymienić:

- brak możliwości prowadzenia badań w pozycji innej niż pionowa wyprostowana;
- brak możliwości prowadzenia badań w warunkach zmiennej wilgotności, a tym samym zweryfikowania wpływu różnych stopni wilgotności (zarówno warstwy wewnętrznej, jak i zewnętrznej ubrania) na badany obiekt;
- brak manekinów umożliwiających badanie pełnego zestawu ochron osobistych wykorzystywanych przez strażaków.

Swoje wady i zalety mają również metody badawcze wykorzystywane do badania pakietów materiałowych, z których wykonana jest odzież używana przez straż pożarną, jak i metody badawcze wykorzystujące manekiny umożliwiające badanie całych wyrobów.

It should be noted that both the material packages and the finished products should be tested. Testing the material packages will allow for a full characterization of their properties, while testing a complete product – to determine its properties, taking into account the structure, seams and fitting the garment to the figure. A complex approach to such tests is necessary to ensure that the thermal properties of the garment are determined in the near-real conditions. It is necessary to develop testing methodologies based on the use of thermal mannequins, so that tests with the possibility of setting the mannequin in different positions can be carried out.

Noteworthy is the fact that the studies in question are mainly carried out with the mapping of the thermal conditions of flashover, while most of the work performed by the firefighters takes place at a thermal exposure lower than flashover. Such exposures usually last a few minutes and are not intense enough to deteriorate the outer layer of the firefighter's special clothing. In fact, thermal mannequins with the sweating function are also used in the tests, however, it is not an optimized method that allows the assessment of thermal insulation properties of clothing in case of prolonged exposure to low-level thermal radiation, as well as the assessment of the influence of the absorbed moisture on the protection against burns in such conditions.

There is also a need to adapt or develop testing methodologies in order to enable tests on the thermal properties of the firefighting clothes, taking into account the influence of moisture on burns in the event of a sudden, rapid increase in ambient temperature.

It is necessary to unify and standardize the methods of acquisition and processing of test data from tests conducted with the use of thermal mannequins. Unification in this area would make it possible to compare the results of tests carried out on various test stands.

The above activities will enable full optimization of both the design of protective clothing, as well as allow optimization of the operational practices that may contribute to reducing the exposure of firefighters to burns.

Należy zwrócić uwagę, że badaniom powinno poddawać się zarówno pakiety materiałowe, jak i gotowe wyroby. Badanie pakietów materiałowych pozwoli na pełną charakterystykę ich właściwości, natomiast badanie pełnego wyrobu – na określenie jego właściwości z uwzględnieniem konstrukcji, szwów oraz dopasowania ubrania do sylwetki. Komplementarne podejście do takich badań jest niezbędne w celu zapewnienia określenia właściwości termicznych odzieży w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Konieczne jest dopracowanie metodyk badawczych opartych na wykorzystaniu manekinów termicznych, tak by można było prowadzić testy z możliwością ustawienia manekina w różnych pozycjach.

Warty uwagi wydaje się fakt, że omawiane badania prowadzone są głównie z odwzorowaniem warunków termicznych rozgorzenia, tymczasem większość pracy wykonywanej przez strażaków odbywa się w ekspozycji termicznej niższej niż rozgorzenie. Takie ekspozycje trwają zazwyczaj kilka minut i nie są wystarczająco intensywne, by doprowadzić do degradacji zewnętrznej warstwy strażackiego ubrania specjalnego. W prawdzie wykorzystywane są w badaniach również manekiny termiczne z funkcją pocenia się, jednakże nie jest to zoptymalizowana metoda umożliwiająca ocenę właściwości termoizolacyjnych odzieży w przypadku występowania długotrwałego narażenia na promieniowanie cieplne o niskim poziomie, a także do oceny wpływu wchłoniętej wilgoci na ochronę przed poparzeniami w takich warunkach.

Istnieje również konieczność dostosowania lub opracowania metodyk badawczych w celu umożliwienia prowadzenia badań właściwości termicznych ubrań strażackich z uwzględnieniem wpływu wilgoci na oparzenia w przypadku wystąpienia nagłego, szybkiego wzrostu temperatury otoczenia.

Niezbędne jest ujednoczenie i znormalizowanie metod akwizycji i przetwarzania danych badawczych z testów prowadzonych przy użyciu manekinów termicznych. Unifikacja w tym zakresie pozwoliłaby na porównywanie wyników badań wykonywanych na różnych stanowiskach badawczych.

Powyższe działania umożliwią pełną optymalizację zarówno projektowania ubrań ochronnych, jak również pozwolą na optymalizację praktyk operacyjnych, które mogą przyczynić się do zmniejszenia narażenia strażaków na oparzenia.

Literature / Literatura

- [1] ASTM F2370 – 10 Standard Test Method for Measuring the Evaporative Resistance of Clothing Using a Sweating Manikin.
- [2] ASTM F2371 – 10 Standard Test Method for Measuring the Heat Removal Rate of Personal Cooling Systems Using a Sweating Heated Manikin.
- [3] Młynarczyk M., Havenith G., Leonard J., Martins R., Hoddes S., *Inter-laboratory proficiency tests in measuring thermal insulation and evaporative resistance of clothing using the Newton-type thermal manikin*, "Textile Research Journal" 2016, 88 (4), <https://doi.org/10.1177/0040517516681957>.
- [4] Wiśniewski T. S., *Wymiana ciepła w ochronach osobistych*, Warszawa 2016.
- [5] Keiser C., *Steam burns. Moisture management in firefighter protective clothing*, PhD dissertation ETH No. 17406, ETH Zurich 2007, <https://doi.org/10.3929/ethz-a-005465697>.
- [6] Czerwienko D., Roguski J., *Koncepcja rozwoju ochron osobistych*, "Zeszyty naukowe SGSP" 2016, 58 (2), 5–32.
- [7] PN-EN 469:2021-01, *Odzież ochronna dla strażaków – Wymagania użytkowe dotyczące odzieży ochronnej przeznaczonej do akcji przeciwpożarowej*.
- [8] Rozporządzeniu Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji

- z dnia 27 kwietnia 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 z późn. zm.).
- [9] Goldman R.F., *Thermal Manikins, Their Origins and Role*, in: *Thermal Manikins and Modelling*, w: *Sixth International Thermal Manikin And Modelling Meeting* (6I3M), J. Fan (red.), Hong Kong 2016, 3–18.
- [10] Bogdan A., Zwolińska M., *Future Trends in the Development of Thermal Manikins Applied for the Design of Clothing Thermal Insulation*, "Fibres & Textiles in Eastern Europe" 2012, 20, 4(93), 89–95.
- [11] Anttonen H., Meinander H., Bartels V., Kuklane K., Reinertsen R. E., Varieras S., Sołtysiński K., *Thermal Manikin Measurements—Exact or Not?*, "International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)" 2004, 10 (3), 291–300, <https://doi.org/10.1080/10803548.2004.11076616>.
- [12] Młynarczyk M., *Manekiny termiczne jako narzędzie do badania izolacyjności cieplnej oraz oporu pary wodnej zestawów odzieżowych*, „Bezpieczeństwo pracy” 2015, 1, 18–20.
- [13] Holmer I., *Thermal manikin history and application*, "European Journal of Applied Physiology" 2004, 92, 614–618, <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1135-0>.
- [14] Camenzind M.A., Dale D.J., Rossi R.M., *Manikin test for flame engulfment evaluation of protective clothing: Historical review and development of a new ISO standard*, "Fire and Material" 2006, 31(5), 285–295, <https://doi.org/10.1002/fam.938>.
- [15] Faming W., *A comparative introduction on sweating thermal manikins "Newton" and "Walter"*, 7th International Thermal Manikin and Modelling Meeting – University of Coimbra, September 2008.
- [16] Konarska M., Sołtyński K., Sudoł-Szopińska I., Młodziński D., Chojancka A., *Aspects of Standardisation in Measuring Thermal Clothing Insulation on a Thermal manikin*, "Fibres & Textiles in Eastern Europe" 2006, 14, 4 (58), 58–63.
- [17] Nilsson H.O., Holmer I., *Comfort climate evaluation with thermal manikin methods and computer simulation models*, "Indoor Air" 2003, 13(1), 28–37, <https://doi.org/10.1034/j.1600-0668.2003.01113.x>.
- [18] Richards M., Mattle M., *Development of a sweating agile thermal manikin (SAM)*, Proceedings of the 4th International Meeting on Thermal Manikin, St. Gallen, Szwajcaria 2001.
- [19] Burke R., McGuffin R., *Development of an advanced thermal manikin for vehicle climate evaluation*, Proceedings of the 4th International Meeting on Thermal Manikin, St. Gallen, Szwajcaria 2001.
- [20] Holmer I., *Thermal manikins in research and standards*, Proceedings of the Third International Meeting on Thermal Manikin Testing 3IMM at the National Institute for Working Life, 1999.
- [21] <http://www.davidvedoruha.hu/pdf/bttg%20teszt.pdf>, [dostęp: 22.01.2019].
- [22] Song G., Wang F., *Firefighters' Clothing and Equipment: Performance, Protection and Comfort*, CRC Press, 2019.
- [23] <https://www.empa.ch/web/s401/henry> [dostęp: 22.11.2021].
- [24] Psikuta A., Allegrini J., Koelblen B., Bogdan A., Annaheim S., Martinez N., Derome D., Carmeliet J., Rossi R.M., *Thermal manikins controlled by human thermoregulation models for energy efficiency and thermal comfort research – A review*, "Renewable and Sustainable Energy Reviews" 2017, 78, 1315–1330, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.115>.
- [25] Fojtlin M., Fiser J., Jicha M., *Determination of convective and radiative heat transfer coefficients using 34-zones thermal manikin: Uncertainty and reproducibility evaluation*, "Experimental Thermal and Fluid Science" 2016, 77, 257–264, <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2016.04.015>.
- [26] Kuklane K., Sandsund M., Reinertsen R.E., Tochihiro Y., Fukazawa T., Holmer I., *Comparison of thermal manikins of different body shapes and size*, "Ergonomics and Aerosol Technology" 2004, 92, 683–688, <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1116-3>.
- [27] ASTM F1930-00, Standard Test Method for Evaluation of Flame Resistant Clothing for Protection Against Flash Fire Simulations Using an Instrumented Manikin, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2000.
- [28] Prezant D.J., Barker R.L., Stull J.O., King S.J., Rotanz R.A., Malley K.S., Bender M., Guerth C., Kelly K.J., *The Impact of Protective Hoods and Their Water Content on the Prevention of Head Burns in New York City Firefighters: Laboratory Tests and Field Results*, "Journal of burn care & research: official publication of the American Burn Association" 2001, 22(2), 165–178.
- [29] Roguski J., Błogowski M., Kubis D., *Metody badawcze w ocenie odporności środków ochrony indywidualnej na działanie termicznych czynników zewnętrznych*, BITP Vol. 39 Issue 3, 2015, pp. 43–57, <https://doi.org/10.12845/bitp.39.3.2015.4>.
- [30] Wiśniewski T., Furmański P., Łapka P., *Problemy związane z oceną ochron osobistych poddanych obciążeniu cieplnemu*, w: *Problemy Monitoringu eksploatacji sprzętu i wyposażenia w Straży Pożarnej*, J. Roguski (red.), CNBOP-PIB, Józefów 2015, 85–106.
- [31] Foster J.A., Roberts G.V., *Measurements of the Firefighter Environment – Summary Report*, "Fire Engineers Journal" 1995, 55(178), 3034.
- [32] Bugaj M.A., Cieślakiewicz Ł., Wiśniewski T.S., *Badania materiałów odzieży ochronnej będącej w kontakcie z ciałami o podwyższonej temperaturze*, „Zeszyty Naukowe SGSP” 2016, 58 (2), 149–172.
- [33] Giełżecki J., Godniowska M., Kogut B., Koniuch T., Szewczyk A., Wolański R.M., Wójcik Z., *Badania materiałów ochron osobistych poddanych oddziaływaniu płomienia*, „Zeszyty Naukowe SGSP” 2016, 58 (2), 33–56.
- [34] Foster J.A., Roberts G.V., *Measurements of the Firefighter Environment – Summary Report*, „Fire Engineers Journal” 1995, 55(178), 3034.

DOROTA SZULCZYŃSKA, PH.D. ENG. – she completed doctoral studies in 2012 at the Faculty of Materials Science and Engineering of the Warsaw University of Technology, obtaining a PhD degree in technical sciences. She is the author or co-author of articles published in scientific journals and conference materials, and the author of papers presented at national and international conferences. Since 2012, an employee of the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute.

JACEK ROGUSKI, PH.D. ENG. – a graduate of the Warsaw University of Technology and the State Fire Academy of EMERCOM of Russia. He deals with aspects related to the issues of safe use of technical equipment in fire brigades and the problems of using technical devices. An author of several dozen publications, speaker and member of scientific committees at numerous conferences – national and international. Creator of four patents and designs. His scientific achievements have been honored with nineteen international and national awards at exhibitions for inventiveness.

DR INŻ. DOROTA SZULCZYŃSKA – studia doktoranckie ukończyła w 2012 roku na Wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej, uzyskując stopień doktora nauk technicznych. Jest autorką lub współautorką artykułów publikowanych w czasopismach naukowych i materiałach konferencyjnych oraz autorką referatów prezentowanych na konferencjach krajowych i zagranicznych. Od 2012 roku pracownik Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowego Instytutu Badawczego.

DR INŻ. JACEK ROGUSKI – absolwent Politechniki Warszawskiej oraz Akademii Państwowej Straży Pożarnej w Moskwie (State Fire Academy of EMERCOM of Russia). Zajmuje się aspektami związanymi z zagadnieniami bezpieczeństwa użytkowania wyposażenia technicznego w straży pożarnej oraz problemami eksploatacji urządzeń technicznych. Autor kilkudziesięciu publikacji, prelegent oraz członek komitetów naukowych na licznych konferencjach – krajowych i zagranicznych. Twórca pięciu patentów i wzorów. Jego osiągnięcia naukowe zostały uhonorowane dziewiętnastoma międzynarodowymi i krajowymi wyróżnieniami na wystawach związanych z wynalazczością.

Jacek Charatynowicz^{a)*}

^{a)} *The Alcide De Gasperi University of Euroregional Economy / Wyższa Szkoła Gospodarki Euroregionalnej im. Alcide De Gasperi*

* *Corresponding author / Autor korespondencyjny: j.charatynowicz@gmail.com*

Cryptoassets as Contemporary Threats to the Economic Security of the Country

Kryptoaktywa jako współczesne zagrożenia bezpieczeństwa ekonomicznego państwa

ABSTRACT

Aim: The aim of this article is to present the conclusions of a research conducted in the area of identifying threats to the economic interests of the state related to the trading of cryptoassets, as well as the presentation of legal solutions functioning in the cryptoasset environment and possible remedial actions to be taken by the state authorities competent in this regard.

Introduction: Due to the technological features, undefined legal status, regulatory and organizational risks of this instrument, the threats related to the trading of cryptoassets are one of the most important current threats from the point of view of the economic security of the country. They are identified both by domestic and foreign financial market supervision authorities, tax and law enforcement authorities, and those dealing with counteracting money laundering and the financing of the terrorists. The article presents the identified risk areas, legal regulations in the field of trading in these assets, and regulatory perspectives. An attempt was also made to describe the actions necessary to be taken to mitigate the threats.

Methodology: In this work, theoretical research was used, such as: analysis of literature, on legal and strategic studies as well as industry literature, synthesis, generalization and inference. In addition, analysis was carried out of the legal acts related to the regulation of the market of cryptoassets, international strategic documents describing this market and the Polish financial supervision. Draft legal acts of a legislative nature were also presented.

Conclusions: The market of cryptoassets is subject to constant legal, organizational and institutional transformations. Its socio-economic environment is also changing. Due to the characteristics of cryptoassets, their dispersed and unregulated nature, institutions of this market, both entities participating in transaction brokerage, as well as natural persons, can be used for money laundering, concealing property from various forms of crime. However, the identified vulnerabilities do not pose a significant threat to the economic security of the country – they are of a sectoral nature. The relevant state institutions undertake specific activities in order to counteract threats, both of a legal, institutional and organizational nature.

Keywords: cryptoassets, threats to economic security, legal regulations in the area of cryptoassets, counteracting money laundering and financing of terrorism, mitigation of threats related to cryptoassets

Type of article: review article

Received: 29.10.2021; Reviewed: 20.11.2021; Accepted: 07.12.2021;

Author's ORCID ID: J. Charatynowicz – 0000-0003-0484-4078;

Please cite as: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 164–178, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.10>;

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 niniejszego artykułu jest przedstawienie wniosków z badań przeprowadzonych w zakresie identyfikacji zagrożeń dla ekonomicznych interesów państwa związanych z obrotem kryptoaktywami, a także prezentacja rozwiązań prawnych funkcjonujących w otoczeniu kryptoaktywów oraz możliwości do podjęcia działań zaradczych przez właściwe w tym zakresie organy państwa.

Wprowadzenie: Z uwagi na cechy technologiczne, niedookreślony status prawny, ryzyka regulacyjne i organizacyjne tego instrumentu, zagrożenia związane z obrotem kryptoaktywami są jednymi z najistotniejszych aktualnych zagrożeń z punktu widzenia bezpieczeństwa ekonomicznego państwa. Są one identyfikowane zarówno przez krajowe, jak i zagraniczne organy nadzoru nad rynkiem finansowym, organy podatkowe, ścigania oraz zajmujące się przeciwdziałaniem praniu pieniędzy i finansowaniu terroryzmu. W artykule przedstawiono zidentyfikowane obszary zagrożeń, regulacje prawne obowiązujące w zakresie obrotu tymi aktywami, perspektywy regulacyjne. Podjęto także próbę opisanie koniecznych do podjęcia działań w celu mitygacji zagrożeń.

Metodologia: W przedmiotowej pracy wykorzystano badania teoretyczne, takie jak: analiza literatury, opracowań prawnych i strategicznych oraz piśmiennictwo branżowe, syntezę, uogólnienie oraz wnioskowanie. Ponadto dokonano analizy aktów prawnych związanych z regulacją rynku kryptoaktywów, międzynarodowych dokumentów strategicznych opisujących rynek kryptoaktywów oraz polskiego nadzoru finansowego. Przedstawiono również projektowane akty prawne o charakterze legislacyjnym.

Wnioski: Rynek kryptoaktywów podlega nieustannym przeobrażeniom prawnym, organizacyjnym i instytucjonalnym. Zmienia się również jego otoczenie społeczno-ekonomiczne. Z uwagi na cechy kryptoaktywów, ich rozproszony i nieuregulowany charakter, instytucje tego rynku, zarówno podmioty biorące udział w pośrednictwie transakcyjnym, jak również osoby fizyczne, mogą być wykorzystywane do prania pieniędzy, ukrywania mienia pochodzącego z różnych form przestępczości. Zidentyfikowane podatności nie stanowią jednak istotnego zagrożenia dla bezpieczeństwa ekonomicznego państwa – mają charakter sektorowy. Właściwe instytucje państwa podejmują określone aktywności w celu przeciwdziałaniu zagrożeniom, zarówno o charakterze prawnym, instytucjonalnym, jak i organizacyjnym.

Słowa kluczowe: kryptoaktywa, zagrożenia bezpieczeństwa ekonomicznego, regulacje prawne obszaru kryptoaktywów, przeciwdziałanie praniu pieniędzy oraz finansowaniu terroryzmu, mitygacja zagrożeń związanych z kryptoaktywami

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 29.10.2021; **Zrecenzowany:** 20.11.2021; **Zaakceptowany:** 07.12.2021;

Identyfikator ORCID autora: J. Charatynowicz – 0000-0003-0484-4078;

Proszę cytować: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 164–178, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.10>;

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

Introduction

Currently, in the security environment, we can distinguish various types of threats – military and non-military – and prove their importance from the point of view of state security. The most important non-military threats include: internal political crises, asymmetric and hybrid threats, economic and financial vulnerabilities, terrorism, threats in cyberspace, organized crime, corruption, human and drug trafficking as well as money laundering [1].

“An emergency is a situation or condition that threatens someone or in which someone feels threatened; also: someone who creates such a situation” [2], while according to another definition, a threat is a situation in which there is a probability of a dangerous state for the environment. Taking as the basis the domains in which the threat may occur, the already mentioned military and non-military threats can be distinguished. Among the latter, the following threats can be distinguished: political, economic, psychosocial, ecological, internal and others” [3].

In addition to the threats, it is also worth pointing to the key megatrends important from the point of view of security, i.e. trends with a particular strength, scope and area of impact. They include: technological revolution, reconfiguration of balance of power in the international arena, crisis of liberal democracy, demographic prospects and climate change, and the so-called black swans – a term used in economics for an unexpected event that (almost) no one can predict [4].

Among the indicated trends, distinguished can be the technological revolution in various aspects of its impact, digital development, cyberspace, artificial intelligence, big data, which affect many areas of the state’s functioning. Therefore, they pose challenges to the political decision-makers, representatives of the world of science and the security analysts in the context of their impact on security, including state security.

The aim of this article is both an analytical and scientific presentation of the risks associated with the trading of cryptoassets, as well as presenting conclusions in the field of institutional and operational methods of counteracting them.

Wstęp

Aktualnie w środowisku bezpieczeństwa możemy wyróżnić różnego rodzaju zagrożenia – militarne i pozamilitarne – oraz dowodzić ich istotności z punktu widzenia bezpieczeństwa państwa. Do najważniejszych zagrożeń o charakterze pozamilitarnym należy zaliczyć: wewnętrzne kryzysy polityczne, zagrożenia asymetryczne, hybrydowe, podatności gospodarcze i finansowe, terroryzm, zagrożenia w cyberprzestrzeni, zorganizowaną przestępczość, korupcję, handel ludźmi i narkotykami oraz pranie pieniędzy [1].

„Zagrożenie to sytuacja lub stan, które komuś zagrażają lub w której ktoś czuje się zagrożony; też: ktoś, kto stwarza taką sytuację” [2], natomiast zgodnie z inną definicją zagrożenie jest to sytuacja, w której pojawia się prawdopodobieństwo powstania stanu niebezpiecznego dla otoczenia. Przyjmując za podstawę dziedziny, w których może wystąpić zagrożenie, wyróżnia się – wspomniane już – zagrożenia militarne i niemilitarne. Wśród tych drugich można z kolei wyszczególnić zagrożenia: polityczne, ekonomiczne (gospodarcze), psychospołeczne, ekologiczne, wewnętrzne i inne” [3].

Oprócz zagrożeń, warto również wskazać na kluczowe megatrendy istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa, tj. trendy o szczególnej sile, zakresie i obszarze oddziaływania. Zalicza się do nich: rewolucję technologiczną, rekonfigurację układu sił na arenie międzynarodowej, kryzys demokracji liberalnej, perspektywy demograficzne i zmiany klimatyczne oraz tzw. czarne łabędzie – termin stosowany w naukach ekonomicznych oznaczający nieoczekiwane zdarzenie, którego (prawie) nikt nie jest w stanie przewidzieć [4].

Wśród wskazanych trendów wyróżnić należy rewolucję technologiczną w różnych aspektach jej oddziaływania, rozwój cyfrowy, cyberprzestrzeń, sztuczną inteligencję, duże zbiory danych (ang. *big data*), które mają wpływ na wiele obszarów funkcjonowania państwa. W związku z tym stawiają one przed decydentami politycznymi, przedstawicielami świata nauki oraz analitykami ds. bezpieczeństwa wyzwania w kontekście ich wpływu na bezpieczeństwo, w tym bezpieczeństwo państwa.

Cryptoassets

The market of instruments based on blockchain technology is subject to constant changes in the technological structure, legal and economic environment, an increase in the number of cryptoassets and their capitalization. As a result of these changes, as well as due to the declining importance of traditional financial markets¹ [5], these factors influence the behaviour of individual and institutional investors. The real estate market, investments in bonds, alternative forms of investment (gold, amber, works of art), the Forex market, but also cryptoassets (including investment tokens) are increasingly important investment areas and the place of allocating assets.

With the development of the market of virtual currencies, cryptocurrencies and tokens, the perception by regulators of this area of payment and investment services is also changing. From the point of view of the reports of the European Central Bank: *Virtual currency systems* 2012 [6] and *Virtual currency systems – further analysis* from 2015 [7], virtual currencies are “a type of unregulated digital money that is issued and usually controlled by their publishers, accepted and used by the members of a specific virtual community”. However, in the context of the reports of the European Securities and Exchange Authority and the European Banking Authority, cryptoassets expressed in the position of 9 January 2019 are “a type of private property that depends primarily on cryptography and distributed ledger technology” [8–9].

According to the report of the Financial Conduct Authority, *Guidance on Cryptoassets, Consultation Paper CP19/3* [10] of January 2019, cryptoassets are most often used:

- as a medium of exchange, usually functioning as a decentralized tool to buy and sell goods and services or to facilitate the regulation of payment services;
- as an investment where companies and consumers are directly exposed to the risk of owning and trading cryptoassets or indirectly exposed by owning or trading financial instruments that relate to cryptoassets;
- as support for raising capital and/or creating decentralized networks through initial coin offering or other distribution mechanisms.

Due to the technical conditions and the complex nature of the system infrastructure, it is not an easy task to distinguish between cryptoassets in terms of terminology. According to the already quoted ESMA report, *Advice Initial Coin Offerings and Crypto-Assets*, cryptoassets can be divided into digital currencies, cryptocurrencies and tokens, while in the documents of the US Treasury Department, the collective name is convertible

¹ According to the information contained in “Puls Biznesu”, Investors focus on motor yachts, an attractive form of investment is financial involvement in yachts, which may bring profits of 8–12% per year.

Celem przedmiotowego artykułu jest zarówno analityczne i naukowe przybliżenie zagrożeń związanych z obrotem kryptoaktywami, jak również przedstawienie wniosków w zakresie instytucjonalnego i operacyjnego im przeciwdziałania.

Kryptoaktywa

Rynek instrumentów opartych o technologię *blockchain* – łańcuch bloków – podlega nieustannym zmianom konstrukcji technologicznej, otoczenia prawnego i ekonomicznego, wzrostu ilości kryptoaktywów oraz ich kapitalizacji. W efekcie tych zmian, jak również z uwagi na malejące znaczenie tradycyjnych rynków finansowych¹ [5], czynniki te wpływają na zachowania inwestorów indywidualnych i instytucjonalnych. Coraz istotniejszymi obszarami inwestycyjnymi oraz miejscem alokacji aktywów jest rynek nieruchomości, inwestycje w obligacje, alternatywne formy inwestycji (złoto, bursztyń, dzieła sztuki), rynek Forex, ale również kryptoaktywa (w tym tokeny inwestycyjne).

Wraz z rozwojem rynku wirtualnych walut, kryptowalut i tokenów zmienia się również postrzeganie przez regulatorów tego obszaru usług płatniczych i inwestycyjnych. Z punktu widzenia raportów Europejskiego Banku Centralnego: *Wirtualne systemy walut* z 2012 r. [6] oraz *Wirtualne systemy walut – dalsza analiza* z 2015 r. [7], wirtualne waluty to „rodzaj nieregulowanych, cyfrowych pieniędzy, które są wydawane i zazwyczaj kontrolowane przez ich wydawców, akceptowane i używane przez członków określonej wirtualnej społeczności”. Natomiast w kontekście raportów Europejskiego Urzędu Papierów Wartościowych i Giełd oraz Europejskiego Urzędu Nadzoru Bankowego wyrażone w stanowisku z 9 stycznia 2019 r. kryptoaktywa (ang. *cryptoassets*) to „rodzaj majątku prywatnego, który zależy przede wszystkim od kryptografii i technologii rozproszonej księgi rozrachunkowej” [8–9].

Zgodnie z raportem Financial Conduct Authority, *Guidance on Cryptoassets, Consultation Paper CP19/3* [10] ze stycznia 2019 r., kryptoaktywa najczęściej są wykorzystywane:

- jako środek wymiany, zwykle funkcjonujący jako zdecentralizowane narzędzie umożliwiające kupno i sprzedaż towarów oraz usług lub ułatwiający regulację zasad działania usług płatniczych;
- jako inwestycja, w której firmy i konsumenci są bezpośrednio narażeni na ryzyko związane z posiadaniem i handlem kryptoaktywami lub pośrednio narażeni przez posiadanie lub handel instrumentami finansowymi, które odnoszą się do kryptoaktywów;
- jako wsparcie pozyskiwania kapitału i/lub tworzenia zdecentralizowanych sieci przez publiczną emisję tokenów (ang. *initial coin offering*) lub inne mechanizmy dystrybucji.

Ze względu na uwarunkowania techniczne oraz skomplikowany charakter infrastruktury systemu dokonanie terminologicznego rozróżnienia kryptoaktywów nie jest zadaniem prostym. Zgodnie z cytowanym już raportem ESMA, *Advice Initial*

¹ Zgodnie z materiałem informacyjnym zawartym w „Pulsie Biznesu”, Inwestorzy stawiają na jachty motorowe, atrakcyjna forma inwestowania to zaangażowanie finansowe w jachty, które może przynieść zyski w kwotach 8–12% w skali roku.

virtual currency: digital currency, cryptocurrency, cryptoasset and digital asset [11].

Polish scientific and practical literature can be divided into the following terms: cryptocurrencies, virtual currencies and digital currencies [12].

Due to the civil and legal nature of trading, the need to stabilize and develop the market, transparency and ensuring the security of transactions, the market of cryptoassets is subject to national regulations that relate to the following aspects:

- cryptocurrency is a property right, is closely related to the economic interest of the rightholder, is transferable [13], is freely tradable and inherited;
- due to the identified threats, the market of cryptocurrency is subject to regulations in the area of counteracting its use for money laundering or financing terrorism;
- the possibility of taxing income from trading in cryptoassets;
- in the context of using cryptocurrencies in the area of payment services, regulations have been developed for this market, analogous to those for selected institutions of the payment services market;
- due to the use of cryptocurrencies as an investment instrument, there are regulations for this market, analogous to those for selected investment institutions and investment fund companies.

The structure and tasks of the national system of counteracting money laundering and financing terrorism are described in the Act of 1 March 2018 on counteracting money laundering and financing terrorism [14]. According to the document mentioned above, the authority competent to counteract these phenomena is the General Inspector of Financial Information. Obligated institutions and cooperating units are also essential elements of the system.

The definition of an obligated institution is subjective in nature – it indicates a catalogue of institutions (25 of them are characterized in the current Act), on which obligations in the area of counteracting money laundering and financing terrorism have been imposed [15]. Due to the definition of the catalogue of obligated institutions, the so-called cryptocurrency exchange platforms have been obliged to fulfil obligations in the area of counteracting money laundering and financing terrorism in the following areas:

- applying the so-called financial security measures;
- reporting to the GIFI the information on transactions equivalent to EUR 15,000 (in case of cash transactions equivalent to EUR 10,000), suspicious transactions;
- conducting risk analysis as part of identifying suspicious transactions;
- creating technological possibilities to suspend transactions/blocking the account.

The cooperating units are government administration bodies, local government units and other state organizational units, as well as the National Bank of Poland, the Polish Financial Supervision Authority and the Supreme Audit Office. The definition of the cooperating unit is included in art. 2 clause 2 point 8 of the Act of 1 March 2018 on counteracting money laundering and financing terrorism [14].

Coin Offerings and Crypto-Assets, kryptoaktywa możemy podzielić na waluty cyfrowe, kryptowaluty oraz tokeny, natomiast w dokumentach Departamentu Skarbu Stanów Zjednoczonych zbiorczą nazwą wymiennalną walutą wirtualną (ang. *convertible virtual currency*) określa się: walutę cyfrową (ang. *digital currency*), kryptowalutę (ang. *cryptocurrency*), wartości oparte na kryptografii (ang. *cryptoasset*) oraz aktywa cyfrowe (ang. *digital asset*) [11].

W polskojęzycznej literaturze naukowej oraz literaturze praktycznej można wyróżnić podział na następujące pojęcia: kryptowaluty, waluty wirtualne oraz waluty cyfrowe [12].

Ze względu na cywilno-prawny charakter obrotu, konieczność stabilizacji oraz rozwoju rynku, transparentności i zapewnienia bezpieczeństwa transakcji rynek kryptoaktywów podlega krajowym regulacjom, które dotyczą następujących aspektów:

- kryptowaluta jest prawem o charakterze majątkowym, pozostaje w ścisłym związku z ekonomicznym interesem uprawnionego, jest zbywalna [13], podlega swobodnemu obrotowi oraz dziedziczeniu;
- z uwagi na identyfikowane zagrożenia rynek kryptowalut podlega regulacjom w zakresie przeciwdziałania wykorzystywaniu go do prania pieniędzy lub finansowania terroryzmu;
- możliwość opodatkowania dochodów osiągniętych z tytułu obrotu kryptoaktywami;
- w kontekście wykorzystania kryptowalut w zakresie usług o charakterze płatniczym wypracowano regulacje dla tego rynku, analogiczne jak dla wybranych instytucji rynku usług płatniczych;
- ze względu na wykorzystanie kryptowalut jako instrument inwestycyjny istnieją regulacje dla tego rynku, analogiczne jak dla wybranych instytucji o charakterze inwestycyjnym oraz towarzystw funduszy inwestycyjnych.

Struktura i zadania krajowego systemu przeciwdziałania praniu pieniędzy oraz finansowaniu terroryzmu została opisana w ustawie z dnia 1 marca 2018 r. o przeciwdziałaniu praniu pieniędzy oraz finansowaniu terroryzmu [14]. Zgodnie z przywołanym dokumentem, organem właściwym w zakresie przeciwdziałania tym zjawiskom jest Generalny Inspektor Informacji Finansowej. Istotnymi elementami systemu są również instytucje obowiązane i jednostki współpracujące.

Definicja instytucji obowiązanej ma charakter podmiotowy – wskazuje na katalog instytucji (w obowiązującej ustawie scharakteryzowanych jest ich 25), na które nałożono obowiązki w zakresie przeciwdziałania praniu pieniędzy oraz finansowaniu terroryzmu [15]. W związku z takim określeniem katalogu instytucji obowiązanych tzw. platformy wymiany kryptowalut zostały zobligowane do realizowania obowiązków w obszarze przeciwdziałania praniu pieniędzy oraz finansowaniu terroryzmu w zakresie:

- stosowania wobec klientów tzw. środków bezpieczeństwa finansowego;
- raportowania do GIIF informacji o transakcjach stanowiących równowartość 15 000 euro (w przypadku realizacji transakcji gotówkowych o równowartości 10 000 euro), transakcji podejrzanych;
- prowadzenia analizy ryzyka w ramach identyfikowania transakcji podejrzanych;
- stworzenia technologicznych możliwości do wstrzymania transakcji/blokady rachunku.

On the other hand, from the point of view of the transparency of the cryptocurrency market, transaction security, and trading participants, it was important to introduce regulations on cryptoassets (virtual currencies) to the aforementioned Act, in particular their statutory definition, account definition and transactions.

According to the legal definition, virtual currencies are “digital representations of value that are not:

- a) legal tender issued by the NBP, foreign central banks or other public administration bodies;
- b) an international unit of account established by an international organization and accepted by individual countries belonging to or cooperating with that organization [16];
- c) electronic money within the meaning of the Act of 19 August 2011 on payment services;
- d) a financial instrument within the meaning of the Act of 29 July 2005 on Trading in Financial Instruments [17];
- e) bill of exchange or check;

and is tradable for legal tender and accepted as a medium, and can be electronically stored or transferred or be traded in e-commerce” [14].

In turn, in art. 2 clause 2 point 17e of this Act stipulates that “a virtual currency (cryptocurrency) account is a collection of identification data kept in an electronic form, which provides authorized persons with the possibility to use virtual currency units, including carrying out their exchange transactions” [14].

Important from the point of view of counteracting money laundering and terrorist financing was the extension of the catalogue of obligated institutions to include entities conducting business activity, consisting in the provision of services in the area [18]:

- exchanges between virtual currencies and means of payment,
- exchanges between virtual currencies,
- brokerage in exchange,
- account maintenance.

The amendment to the act [19] introduced additional solutions in the area of cryptoassets, i.e. in case of providing services in the area of trading or exchange between cryptoassets and a fiat currency (Latin *fides* – faith, legal tender) such activity is treated as a regulated activity (art. 129a.1). Therefore, in case of activities in this area, there will be an obligation to make an entry in the register of virtual currencies kept by the minister responsible for public finances. However, failure to meet the regulatory requirement will result in an administrative fine of up to PLN 100,000. Pursuant to the new regulations, the activities mentioned above may only be performed by natural persons who have not been legally convicted of an intentional crime: against the activities of state institutions and local government, against the administration of justice, credibility of documents, property, economic turnover or property interests and money turnover, and also legal persons or organizational units in which the partners have not been legally convicted on the terms set out above in relation to natural persons or for a fiscal offense.

What is also important, in accordance with the presented amendment in the area of obligated institutions operating in the field of trading or exchange between cryptoassets and fiat

Jednostkami współpracującymi są organy administracji rządowej, organy jednostek samorządu terytorialnego oraz inne państwowe jednostki organizacyjne, a także Narodowy Bank Polski, Komisja Nadzoru Finansowego i Najwyższa Izba Kontroli. Definicja jednostki współpracującej została zawarta w art. 2 ust. 2 pkt 8 ustawy z dnia 1 marca 2018 r. o przeciwdziałaniu praniu pieniędzy oraz finansowaniu terroryzmu [14].

Natomiast z punktu widzenia przejrzystości rynku kryptowalut, bezpieczeństwa transakcji, uczestników obrotu, istotne było wprowadzenie do wymienionej ustawy regulacji dotyczących kryptoaktywów (walut wirtualnych), w szczególności ich definicji ustawowej, definicji rachunku i transakcji.

Zgodnie z definicją prawną wirtualne waluty to „cyfrowe odwzorowanie wartości, które nie jest:

- a) prawnym środkiem płatniczym emitowanym przez NBP, zagraniczne banki centralne lub inne organy administracji publicznej;
- b) międzynarodową jednostką rozrachunkową ustanawianą przez organizację międzynarodową i akceptowaną przez poszczególne kraje należące do tej organizacji lub z nią współpracujące [16];
- c) pieniądzem elektronicznym w rozumieniu ustawy z dnia 19 sierpnia 2011 r. o usługach płatniczych;
- d) instrumentem finansowym w rozumieniu ustawy z dnia 29 lipca 2005 r. o obrocie instrumentami finansowymi [17];
- e) wekslem lub czekiem;

oraz jest wymienne w obrocie gospodarczym na prawne środki płatnicze i akceptowane jako środek wymiany, a także może być elektronicznie przechowywane lub przeniesione albo może być przedmiotem handlu elektronicznego” [14].

Z kolei w art. 2 ust. 2 pkt 17e tej ustawy określono, że „rachunek wirtualnej waluty (kryptowaluty) to prowadzony w formie elektronicznej zbiór danych identyfikacyjnych zapewniających osobom uprawnionym możliwość korzystania z jednostek walut wirtualnych, w tym przeprowadzania transakcji ich wymiany” [14].

Istotnym z punktu widzenia przeciwdziałania praniu pieniędzy oraz finansowaniu terroryzmu było rozszerzenie katalogu instytucji obowiązanych o podmioty prowadzące działalność gospodarczą, polegającą na świadczeniu usług w zakresie [18]:

- wymiany pomiędzy walutami wirtualnymi i środkami płatniczymi,
- wymiany pomiędzy walutami wirtualnymi,
- pośrednictwa w wymianie,
- prowadzenia rachunku.

Nowelizacja przedmiotowej ustawy [19] wprowadziła dodatkowe rozwiązania w obszarze kryptoaktywów, tj. w przypadku świadczenia usług w zakresie obrotu lub wymiany między kryptoaktywami a walutą fiducjarną (łac. *fides* – wiara, legalny środek płatniczy) taka aktywność traktowana jest jako działalność regulowana (art. 129a.1). W związku z tym, w przypadku działalności w tym zakresie, będzie istniał obowiązek dokonania wpisu do rejestru działalności w zakresie walut wirtualnych prowadzonego przez ministra właściwego do spraw finansów publicznych. Natomiast brak spełnienia wymogu regulacyjnego będzie implikował karą administracyjną o wartości do 100 000 zł. Zgodnie z nowymi przepisami powyższa działalność może być wykonywana jedynie przez

currency, the obligation to report transactions to the General Inspector of EUR 1,000, and to apply a full catalogue of financial security measures or the obligation to verify the client was introduced, including establishing personal data, PESEL number or date of birth, number of the identification document or address, determining the data of the real beneficiary – that is the person who actually exercises control over the customer.

The reason for this change was the analysis of the financial intelligence unit of transactions on this market provided by cryptocurrency exchange offices/stock exchanges and the related risks, as well as the need to implement EU regulations.

Another area of cryptoasset regulation is the tax system. Pursuant to the Act of 26 July 1991 on personal income tax [20], revenues from trading in virtual currencies were classified as revenues from capital or capital gains. The above category includes: sale, cryptocurrency payment, payment of other liabilities, sale on the free market, stock exchange or exchange office. At the same time, specific rules for taxing cryptoassets were indicated. These revenues will not be combined with other revenues from cash capitals (capital gains). Qualification as a source of income – cash capital – will be made even when the taxpayer will generate income from trading virtual currencies as part of his business. As a consequence, the loss incurred on trading in virtual currencies will not be deductible from the taxpayer's other income, e.g. from the sale of shares or from the conducted business activity.

In the context of profits from cryptocurrency trading, in connection with the conducted business activity, the provisions of art. 7b of the Act of 15 February 1992 on corporate income tax [21] apply, in which the revenues were defined as: sale, cryptocurrency payment, payment of other liabilities, sale on the free market, stock exchange, exchange office.

Tax on natural and legal persons ranges from 17% to 32%, according to the tax scale.

A separate issue is the possibility of taxing cryptocurrency transactions with VAT. However, according to the interpretation of the Ministry of Finance, "the activity in the area of buying and selling cryptocurrencies is subject to VAT as a paid service, for VAT purposes, the concept of currencies used as legal tender also includes the so-called cryptocurrency. This means that the sale and exchange of a cryptocurrency for traditional currency and vice versa, as well as the exchange of one cryptocurrency for another, as long as it is subject to VAT, benefits from VAT exemption" [22].

Another aspect of the cryptoasset regulation is the possibility of running a business for stock exchanges/exchange offices in the area of trading cryptocurrency based on the provisions of the Act of 19 August 2011 on payment services [23]. The most convenient form of conducting business in the area of cryptocurrency trading under this Act, due to low regulatory requirements, is the so-called small payment institution.

On 1 December 2016, on the initiative of the Polish Financial Supervision Authority, a Working Group for the development of financial innovations (the so-called FinTech) was established. The aim of the Group was to identify legal, regulatory and supervisory barriers to the development of FinTech in Poland and to prepare proposals for ways to eliminate them, as well as solutions and activities that could eliminate or reduce the identified barriers.

osoby fizyczne, które nie zostały prawomocnie skazane za umyślne przestępstwo: przeciwko działalności instytucji państwowych oraz samorządu terytorialnego, przeciwko wymiarowi sprawiedliwości, wiarygodności dokumentów, mieniu, obrotowi gospodarczemu czy interesom majątkowym i obrotowi pieniędzmi, a także osoby prawne bądź jednostki organizacyjne, w których wspólnicy nie zostali prawomocnie skazani na zasadach określonych powyżej w stosunku do osób fizycznych lub za przestępstwo skarbowe.

Co również istotne, zgodnie z przedstawioną nowelizacją w zakresie instytucji obowiązanych prowadzących działalność w zakresie obrotu lub wymiany między kryptoaktywami a walutą fiducyjną, wprowadzono obowiązek raportowania do Generalnego Inspektora transakcji o równowartości 1000 euro oraz stosowania pełnego katalogu środków bezpieczeństwa finansowego, czy obowiązku weryfikacji klienta, w tym ustalenia danych osobowych, numeru PESEL lub daty urodzenia, numeru dokumentu tożsamości czy adresu, ustalenie danych beneficjenta rzeczywistego – czyli osoby faktycznie sprawującej kontrolę nad klientem. Przyczyną przeprowadzenia tej zmiany były analizy jednostki analityki finansowej realizowanych transakcji na tym rynku świadczonych przez kantory/giełdy kryptowalutowe oraz związane z tym ryzyka, jak również konieczność implementowania przepisów unijnych.

Kolejnym obszarem regulacji kryptoaktywów jest system podatkowy. Zgodnie z ustawą z dnia 26 lipca 1991 r. o podatku dochodowym od osób fizycznych [20] przychody z obrotu walutami wirtualnymi zakwalifikowano do przychodów z kapitałów pieniężnych lub zysków kapitałowych. Do powyższej kategorii zalicza się: sprzedaż, zapłatę kryptowalutą, regulowanie innych zobowiązań, sprzedaż na wolnym rynku, giełdzie lub w kantorze. Wskazano jednocześnie na szczególne zasady opodatkowania kryptoaktywami. Przychody te nie będą łączone z innymi przychodami z kapitałów pieniężnych (zysków kapitałowych). Kwalifikacja do źródła przychodów – kapitały pieniężne – dokonana zostanie nawet wtedy, gdy podatnik będzie osiągał przychody z obrotu walutami wirtualnymi w ramach prowadzonej działalności gospodarczej. W konsekwencji strata poniesiona z obrotu walutami wirtualnymi nie będzie mogła być odliczona od innych dochodów podatnika, np. ze sprzedaży akcji, czy też z prowadzonej działalności gospodarczej.

W kontekście zysków osiągniętych z obrotu kryptowalutą, w związku z prowadzoną działalnością gospodarczą, zastosowanie mają przepisy art. 7b ustawy z 15 lutego 1992 o podatku dochodowym od osób prawnych [21], w których przychody określono jako: sprzedaż, zapłatę kryptowalutą, regulowanie innych zobowiązań, sprzedaż na wolnym rynku, giełdzie, kantorze.

Podatek od osób fizycznych, jak i prawnych zawiera się w przedziale od 17 do 32%, zgodnie ze skalą podatkową.

Oddzielnym zagadnieniem jest możliwość opodatkowania transakcji kryptowalutowych podatkiem VAT. Jednak zgodnie z interpretacją Ministerstwa Finansów „działalność w zakresie kupna i sprzedaży kryptowalut podlega opodatkowaniu VAT jako odpłatne świadczenie usług, dla celów VAT pojęcie walut używanych jako prawny środek płatniczy obejmuje również tzw. kryptowalutę. Oznacza to, że sprzedaż i wymiana kryptowaluty na walutę tradycyjną i odwrotnie, jak również wymiana jednej kryptowaluty na inną, o ile podlega opodatkowaniu VAT, korzysta ze zwolnienia z VAT” [22].

As part of the work of the Group in question, the Ministry of Finance proposed an optimal business model for exchanges/platforms dealing with cryptocurrency trading – the aforementioned small payment institution.

The most important requirements for this activity are:

- obtaining an entry in the register of a small payment institution kept by the Polish Financial Supervision Authority;
- the average total amount of payment transactions from the previous 12 months performed by a small payment institution (including the agents through which it provides payment services) may not exceed an amount equivalent to EUR 1,500,000 per month;
- having organizational solutions to calculate the total monthly amount of payment transactions;
- having solutions in the area of counteracting money laundering and financing terrorism;
- the total amount of measures adopted for one user at any time may not exceed the Polish currency equivalent of EUR 2,000.

In addition, a small payment institution may run a so-called hybrid activity. This means that an entity that is a small payment institution may also provide non-financial services. According to this solution, the conditions and criteria for running a business, in particular an entry in the register of services of a small payment institution, may be used by platforms/cryptocurrency exchange offices.

The Act does not exclude the possibility of conducting business activity by entities operating on the cryptoasset market as part of another form of payment services (i.e. a national payment institution, payment service offices), but these entities must already meet separate, more stringent regulatory requirements.

Also worth discussing are the assumptions of the draft regulation of the European Parliament and of the Council on cryptographic markets and amending Directive EU 2019/1937 of 24 September 2020 COM (2020) 593 [24], which includes a proposal to regulate cryptoassets, virtual currencies and tokens of utility and payment nature related to other assets. The regulatory concept in question is a breakthrough for the participants of this market, as well as for the development prospects of this market, because:

- it contains key market definitions, including the term cryptoassets, tokens as well as the issuer of cryptoassets;
- it describes the procedures related to the issuance of instruments such as cryptoassets, tokens, as well as the conditions and requirements for this emission;
- it indicates the measures necessary to implement activities which are to counteract specific irregularities.

The legal act in question does not have its final shape yet, but it will certainly be a breakthrough for the market of the cryptoassets, its development prospects, and most of all in the context of the security of transactions carried out on this market.

Kolejnym aspektem regulacji kryptoaktywów jest możliwość prowadzenia działalności gospodarczej dla giełd/kantory w zakresie obrotu kryptowalutami na podstawie przepisów ustawy z dnia 19 sierpnia 2011 r. o usługach płatniczych [23]. Najdogodniejszą formą prowadzenia działalności w zakresie obrotu kryptowalutami w ramach tej ustawy, z uwagi na niskie wymogi regulacyjne, jest tzw. mała instytucja płatnicza.

1 grudnia 2016 r., z inicjatywy Komisji Nadzoru Finansowego, powołano Zespół roboczy ds. rozwoju innowacji finansowych (tzw. FinTech). Celem prac Zespołu była identyfikacja barier natury prawnej, regulacyjnej i nadzorczej dla rozwoju FinTech w Polsce oraz przygotowanie propozycji sposobów ich eliminacji, a także rozwiązań i działań, które mogłyby wyeliminować lub ograniczyć zidentyfikowane bariery.

W ramach prac przedmiotowego Zespołu Ministerstwo Finansów zaproponowało optymalny model działalności gospodarczej dla giełd/platform zajmujących się obrotem kryptowalutą – wspomnianą już małą instytucję płatniczą.

Najistotniejszymi wymogami dla tej działalności są:

- uzyskanie wpisu do rejestru małej instytucji płatniczej prowadzonego przez Komisję Nadzoru Finansowego;
- średnia całkowita kwota transakcji płatniczych z poprzednich 12 miesięcy wykonanych przez małą instytucję płatniczą (w tym przez agentów, za pośrednictwem których świadczy ona usługi płatnicze) nie może przekraczać kwoty stanowiącej równowartość 1 500 000 euro miesięcznie;
- posiadanie rozwiązań organizacyjnych pozwalających na wyliczenie całkowitej miesięcznej kwoty transakcji płatniczych;
- posiadanie rozwiązań w zakresie przeciwdziałania praniu pieniędzy oraz finansowaniu terroryzmu;
- łączna wysokość środków przyjętych dla jednego użytkownika w każdym czasie nie może przekroczyć równowartości 2 000 euro w walucie polskiej.

Dodatkowo mała instytucja płatnicza może prowadzić tzw. działalność hybrydową. Oznacza to, że podmiot będący małą instytucją płatniczą może również świadczyć usługi niefinansowe. Zgodnie z tym rozwiązaniem warunki i kryteria prowadzenia działalności gospodarczej, a w szczególności wpis do rejestru usług małej instytucji płatniczej, może być wykorzystywany przez platformy/kantory obrotu kryptowalutą.

Ustawa nie wyklucza możliwości prowadzenia działalności gospodarczej przez podmioty działające na rynku kryptoaktywów w ramach innej z form usług płatniczych (czyli np. krajowej instytucji płatniczej, biura usług płatniczych), jednak podmioty te muszą spełniać już odrębne, bardziej rygorystyczne wymogi regulacyjne.

Warto omówienia są również założenia projektu rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie rynków kryptograficznych oraz zmieniającego dyrektywę UE 2019/1937 dnia 24 września 2020 r. COM (2020) 593 [24], w którym zawarto propozycję regulacji kryptoaktywów, wirtualnych walut oraz tokenów o charakterze użytkowym, płatniczym powiązane z innymi aktywami. Przedmiotowa koncepcja regulacyjna ma przełomowy charakter dla uczestników tego rynku, jak również perspektyw rozwoju tego rynku, ponieważ:

- zawiera kluczowe definicje dla rynku, w tym m. in. wyjaśnia znaczenie kryptoaktywów, tokenów, jak również emitenta kryptoaktywów;
- opisuje procedury związane z emisją instrumentów, takich jak: kryptoaktywa, tokeny czy warunki i wymogi dotyczące tej emisji;
- wskazuje na środki konieczne do realizacji działań w zakresie przeciwdziałaniu określonym nieprawidłowościom.

Przedmiotowy akt prawny nie posiada jeszcze ostatecznego kształtu, jednak na pewno będzie miał przełomowe znaczenie dla rynku kryptoaktywów, perspektyw jego rozwoju, ale przede wszystkim w kontekście bezpieczeństwa transakcji realizowanych na tym rynku.

Contemporary threats to the economic security of the state and cryptoassets

The term economic security is understood as “various activities (measures) in the area of national security, the main purpose of which is to ensure the economic conditions necessary for the survival, prosperity and sustainable development of the society, as well as the efficient operation of the state and its institutions, as well as the state obtained as a result of effective opposition to external and internal destructive factors that may lead to the developmental disorders” [25].

In case of economic security, we deal with its following dimensions:

- 1) “security of raw material (access to economically significant energy resources, water, metals, minerals – in the amount corresponding to the structure of the economy);
- 2) “food security (the ability of the state’s economic system to ensure the physical and economic availability of food);
- 3) financial security:
 - external (foreign debt and the ability to resist financial crises),
 - internal (the ability of public finance systems to ensure financing of the national economy and the implementation of national interests” [26].

The most important threats in the context of economic security are:

- financial and energy crises;
- tax crime related to VAT fraud, evasion of tax obligations, excise crime related to illegal production, smuggling and marketing of tobacco and spirits without excise stamps;
- financial crime to the detriment of banks related to extortion of loans to the detriment of banks, leasing and factoring funds, as well as related to the operation of parabanks, on the Forex market;
- money laundering;
- crime to the detriment of the EU’s financial interests related to the fraudulent use of EU financial support;
- unauthorized access to bank accounts by cyber criminals.

In the security environment of the market of cryptoassets, we can distinguish “threats of an internal nature – resulting from sets of various types of internal circumstances, specific

Współczesne zagrożenia bezpieczeństwa ekonomicznego państwa a kryptoaktywa

Termin bezpieczeństwo ekonomiczne jest rozumiany jako „różnorodne działania (środki) w dziedzinie bezpieczeństwa narodowego, których zasadniczym celem jest zapewnienie warunków gospodarczych koniecznych do przetrwania, dobrobytu oraz zrównoważonego rozwoju społeczeństwa, jak i sprawnego działania państwa i jego instytucji, a także stan uzyskany w wyniku skutecznego przeciwstawienia się zewnętrznym i wewnętrznym czynnikom destrukcyjnym mogącym doprowadzić do zaburzeń rozwojowych” [25].

W przypadku bezpieczeństwa ekonomicznego mamy do czynienia z następującymi jego wymiarami:

- 1) „bezpieczeństwo surowcowe (dostęp do istotnych gospodarczo surowców energetycznych, wody, metali, minerałów – w ilości odpowiadającej strukturze gospodarki);
- 2) bezpieczeństwo żywnościowe (zdolność systemu ekonomicznego państwa do zapewnienia fizycznej i ekonomicznej dostępności żywności);
- 3) bezpieczeństwo finansowe:
 - zewnętrzne (zadłużenie zagraniczne i zdolność przeciwstawienia się kryzysom finansowym),
 - wewnętrzne (zdolność systemów finansów publicznych do zapewnienia finansowania gospodarki narodowej i realizacji interesów narodowych” [26].

Najistotniejszymi zagrożeniami w kontekście bezpieczeństwa ekonomicznego są:

- kryzysy finansowe i energetyczne;
- przestępczość podatkowa związana z wyłudzeniem podatku VAT, uchylanie się od obowiązków podatkowych, przestępczość akcyzowa związana z nielegalną produkcją, przemysłem i wprowadzaniem do obrotu wyrobów tytoniowych i spirytusowych bez znaków akcyzy;
- przestępczość finansowa działająca na szkodę banków związana z wyłudzeniem kredytów na szkodę banków, funduszy leasingowych, factoringowych, jak również związana z działalnością parabanków, na rynku Forex;
- pranie pieniędzy;
- przestępczość na szkodę finansowych interesów UE związana z wyłudzeniami wsparcia finansowego UE;
- nieautoryzowany dostęp do rachunków bankowych przez cyberprzestępców.

to a given entity, which cause or may cause a disturbance of its internal stability and harmonious development in various manifestations of its activity, including weakening of its position or even loss of the possibility of survival in the environment of its functioning, and external – resulting from sets of various types of circumstances appearing in the environment of a given entity, which cause or may cause similar or the same effects” [27].

Current knowledge on cryptoassets – primarily taking into account the size of the market, the number of instruments available on the market, regulation of the activity of this area and legislative perspectives, development in the area of use as a financial or payment instrument – shows that threats to state security related to the activities of individual investors in terms of cryptoassets are declining. In 2020, the value of stolen or fraudulent cryptocurrencies decreased by 57% to \$ 1.9 billion, according to a report by CipherTrace, a cryptocurrency security company. A year earlier, this amount reached USD 4.5 billion [28].

Cryptocurrencies are less and less of a threat in terms of money laundering – due to statutory regulations in the area of counteracting money laundering and terrorist financing, international cooperation of state services and cryptocurrency exchanges and exchange offices, as well as experience in blockchain analysis, as well as the development of analysis methods by business entities professionally dealing with the issues of cyberspace research. Confirmation of the existing threats related to the use of cryptocurrencies for money laundering or financing terrorism is the inclusion of the area of economic activity related to cryptocurrency trading in the National Assessment of Money Laundering and Financing Terrorism [29].

The available reports of Europol on the activities of organized crime groups (the so-called SOCTA report) [30] show that among the most common methods of money laundering – apart from cash smuggling, the use of economic activity, the activities of specialized groups – there are also new financial payment systems (methods), including cryptocurrencies, using the ability to hide the actual beneficiary of the transaction.

Europol distinguishes the three most common mechanisms of using the cryptocurrency market for money laundering:

- the use of business activity – a cryptocurrency exchange in the process of legalizing funds from organized crime;
- use of *smurfing* transactions involving the fragmentation of cash payments to bank accounts controlled by a criminal group, then mixing and transferring funds to exchanges or other cryptocurrency market institutions;
- transfer of funds to legalize them in foreign cryptocurrency exchanges.

Cryptoassets – due to the decreasing interest in traditional investment solutions (shares, investment funds) and the innovative nature of this instrument, as well as popularity in the economic media – can be used for various types of financial fraud. It is also worth pointing out that cryptoassets do not have an explicitly regulated legal status, so the emission, purchase, use, and trading in them may be associated with various types of risks, including in particular the inability to enforce claims related to the acquisition of a given cryptoasset, the risk of losing access to it, or a significant decrease in its value [31]. Moreover, due to the

W środowisku bezpieczeństwa rynku kryptoaktywów wyróżnić możemy „zagrożenia o charakterze wewnętrznym – wynikające ze zbiorów różnego rodzaju okoliczności wewnętrznych, właściwych danemu podmiotowi, które powodują lub mogą spowodować zakłócenie jego wewnętrznej stabilności i harmonijnego rozwoju w różnych przejawach jego aktywności, włącznie z osłabieniem pozycji lub nawet utratą możliwości przetrwania w środowisku jego funkcjonowania, oraz zewnątrz – wynikające ze zbiorów różnego rodzaju okoliczności pojawiających się w otoczeniu danego podmiotu, które powodują lub mogą spowodować podobne lub takie same skutki” [27].

Z aktualnej wiedzy dotyczącej kryptoaktywów – przede wszystkim z uwzględnieniem rozmiarów rynku, liczby instrumentów dostępnych na rynku, regulacji działalności tego obszaru oraz perspektyw legislacyjnych, rozwoju w zakresie wykorzystania jako instrument finansowy czy o charakterze płatniczym – wynika, że zagrożenia dla bezpieczeństwa państwa związane z działalnością indywidualnych inwestorów w zakresie kryptoaktywów maleją. Według raportu firmy CipherTrace zajmującej się kwestiami bezpieczeństwa w obszarze kryptoaktywów, w 2020 r. wartość skradzionych lub wyłudzonych kryptowalut zmniejszyła się o 57% – do poziomu 1,9 mld USD. Rok wcześniej kwota ta sięgała 4,5 mld USD [28].

Kryptoaktywa w coraz mniejszym stopniu stanowią zagrożenia zarówno w zakresie prania pieniędzy – z uwagi na regulacje ustawowe w ramach przeciwdziałania praniu pieniędzy oraz finansowaniu terroryzmu, współpracę międzynarodową służb państwowych oraz z giełdami i kantorami kryptowalutami oraz doświadczenie w zakresie analizy blockchain, jak również wypracowanie metod analizy przez podmioty gospodarcze profesjonalnie zajmujące się problematyką badania cyberprzestrzeni. Potwierdzeniem istniejących zagrożeń związanych z wykorzystaniem kryptowalut do prania pieniędzy lub finansowania terroryzmu jest umieszczenie obszaru działalności gospodarczej związanego z obrotem kryptowalutą w Krajowej ocenie ryzyka prania pieniędzy oraz finansowania terroryzmu [29].

Z dostępnych raportów Europolu na temat działalności zorganizowanych grup przestępczych (tzw. raport SOCTA) [30] wynika, że wśród najczęściej spotykanych metod prania pieniędzy – poza praniem gotówki, wykorzystaniu działalności gospodarczej, działalności wyspecjalizowanych grup – występują również nowe systemy (metody) płatności finansowych (w tym kryptowalut), wykorzystujące możliwość ukrywania faktycznego beneficjenta transakcji.

Europol wyróżnia trzy najczęściej pojawiające się mechanizmy wykorzystania rynku kryptowalut do prania pieniędzy:

- wykorzystanie prowadzonej działalności gospodarczej – giełdy kryptowalutowej w procesie legalizowania środków finansowych pochodzących z przestępczości zorganizowanej;
- wykorzystanie transakcji *smurfingowych* polegających na rozdrabnianiu wpłat gotówkowych na kontrolowane przez grupę przestępczą rachunki bankowe, następnie mieszanie i transferowanie środków finansowych do giełd lub innych instytucji rynku kryptowalutowego;
- transfer środków finansowych w celu ich zalegalizowania w zagranicznych giełdach kryptowalutowych.

technological development, cryptocurrencies are gaining more and more importance as an investment instrument. Therefore, they can operate in the areas of various regulations: the Act on Payment Services, the Act on Trading in Financial Instruments, and the Act on Investment Funds. As a result, they may pose a threat in various dimensions of the business activity, and the operations of which may imply:

- making fraud under the guise of making financial investments;
- conducting business activity in the area of trading in financial instruments without the permission of a competent authority – art. 178 of the Act on Trading in Financial Instruments;
- running a business against the provisions of the Payment Services Act (art. 150);
- due to the growing popularity of investment tokens, as well as the lack of regulation and supervision over this market segment, this area remains susceptible to irregularities.

It is worth noting that on 12 January 2021, the Polish Financial Supervision Authority once again issued a warning about the risks associated with the acquisition and trading of cryptoassets [32] (including virtual currencies and cryptocurrencies), which contains information about the following risks: regulatory risks, market instability, no guarantees of entrusted funds, the use of cryptocurrency mixers that anonymize the history of cryptocurrency transactions, as well as the risks of using cryptocurrency-based financial services that operate outside the financial supervision system.

It should be pointed out that the level of security of entities operating in the cryptocurrency industry, carried out transactions, assets stored there, is constantly developing. However, irrespective of the above, the issue remains a challenge for the owners and managers of these entities. There is still no relevant legal provisions regulating the security of the IT systems of the companies operating in the cryptoassets industry (e.g. similar to the operation of the Bank Guarantee Fund), while the insurance of the stock exchange/currency exchange office itself, transactions and assets accumulated there, remain unprofitable for insurance companies, due to the risk of a situation covered by the contract.

Since there are no appropriate legal solutions, the liability issues related to the manipulations on the cryptoassets market are still relevant. "Market manipulation can be defined as a series of transactions involving the purchase or sale of securities with the aim of creating a false impression of an active market, or with the aim of raising or lowering market quotations in order to cause the securities to be sold or bought by other market participants" [33].

Characteristic methods of manipulating financial instruments for this market may be:

- "wash trade – carrying out a series of purchase or sale transactions of a financial instrument, but there is no change in the ownership of a specific investor/group of investors;
- painting the tape – carrying out a series of transactions about which information is available to the public in order

Kryptoaktywa – z uwagi na malejące zainteresowanie tradycyjnymi rozwiązaniami inwestycyjnymi (akcje, fundusze inwestycyjne) oraz innowacyjny charakter tego instrumentu, a także popularność w mediach ekonomicznych – mogą być wykorzystywane do różnego rodzaju oszustw finansowych. Warto również wskazać, iż kryptoaktywa nie posiadają uregulowanego wprost statusu prawnego, więc emisja, nabycie, korzystanie, a także obrót nimi może wiązać się z różnego rodzaju ryzykami, w tym w szczególności brakiem możliwości egzekucji roszczeń związanych z nabyciem danego kryptoaktywa, ryzykiem utraty do niego dostępu, czy też znacznego spadku jego wartości [31]. Ponadto kryptoaktywa z uwagi na rozwój technologiczny nabywają coraz większe znaczenie jako instrument o charakterze inwestycyjnym. W związku z powyższym mogą funkcjonować w obszarach różnych regulacji: ustawy o usługach płatniczych, ustawy o obrocie instrumentami finansowymi, ustawy o funduszach inwestycyjnych. Co za tym idzie, mogą stanowić zagrożenie w różnych wymiarach prowadzonej działalności gospodarczej. W tym zakresie za pomocą kryptoaktywów można:

- dokonywanie oszustw pod pozorem realizowania inwestycji finansowych;
- prowadzenie działalności gospodarczej w zakresie obrotu instrumentami finansowymi bez zezwolenia właściwego organu – art. 178 ustawy o obrocie instrumentami finansowymi;
- prowadzenie działalności gospodarczej wbrew przepisom ustawy o usługach płatniczych (art. 150);
- w związku ze wzrostem popularności tokenów o charakterze inwestycyjnym, jak również brakiem regulacji oraz nadzoru nad tym segmentem rynku, obszar ten pozostaje podatny na nieprawidłowości.

Warto odnotować, że 12 stycznia 2021 r. Komisja Nadzoru Finansowego po raz kolejny wydała ostrzeżenie o ryzykach związanych z nabywaniem oraz obrotem kryptoaktywami [32] (w tym walutami wirtualnymi oraz kryptowalutami), w którym zawarto informacje o zagrożeniach: ryzykach regulacyjnych, niestabilności rynku, braku gwarancji powierzonych środków finansowych, korzystaniu z mikserów kryptowalutowych, które anonimizują historię transakcji kryptowalutą, jak również ryzykach korzystania z usług finansowych opartych o kryptowalutę, które funkcjonują poza system nadzoru finansowego.

Należy zaznaczyć, że poziom bezpieczeństwa podmiotów działających w branży kryptowalut, realizowanych transakcji, przechowywanych tam aktywów, stale się rozwija. Jednak niezależnie od powyższego, przedmiotowa kwestia w dalszym ciągu pozostaje wyzwaniem dla właścicieli i osób zarządzających tymi podmiotami. W dalszym ciągu brakuje stosownych przepisów prawnych regulujących kwestie bezpieczeństwa systemów informatycznych firm działających w branży kryptoaktywów (np. zbliżonych do działalności Bankowego Funduszu Gwarancyjnego), natomiast kwestie ubezpieczenia samej giełdy/kantoru, realizowanych transakcji oraz zgromadzonych tam aktywów, pozostają dla firm ubezpieczeniowych nieoptymalne, z uwagi na ryzyko wystąpienia sytuacji objętej umową.

W związku z brakiem stosownych rozwiązań prawnych nadal aktualne są kwestie odpowiedzialności związanej z manipulacjami na rynku kryptoaktywów. „Manipulację rynkiem można

to create the impression of increased interest in a specific financial instrument or increase in price;

- placing orders without the intention to execute them – placing orders with a price limit higher/(lower) than the previously offered bid/ask prices and withdrawing them before execution;
- inflating the price of an instrument intended for sale (pump and dump) which means taking a long position in relation to the selected security, and then concluding further purchase transactions and disseminating (e.g. in forums) misleading positive information about this security in order to increase its prices” [34].

Cryptocurrencies, due to no appropriate regulations counteracting threats in the area of manipulation, are a susceptible market for the use of the practices mentioned above. Such phenomena are accompanied by the speculative nature of cryptoassets, the innovative nature of the instrument, the actual market instability, no market supervision, and no procedures specifying the requirements for informing market participants about exceeding the percentage of trade.

Another issue is the risks associated with the penetration of transaction mechanisms (cryptocurrencies) into traditional financial solutions. Cryptocurrencies are increasingly associated with services such as banking, investment and payment services. The Revolut company, providing financial services, offers its clients the opportunity to purchase cryptocurrencies via the cryptocurrency service, while Coinbase gives the possibility to borrow cryptocurrencies [35]. There are investment funds and ETFs (exchange traded funds – a fund listed on the stock exchange, reflecting the behaviour of a selected asset or index, characterized by low costs) or CFDs (contracts for difference), the portfolio of which provides the possibility of investing in cryptocurrency.

In connection with the above legal regulations, the acceptance of cryptoassets by other segments of the financial market, the constant increase in interest and the speculative nature of the market cryptoassets imply further threats related to the possibility of rapid changes in the prices of instruments related to the cryptoassets or even leads to the collapse of some projects.

zdefiniować jako serię transakcji obejmujących kupno lub sprzedaż papierów wartościowych w celu stworzenia fałszywego wrażenia aktywnego rynku lub w celu podniesienia lub obniżenia notowań rynkowych, by spowodować sprzedaż bądź kupno tych papierów przez innych uczestników rynku” [33].

Charakterystycznymi metodami manipulacji instrumentami finansowymi dla tego rynku mogą być:

- „sztuczny obrót (ang. *wash trade*) – przeprowadzanie szeregu transakcji kupna lub sprzedaży instrumentu finansowego, przy czym nie następuje zmiana posiadania określonego inwestora/grupy inwestorów;
- zafałszowywanie obrazu (ang. *painting the tape*) – przeprowadzanie szeregu transakcji, o których informacja dostępna jest publicznie, w celu wywarcia wrażenia zwiększonego zainteresowania określonym instrumentem finansowym lub wzrostu ceny;
- składanie zleceń bez zamiaru ich wykonywania – składanie zleceń z limitem cenowym wyższym/ (niższym) od wcześniej oferowanych cen kupna/sprzedaży i ich wycofywanie przed wykonaniem;
- zawyżanie ceny instrumentu przeznaczonego do sprzedaży (ang. *pump and dump*) polegające na zajęciu pozycji długiej w stosunku do wybranego papieru wartościowego, a następnie zawieraniu dalszych transakcji kupna oraz rozpowszechnianiu (np. na forach) wprowadzających w błąd pozytywnych informacji na temat tego papieru wartościowego w celu podwyższenia jego cen” [34].

Kryptowaluty z uwagi na brak stosownych regulacji przeciwdziałających zagrożeniom w zakresie manipulacji, są podatnym rynkiem do stosowania wspomnianych praktyk. Takim zjawiskom towarzyszy spekulacyjny charakter kryptoaktywów, innowacyjny charakter instrumentu, faktyczna niestabilność rynku, brak nadzoru nad rynkiem, brak procedur określających wymogi informowania uczestników rynku o przekroczeniu procentowej wysokości obrotu.

Kolejną kwestią są ryzyka związane z przenikaniem mechanizmów transakcyjnych (kryptowalut) do tradycyjnych rozwiązań finansowych. W coraz większym stopniu kryptoaktywa powiązane są z takimi usługami jak: usługi bankowe, inwestycyjne czy płatnicze. Firma Revolut, świadcząca usługi finansowe, oferuje swoim klientom możliwość nabywania za pośrednictwem serwisu kryptowalut, firma Coinbase daje z kolei możliwość pożyczania kryptowalut [35]. Powstają fundusze inwestycyjne oraz ETF (ang. *exchange traded fund* – fundusz notowany na giełdzie, odwzorowujący zachowanie wybranego aktywa lub indeksu, cechujący się niskimi kosztami) czy CFD (ang. *contract for difference* – kontrakty na różnicę cenową), których portfel przewiduje możliwość inwestycji w kryptoaktywa.

W związku z powyższym regulacje prawne, akceptacja kryptoaktywów przez inne segmenty rynku finansowego, stały wzrost zainteresowania oraz spekulacyjny jednak charakter rynku kryptoaktywów implikuje kolejne zagrożenia związane z możliwością gwałtownych zmian cen instrumentów powiązanych z kryptoaktywami lub wręcz prowadzi do upadku niektórych projektów.

Summary

Due to its technological, legal, economic and organizational structure, the market of cryptoassets in Poland poses a threat to the financial security of the state. However, due to the size of this market, its dispersed nature, and attempts to regulate, this threat is sector-specific and concerns such areas as: money laundering, financing terrorism, financial fraud, including the use of ICO (initial coin offering) and ITO (initial token offering), manipulation of values, concealing property from various forms of crime.

Cryptocurrencies are subject to national legal regulations that cover aspects of:

- civil law regarding the recognition of this asset in terms of property law;
- counteracting money laundering and financing terrorism;
- providing payment services;
- taxation of income from cryptoassets.

It should be added that the European Parliament is working on a comprehensive solution for the regulation of cryptoassets. The prepared legal act will be crucial for the recognition of these assets by the financial, payment and investment services market.

Polish financial supervision institutions, a financial intelligence unit, tax services, services dealing with the protection of the financial interests of the state as well as law enforcement identify threats related to the trading of cryptoassets. In 2018, the Prime Minister of the Republic of Poland appointed a Working Group for the analysis of significant threats to the security and the interests of consumers and the state in the economic and financial sphere in order for the competent authorities to analyze threats to the financial security of the state and to develop recommendations for the effective measures to mitigate these risks. This fact confirms that the problem of cryptoassets has been noticed and assessed as significant from the point of view of the financial interests of the state.

It is also worth presenting selected activities of the national authorities – the General Inspector of Financial Information issued on 14 July 2014 the Communication on the dangers of virtual currencies [36], also in the context of threats related to their use for money laundering, as well as signaling potential irregularities in the annual reports on its activities. Moreover, the issue of cryptoassets was indicated as a risk factor in the *National Assessment of Money Laundering and Financing Terrorism* [37].

On 22 November 2017, the Polish Financial Supervision Authority published a Communication on the sale of the so-called coins or tokens (*Initial Token Offerings – ITOs or Initial Coin Offerings – ICOs*) [38]. The public emission of cryptocurrencies is a new way of obtaining funds in a public way, using the so-called tokens or coins. By purchasing a token, the buyer obtains certain rights, most often related to the promise of issuing a unique cryptocurrency.

On 7 July 2017, the Communication of the National Bank of Poland and the Polish Financial Supervision Authority on virtual currencies was published [39]. The document in question indicates the legality of trading in this instrument, and at the same time specifies the risk related to virtual currencies:

- the risk related to the possibility of losing funds due to theft;

Podsumowanie

Rynek kryptoaktywów w Polsce – ze względu na konstrukcję technologiczną, prawną, ekonomiczną i organizacyjną – stanowi zagrożenie dla bezpieczeństwa finansowego państwa. Jednak z uwagi na rozmiary tego rynku, rozproszony charakter, podejmowane próby regulacji, zagrożenie to ma charakter sektorowy i dotyczy takich obszarów jak: pranie pieniędzy, finansowanie terroryzmu, oszustwa finansowe w tym przy wykorzystaniu procedur ICO (ang. *initial coin offering*) i ITO (ang. *initial token offering*), manipulacja wartością, ukrywanie mienia pochodzącego z różnych form przestępczości.

Kryptoaktywa podlegają krajowym regulacjom prawnym, które dotyczą aspektów:

- prawa cywilnego w zakresie uznawania tego aktywa w kategoriach prawa majątkowego;
- przeciwdziałania praniu pieniędzy oraz finansowaniu terroryzmu;
- prowadzenia usług o charakterze płatniczym;
- opodatkowania dochodów pochodzących z kryptoaktywów.

Dodać należy, iż Parlament Europejski pracuje nad kompleksowym rozwiązaniem w zakresie regulacji kryptoaktywów. Przygotowany akt prawny będzie miał przełomowe znaczenie dla uznawania tych aktywów przez rynek finansowy, usług płatniczych i inwestycyjnych.

Polskie instytucje nadzoru finansowego, jednostka analityki finansowej, służby skarbowe, służby zajmujące się ochroną finansowych interesów państwa jak również ścigania identyfikują zagrożenia związane z obrotem kryptoaktywami. Prezes Rady Ministrów RP w 2018 r. powołał Zespół roboczy ds. analizy istotnych zagrożeń bezpieczeństwa oraz interesów konsumentów i państwa w sferze gospodarczej i finansowej w celu dokonania przez właściwe organy analizy zagrożeń dla bezpieczeństwa finansowego państwa oraz wypracowania rekomendacji skutecznych działań ograniczających te ryzyka. Fakt ten potwierdza, że problem kryptoaktywów z punktu widzenia interesów finansowych państwa został dostrzeżony oraz oceniony jako istotny.

Warto również przedstawić wybrane aktywności organów krajowych – Generalny Inspektor Informacji Finansowej wydał 14 lipca 2014 r. Komunikat w sprawie niebezpieczeństw związanych z walutami wirtualnymi [36], w tym również w kontekście zagrożeń związanych z wykorzystaniem ich do prania pieniędzy, jak również sygnalizuje potencjalne nieprawidłowości w sprawozdaniach rocznych ze swojej działalności. Ponadto problematyka kryptoaktywów została wskazana jako czynnik ryzyka w *Krajowej ocenie ryzyka prania pieniędzy oraz finansowaniu terroryzmu* [37].

22 listopada 2017 r. Komisja Nadzoru Finansowego opublikowała Komunikat w sprawie sprzedaży tzw. monet lub tokenów (*Initial Token Offerings – ITOs lub Initial Coin Offerings – ICOs*) [38]. Emisja publiczna kryptowalut jest nowym sposobem pozyskiwania środków w sposób publiczny, z zastosowaniem tzw. tokenów lub monet. Przez zakup tokena nabywca uzyskuje określone uprawnienia, najczęściej związane z obietnicą emisji unikalnej kryptowaluty.

7 lipca 2017 r. opublikowano Komunikat Narodowego Banku Polskiego i Komisji Nadzoru Finansowego w sprawie „walut” wirtualnych [39]. W przedmiotowym dokumencie wskazano na

- the risk related to the lack of a guarantee of assets;
- the risk related to the lack of universal acceptability;
- the risk related to the possibility of fraud in virtual currency trading;
- the risk related to the possibility of changing the price.

Notwithstanding the above, under the Program for Counteracting and Combating Economic Crime for 2015–2020 [40], the police also identified risks related to the possibility of using virtual currencies for money laundering and cybercrime. Moreover, the identification and prevention of threats should primarily take place through the following activities:

- creating a supervisory authority competent in cryptoassets matters or extending the competences of an existing office (e.g. the Polish Financial Supervision Authority) in order to take appropriate supervisory, operational and analytical activities;
- developing the best legal and institutional solutions in the area of international cooperation of services dealing with cyber threats;
- cooperation between institutions in the area of increasing theoretical and practical knowledge on cryptoassets, the legal dimension of regulation, the functioning of market mechanisms, and identified threats;
- cooperation between public institutions and the private sector in the area of: information exchange on cryptoassets – primarily with stock exchanges/cryptocurrency exchange offices, as well as centres specializing in blockchain analysis;
- international cooperation – in the area of EU supervisory institutions over the banking and capital market, or implemented by individual services (e.g. Europol);
- carrying out joint research and development projects;
- appointing joint teams to identify threats and develop mitigating measures.

In connection with the above, it should be emphasized that national institutions and services dealing with the financial interests of the state perceive the problem of threats related to the use of cryptoassets for illegal activities and take appropriate information and operational measures to counteract these vulnerabilities. However, the constantly evolving market, instruments and options available within this market pose a challenge to state services, regulators and analysts dealing with the state's financial security and cyber threats.

legalność obrotu tym instrumentem, jednocześnie określono ryzyko związane z wirtualnymi walutami:

- ryzyko związane z możliwością utraty środków z powodu kradzieży;
- ryzyko związane z brakiem gwarancji aktywów;
- ryzyko związane z brakiem powszechnej akceptowalności;
- ryzyko związane z możliwością oszustwa w obrocie wirtualnymi walutami;
- ryzyko związane z możliwością zmiany ceny.

Niezależnie od powyższego w ramach Programu przeciwdziałania i zwalczania przestępczości gospodarczej na lata 2015–2020 [40], policja również identyfikowała ryzyka związane z możliwością wykorzystania wirtualnych walut do prania pieniędzy oraz cyberprzestępczości. Ponadto identyfikacja i przeciwdziałanie zagrożeniom powinno odbywać się przede wszystkim przez następujące działania:

- stworzenie organu nadzoru właściwego w sprawach kryptoaktywów lub rozszerzenie kompetencji istniejącego już urzędu (np. Komisji Nadzoru Finansowego), celem podjęcia stosownych działań nadzorczych, operacyjnych i analitycznych;
- wypracowanie najlepszych rozwiązań prawnych i instytucjonalnych w sferze międzynarodowej współpracy służb zajmujących się cyberzagrożeniami;
- współpracę pomiędzy instytucjami w zakresie podnoszenia wiedzy teoretycznej i praktycznej dotyczącej kryptoaktywów, prawnego wymiaru regulacji, funkcjonowania mechanizmów rynkowych, identyfikowanych zagrożeń;
- współpracę pomiędzy instytucjami publicznymi a sektorem prywatnym w zakresie: wymiany informacji dotyczącej kryptoaktywów – przede wszystkim z giełdami/kantorami kryptowalut, jak również ośrodkami specjalizującymi się w analizie łańcucha blockchain;
- współpracę międzynarodową – w zakresie unijnych instytucji nadzorczych nad rynkiem bankowym i kapitałowym, czy też realizowaną przez poszczególne służby (np. Europol);
- realizowanie wspólnych projektów naukowo-badawczych;
- powoływanie wspólnych zespołów identyfikujących zagrożenia oraz wypracowujących środki mitygujące.

W związku z powyższym należy podkreślić, że krajowe instytucje i służby zajmujące się finansowymi interesami państwa, dostrzegają problem zagrożeń związanych z wykorzystywaniem kryptoaktywów do nielegalnej działalności oraz podejmują stosowne działania o charakterze informacyjnym i operacyjnym w celu przeciwdziałania tym podatnościom. Jednak stale rozwijający się rynek, instrumenty i opcje dostępne w ramach tego rynku stanowią wyzwanie dla służb państwowych, organów regulacyjnych i analityków zajmujących się bezpieczeństwem finansowym państwa i cyberzagrożeniami.

Literature / Literatura

- [1] Aleksandrowicz T.R., *Świat w sieci. Państwa. Społeczeństwa. Ludzie. W poszukiwaniu nowego paradygmatu bezpieczeństwa narodowego*, Warszawa. 2018, 238.
- [2] Internetowy słownik języka polskiego PWN [dostęp: 28.10.2021].
- [3] Słownik terminów z zakresu bezpieczeństwa narodowego, AON, Warszawa 2008, 172.
- [4] Aleksandrowicz T.R., *Kluczowe megatrendy w bezpieczeństwie państwa XXI w.*, Warszawa 2020.
- [5] <https://www.pb.pl/inwestorzy-stawiaja-na-jachty-motorowe-1005716> [dostęp: 28.10.2021].
- [6] <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/other/virtualcurrencyschemes201210en.pdf> [dostęp: 28.10.2021].
- [7] <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/other/virtualcurrencyschemesen.pdf> [dostęp: 25.10.2021].
- [8] https://www.esma.europa.eu/sites/default/files/library/esma50-157-1391_crypto_advice.pdf [dostęp: 25.10.2021].
- [9] <https://www.eba.europa.eu/sites/default/documents/files/documents/10180/2545547/67493daa-85a8-4429-aa91-e9a5ed880684/EBA%20Report%20on%20crypto%20assets.pdf> [dostęp: 25.10.2021].
- [10] Financial Conduct Authority, *Guidance on Cryptoassets, Consultation Paper CP19/3*, January 2019, 9.
- [11] Opitek P., *Pranie pieniędzy i finansowanie terroryzmu z wykorzystaniem walut wirtualnych*, Instytut Kościuszki, Brief Programowy, https://ik.org.pl/wp-content/uploads/ik_brief_programowy_pranie-pieniedzy-i-finansowanie-terroryzmu-z-wykorzystaniem-walut-wirtualnych.pdf [dostęp: 25.10.2021].
- [12] Bela S., Kopyściański T., W. Srokosz W., *Kryptowaluty jako elektroniczne instrumenty płatnicze bez emitenta. Aspekty informatyczne, ekonomiczne i prawne*, Wrocław 2016, 52.
- [13] Zacharzewski K., *Bitcon jako przedmiot stosunków prawa prywatnego*, Monitor Prawniczy 21/2004, 1133, <https://repozytorium.umk.pl/bitstream/handle/item/2866/46.pdf?sequence=1> [dostęp: 03.12.2021].
- [14] Ustawa z dnia 1 marca 2018 r. o przeciwdziałaniu praniu pieniędzy i zapobieganiu terroryzmowi (Dz. U. 2021, poz. 1132, z późn. zm.).
- [15] Hara M., Kierzyńska R., Kołodziejcki P., *Ustawa o przeciwdziałaniu praniu pieniędzy oraz finansowaniu terroryzmu*. Komentarz, Wyd. Lexis Nexis, Warszawa, 2014, 25.
- [16] <https://www.eba.europa.eu/> [dostęp: 28.10.2021].
- [17] Ustawa z dnia 29 lipca 2005 r. o obrocie instrumentami finansowymi (Dz. U. 2005 r., nr 183, poz. 1538).
- [18] Ustawa z dnia 1 marca 2021 r. o zmianie ustawy o przeciwdziałaniu praniu pieniędzy oraz finansowaniu terroryzmu oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. 2021, poz. 1132, z późn. zm.).
- [19] Ustawa z dnia 30 marca 2021 r. o zmianie ustawy o przeciwdziałaniu praniu pieniędzy oraz finansowaniu terroryzmu oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. 2021, poz. 815).
- [20] Ustawa z dnia 26 lipca 1991 r. o podatku dochodowym od osób fizycznych (Dz. U. 2021., poz. 1128 z późn. zm.).
- [21] Ustawa z 15 lutego 1992 o podatku dochodowym od osób prawnych (Dz. U. 2020, poz. 1406 z późn. zm.).
- [22] Skutki podatkowe obrotu kryptowalutami w PIT, VAT i PCC, Komunikat Ministerstwa Finansów z 4 kwietnia 2018 r., https://www.kis.gov.pl/wiadomosci/aktualnosci/-/asset_publisher/JSs9/content/id/7793320 [dostęp: 28.10.2021].
- [23] Ustawa z dnia 19 sierpnia 2011 r. o usługach płatniczych (Dz.U. 2011., Nr 199, poz. 1175).
- [24] Projekt rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 24 września 2020 r. w sprawie rynków kryptograficznych oraz zmieniający dyrektywę UE 2019/1937, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020PC0593> [dostęp: 28.10.2021].
- [25] Gryz J., Kitler W. (red.), *Identyfikacja, klasyfikacja, podział i uzasadnienie pojęcia, istoty składników i zakresu bezpieczeństwa państwa*, Wyd. AON, Warszawa 2014, 33.
- [26] Książkowski K.M., *Bezpieczeństwo ekonomiczne*, Dom Wydawniczy Elipsa, Warszawa 2011, 22.
- [27] Kitler W., *Bezpieczeństwo narodowe RP. Podstawowe kategorie. Uwarunkowania. System*, Wyd. AON, Warszawa 2011, 60.
- [28] Stasiuk T., *W 2020 r. było mniej przestępstw związanych z kryptowalutami*, „Puls Biznesu” 2021, <https://www.pb.pl/w-2020-r-bylo-mniej-przestepstw-zwiazanych-z-kryptowalutami-1106786> [dostęp: 04.09.2021].
- [29] Ministerstwo Finansów, *Krajowa ocena ryzyka prania pieniędzy oraz finansowania terroryzmu*, Warszawa 2019, <https://www.gov.pl/web/finanse/krajowa-ocena-ryzyka-prania-pieniedzy-oraz-finansowania-terroryzmu> [dostęp: 04.09.2021].
- [30] <https://www.europol.europa.eu/socta-report> [dostęp: 04.09.2021].
- [31] Stanowisko Urzędu Komisji Nadzoru Finansowego w sprawie wydawania i obrotu kryptoaktywami, https://www.knf.gov.pl/knf/pl/komponenty/img/Stanowisko_UKNF_ws_wydawania_i_obrotu_kryptoaktywami_71794.pdf, [dostęp: 07.09.2021].
- [32] Ostrzeżenie Urzędu Komisji Nadzoru Finansowego o ryzykach związanych z nabywaniem oraz z obrotem kryptoaktywami w tym walutami wirtualnymi oraz kryptowalutami, https://www.knf.gov.pl/knf/pl/komponenty/img/Ostrzezenie_UKNF_o_ryzykach_zwiazanych_z_nabywaniem_oraz_z_obrotem_kryptoaktywami_72241.pdf [dostęp: 07.09.2021].
- [33] Iczetkin A., Hernik A., *Manipulacje i oszustwa na rynku kapitałowym*, „Finanse i Prawo Finansowe” 2019, 3(23), 9–24, http://www.finanseiprawofinansowe.uni.lodz.pl/Publikacje/24/1_Iczetkin_Hernik.pdf [dostęp: 28.10.2021].
- [34] Huczek S., *Manipulacja instrumentami finansowymi, 2013 r.*, <https://www.ncbiuletyn.pl/czytaj/1552-m-anipulacja-instrumentami-finansowymi-cz-1-2.html> [dostęp: 28.10.2021].
- [35] SEC grozi pozwaniem Coinbase w związku z pożyczkami kryptowalutowymi, <https://www.pb.pl/sec-grozi- pozwaniem-coinbase-w-zwiazku-z-pozyczkami-kryptowalutowymi-1126819> [dostęp: 10.09.2021].
- [36] https://mf-arch2.mf.gov.pl/web/bip/ministerstwo-finansow/dzialalnosc/giif/komunikaty/-/asset_publisher/8KnM/content/id/2955254 [dostęp: 10.09.2021].

- [37] <https://www.gov.pl/web/finanse/krajowa-ocena-ryzyka-prania-pieniedzy-oraz-finansowania-terroryzmu> [dostęp: 28.10.2021].
- [38] https://www.knf.gov.pl/o_nas/komunikaty?articleId=60178&p_id=18 [dostęp: 28.10.2021].
- [39] https://www.knf.gov.pl/o_nas/komunikaty?articleId=57363&p_id=18 [dostęp: 28.10.2021].
- [40] <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WMP20150001069/O/M20151069.pdf> [dostęp: 28.10.2021].

JACEK CHARATYNOWICZ, PH.D. – has a PH.D. degree in security sciences, in his research work he takes up the subject of economic aspects of security in the context of threats related to new technologies (cryptoassets).

DR JACEK CHARATYNOWICZ – doktor nauk o bezpieczeństwie, w swojej pracy badawczej podejmuje tematykę ekonomicznych aspektów bezpieczeństwa w kontekście zagrożeń związanych z nowymi technologiami (kryptoaktywa).



CNBOP-PIB

TWÓJ PARTNER W
BEZPIECZEŃSTWIE

SZKOLENIA CNBOP-PIB



**szkolenia dla rzeczoznawców
ds. zabezpieczeń ppoż.**



**szkolenia dla projektantów,
instalatorów i konserwatorów**



**szkolenia dotyczące wyrobów
stosowanych w ochronie ppoż.**

GWARANTUJEMY

- ✓ wysoki poziom merytoryczny
- ✓ zróżnicowany stopień zaawansowania
– dostosowany do wiedzy i umiejętności kursantów
- ✓ optymalny dobór zagadnień
- ✓ wykwalifikowaną kadrę wykładowców

OFERUJEMY

- ✓ aktualną wiedzę i praktyczne
umiejętności w wybranym obszarze
- ✓ uznawany na rynku certyfikat lub zaświadczenie
- ✓ ćwiczenia projektowe

WYKAZ SZKOLEŃ

- 01** | Szkolenie dla rzeczoznawców do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych
- 02** | Szkolenie dla projektantów systemów wentylacji pożarowej w obiektach budowlanych
- 03** | Szkolenie dla projektantów, instalatorów i konserwatorów dźwiękowych systemów ostrzegawczych
- 04** | Szkolenie: Przegląd i konserwacja systemów wentylacji pożarowej w obiektach budowlanych
- 05** | Szkolenie: Zagrożenia pożarowe związane z użytkowaniem instalacji elektrycznych. Wymagania w zakresie zasilania w warunkach pożaru
- 06** | Szkolenie dla konserwatorów systemów sygnalizacji pożarowej
- 07** | Szkolenie dla konserwatorów podręcznego sprzętu gaśniczego
- 08** | Szkolenie dla projektantów, instalatorów i konserwatorów systemów sygnalizacji pożarowej
- 09** | Szkolenie: Stałe urządzenia gaśnicze tryskaczowe w ochronie przeciwpożarowej
- 10** | Szkolenie: Instrukcja bezpieczeństwa pożarowego. Praktyczne wskazówki opracowania dokumentu z przykładami
- 11** | Szkolenie: Dyrektywa ATEX. Ocena ryzyka związanego z możliwością wystąpienia atmosfer wybuchowych – podejście praktyczne
- 12** | Szkolenie: Przeciwożarowy wyłącznik prądu „PWP”
- 13** | Szkolenie z zakresu ochrony ppoż. dotyczące drzwi i innych zamknięć przeciwpożarowych. Dobór, montaż, przegląd i konserwacja
- 14** | Szkolenie: Planowanie i organizacja ewakuacji ludzi z budynków
- 15** | Szkolenie dla konserwatorów hydrantów zewnętrznych i wewnętrznych
- 16** | Szkolenie: Oddymianie grawitacyjne
- 17** | Szkolenie: Stałe urządzenia gaśnicze gazowe w ochronie przeciwpożarowej
- 18** | Oświetlenie awaryjne – projektowanie, instalacja i konserwacja
- 19** | Warsztat tematyczny z zakresu „Wytucznych CNBOP-PIB W-0007:2020 Integracja Systemów Bezpieczeństwa Pożarowego Obiektów Budowlanych”
- 20** | Szkolenie Inspektorów Ochrony Przeciwożarowej

PEŁNA OFERTA ORAZ TERMINARZ SZKOLEŃ NA STRONIE WWW.CNBOP.PL

Zapytania w sprawie szkoleń prosimy kierować na adres e-mail: ds@cnbop.pl lub tel. (+48) 22 76 93 221, 391, 368

Paweł Musiał^{a)*}

^{a)} *Medical University of Silesia in Katowice, Chair and Department of Emergency Medicine in Zabrze / Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Katedra i Zakład Anestezjologii, Intensywnej Terapii i Medycyny Ratunkowej w Zabrzu*

* *Corresponding author / Autor korespondencyjny: musial6@op.pl*

Road Accidents Involving Motorcyclists in the Practice of Emergency Medical Teams – Statistical Analysis of the Effects of Motorcycle Accidents on Polish Roads in 2019

Zdarzenia komunikacyjne z udziałem motocyklistów w praktyce zespołów ratownictwa medycznego – analiza statystyczna skutków wypadków motocyklowych na polskich drogach w roku 2019

ABSTRACT

Purpose: The aim of the article was to analyze motorcycle accidents in Poland on the basis of statistical data from the Polish Police Headquarters from 2019. The author presents the collected data in the form of charts, broken down by causes, the number of events in individual months, and the age of the perpetrators, injured and victims. The work also deals with the issue of dealing with victims of motorcycle accidents as part of first aid and rescue.

Introduction: Every year, the number of casualties on Polish roads is increasing. Accidents affect all forms of transport and communication. Modern technologies used in the production of motor vehicles, a number of forms of improving their skills available to drivers offered by training entities and the improving infrastructure of roads in the country predispose to increased traffic on Polish roads. Drivers often lose control of their vehicles, forgetting about the potential dangers of recklessness and irresponsibility. Various types of traffic incidents involving these vehicles then take place. The chances of motorcyclists during traffic accidents, despite the security measures used in helmets and protective clothing, are small.

Methodology: The main research tool used during the work on the article was the analysis of data contained in the documentation. The data presented in this study constitute the material entitled Road accidents in Poland in 2019 provided by the General Police Headquarters (KGP) Road Traffic Office. The author has made a statistical analysis of the above-mentioned data to visualize road accidents involving motorcyclists and their consequences. The events in which a motorcyclist was injured and the most common causes of accidents caused by motorcyclists, the age of the perpetrators of accidents – motorcyclists, as well as fatalities and injuries in these road accidents are presented.

Conclusions: In 2019, motorcyclists made up a large group of people who died or were seriously injured in road accidents. The number of traffic accidents and the number of killed motorcyclists is greater than 2018. Data analysis allowed to define the most common causes of accidents involving motorcyclists caused by drivers of other vehicles. These include: failure to give right-of-way and incorrect behavior on the road while driving, such as turning, changing lanes or overtaking. On the other hand, the most common causes of accidents caused by motorcyclists are: excessive speed, incorrect overtaking, no safe distance from other vehicles, failure to give right-of-way.

Keywords: motorcycle accidents, emergency medical team, multi-organ trauma

Type of article: review article

Received: 17.09.2021; Reviewed: 08.10.2021; Accepted: 11.11.2021;

Author's ORCID ID: P. Musiał – 0000-0002-7264-5305;

Please cite as: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 180–202, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.11>;

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 była analiza wypadków motocyklowych w Polsce na podstawie danych statystycznych Komendy Głównej Policji z 2019 r. Autor przedstawił zebrane dane w formie wykresów z podziałem na przyczyny, liczbę zdarzeń w poszczególnych miesiącach, wiek sprawców, rannych i ofiar. W pracy poruszona została również problematyka postępowania z poszkodowanymi w wypadkach motocyklowych w ramach pierwszej pomocy i ratownictwa.

Wprowadzenie: Każdego roku liczba poszkodowanych na polskich drogach jest coraz większa. Wypadki dotyczą wszystkich form transportu i komunikacji. Nowoczesne technologie stosowane w produkcji pojazdów mechanicznych, szereg dostępnych dla kierowców form doskonalenia swoich umiejętności oferowanych przez podmioty szkoleniowe oraz poprawiająca się infrastruktura dróg w kraju predysponują do wzmożonego ruchu na polskich drogach. Kierowcy wielokrotnie tracą panowanie nad swoimi pojazdami, zapominając o potencjalnych zagrożeniach, jakie niesie brawura i nieodpowiedzialność.

Dochodzi wówczas do różnego rodzaju zdarzeń komunikacyjnych z udziałem tych pojazdów. Szanse motocyklistów podczas wypadków komunikacyjnych, mimo zabezpieczeń stosowanych w kaskach i odzieży ochronnej, są niewielkie.

Metodologia: Głównym narzędziem badawczym zastosowanym podczas pracy nad artykułem była analiza danych zawartych w dokumentacji. Przedstawione w niniejszym opracowaniu dane stanowią materiał pt. Wypadki drogowe w Polsce w roku 2019 r. udostępniony przez Biuro Ruchu Drogowego Komendy Głównej Policji. Autor dokonał analizy statystycznej ww. danych celem zobrazowania wypadków drogowych z udziałem motocyklistów i ich skutków. Przedstawiono zdarzenia, w których poszkodowany został motocyklista oraz najczęstsze przyczyny spowodowanych przez nich wypadków oraz ich wiek, a także ofiary śmiertelne i ranne w tych zdarzeniach drogowych.

Wnioski: W roku 2019 motocykliści stanowili dużą grupę osób, które zginęły lub odniosły poważne urazy w wypadkach drogowych. Liczba wypadków komunikacyjnych oraz liczba zabitych motocyklistów jest większa niż w 2018 roku. Analiza danych pozwoliła na zdefiniowanie najczęstszych przyczyn wypadków z udziałem motocyklistów spowodowanych przez kierujących innymi pojazdami. Należą do nich: nieudzielenie pierwszeństwa przejazdu oraz nieprawidłowe zachowania na drodze w trakcie jazdy, tj. skręt, zmiana pasa ruchu czy wyprzedzanie. Natomiast najczęstsze przyczyny wypadków spowodowane przez motocyklistów to: nadmierna prędkość, nieprawidłowe wyprzedzanie, brak bezpiecznej odległości od innych pojazdów, nieudzielenie pierwszeństwa przejazdu.

Słowa kluczowe: wypadki motocyklowe, zespół ratownictwa medycznego, uraz wielonarządowy

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 17.09.2021; **Zrecenzowany:** 08.10.2021; **Zaakceptowany:** 11.11.2021;

Identyfikator ORCID autora: P. Musiał – 0000-0002-7264-5305

Proszę cytować: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 180–202, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.11>;

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

Introduction

Along with the technological progress in the field of motor vehicle production, the improvement of the quality of roads and the possibility of improving one's driving skills, the mobility of people increases, meaning increased traffic on Polish roads. Drivers often do not comply with the applicable rules, often drive too fast, losing control of their vehicles and forgetting about the potential dangers of bravado and irresponsibility. Then, there are various types of communication incidents involving these vehicles, their drivers and often passengers. Pedestrians are also victims of dangerous events, such as road accidents. Trauma and their consequences in the form of injuries are classified from minor to severe (including fatal).

Motorcyclists' chances of not being injured in traffic accidents are low. The motorcyclist on the part of his/her vehicle is not protected against possible injuries. Protection during dangerous incidents on the road while driving is only provided by a professional suit, helmet, boots and gloves. Helping a motorcyclist requires knowledge of rescue rules, both at the stage of first aid and emergency medical services. The ability to remove the helmet is of particular importance. Difficulties arise precisely at this stage and in case of the rider's protective clothing, which is often a one-piece suit with multiple protectors.

Motorcycle accidents usually involve much more advanced mechanisms than in non-motor sports. The most common mechanisms of spinal injury are hyperextension, hyperflexion, compression, and rotation. Lateral loads or stretching are much less likely to injure the spinal cord. Rotation is a common cause of blunt back injury in motorcyclists. This causes the neck and head or torso to rotate excessively, causing one part of the spine to

Wstęp

Wraz z postępem technologicznym w zakresie produkcji pojazdów mechanicznych, poprawą jakości dróg oraz możliwościami doskonalenia umiejętności jazdy samochodem czy motocyklem wzrasta mobilność ludzi, co przekłada się na wzmożony ruch na polskich drogach. Kierowcy często nie stosują się do obowiązujących zasad, wielokrotnie jeżdżą za szybko tracąc panowanie nad swoimi pojazdami i zapominając o potencjalnych zagrożeniach, jakie niesie brawura i nieodpowiedzialność. Dochodzi wówczas do różnego rodzaju zdarzeń komunikacyjnych z udziałem tych pojazdów, ich kierowców i niejednokrotnie pasażerów. W przebiegu niebezpiecznych zdarzeń, jakimi są wypadki komunikacyjne, bywają poszkodowani także piesi. Urazy i ich następstwa klasyfikuje się w skali od niewielkich do ciężkich (włącznie ze śmiertelnymi).

Szanse motocyklistów, żeby nie odnieść żadnych obrażeń podczas wypadków komunikacyjnych, są niewielkie. Motocyklista ze strony swojego pojazdu nie jest niczym zabezpieczony przed ewentualnymi urazami. Ochronę podczas niebezpiecznych zdarzeń na drodze w trakcie jazdy stanowi jedynie profesjonalny kombinezon, kask, wysokie buty i rękawice. Udzielenie pomocy motocykliście wymaga znajomości zasad ratowniczych zarówno w zakresie pierwszej pomocy, jak i ratownictwa medycznego. Szczególne znaczenie ma umiejętność zdejmowania kasku. Trudności pojawiają się właśnie na tym etapie oraz w sytuacji, gdy elementem ubioru ochronnego motocyklisty jest jednoczęściowy kombinezon z wieloma protektorami ochronnymi.

Wypadki motocyklowe wiążą się zwykle z działaniem znaczenie bardziej zaawansowanych mechanizmów niż w sportach niemotorowych. Najczęstsze mechanizmy urazu kręgosłupa to nadmierny wyprost lub zgięcie, kompresja i rotacja. Obciążenia

move towards the other. The second mechanism is hyperflexia or overbending. It is characterized by excessive forward movement of the head and neck, causing the above-mentioned structures to strongly bend onto the chest [1]. Each traffic accident should be considered as three independent collisions, i.e. a vehicle collision with an obstacle, a victim's collision with the vehicle components or – in the event of ejection – with a hard surface and internal organs collision [2].

The consequences of these events often turn out to be irreversible for motorcyclists and their passengers. Often, drivers of cars with which motorcyclists collide, are also killed in such events. It is worth paying attention to the scale of the car's destruction. It can be so damaged that it needs to be secured by specialized rescue units equipped with hydraulic equipment for cutting open vehicle body.

The cervical spine, due to the lack of protection from motorcycle clothing and its advantages in terms of mobility, is the most exposed to serious injuries in motorcycle accidents. A complication of a spine injury is frequently spinal cord injury that leads to a relatively hypovolemic, otherwise known as distributive shock. It manifests itself in hypotension, normal color and warmth of the skin, slow pulse. The drop in blood pressure is the result of a loss of vascular tone, while bradycardia is the result of the opposite effect of the vagus nerve on the heart. Spinal shock often appears as the first neurological condition that occurs after spinal cord injury. It is characterized by complete inhibition of spinal cord activity, i.e. flaccid paralysis and areflexia (complete abolition of reflexes) [3]. The lower and upper limbs as well as the pelvis are other areas of the body of the motorcyclists that suffer trauma and injuries, including traumatic amputations. Blunt injuries of the abdominal cavity, chest, and brain are also part of the range of injuries suffered by motorcyclists after road accidents. All traumatic conditions during motorcyclists' accidents very often form a component of the following injuries:

1. Multiple injuries – simultaneous injuries of at least two body parts, each of which is an indication for hospitalization and requires specialist treatment.
2. Multi-organ injuries – injuries of at least two organs in a given body area.
3. Multiple injuries – various injuries of different parts of the body [4].

These injuries require advanced rescue techniques at the scene and in pre-hospital care, rapid transport to a destination center and highly specialized treatment. Pre-hospital care activities in the practice of Emergency Medical Service (EMS) are based on the ITLS/PHTLS (International Trauma Life Support/Prehospital Trauma Life Support) and ALS (Advance Life Support) algorithms. Many injured motorcyclists require air transport to the destination centers, which is offered by the Helicopter Emergency Medical Services (HEMS). Centers specialized in the treatment of patients with polytrauma are highly profiled Trauma Centers.

Costs allocated to their hospitalization and rehabilitation are very important elements in the process of widely understood systemic actions with trauma patients. Years of life lost, losses in

boczne lub rozciągnięcie znacznie rzadziej prowadzą do obrażeń rdzenia kręgowego. Rotacja to częsta przyczyna tępego urazu kręgosłupa u motocyklistów. Dochodzi wówczas do nadmiernego przemieszczenia szyi i głowy lub tułowia, powoduje to ruch jednej części kręgosłupa w stosunku do drugiej. Drugi mechanizm stanowi hiperflexja, czyli nadmierne zgięcie. Charakteryzuje się on nadmiernym ruchem głowy i szyi do przodu, a w efekcie powoduje silne przygięcie wymienionych struktur na klatkę piersiową [1]. Każdy wypadek komunikacyjny powinien być rozpatrywany jako trzy niezależne zderzenia, tj. zderzenie pojazdu z przeszkodą, zderzenie ofiary z elementami pojazdu lub w przypadku wyrzucenia – z twardym podłożem oraz zderzeniem narządów wewnętrznych [2].

Następstwa omawianych zdarzeń wielokrotnie okazują się nieodwracalne dla motocyklistów i ich pasażerów. Często w tego typu zdarzeniach giną również kierowcy samochodów, z którymi dochodzi do kolizji. Warto zwrócić uwagę na skalę zniszczenia samochodu. Bywa ona tak znacząca, że pojazd wymaga zabezpieczenia przez wyspecjalizowane jednostki ratownicze, które posiadają na swoim wyposażeniu sprzęt hydrauliczny do rozcinania karoserii pojazdów.

Kręgosłup szyjny z powodu braku ochrony ze strony odzieży motocyklowej oraz swoich właściwości w kwestii ruchomości jest najbardziej narażony na ciężkie obrażenia podczas wypadków motocyklowych. Powikłaniem urazu kręgosłupa jest często uraz rdzenia kręgowego, który prowadzi do wystąpienia wstrząsu względnie hipowolemicznego, inaczej dystrybucyjnego. Objawia się on hipotonią, prawidłowym kolorem i uciepleniem skóry, wolnym tętnem. Spadek ciśnienia to wynik utraty napięcia naczyniowego, bradycardia jest następstwem przeciwnego wpływu nerwu błędnego na serce. Często jako pierwszy stan neurologiczny występujący po uszkodzeniu rdzenia kręgowego pojawia się wstrząs rdzeniowy. Charakteryzuje się on zupełnym zahamowaniem czynności rdzenia, tj. porażeniem wiotkim i areflexją (całkowite zniesienie odruchów) [3]. Kończyny dolne i górne oraz miednica to kolejne obszary ciała motocyklistów doznające urazów i obrażeń, z amputacjami urazowymi włącznie. Tępe urazy jamy brzusznej, klatki piersiowej, mózgu wpisują się także w wachlarz odnoszonych obrażeń u motocyklistów po wypadkach komunikacyjnych. Wszelkie stany urazowe podczas wypadków motocyklistów bardzo często składają się z następujących obrażeń:

1. Mnogie obrażenia ciała – jednoczesne obrażenia co najmniej dwóch okolic ciała, z których obrażenie każdej stanowi wskazanie do hospitalizacji i wymaga specjalistycznego leczenia.
2. Obrażenia wielonarządowe – obrażenia co najmniej dwóch narządów danej okolicy ciała.
3. Obrażenia wielomiejscowe – różnorodne obrażenia różnych okolic ciała [4].

Wymienione obrażenia wymagają zaawansowanych technik ratownictwa na miejscu zdarzenia i w opiece przedszpitalnej, szybkiego transportu do ośrodka docelowego oraz wysoko wyspecjalizowanego leczenia. Działania opieki przedszpitalnej w praktyce zespołów ratownictwa medycznego (ZRM) opierają się na algorytmach ITLS/PHTLS (ang. *International Trauma Life Support/Prehospital Trauma Life Support*) oraz ALS (ang. *Advance*

GDP production (gross domestic product), and reduced productivity as a result of temporary or permanent inability to work are taken into account.

Research methodology

The paper is of research nature presenting statistical data. In developing the results of the study, the reporting method was used, on the basis of which the data results were interpreted using the following elements. The main research tool used in the study was the analysis of data contained in the documentation. The data presented in this study consists of the material provided by the Road Traffic Office of the Police Headquarters – scaled Road accidents in Poland in 2019. The study used qualitative and quantitative data analysis. Qualitative data was the description and interpretation of the content contained in the documentation.

The essence of the method of examining documents consists of collecting, selecting, describing and scientifically interpreting the facts that are of interest. Thus, it is an analysis consisting in the description and interpretation of specific elements and achievements in the process of a specific action [5]. Quantitative data consisted of numerical information that was collected in sheets and then presented in column and pie charts and a comparative table in the form of numerical values. The next step was analyzing the collected material.

The author made a statistical analysis on the basis of the material provided by the Police Headquarters in order to illustrate road accidents and their consequences involving motorcyclists, taking into account the division into days of the week, other road users perpetrators, where a motorcyclist was injured and the most common causes of accidents caused by motorcyclists, also fatalities and injuries in these road accidents.

Results

In 2019, motorcyclists were involved in 2,630 road accidents, in which 282 motorcycle drivers and 13 passengers were killed, and 2,161 motorcyclists and 221 motorcycle passengers were injured. Compared to the previous year, the number of accidents decreased by 45 (-1.7%), the number of injured by 79 (-3.5%), with an increase in the number of killed motorcyclists by 56 (+24.8%), and their killed passengers – by 1 person (+8.3%). Among the injured there was a decrease by 12 (-5.2%).

Life Support). Wielu poszkodowanych motocyklistów wymaga szybkiego transportu do ośrodków docelowych oferowanego przez Lotnicze Pogotowie Ratunkowe (LPR). Ośrodki wyspecjalizowane w leczeniu pacjentów z politraumą to wysoko wyprofilowane centra urazowe (CU).

Bardzo ważnymi elementami w procesie szeroko rozumianych działań systemowych z pacjentami urazowymi są koszty przeznaczane na ich hospitalizację oraz rehabilitację. Uwzględnia się utracone lata życia, poniesione straty w produkcji krajowym brutto (PKB), zmniejszoną produktywność w następstwie czasowej lub trwałej niezdolności do pracy.

Metodologia badań własnych

Praca ma charakter badawczy prezentujący dane statystyczne. W opracowywaniu wyników użyto metody raportowania, na podstawie której zinterpretowano wyniki danych z wykorzystaniem elementów opisanych poniżej. Głównym narzędziem badawczym była analiza danych zawartych w dokumentacji. Przedstawione w niniejszym opracowaniu dane stanowią materiał udostępniony przez Biuro Ruchu Drogowego Komendy Głównej Policji (KGP) pt. Wypadki drogowe w Polsce w roku 2019. W pracy posłużono się jakościową oraz ilościową analizą danych. Dane jakościowe stanowił opis oraz interpretacja treści zawartych w dokumentacji.

Metoda badania dokumentów w swojej zasadniczej istocie polega na gromadzeniu, selekcji, opisie i naukowej interpretacji faktów. Jest to zatem analiza polegająca na opisie i interpretacji konkretnych elementów i dokonań w procesie jednoznacznego działania [5]. Dane ilościowe stanowiły informacje liczbowe, które zostały zgromadzone w arkuszach, a następnie przedstawione na wykresach kolumnowych i kołowych oraz w tabeli porównawczej w postaci wartości liczbowych. Kolejnym etapem było przeanalizowanie zgromadzonego materiału.

Autor dokonał analizy statystycznej na podstawie udostępnionego materiału przez KGP celem zobrazowania wypadków drogowych i ich skutków z udziałem motocyklistów, uwzględniając podział na dni tygodnia, innych sprawców użytkowników dróg, gdzie poszkodowany został motocyklista oraz najczęstsze przyczyny wypadków spowodowanych przez motocyklistów, wiek sprawców wypadków – motocyklistów, a także ofiary śmiertelne i ranne w tych zdarzeniach drogowych.

Wyniki

W 2019 r. motocykliści uczestniczyli w 2630 wypadkach drogowych, w których zginęło 282 kierujących motocyklami i 13 ich pasażerów, a 2161 motocyklistów i 221 pasażerów motocykli zostało rannych. W porównaniu do roku ubiegłego liczba wypadków zmniejszyła się o 45 (-1,7%), liczba rannych o 79 (-3,5%), przy wzroście liczby zabitych motocyklistów o 56 (+24,8%), a ich zabitych pasażerów o 1 osobę (+8,3%). Wśród rannych nastąpił spadek o 12 (-5,2%).

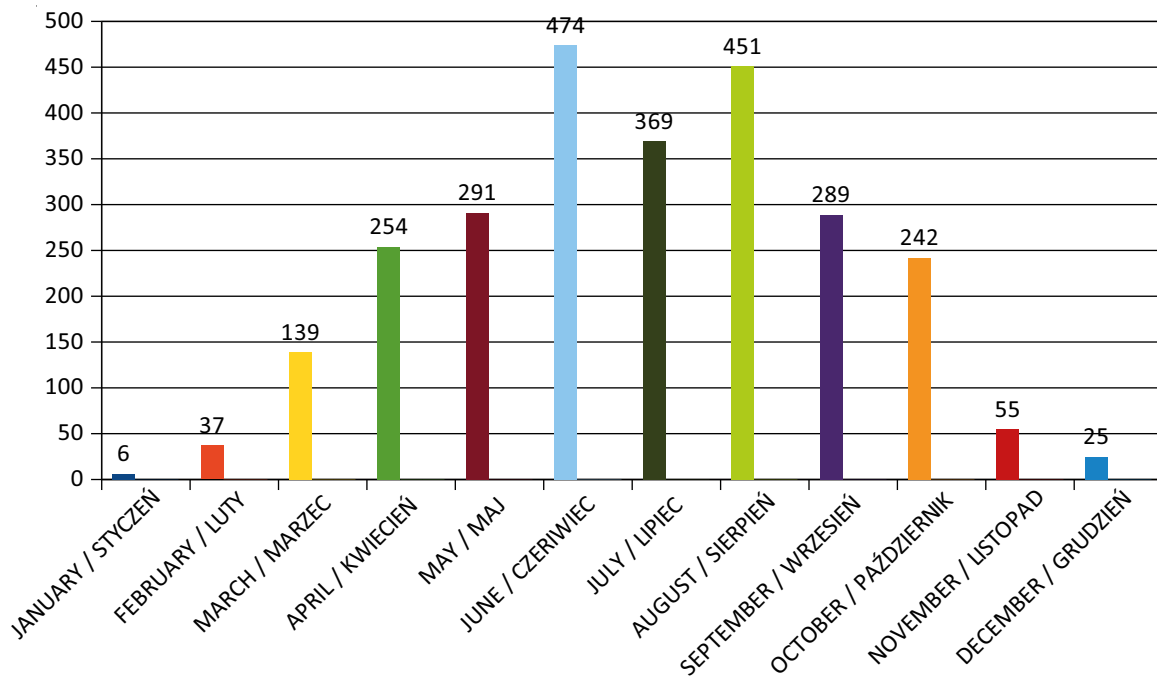


Figure 1. Road accidents and their consequences involving motorcyclists – accidents by months
Rycina 1. Wypadki drogowe i ich skutki z udziałem motocyklistów – wypadki wg miesięcy

Source: Police Headquarters Statistics [22].

Źródło: Dane statystyczne Komendy Głównej Policji [22].

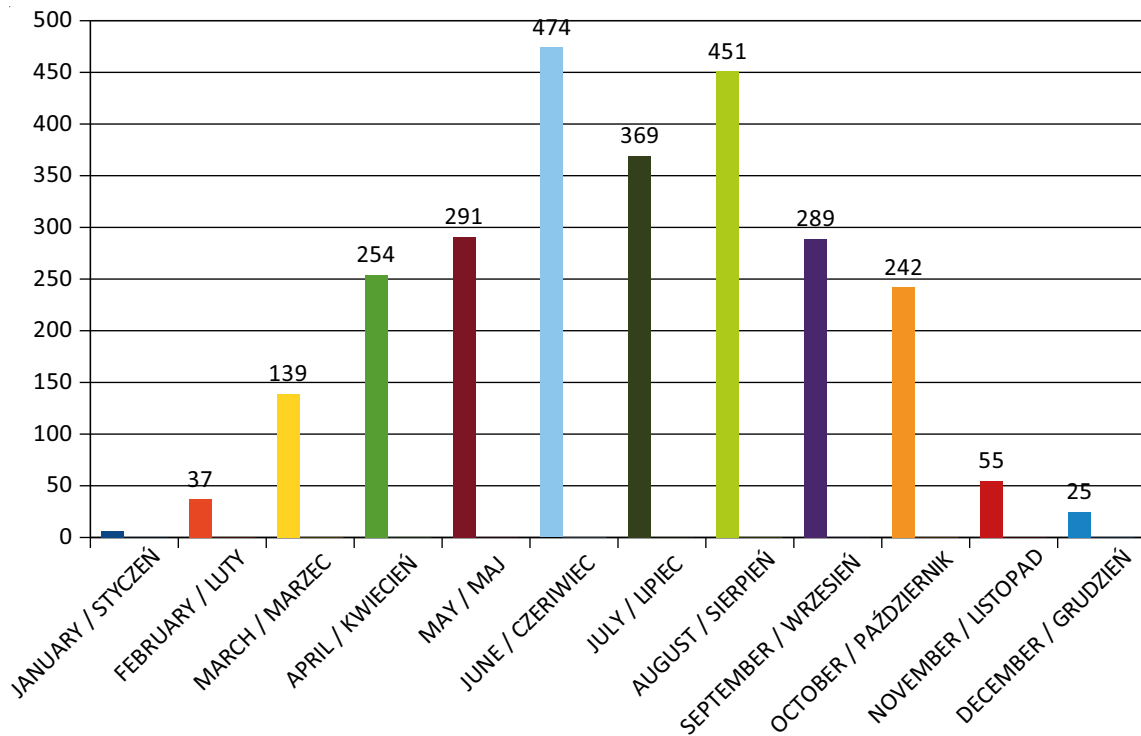


Figure 2. Road accidents and their consequences involving motorcyclists – killed by months
Rycina 2. Wypadki drogowe i ich skutki z udziałem motocyklistów – zabici wg miesięcy

Source: Police Headquarters Statistics [22].

Źródło: Dane statystyczne Komendy Głównej Policji [22].

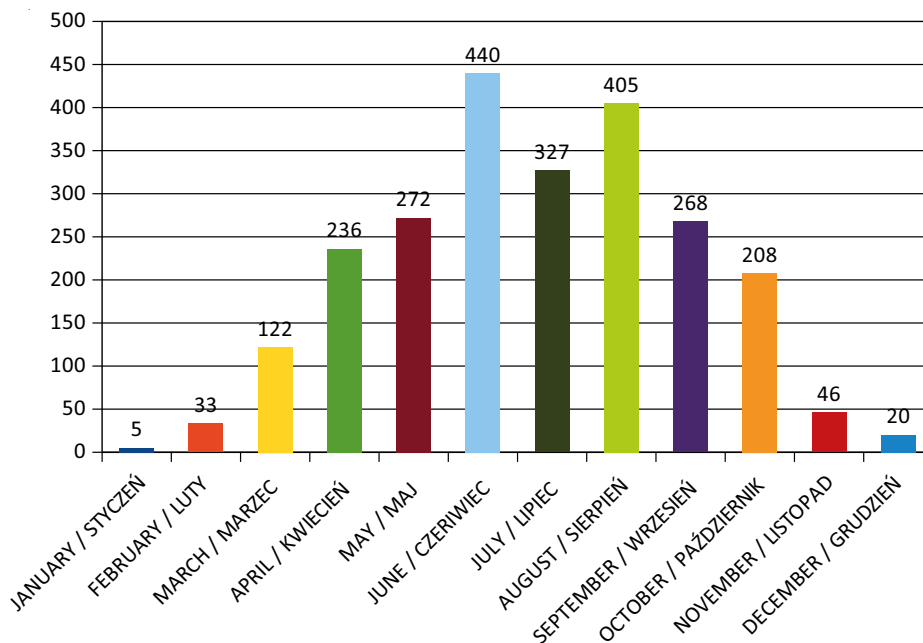


Figure 3. Road accidents and their consequences involving motorcyclists – injured by months
Rycina 3. Wypadki drogowe i ich skutki z udziałem motocyklistów – ranni wg miesięcy

Source: Police Headquarters Statistics [22].

Źródło: Dane statystyczne Komendy Głównej Policji [22].

Motorbike drivers were most often involved in road accidents in the months of June – August. The highest number of accidents was recorded in June – 474 (18.0%) and in August – 451 (17.1%). Most people died in August – 56 (19.0%). The most injured were recorded in June – 440 (18.5%). These months are the beginning of the vacation and holiday period for many people in Poland. This also applies to motorcyclists. Increased traffic on Polish roads, a large number of road works commencing in this period, hot air, fatigue from a long journey to the desired place, recklessness, haste, excessive speed, as well as failure to comply with the applicable road traffic regulations and failure to adapt to the prevailing weather conditions, often become causes of road accidents in which motorcyclists become injured.

Wypadki drogowe z udziałem motocyklistów najczęściej występowały w czerwcu i sierpniu. Największą liczbę wypadków zainicjowano w czerwcu – 474 (18,0%) oraz w sierpniu – 451 (17,1%). Najwięcej osób zginęło w sierpniu 56 (19,0%). Najwięcej rannych odnotowano w czerwcu – 440 (18,5%). Miesiące te stanowią dla wielu Polaków początek okresu urlopowego. Dotyczy to również motocyklistów. Wzmoczony ruch na polskich drogach, duża liczba rozpoczynających się w tym okresie robót drogowych, gorące powietrze, zmęczenie długotrwałą podróżą do upragnionego miejsca wypoczynku, brawura, pośpiech, nadmierna prędkość oraz nieprzestrzeganie obowiązujących przepisów ruchu drogowego i niedostosowanie się do panujących warunków atmosferycznych stają się często przyczynami wypadków drogowych, w których poszkodowanymi zostają motocykliści.

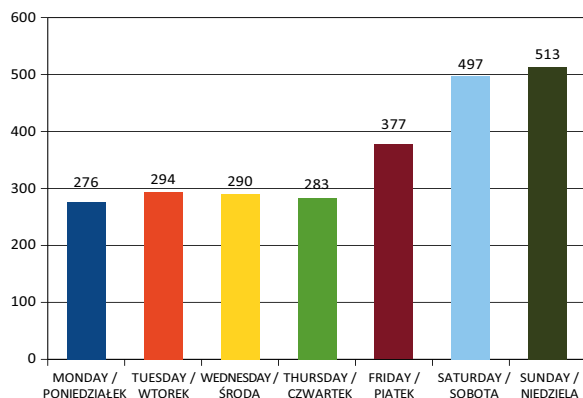


Figure 4. Road accidents involving motorcyclists by days of the week
Rycina 4. Wypadki drogowe z udziałem motocyklistów wg dni tygodnia

Source: Police Headquarters Statistics [22].

Źródło: Dane statystyczne Komendy Głównej Policji [22].

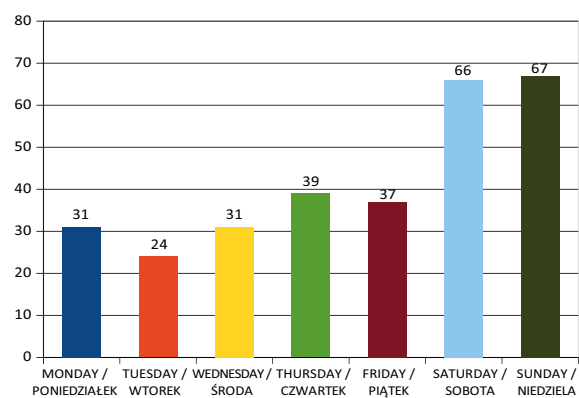


Figure 5. Road accidents involving motorcyclists by days of the week – killed
Rycina 5. Wypadki drogowe z udziałem motocyklistów wg dni tygodnia – zabici

Source: Police Headquarters Statistics [22].

Źródło: Dane statystyczne Komendy Głównej Policji [22].

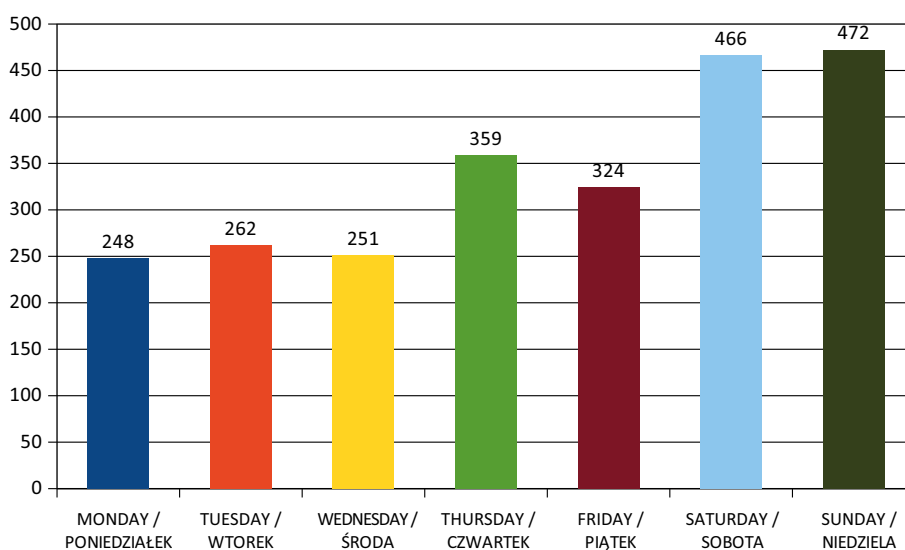


Figure 6. Road accidents involving motorcyclists by days of the week – injured
Rycina 6. Wypadki drogowe z udziałem motocyklistów wg dni tygodnia – ranni

Source: Police Headquarters Statistics [22].

Źródło: Dane statystyczne Komendy Głównej Policji [22].

Most events involving motorcyclists took place on the weekends. Sundays prevailed: 513 accidents (19.5%), in which 67 people died (22.7%) and 472 people were injured (19.8%). It can be assumed that this is due to the free weekends that people in Poland often have. Thanks to favorable weather conditions, they often set off for motorcycle rides or longer, multi-day tours. At the same time, on these days, the traffic of other vehicles on the roads is also increasing. This is when traffic accidents involving motorcyclists most often occur. There is also a greater share of road traffic on weekends, the so-called “Sunday drivers” who often forget about the applicable driving rules or even break traffic regulations, thus creating risky situations on the roads.

Najwięcej zdarzeń z udziałem motocyklistów miało miejsce w dni weekendowe. Dominowały niedziele: 513 wypadków (19,5%), w których zginęło 67 osób (22,7%) i zostało rannych 472 osoby (19,8%). Dzięki sprzyjającym warunkom atmosferycznym w dni wolne od pracy motocykliści wielokrotnie wyruszają na przejażdżki lub dalsze, kilkudniowe trasy. Jednocześnie w tym czasie wzrasta także ruch innych pojazdów na drogach. Właśnie wtedy najczęściej dochodzi do wypadków komunikacyjnych z udziałem motocyklistów. W weekendy obserwuje się także większy udział w ruchu drogowym tzw. niedzielnych kierowców, którzy często zapominają o obowiązujących zasadach jazdy lub wręcz łamią przepisy ruchu drogowego, stwarzając tym samym ryzykowne sytuacje na drogach.

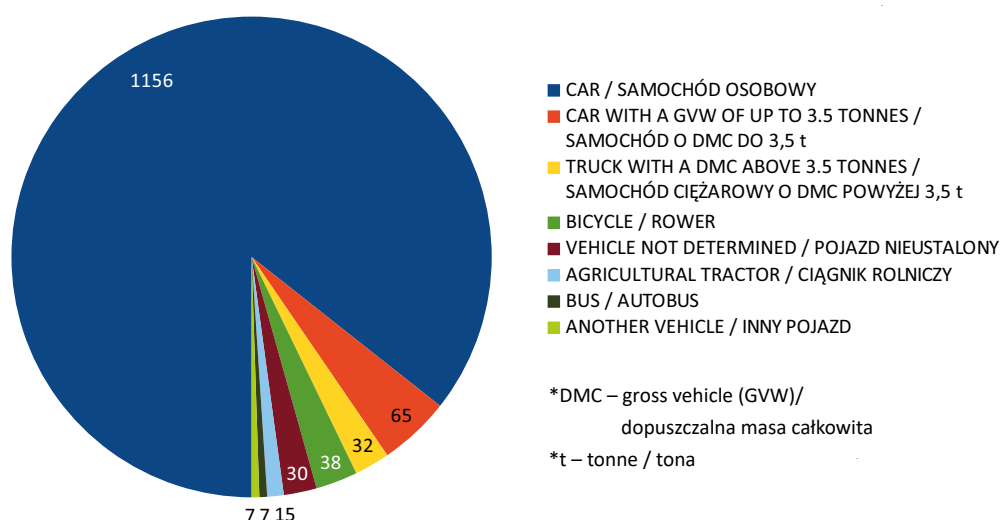


Figure 7. Accidents caused by other road users, where a motorcyclist was injured – accidents

Rycina 7. Wypadki spowodowane przez innych użytkowników drogi, w których uszkodzony został motocyklista – wypadki

Source: Police Headquarters Statistics [22].

Źródło: Dane statystyczne Komendy Głównej Policji [22].

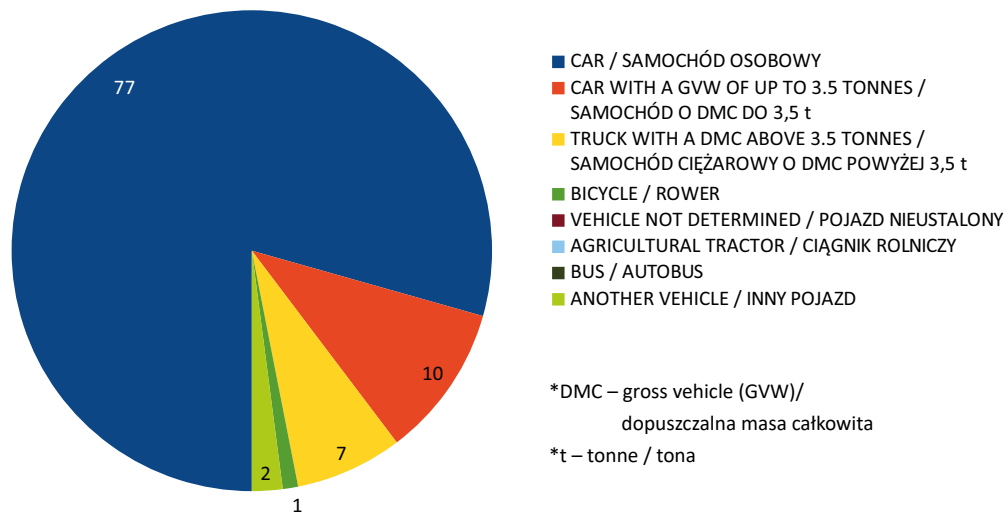


Figure 8. Accidents caused by other road users, where a motorcyclist was injured – killed

Rycina 8. Wypadki spowodowane przez innych użytkowników drogi, w których poszkodowany został motocyklista – zabici

Source: Police Headquarters Statistics [22].

Źródło: Dane statystyczne Komendy Głównej Policji [22].

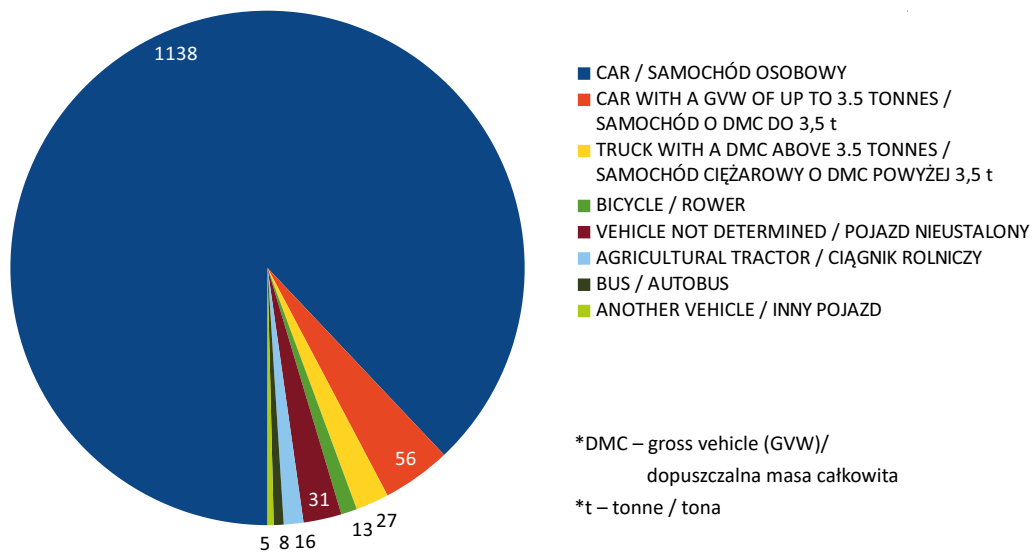


Figure 9. Accidents caused by other road users where a motorcyclist was injured – injured

Rycina 9. Wypadki spowodowane przez innych użytkowników drogi, gdzie poszkodowany został motocyklista – ranni

Source: Police Headquarters Statistics [22].

Źródło: Dane statystyczne Komendy Głównej Policji [22].

Other road users, especially those driving passenger cars, contributed to 51.5% of the accidents in which motorcyclists and their passengers were injured. A large group of perpetrators are drivers of cars with a gross vehicle mass up to 3.5 tonnes. In 38 cases, accidents of motorcyclists occurred with the participation of cyclists. According to the Police Headquarters, these accidents were largely caused by the failure to give priority to motorcyclists by drivers of other vehicles.

Do 51,5% wypadków, w których poszkodowani zostali motocykliści i ich pasażerowie, przyczynili się inni użytkownicy dróg, szczególnie kierujący samochodami osobowymi. Dużą grupę sprawców stanowią kierowcy samochodów o dopuszczalnej masie całkowitej do 3,5 t. W 38 przypadkach wypadki motocyklistów miały miejsce w kontakcie z rowerzystami. Jak podaje KGP, w znacznej mierze wypadki te powstały z powodu nieudzielenia pierwszeństwa przejazdu motocyklistom przez kierujących innymi pojazdami.

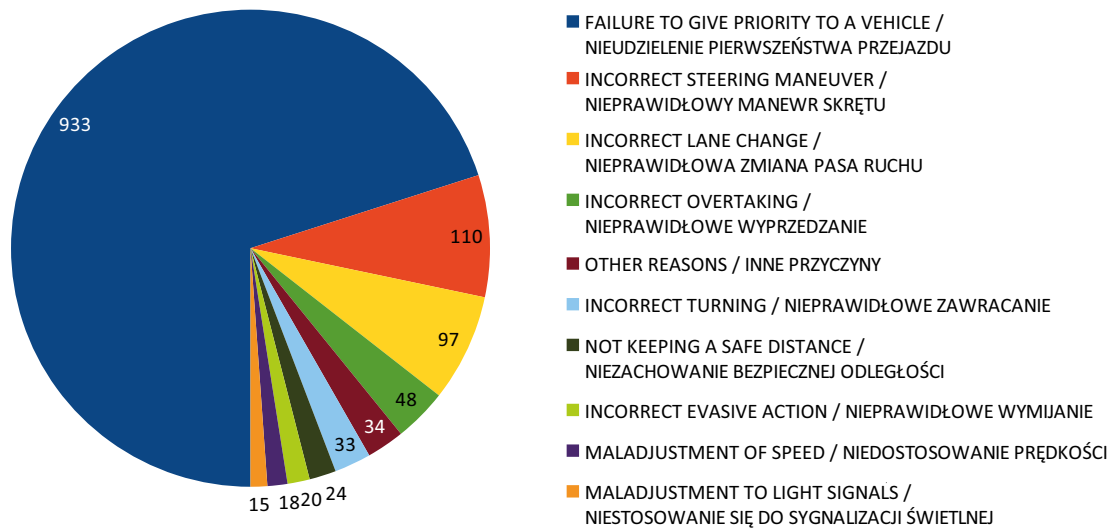


Figure 10. The main causes of road accidents caused by drivers of other vehicles in which a motorcyclist was injured – accidents
Rycina 10. Główne przyczyny wypadków drogowych spowodowanych przez kierujących innymi pojazdami, w których uszkodzony został motocyklista – wypadki

Source: Police Headquarters Statistics [22].

Źródło: Dane statystyczne Komendy Głównej Policji [22].

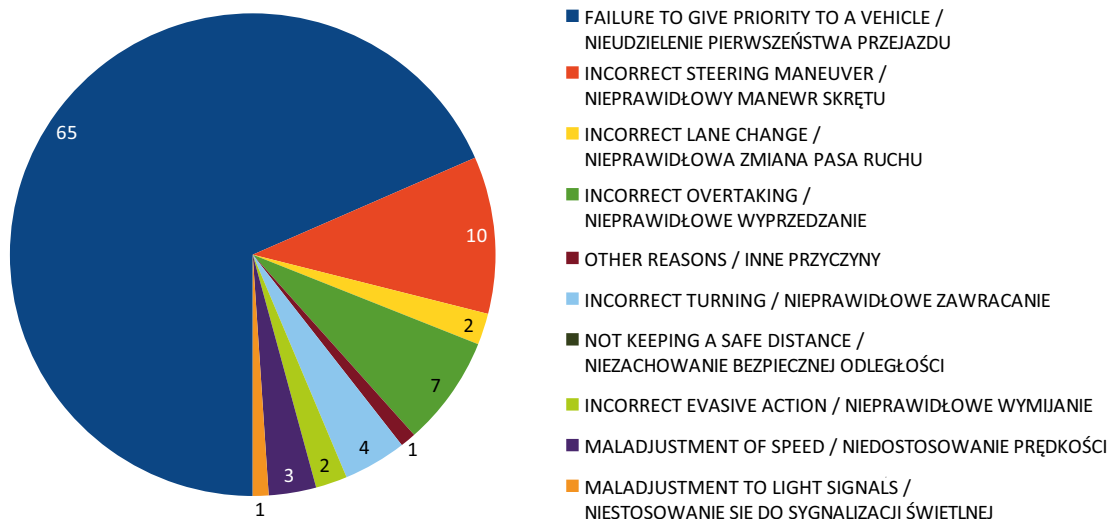


Figure 11. The main causes of road accidents caused by drivers of other vehicles in which a motorcyclist was injured – killed
Rycina 11. Główne przyczyny wypadków drogowych spowodowanych przez kierujących innymi pojazdami, w których uszkodzony został motocyklista – zabici

Source: Police Headquarters Statistics [22].

Źródło: Dane statystyczne Komendy Głównej Policji [22].

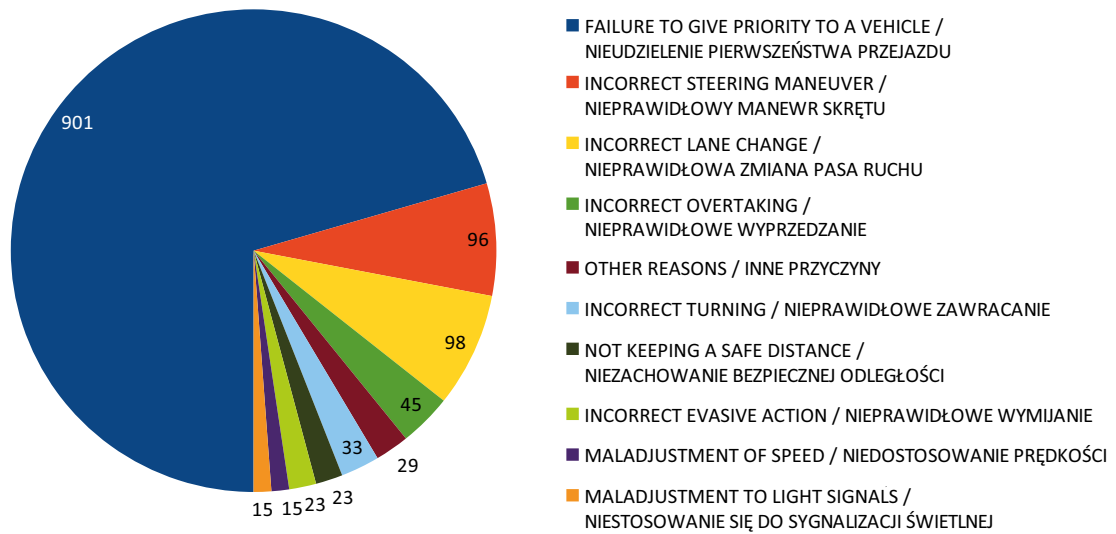


Figure 12. The main causes of road accidents caused by drivers of other vehicles in which a motorcyclist was injured – injured
Rycina 12. Główne przyczyny wypadków drogowych spowodowanych przez kierujących innymi pojazdami, w których poszkodowany został motocyklista – ranni

Source: Police Headquarters Statistics [22].

Źródło: Dane statystyczne Komendy Głównej Policji [22].

Failure to give right-of-way, improper turning maneuver and incorrect lane change are the most common causes of road accidents on the part of the drivers of other vehicles, which resulted in the death or injury of the motorcyclists.

Nieudzielenie pierwszeństwa przejazdu, nieprawidłowy manewr skrętu, nieprawidłowa zmiana pasa ruchu to najczęstsze przyczyny wypadków drogowych spowodowanych przez kierujących innymi pojazdami, w wyniku których zginęli lub zostali ranni motocykliści.

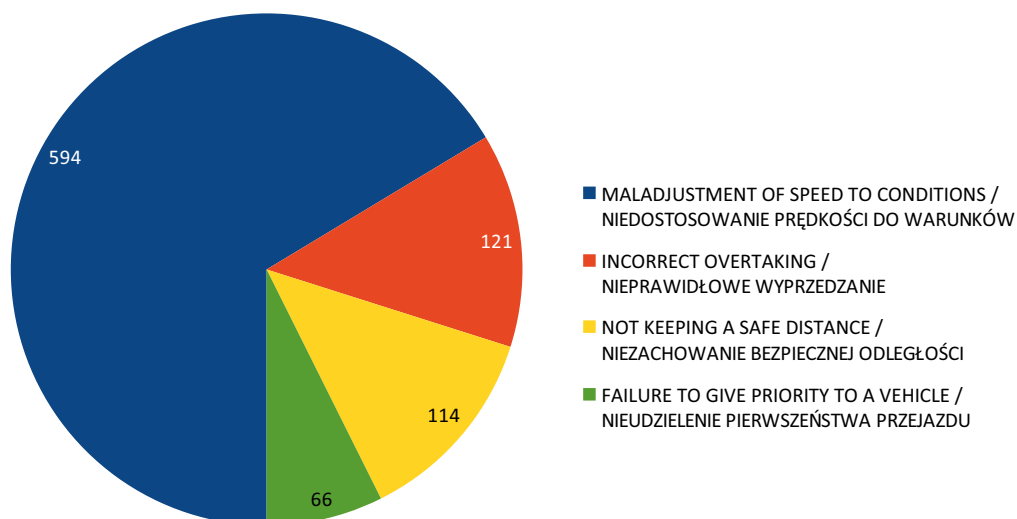


Figure 13. The most common causes of accidents caused by motorcyclists – accidents
Rycina 13. Najczęstsze przyczyny wypadków spowodowane przez motocyklistów – wypadki

Source: Police Headquarters Statistics [22].

Źródło: Dane statystyczne Komendy Głównej Policji [22].

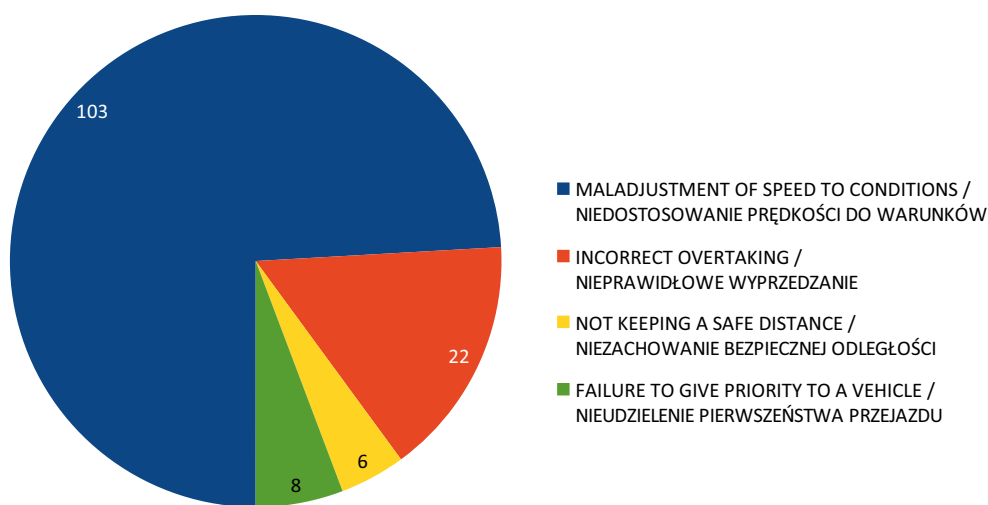


Figure 14. The most common causes of accidents caused by motorcyclists – killed
Rycina 14. Najczęstsze przyczyny wypadków spowodowane przez motocyklistów – zabici

Source: Police Headquarters Statistics [22].

Źródło: Dane statystyczne Komendy Głównej Policji [22].

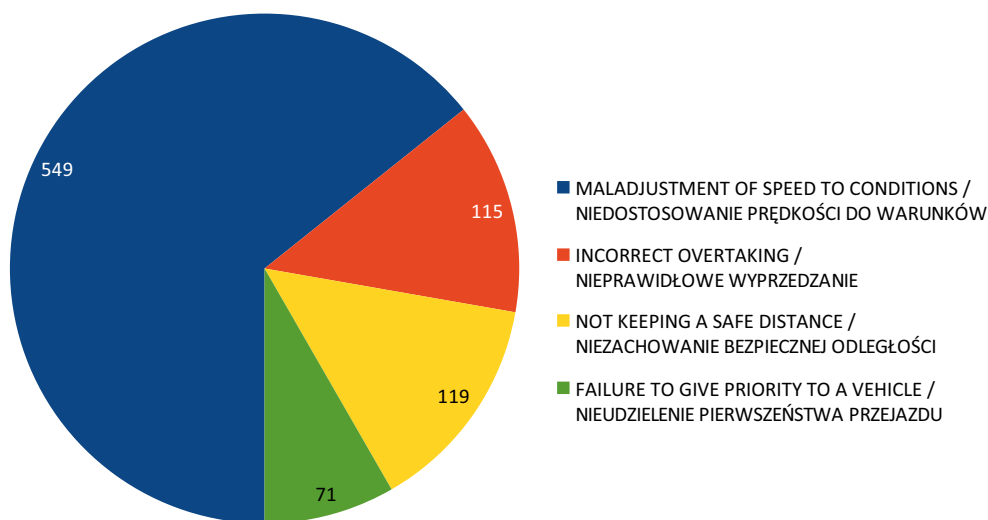


Figure 15. The most common causes of accidents caused by motorcyclists – injured
Rycina 15. Najczęstsze przyczyny wypadków spowodowane przez motocyklistów – ranni

Source: Police Headquarters Statistics [22].

Źródło: Dane statystyczne Komendy Głównej Policji [22].

As it can be seen from the above data presented in the chart, motorcyclists also break traffic regulations and become the perpetrators of accidents. In 2019, 1,082 accidents were caused by motorcyclists on Polish roads. In total, 167 people were killed in these traffic incidents and 1,038 were injured. Compared to 2018, there were 16 more accidents and 21 more people were killed. 21 fewer people were injured.

Jak wynika z powyższych danych przedstawionych na wykresie, również motocykliści łamią przepisy ruchu drogowego, stając się sprawcami wypadków. W 2019 roku motocykliści spowodowali 1082 wypadki na polskich drogach. Łącznie w tych zdarzeniach drogowych zginęło 167 osób, a 1038 zostało rannych. W zestawieniu do 2018 roku jest to o 16 wypadków więcej oraz o 21 osób zabitych więcej. O 21 osób mniej zostało rannych.

Table 1. Perpetrators of accidents – motorcyclists by age
Tabela 1. Sprawcy wypadków – motocykliści wg wieku

Age / Wiek	Accidents / Wypadki 2018	2019	Fatalities / Ofiary śmiertelne 2018	2019	Injured / Ranni 2018	2019
From 7 to 14	4	9	–	–	5	11
15–17	52	56	5	4	28	61
18–24	205	176	27	26	220	163
25–39	462	450	76	85	431	418
40–59	283	318	31	43	287	314
60 plus	50	63	7	8	48	61
No data / Brak danych	10	10	–	1	10	10
In total	1,066	1,082	146	167	1,059	1,038

Source: Police Headquarters Statistics [22].

Źródło: Dane statystyczne Komendy Głównej Policji [22].

Most road accidents were caused by motorcyclists aged 25–39. They are a group of young drivers who, unfortunately, very often succumb to bravado and emotions related to the speed performance of their vehicles on the road. They caused 450 accidents (41.6% of the total number due to motorcyclists' fault), in which 85 people were killed (50.9% of the total) and 418 people were injured (40.3%).

People aged 7–14 and 15–17, use mopeds and scooters. Therefore, the youngest drivers on Polish roads, who are not yet of age, and who get behind the steering wheels of motorized vehicles, most often not knowing the road traffic rules, also become the perpetrators of motorcycle accidents and suffer trauma and injuries. In 2019, between the ages of 7 and 14, there were 9 accidents in which 11 motorcycle riders were injured. In 2019, in the 15–17 age group, 56 accidents were registered, in which 4 drivers died and 61 were injured. Many of these adolescent moped, scooter or quad drivers remove the speed lock on their vehicles, so that on mopeds weighing around 100 kg, they can reach speeds of around 80 km/h. Being the owner of the mentioned vehicle has also become very fashionable, due to the custom of children receiving scooters or motorbikes from relatives for their first communion.

Discussion

The data presented in this study, included in Figures 1 to 15 and in the comparative table, illustrate the situation on Polish roads in 2019 with the participation of motorcyclists.

The number of motorcycle road accidents, the number of the injured and killed, causes of traffic events, seasons of the year, days of the week and the age of the injured and killed motorcyclists show the scale of the problem that takes place every year during the motorcycle season.

Najwięcej wypadków komunikacyjnych spowodowali motocykliści w przedziale wiekowym 25–39 lat. Stanowią oni grupę młodych kierowców, którzy niestety bardzo często na drodze ulegają brawurze oraz emocjom związanym z osiągnięciami prędkości swoich pojazdów. Spowodowali oni 450 wypadków (41,6% ogółu z winy motocyklistów), w których 85 osób poniosło śmierć (50,9% ogółu), a 418 osób zostało rannych (40,3%).

Osoby w wieku 7–14 lat oraz 15–17 lat używają pojazdów typu motorower oraz skuter. Zatem są to najmłodszy kierowcy na polskich drogach, którzy nie są jeszcze pełnoletni, a wsiadają za kierownicę pojazdów z silnikiem, nie znając najczęściej przepisów ruchu drogowego, stają się również sprawcami wypadków motocyklowych i doznają urazów oraz obrażeń. W 2019 roku w przedziale wiekowym 7–14 lat odnotowano 9 wypadków, w których 11 kierowców motocykli zostało rannych. W grupie wiekowej 15–17 lat w 2019 roku zarejestrowano 56 wypadków, w których zginęło 4 kierowców, a 61 zostało rannych. Wielu z tych młodocianych kierowców motorowerów, skuterów lub quadów wymontowuje blokadę prędkości w swoich pojazdach, dzięki czemu na motorowerach o masie ok. 100 kg mogą osiągać prędkość ok. 80 km/h. Bycie posiadaczem wymienionego pojazdu stało się bardzo modne również dzięki przyjętemu zwyczajowi, iż dzieci na komunię otrzymują od swoich bliskich skutery lub motorowery.

Dyskusja

Przedstawione w niniejszym opracowaniu dane, zaprezentowane na rycinach 1–15 oraz w tabeli porównawczej, obrazują sytuację na polskich drogach z udziałem motocyklistów w 2019 roku. Liczba wypadków drogowych motocyklistów, rannych i zabitych, przyczyny zdarzeń komunikacyjnych, pory roku, dni tygodnia oraz wiek rannych i zabitych motocyklistów pokazują skalę problemu, jaka występuje co roku w trakcie sezonu motocyklowego.

Every year there is an increased number of motorcyclists on Polish roads, and therefore a greater number of accidents involving motorcyclists and killed motorcycle drivers or their passengers. At the end of 2018, there were 827,600 registered motorcycles [6]. 2019 was another year in which a record for sales of new vehicles was recorded in our country. 625,470 passenger cars and cars with a permissible total weight of up to 3.5 tonnes were registered. This means an increase of 4.1 percent compared to 2018. Both in 2019 and in the previous years, the highest intensity of accidents occurred between 1.00 p.m. and 7.00 p.m., i.e. in the period of very high traffic. During these hours there were approx. 43% of accidents. In 2019, a total of 38 274 single track vehicles appeared on Polish roads – by 23.6 percent more than in 2018. In Poland there were also 19,103 registered motorcycles (an increase by 31.6% y/y) [7]. In 2017, the European Road Safety Observatory (ERSO) published a report: *Traffic Safety Basic Facts 2017 – Motorcycles & Mopeds*, which shows that in 2006–2015 mortality due to motorcycle accidents decreased in most European Union countries. There has been a significant reduction in these events in Greece, Slovenia and Cyprus. By contrast, mortality has increased in Romania and Poland [8]. In the face of these incidents, EMS face difficult rescue operations in which injured motorcyclists, their passengers and other road users suffer serious trauma and injuries.

Research confirms what we generally know. One of the most vulnerable places in an accident are the rider's legs. About 32% of the injuries are those to the lower limbs. Hands are another area of the most common injuries. Approximately 28% of the accidents have severe injuries to the upper limbs. And finally, a motorcyclist's head – about 18% of the injuries are recorded there. The severity of the injuries is slightly different for people transported on a motorcycle than for the driver. The legs are the most vulnerable (32%). However, in contrast to the driver of a two-wheeler, the next most exposed area during an accident is the head (24%) of the passenger and finally the hands (18%) [9].

W każdym roku obserwuje się zwiększoną liczbę motocyklistów na polskich drogach i co za tym idzie – większą liczbę wypadków z ich udziałem oraz zabitych kierowców motocykli czy ich pasażerów. Pod koniec 2018 roku w Polsce zarejestrowanych było 827 600 motocykli [6]. Rok 2019 był kolejnym, w którym odnotowano w naszym kraju rekord sprzedaży nowych pojazdów. Zarejestrowano 625 470 aut osobowych i samochodów o dopuszczalnej masie całkowitej do 3,5 tony. Oznacza to wzrost o 4,1% w stosunku do roku 2018. Zarówno w 2019 r., jak i w latach poprzednich, największe nasilenie wypadków występowało w godzinach 13.00–19.00, czyli w okresie bardzo dużego natężenia ruchu. W tym czasie miało miejsce ok. 43% wypadków. W 2019 r. na polskich drogach przybyły łącznie 38 274 jednoślady – o 23,6% więcej niż rok wcześniej. Polacy zarejestrowali także 19 103 motocykle (wzrost r/r o 31,6%) [7]. W 2017 roku komisja Europejskiego Obserwatorium Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego (ang. *European Road Safety Observatory – ERSO*) opublikowała raport pt. *Traffic Safety Basic Facts 2017 – Motorcycles & Mopeds*, z którego wynika, że w latach 2006–2015 śmiertelność z powodu wypadków motocyklowych spadła w większości krajów Unii Europejskiej. Nastąpiła znaczna redukcja tych zdarzeń w Grecji, Słowenii i Cyprze. Natomiast śmiertelność wzrosła w Rumunii i Polsce [8]. W obliczu analizowanych zdarzeń zespoły ratownictwa medycznego (ZRM) stają przed trudnymi akcjami ratowniczymi, w których poszkodowani motocykliści, ich pasażerowie oraz inni uczestnicy ruchu drogowego, odnoszą poważne urazy i obrażenia.

Badania pokazują, że najbardziej narażonymi podczas wypadku częściami ciała są nogi motocyklisty. Około 32% urazów stanowią właśnie obrażenia kończyn dolnych. Kolejnym obszarem najczęstszych urazów są ręce – w ok. 28% wypadków notuje się poważne obrażenia kończyn górnych. W obszarze głowy motocyklisty rejestruje się ok. 18% urazów. W przypadku osób przewożonych na motocyklu ciężar obrażeń jest nieco odmienny, niż w odniesieniu do kierowcy. Najbardziej narażone są nogi (32%). W odróżnieniu jednak od prowadzącego jednoślad kolejnym najbardziej narażonym podczas wypadku obszarem jest głowa (24%) pasażera oraz jego ręce (18%) [9].

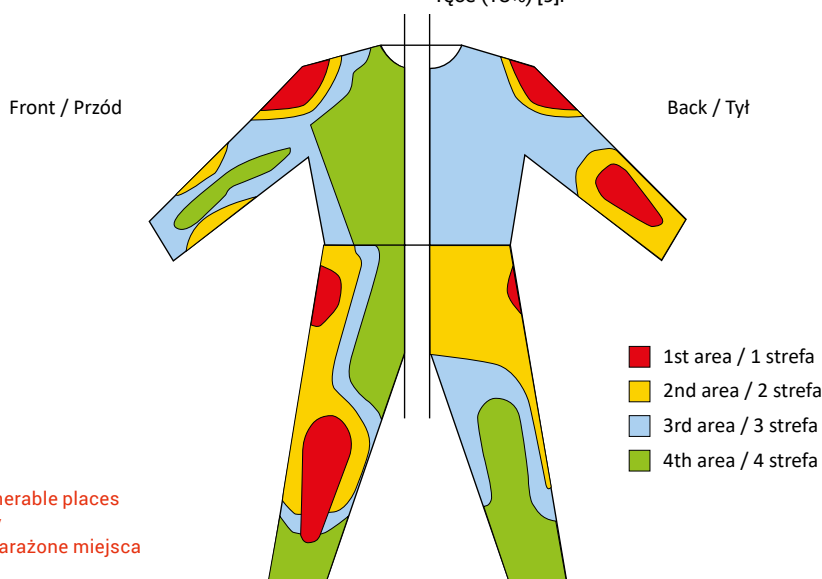


Figure 16. The most vulnerable places on a motorcyclist's body
Rycina 16. Najbardziej narażone miejsca na ciele motocyklisty

Source / Źródło: <https://swiatmotocykli.pl/motocykle/bezpieczenstwo-motocyklistow-co-cierpi-najbardziej-podczas-wypadku/> [dostęp: 15.08.2020] [9].

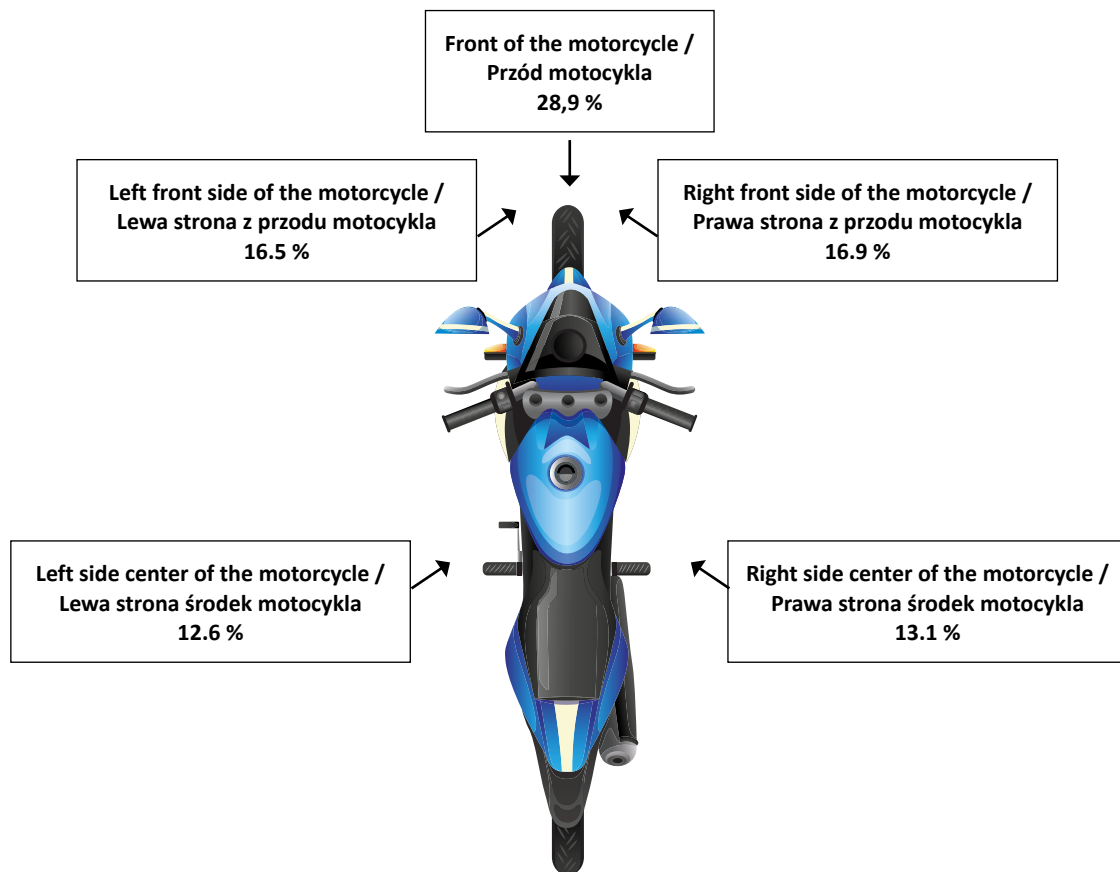


Figure 17. The most common damage to a motorcycle during an accident.

Rycina 17. Najczęstsze uszkodzenia motocykla podczas wypadku

Source / Źródło: <https://swiatmotocykli.pl/motocykle/bezpieczenstwo-motocyklistow-co-cierpi-najbardziej-podczas-wypadku/> [dostęp: 15.08.2020] [9].

As shown in Figures 16 and 17, the most common injuries to a motorcyclist and damage to a motorcycle have a common ground: frontal impacts on a vehicle driving from the opposite direction or its side or rear, which results from the Police data on the causes of motorcycle accidents, where the perpetrators are most often driving other vehicles, but often also motorcycle drivers themselves. It is accompanied by rotational and hyper-reflective injuries of the cervical spine. When hitting an obstacle, motorcyclists are thrown out of the seat and thrown forward. When falling and hitting the hard road surface, they usually suffer serious injuries to the spine, head and limbs. Secondary injuries are very often blunt injuries of the abdominal cavity and chest. Passengers transported on motorcycles, sheltered by the driver's body at the moment of impact, sustain extensive lower extremity injuries due to being crushed by a motorcycle and head injuries as a result of hitting the ground.

There are also frequent traumatic amputations caused by the motorcyclist's or passengers' body hitting a protruding obstacle, such as: a road sign, barriers dividing road lanes or the bases of energy-intensive barriers or steel ropes separating road lanes. Motorcyclists very often, seeing the danger and having no chance of avoiding a collision, use the learned technique of lying down with the motorcycle to the right or left side. Then the vehicle presses them against the road, and thus protects them from

Jak wynika z rycin 16 i 17, najczęstsze obrażenia u motocyklisty oraz uszkodzenia motocykla mają wspólne podłoże: uderzenia czołowe w pojazd jadący z naprzeciwka, jego bok lub tył (dane KGP odnośnie przyczyn wypadków motocyklowych, w których sprawcami są najczęściej kierującymi innymi pojazdami, ale niejednokrotnie także sami kierowcy motocykli). Towarzyszą temu rotacyjne oraz hiperfleksyjne urazy kręgosłupa w odcinku szyjnym. Motocykliści w chwili uderzenia w przeszkodę zostają pod wpływem dużych sił wyrwani z kanapy motocykla i wyrzuceni do przodu. Upadając i uderzając najczęściej o twarde podłoże jezdni, doznają ciężkich urazów kręgosłupa, głowy oraz kończyn. Bardzo często wtórnymi urazami są tępe urazy jamy brzusznej i klatki piersiowej. Pasażerowie przewożeni na motocyklach, osłonięci w chwili uderzenia przez ciało kierowcy, doznają rozległych urazów kończyn dolnych z powodu przygniecenia przez motocykl oraz urazów głowy w wyniku silnego uderzenia o jezdnię.

Często dochodzi również do amputacji urazowych, powodowanych przez uderzenie ciała motocyklisty czy pasażerów w chwili sunięcia po jezdni o wystającą przeszkodę (typu: znak drogowy, barierki dzielące pasy jezdni lub podstawy barier energochłonnych czy stalowe liny oddzielające pasy jezdni). Motocykliści bardzo często widząc zagrożenie i nie mając szans na uniknięcie zderzenia, stosują wyuczoną technikę kładzenia się z motocyklem na prawą lub lewą stronę. Wówczas pojazd dociska ich do

hitting the obstacle. However, at the time of the accident, there are the proverbial seconds and many times a motorcyclist has no chance to perform the above maneuver, sustaining serious and, consequently, fatal injuries.

Managing the injured

First aid

The first aid measures taken are to protect the victim(s) by the person providing assistance and the place of the incident by other road users or witnesses of the incident, taking into account their own safety and the place of the incident. The priority for personal protection is disposable latex gloves and a face mask. One must take into account the risk of fire from a damaged motorcycle. Such a circumstance requires an immediate attempt to extinguish the vehicle with a powder extinguisher, which is part of the equipment of every car. After assessing the hazards at the scene and the condition of the injured person(s), including checking their breathing and injuries, one should also assess the other vehicle, if it was involved in the accident and is damaged, as well as its driver and other passengers. The next step is to call for help (emergency telephone number 112 or 999/998/997).

Many times the problem arises when assessing a victim who is wearing a helmet on his/her head. The current standards clearly define the procedure in this situation, for people who also provide first aid. In the current COVID-19 pandemic, assessment of breathing is done by observing the chest movements of the victim for 10 seconds. Additionally, the rescuer can place their hand on the motorcyclist's chest and assess its movements [10]. If the injured has an open airway, one should not remove their helmet, but only open the protective windshield in the front part and try to make contact with him/her. In special situations, i.e. airway obstruction or sudden cardiac arrest, it is recommended to remove the helmet even without the help of another person. In the case of cardiopulmonary resuscitation BLS (basic life support), in the current COVID-19 pandemic situation, it is not recommended to perform mouth-to-mouth or mouth-to-nose resuscitation in children. If there are people trained in providing first aid also to a motorcyclist at the scene of the accident until the arrival of the EMS, helmet removal should be performed by two people in special situations. Visible bleeding wounds and severe haemorrhages should be immediately covered with pressure dressings. For traumatic limb amputations, an improvised tourniquet (e.g., wide trouser belt, triangular sling) 5–7 cm above the injury should be applied and the time of application should be noted. The victim should be covered with a thermal blanket to protect against the risk of post-traumatic hypothermia, which is a common consequence of trauma and injury.

It is also very important to evaluate other casualties who were traveling in the other vehicle or were pedestrians. In the event of a motorcycle hitting a vehicle, drivers or their passengers suffer severe injuries or (less frequently) are killed at the scene. Depending on the impact mechanism (usually frontal, front-side, or front-rear), people in vehicles are trapped and require specialized evacuation techniques.

jezdni, a tym samym chroni przed uderzeniem w przeszkodę. Jednak w chwili wypadku są to przysłowiowe sekundy i wielokrotnie motocyklista nie ma szans na wykonanie powyższego manewru, doznając ciężkich urazów, a w konsekwencji śmiertelnych obrażeń.

Postępowanie z poszkodowanym

Pierwsza pomoc

Działania podejmowane w ramach pierwszej pomocy mają za zadanie zabezpieczenie poszkodowanego lub poszkodowanych przez osobę udzielającą pomocy oraz miejsce zdarzenia przez innych uczestników ruchu drogowego lub świadków zdarzenia, uwzględniając bezpieczeństwo własne i miejsca zdarzenia. Priorytetem w ramach osobistej ochrony są jednorazowe rękawice lateksowe oraz maseczka ochronna na twarz. Należy liczyć się z zagrożeniem w postaci pożaru uszkodzonego motocykla. Taka okoliczność wymaga podjęcia natychmiastowej próby ugaszenia pojazdu gaśnicą proszkową, która jest na wyposażeniu każdego samochodu. Po oszacowaniu zagrożeń na miejscu zdarzenia i stanu poszkodowanego lub poszkodowanych, z oceną jego oddechu i odniesionych obrażeń włącznie, należy ocenić także drugi pojazd (jeśli brał on udział w zdarzeniu i jest uszkodzony) oraz stan jego kierowcy i pozostałych pasażerów. Kolejny krok to wezwanie pomocy (telefon ratunkowy na numer 112 lub 999/998/997).

Wielokrotnie problem pojawia się w chwili oceny poszkodowanego, który ma kask na głowie. Obowiązujące standardy jasno precyzują postępowanie w tej sytuacji, także dla osób udzielających pierwszej pomocy. W obecnej sytuacji pandemii COVID-19 ocenę oddechu wykonuje się poprzez obserwowanie ruchów klatki piersiowej poszkodowanego przez 10 sekund. Dodatkowo ratownik może położyć swoją dłoń na klatce piersiowej motocyklisty i w ten sposób zbadać jej ruchy [10]. Jeśli poszkodowany ma drożne drogi oddechowe, nie należy zdejmować mu kasku, a jedynie otworzyć szybę ochronną w przedniej części i próbować nawiązać z nim kontakt. W sytuacjach szczególnych, tj. w przypadku niedrożności dróg oddechowych czy nagłego zatrzymania krążenia, zaleca się zdjęcie kasku nawet bez pomocy drugiej osoby. W przypadku resuscytacji krążeniowo-oddechowej BLS (ang. *basic life support*), w obecnej sytuacji pandemii COVID-19 nie zaleca się wykonywania sztucznego oddechu metodą usta-usta czy usta-nos u dzieci. Jeśli na miejscu zdarzenia do chwili przybycia ZRM znajdują się osoby przeszkolone w udzielaniu pierwszej pomocy także motocykliście, zdjęcie kasku należy wykonać w dwie osoby w sytuacjach szczególnych. Widoczne rany krwawiące i silne krwotoki należy natychmiast zabezpieczyć opatrunkami uciskowymi. W przypadku amputacji urazowych kończyn należy założyć improwizowaną opaskę zaciskową (np. szeroki pasek do spodni, chusta trójkątna) 5–7 cm powyżej zranienia i odnotować czas jej zastosowania. Poszkodowanego należy okryć kocem termicznym, chroniąc go w ten sposób przed ryzykiem hipotermii pourazowej, która jest częstym następstwem odniesionych urazów i obrażeń.

Bardzo ważne jest również poddanie ocenie stanu pozostałych poszkodowanych, którzy brali udział w zdarzeniu. W przypadku uderzenia motocykla w inny pojazd, kierowcy lub ich pasażerowie doznają ciężkich urazów lub (rzadziej) ponoszą śmierć na miejscu

zdarzenia. W zależności od mechanizmu uderzenia (najczęściej czołowe, przednio-boczne lub przednio-tyłne), osoby w pojazdach są zakleszczone i wymagają specjalistycznych technik ewakuowania.

Medical rescue

After arriving at the scene, EMS activities are based on the standard ITLS scheme and a preliminary study to identify the potential injury mechanism, as presented in Table 2 and Figure 18.

Ratownictwo medyczne

Działania ZRM po dotarciu na miejsce zdarzenia opierają się na standardowym schemacie ITLS oraz badaniu wstępnym celem identyfikacji potencjalnego mechanizmu urazu, co przedstawiono w tabeli 2 i na rycinie 18.

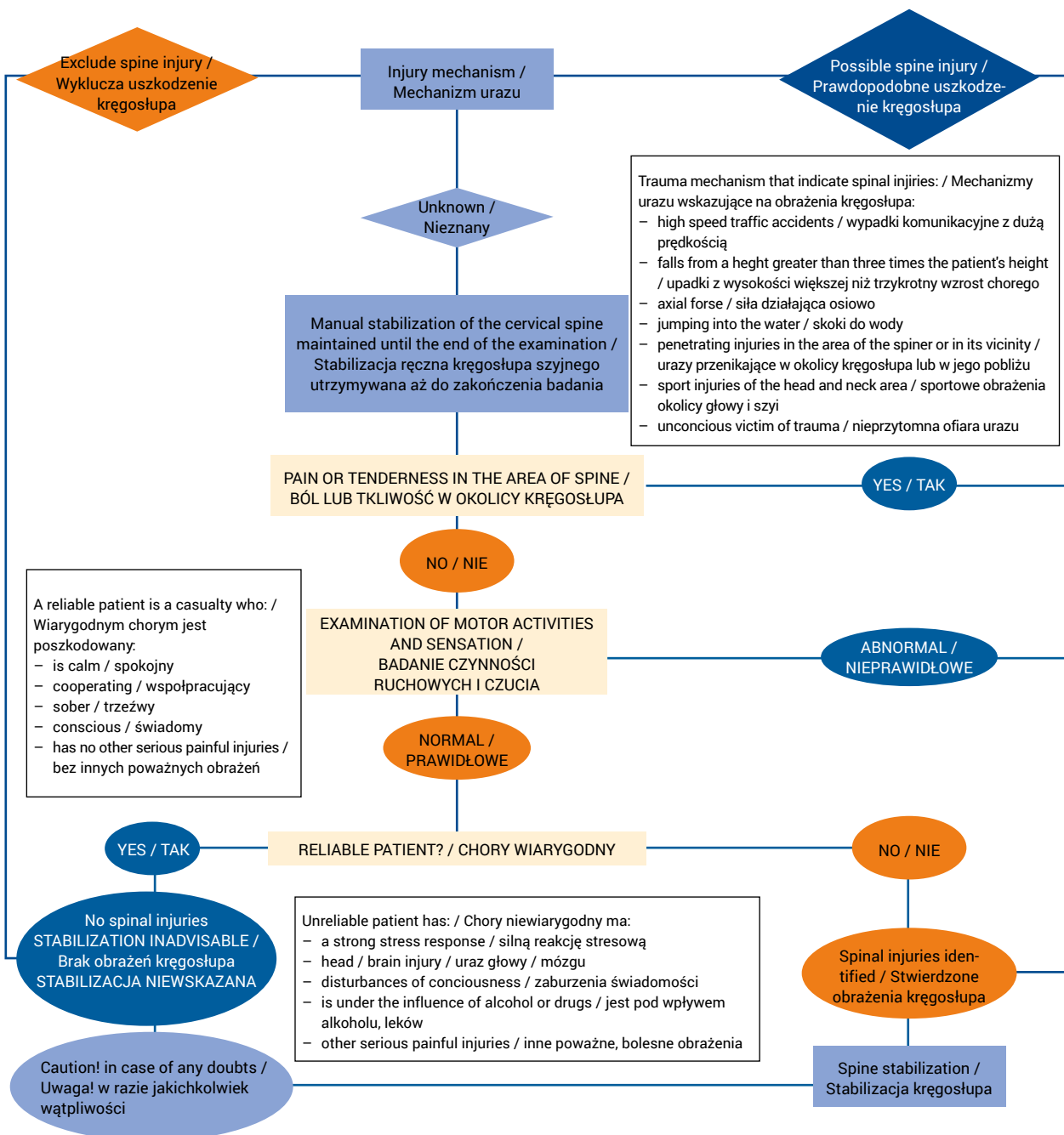


Figure 18. Scheme of the initial – rapid trauma examination according to ITLS

Rycina 18. Schemat badania wg ITLS

Source / Źródło: International Trauma Life Support Ratownictwo przedszpitalne w urazach.

Table 2. Scheme of the initial – rapid trauma examination according to ITLS
Tabela 2. Schemat wstępnego, szybkiego badania urazowego wg ITLS

Rapid Trauma Survey: Generalized Trauma ("head to toes")	Szybkie badanie urazowe: uraz uogólniony („od czubka głowy do palców stóp”)
<p>SCENE SIZE-UP own safety and place of the accident type – mechanism of the event number of patients need for additional help/equipment hazards</p>	<p>OCENA MIEJSCA ZDARZENIA bezpieczeństwo własne i miejsca zdarzenia rodzaj – mechanizm zdarzenia liczba poszkodowanych potrzeba dodatkowej pomocy/wyposażenia zagrożenia</p>
<p>INITIAL ASSESSMENT</p> <p>GENERAL IMPRESSION age, approximate weight, sex, general appearance, body position, activity, major injuries/bleeding, skin colour LIFE-THREATENING BLEEDING (CABC)</p> <p>LEVEL OF CONSCIOUSNESS AVPU Chief complaint/symptoms</p> <p>CLEARANCE OF AIRWAYS (WITH C-SPINE PROTECTION) snoring, gurgling, stridor, silence</p> <p>BREATHING Present? rate, depth, effort</p> <p>CIRCULATION radial/neck artery pulse present? rate, rhythm, quality skin colour, temperature, moisture, capillary refill severe external bleeding under control</p>	<p>OCENA WSTĘPNA</p> <p>WRAŻENIE OGÓLNE wiek, przybliżona masa ciała, płeć, wygląd ogólny, pozycja ciała, aktywność, poważne rany/krwawienia, kolor skóry ZAGRAŻAJĄCE ŻYCIU KRWAWIENIA (CABC)</p> <p>STAN ŚWIADOMOŚCI AVPU główne dolegliwości/objawy</p> <p>DRŹNOŚĆ DRÓG ODDECHOWYCH (Z ZABEZPIECZENIEM KRĘGOSŁUPA SZYJNEGO) charczenie, bulgotanie, stridor, cisza</p> <p>ODDECH obecność? częstość, głębokość, wysiłek</p> <p>KRĄŻENIE tętno na tętnicy promieniowej/szyjnej obecność? częstość, miarowość, napięcie kolor skóry, temperatura, wilgotność, nawrót włosniczkowy masywne krwawienie zewnętrzne pod kontrolą</p>
<p>RAPID TRAUMA SURVEY</p>	<p>SZYBKIE BADANIE URAZOWE</p>
<p>Head (swelling, lacerations, contour deformities, nasal/ear discharge, raccoon eyes, Battle's sign – bruises behind the ear, pupillary assessment; reaction to light, width)</p>	<p>Badanie głowy (obrzęki, rany, zniekształcenia obrysów, wycieki z nosa/ucha, krwiaki okularowe, objaw Battle'a – zasinienia za uszami, ocena źrenic: reaktywność na światło, szerokość)</p>
<p>Neck (symmetry, jugular venous distention, lacerations, tracheal position, consider a cervical collar – if indicated)</p>	<p>Badanie szyi (symetryczność, poszerzenie żyły szyjnych, rany, położenie tchawicy, rozważ użycie kołnierza szyjnego, jeśli jest to wskazane)</p>
<p>Chest asymmetry (paradoxical motion?), contusion, wounds, instability, crepitation respiratory sounds present? equal? (if unequal – percussion) heart tones listen</p>	<p>Badanie klatki piersiowej asymetria (ruchy paradoksalne?), stłuczenia, rany, niestabilność, trzeszczenia szmery oddechowe obecne? symetryczne? (jeśli niesymetryczne – opukać) tony serca osłuchać</p>
<p>Abdomen bruising, penetration/visceration, tenderness, rigidity, distention</p>	<p>Badanie brzucha zasinienia, rany/wytrzewienia, bolesność, napięcie, powiększenie</p>
<p>Pelvis tenderness, deformity, crepitation consider a pelvic splint</p>	<p>Badanie miednicy bolesność, zniekształcenia, trzeszczenia rozważ użycie pasa miedniczego</p>
<p>Lower/upper extremities contours, swelling, wounds, axis deviation, pressure pain, active and passive movements, sensation</p>	<p>Badanie kończyn górnych i dolnych obrzęki, rany, zniekształcenie osi, bolesność uciskowa, ruchy czynne i bierne, czucie</p>
<p>Posterior swelling, hematoma, wounds, pressure pain, bruising in the spinal area</p>	<p>Badanie pleców i pośladków obrzęki, krwiaki, rany, bolesność uciskowa, zasinienia w okolicy krzyżowej</p>

<p style="text-align: center;">ONGOING EXAMINATION (every 3–5 min in unstable patients) ABCD assessment – measure respiratory rate, heart rate, blood pressure, evaluate effectiveness of procedures performed</p>	<p style="text-align: center;">BADANIE DALSZE (u pacjentów niestabilnych co 35 min) ocena ABCD – zmierzyć liczbę oddechów, tętno, ciśnienie tętnicze, ocena skuteczności wykonanych procedur</p>
<p style="text-align: center;">SECONDARY SURVEY (in stable patients after 15 min) reassessment of initial examination ABCDE reassessment of trauma survey complement with Glasgow coma scale assessment and available equipment (BP, pulse oximetry, FAST/eFAST ultrasound, EtCO₂, thermometer, glycemia, ECG monitoring)</p>	<p style="text-align: center;">BADANIE POWTÓRNE (u stabilnych po 15 min) reocena badania wstępnego ABCDE reocena badania urazowego uzupełnienie o ocenę w skali Glasgow oraz dostępny sprzęt (BP, pulsoksymetria, USG FAST/eFAST, EtCO₂, termometr, glikemia, monitoring EKG)</p>

Source / Źródło: J. E. Campbell, *International Trauma Life Support. Ratownictwo przedszpitalne w urazach, Medycyna Praktyczna, Kraków 2008, s. 77 [1]*.

The author points out that every traffic incident involving vehicles is routinely secured by the State Fire Service and often by the Volunteer Fire Brigade, which arrives earlier. The participation of the State or Volunteer Fire Service is very important from the point of view of technical and medical rescue, which often requires the use of specialized equipment to evacuate the injured from the vehicle. The activities of the State Fire Service also focus on securing the scene in terms of fuel leakage from the vehicle, spilled chemicals on the road, extinguishing a burning vehicle and securing it when it is on unstable ground.

According to article 10. sec. 2 points 1–9 of the Act on the State Fire Service, the tasks of this formation include:

- identification of fire hazards and other local threats,
- organization and carrying out rescue operations during fires, natural disasters or liquidation of local threats,
- performing auxiliary specialized rescue activities during natural disasters or elimination of local threats by other rescue services,
- training of staff for the needs of the State Fire Service and other fire protection units as well as the general civil protection system,
- supervision over compliance with fire regulations,
- conducting scientific and research works in the field of fire protection and civil protection,
- cooperation with the head of the National Criminal Information Centre to the extent necessary to carry out its statutory tasks,
- cooperation with the fire brigades and rescue services of other countries and their international organizations on the basis of international agreements binding for the Republic of Poland and separate regulations,
- performance of other tasks resulting from international agreements binding for the Republic of Poland on the terms and within the scope specified therein [11].

The ABCDE scheme (A – airway patency, B – breathing assessment, C – circulation assessment, D – consciousness assessment, E – exposure), often modified in trauma patients to the form of CABC and securing airway patency is a priority in rescue operations. Technically remove the motorcyclist's helmet, aspirate the airway if indicated and perform instrument airway opening using supraglottic methods. Due to the injuries

W artykule zwrócono uwagę, że każde zdarzenie komunikacyjne z udziałem pojazdów jest rutynowo zabezpieczane przez zastępy Państwowej Straży Pożarnej, a często przez Ochotniczą Straż Pożarną, która dociera wcześniej. Udział PSP lub OSP jest bardzo ważny z punktu widzenia ratownictwa technicznego oraz medycznego, które wielokrotnie wymaga użycia specjalistycznego sprzętu do ewakuowania poszkodowanego z pojazdu. Działania PSP skupiają się także na zabezpieczeniu miejsca zdarzenia na wypadek wycieku paliwa z pojazdu, rozlania substancji chemicznych na drodze, gaszenia płonącego pojazdu oraz zabezpieczenia go w sytuacji, gdy znajduje się on na niestabilnym podłożu.

Zgodnie z art. 10 ust. 2 pkt 1–9 ustawy o Państwowej Straży Pożarnej do zadań tej formacji należą:

- rozpoznawanie zagrożeń pożarowych i innych miejscowych zagrożeń,
- organizacja i prowadzenie akcji ratowniczych w czasie pożarów, klęsk żywiołowych lub likwidacji miejscowych zagrożeń,
- wykonywanie pomocniczych specjalistycznych czynności ratowniczych w czasie klęsk żywiołowych lub likwidacji miejscowych zagrożeń przez inne służby ratownicze,
- szkolenie kadr na potrzeby Państwowej Straży Pożarnej i innych jednostek ochrony przeciwpożarowej oraz powszechnego systemu ochrony ludności,
- nadzór nad przestrzeganiem przepisów przeciwpożarowych,
- prowadzenie prac naukowo-badawczych w zakresie ochrony przeciwpożarowej oraz ochrony ludności,
- współpraca z szefem Krajowego Centrum Informacji Kryminalnych w zakresie niezbędnym do realizacji jego zadań ustawowych,
- współdziałanie ze strażami pożarnymi i służbami ratowniczymi innych państw oraz ich organizacjami międzynarodowymi na podstawie wiążących Rzeczpospolitą Polską umów międzynarodowych oraz odrębnych przepisów,
- realizacja innych zadań wynikających z wiążących Rzeczpospolitą Polską umów międzynarodowych na zasadach i w zakresie w nich określonych [11].

W działaniach ratowniczych priorytetem jest schemat ABCDE (A – drożność dróg oddechowych, B – ocena oddechu, C – ocena krążenia, D – ocena świadomości, E – ekspozycja) często modyfikowany u pacjentów urazowych do formy CABC oraz

sustained and, consequently, severe injuries leading to sudden cardiac arrest (SCA), the injured person requires endotracheal intubation. Patients with the preserved vital signs require analgesia before intubation. Pharmacotherapy with benzodiazepines and analgesics or other advanced medications is the most common practice. In the case of EMS type P (basic), the difficulty is that SCA is the only indication for intubation. In other situations, the rescuer must call the EMS (specialist) or air ambulance service or consult a doctor/coordinator on duty of the Emergency Notification Center (CPR) in order to obtain consent for activities that they cannot practice independently. According to Annex 2 of the Regulation of the Minister of Health of December 29, 2006, a paramedic is authorized to perform some medical procedures independently (e.g. tension pneumothorax decompression), while others are on the list requiring medical supervision [12–14]. After initial treatment, final transport begins to the nearest Hospital Emergency Department or Trauma Center.

The author points out that the article does not aim to present the detailed standards of conduct by the emergency medical services in terms of pharmacotherapy and medical rescue activities.

In cases of hemorrhage and shock symptoms, the next stage is quick identification and management by means of compression dressings, tourniquets and fluid resuscitation with the use of crystalloids, colloids and pressor amines, which are components of the maintenance of volemia. Tranexamic acid (TXA, trade name Exacyl) is currently not used in prehospital care in Poland. The highest effectiveness is achieved when the drug is administered within 3 hours after the injury [15–16].

Ultrasound is an important element in identifying injuries in the abdominal cavity, chest and skull. In pre-hospital care, FAST (Focused Assessment with Sonography in Trauma) and EFAST (Extended Focused Assessment with Sonography for Trauma) protocols are applicable [17].

A trauma patient is a pain patient. Therefore, the next priority is pain management and protection against post-traumatic hypothermia. Pain relief is practiced with the use of strong analgesics based on opioids. Covering with plaids and thermal blankets, rapid transfer of the victim to an ambulance, administering warm fluids are solutions to protect against hypothermia.

The above are a component of the protection of the trauma patients with extensive, multi-organ injuries sustained in motor-cycle accidents.

Frequent thoughtlessness of motorcyclists in the form of improper clothing and untested equipment leads to tragic road incidents involving motorcyclists. There are media reports of wounded or killed motorcyclists who used their vehicles in inappropriate footwear (e.g. flip-flops or sandals), had no gloves, were wearing shorts, no helmet, or was carrying a passenger who was not properly dressed for the ride. These recorded cases should be a broad topic for discussion among the community of motorcyclists, as well as in road traffic or police prevention units or entities responsible for changing traffic regulations for motorcyclists (for instance in terms of clothing), in order to enforce the consequences of inadequate preparation for driving and reducing the risk of undesirable events while riding a motorcycle.

zabezpieczenie drożności dróg oddechowych. Należy zdjąć kask motocyklisty zgodnie z określonymi zasadami bezpieczeństwa, jeśli jest wskazanie odessać drogi oddechowe i wykonać przyrządowe udrożnienie dróg oddechowych z zastosowaniem metod nadgłośniowych. Z powodu odniesionych urazów, a w ich następstwie ciężkich obrażeń doprowadzających do nagłego zatrzymania krążenia (NZK), poszkodowany wymaga wykonania intubacji dotchawiczej. Pacjenci z parametrami życiowymi przed wykonaniem intubacji wymagają analgo-sedacji. Najczęściej praktykuje się farmakoterapię z zastosowaniem benzodiazepin i analgetyków lub innych zaawansowanych medykamentów. W przypadku ZRM typu P (podstawowy), trudność polega na tym, iż jedynym wskazaniem do intubacji jest NZK. W pozostałych sytuacjach ratownik musi wezwać ZRM typu S (specjalistyczny) lub LPR lub skonsultować się z lekarzem/koordynatorem dyżurnym Centrum Powiadamiania Ratunkowego (CPR) celem uzyskania zgody na wykonane czynności, których nie może praktykować samodzielnie. Zgodnie z załącznikiem nr 2 rozporządzenia Ministra Zdrowia z 29 grudnia 2006 r. ratownik medyczny posiada uprawnienia do wykonania niektórych procedur medycznych samodzielnie (np. odbarczenie odmy prężnej), inne natomiast znalazły się na liście wymagających nadzoru lekarza [12–14]. Po wstępnym zaopatrzeniu rozpoczyna się definitywny transport do najbliższego szpitalnego oddziału ratunkowego (SOR) lub centrum urazowego (CU).

Autor pragnie zwrócić uwagę, iż praca nie ma na celu ukazania szczegółowych standardów postępowania przez ZRM w kwestii stosowanej farmakoterapii oraz medycznych czynności ratunkowych.

Kolejnym etapem w przypadku wystąpienia krwotoku i objawów wstrząsu jest szybka identyfikacja i walka z nimi poprzez tamowanie z użyciem opatrunków uciskowych, opasek uciskowych oraz resuscytacja płynowa z zastosowaniem krystaloidów, koloidów oraz amin presyjnych, które stanowią składowe utrzymanie wolemii. W opiece przedszpitalnej w Polsce nie stosuje się na chwilę obecną kwasu traneksamowego (TXA, nazwa handlowa Exacyl; największą skuteczność uzyskuje się, podając lek do 3 godzin od momentu urazu) [15–16].

Ważne narzędzie identyfikacji odniesionych obrażeń w obszarze jamy brzusznej, klatki piersiowej i czaszki stanowi USG. W opiece przedszpitalnej zastosowanie ma protokół FAST (ang. *Focused Assessment with Sonography in Trauma*) oraz EFAST (ang. *Extended Focused Assessment with Sonography for Trauma*) [17].

Pacjent urazowy to pacjent bólowy. Zatem kolejny priorytet to walka z bólem oraz ochrona przed hipotermią pourazową. Uśmierzanie bólu praktykuje się z zastosowaniem silnych analgetyków na bazie opioidów. Okrycie kocami pledowymi i termicznymi, szybkie przeniesienie poszkodowanego do ambulansu, toczenie ciepłych płynów to rozwiązania ochrony przed hipotermią.

Powyższe czynności stanowią część zabezpieczenia pacjentów urazowych z rozległymi, wielonarządowymi obrażeniami odniesionymi w wypadkach motocyklowych.

Częsta bezmyślność motocyklistów uwidacznia się poprzez dobór niewłaściwego ubioru oraz nieatestowanego sprzętu, co w efekcie doprowadza do tragicznych w skutkach zdarzeń drogowych. Znane są doniesienia medialne o rannych lub zabitych

motocyklistach, którzy poruszali się swymi pojazdami w nieodpowiednim obuwiu (np. w klapkach lub sandałach), bez rękawic, w krótkich spodenkach, bez kasku lub przewożących podobnie nieprzygotowanych do jazdy pasażerów. Te odnotowane przypadki zapewne powinny zostać poddane dyskusji zarówno w środowisku samych motocyklistów, jak i w jednostkach ruchu drogowego, komórkach prewencji Policji lub podmiotach odpowiedzialnych za zmianę przepisów ruchu drogowego dla motocyklistów (choćby właśnie w kwestii ubioru do jazdy motocyklem), celem egzekwowania konsekwencji niewłaściwego przygotowania do jazdy i zmniejszenia ryzyka niepożądanych zdarzeń w trakcie poruszania się motocyklem.

Conclusion

1. Motorcyclists in 2019 were a large group of people who died and were seriously injured in road accidents.
2. The number of road accidents in 2019 and the number of killed motorcyclists is higher than in 2018.
3. In 2019, there were fewer injured motorcyclists than in 2018.
4. The most common causes of accidents involving motorcyclists caused by drivers of other vehicles are: failure to give right-of-way and improper behavior on the road while driving, i.e. turning, changing lanes, overtaking.
5. The most common causes of accidents caused by motorcyclists are: excessive speed, improper overtaking, failure to keep a safe distance from other vehicles, failure to give right-of-way.
6. Among the perpetrators – motorcyclists of accidents, the age group between 25 and 39 years is dominant.
7. The most common months with the highest number of motorcycle accidents are June, July, August.
8. The injuries and traumas sustained by motorcyclists and their passengers mostly involve the lower and upper extremities, head, chest and abdomen.
9. Prevention in motorcycle riding must aim at common-sense riding, compliance with the road traffic regulations, using protective suits, helmets, gloves and motorcycle boots, adjusting the speed and driving mode to the road conditions.
10. All first aid trainees, including road accident victims, should undergo training in dealing with an injured motorcyclist.
11. It is worth improving the scope of competences of paramedics in Poland regarding independent analgo-sedation and intubation.
12. Additional catecholamines, apart from adrenaline, should be a part of equipment of EMS basic type in order to overcome hypovolemic shock caused by trauma, difficult to control with standard methods.
13. Exacyl should be recommended for use in pre-hospital care in Poland at the EMS level.

In 2018, there were recommendations contained in the work entitled: *SaferWheels Project – research on the causes of road*

Wnioski

1. W 2019 roku motocykliści stanowili dużą grupę osób, które zginęły i odniosły poważne urazy w wypadkach drogowych.
2. Liczba wypadków komunikacyjnych w 2019 roku oraz liczba zabitych motocyklistów jest większa niż w roku poprzednim.
3. W 2019 roku było mniej rannych motocyklistów niż w roku 2018.
4. Najczęstszymi przyczynami wypadków z udziałem motocyklistów spowodowanymi przez kierujących innymi pojazdami są: nieudzielenie pierwszeństwa przejazdu oraz nieprawidłowe zachowania na drodze w trakcie jazdy (tj. skręt, zmiana pasa ruchu, wyprzedzanie).
5. Najczęstsze przyczyny wypadków spowodowane przez motocyklistów to: nadmierna prędkość, nieprawidłowe wyprzedzanie, brak bezpiecznej odległości od innych pojazdów, nieudzielenie pierwszeństwa przejazdu.
6. Wśród motocyklistów sprawców wypadków dominuje grupa wiekowa w przedziale 25–39 lat.
7. Miesiące, w których dochodzi do największej liczby wypadków motocyklowych to czerwiec, lipiec, sierpień.
8. Odniesione urazy i obrażenia u motocyklistów i ich pasażerów dotyczą najczęściej kończyn dolnych i górnych, głowy, klatki piersiowej i brzucha.
9. Prewencja w jeździe motocyklem musi zmierzać do bezpiecznego kierowania pojazdem, tj. przestrzegania przepisów ruchu drogowego, stosowania kombinezonów ochronnych, kasków, rękawic i wysokich butów motocyklowych, dostosowywania prędkości i trybu jazdy do warunków panujących na jezdni.
10. Wszystkie osoby szkolące się w ramach pierwszej pomocy, w tym także z poszkodowanymi w wypadkach drogowych, powinny odbywać ćwiczenia z postępowania z poszkodowanym motocyklistą.
11. Warto udoskonalić zakres kompetencji ratowników medycznych w Polsce odnośnie samodzielnej analgo-sedacji i intubacji.
12. Dodatkowe aminy katecholowe, poza adrenaliną, powinny być na wyposażeniu ZRM typu P, celem walki z trudnym

accidents involving motorcyclists, mopeds and cyclists, in which significant conclusions were made. Namely, in order to eliminate accidents caused by speeding (over the legal limit) by drivers of two-wheelers, it is recommended to strengthen police control. The use of helmets and specialist clothing by motorcyclists should be promoted (which reduces the risk of injury from 33% to 50%), and during the training of candidates for motorcyclists, it is advisable to make them sensitive to the problems and expectations of other road users. Knowledge should be disseminated (through educational activities) about the negative impact of driving under the influence of alcohol, which increases the risk of an accident. Loss of vehicle control, including individual accidents, results in fatalities and serious injuries. It is recommended to equip motorcycles under 125 cm³ with ABS systems (reduces the number of fatal accidents by 31%) [18].

Referring to the data from the study conducted in Poland between 2004 and 2014, it appears that the same factors predisposing to road accidents still persist. On average, 45% of the drivers exceed the permitted speed limits, and on national roads these rates are even higher and amount to: in rural areas – 62% of drivers, at crossings of transit roads through small towns and villages – 84% of drivers, in urban areas – 48% of drivers.

These shares are among the highest in the European Union countries. Police data show that in our country in the years 2004–2014 almost 25% of accidents were related to excessive speed or speed not adapted to road conditions. The accidents in which drivers were traveling at excessive speed were mostly serious accidents with numerous fatalities (about 30% of all fatalities) [19].

Young people are particularly at risk among motorcyclists and moped riders (both driving two-wheelers and their passengers). According to European Union data from 2018, 40% of all motorcyclists and moped riders injured or killed in accidents were under 30 years of age. Among this group of road users, as many as 93% of fatalities and 79% of the injured were men. Young women using motorcycles or mopeds accounted for 7% of fatalities and 21% of injured [20].

US studies indicate that if an accident is serious enough to require the vehicle to be towed away, a third of patients will suffer serious neck injuries. If passengers are trapped, this number is likely to be exceeded due to the greater impact and distortion of the passenger compartment [21].

do opanowania standardowymi metodami wstrząsem hipowolemicznym, spowodowanym urazem.

13. Lek pod nazwą Exacyl powinien uzyskać rekomendację stosowania w opiece przedszpitalnej w Polsce na poziomie ZRM.

W 2018 roku pojawiły się rekomendacje zawarte w pracy pt. *Projekt SaferWheels – badanie przyczyn wypadków drogowych z udziałem motocyklistów, motorowerzystów i rowerzystów*, w których sformułowano istotne wnioski. Mianowicie w celu wyeliminowania wypadków spowodowanych nadmierną prędkością (ponad dopuszczalnym limitem) przez kierowców jednośladowych pojazdów silnikowych zaleca się wzmocnienie kontroli policyjnej. Należy propagować stosowanie kasków i odzieży specjalistycznej przez motocyklistów (co obniża ryzyko obrażeń od 33% do 50%), a w trakcie szkoleń kandydatów na kierowców motocyklistów wskazane jest uwrażliwiać ich na problemy i oczekiwania innych uczestników ruchu drogowego. Powinno się rozpowszechniać wiedzę (poprzez działania edukacyjne) na temat negatywnego wpływu prowadzenia jednośladów pod wpływem alkoholu, który powoduje większe ryzyko wystąpienia wypadku. Utrata kontroli nad pojazdem, w tym wypadki pojedyncze, skutkuje ofiarami śmiertelnymi i ciężkimi obrażeniami. Rekomendowane jest wyposażenie motocykli poniżej 125 cm³ w systemy ABS (zmniejsza liczbę śmiertelnych wypadków o 31%) [18].

Odnosząc się do danych z badania przeprowadzonego w Polsce w latach 2004–2014, wynika z niego, że czynniki predysponujące do powstawania wypadków drogowych są nadal takie same. Przeciętnie 45% kierowców przekracza dozwolone limity prędkości. Na drogach krajowych wskaźniki te są jeszcze wyższe i wynoszą: na obszarach zamiejskich – 62% kierowców, na przejściach dróg tranzytowych przez małe miasta i miejscowości – 84% kierowców, na obszarach miejskich – 48% kierowców. Udziały te należą do najwyższych w krajach Unii Europejskiej. Z danych policyjnych wynika, że w naszym kraju w latach 2004–2014 prawie 25% wypadków związanych było z nadmierną prędkością albo z prędkością niedostosowaną do warunków drogowych. Wypadki, w których kierowcy jechali z nadmierną prędkością, to przeważnie wypadki ciężkie, połączone z licznymi ofiarami śmiertelnymi (ok. 30% ogółu ofiar śmiertelnych) [19].

W grupie motocyklistów i motorowerzystów (zarówno kierujących jednośladowymi, jak i ich pasażerów) szczególnie zagrożeni są młodzi ludzie. Według danych Unii Europejskiej z 2018 r. 40% ogółu motocyklistów i motorowerzystów, którzy odnieśli obrażenia bądź zginęli w wypadkach, miało poniżej 30 lat. Wśród tej grupy uczestników ruchu drogowego aż 93% ofiar śmiertelnych i 79% rannych to mężczyźni. Młode kobiety korzystające z motocykli lub motorowerów stanowiły 7% ofiar śmiertelnych i 21% rannych [20].

Amerykańskie badania wskazują, że jeśli wypadek jest na tyle poważny, że wymaga odholowania pojazdu, jedna trzecia pacjentów odniesie poważne obrażenia szyi. W przypadku uwięzienia pasażerów, ze względu na większy wpływ i zniekształcenie przestrzeni pasażerskiej, liczba ta prawdopodobnie zostanie przekroczona [21].

Summary

Motorcyclists constitute a large group of two-wheeler drivers. Every year there are more motorcyclists on Polish roads. A significant number of killed and injured motorcyclists or their passengers are people of productive age.

The key element of road safety is the sensible movement of all vehicles, maintaining a driving culture and not engaging in risky behaviors.

The scale of trauma and injuries sustained by motorcyclists is very high. Most of them die directly at the scene, others as a result of secondary injuries. A very important component increasing the chances of survival of trauma patients is rapid transport to the hospital and specialized in-hospital management. Properly implemented measures by EMS securing injured motorcyclists aimed at finding and stopping massive bleeding, fighting hypovolemic shock, maintaining airway patency and trauma protection, quick transport to the nearest ED or specialized hospital facility, air ambulance service support all increase the chances of survival of the injured motorcyclists.

Individual stages of integrated rescue services, optimizing the time of reaching the scene of a road accident and the activities of all emergency services, constitute a component of pre-hospital care for trauma patients. Prioritized maintenance of the 'golden hour' is essential in the process of rescuing victims of traffic incidents.

Podsumowanie

Motocykliści stanowią znaczącą grupę kierujących pojazdami jednośladowymi. Z roku na rok ich liczba na polskich drogach rośnie. Znaczną liczbę zabitych oraz rannych motocyklistów lub ich pasażerów stanowią osoby w wieku produktywnym.

Kluczowy czynnik bezpieczeństwa na drogach stanowi rozsądne poruszanie się wszelkimi pojazdami z zachowaniem kultury jazdy oraz niepodejmowanie ryzykownych zachowań.

Skala odniesionych urazów i obrażeń u motocyklistów jest bardzo wysoka. Większość z nich ginie bezpośrednio na miejscu zdarzenia, pozostali w wyniku urazów wtórnych. Bardzo ważnym czynnikiem, zwiększającym szanse na przeżycie poszkodowanych urazowych, jest szybki transport do szpitala oraz specjalistyczne postępowanie wewnątrzszpitalne. Właściwie wdrożone przez ZRM działania zabezpieczające poszkodowanych motocyklistów ukierunkowane na zlokalizowanie i tamowanie masywnych krwawień, walkę ze wstrząsem hipowolemicznym, utrzymanie drożności dróg oddechowych oraz zabezpieczenie urazowe, szybki transport do najbliższego SOR lub wyspecjalizowanej placówki szpitalnej, wsparcie LPR zwiększają szanse na przeżycie poszkodowanych motocyklistów.

Poszczególne etapy ratownictwa zintegrowanego optymalizujące czas dotarcia na miejsce wypadku komunikacyjnego oraz działania wszystkich służb ratowniczych stanowią istotny element opieki przedszpitalnej w przypadku pacjentów urazowych. Priorytetowe utrzymanie tzw. złotej godziny odgrywa zasadniczą rolę w procesie ratowania ofiar zdarzeń komunikacyjnych.

Literature / Literatura

- [1] Campbell J. E., *International Trauma Life Support. Ratownictwo przedszpitalne w urazach*, Medycyna Praktyczna, Kraków 2008.
- [2] Rak M., Mańkowski M., Dudek M., Kijanka R., *Wypadki drogowe a obrażenia narządów wewnętrznych*, „Na Ratunek” 2018, 2, 64–68.
- [3] Plantz S. H., Wipfler E. J., *Medycyna Ratunkowa*, Urban & Partner, Wrocław 2000.
- [4] Duda K., Brongel L., *Mnogie i wielonarządowe obrażenia ciała*, PZWL, Warszawa 2009.
- [5] Apanowicz J., *Metodologiczne elementy procesu poznania naukowego w teorii organizacji i zarządzania*, Wydawnictwo Diecezji Pelplińskiej „BERNARDINUM”, Gdynia 2000.
- [6] <https://inforiders.pl/2018/07/19/ile-mamy-motocykli-w-polsce-gdzie-jest-ich-najwiec-ktora-marke-wyberamy-najchetniej/> [dostęp: 12.10.2021].
- [7] <https://www.bankier.pl/moto/polacy-pokochali-motocykle-i-skutery-polskie-marki-w-cenie-6120/> [dostęp: 12.10.2021].
- [8] https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/road_safety/files/pdf/statistics/dacota/bfs2017_motomoped.pdf [dostęp: 15.08.2020].
- [9] <https://swiatmotocykli.pl/motocykle/bezpieczenstwo-motocyklistow-co-cierpi-najbardziej-podczas-wypadku/> [dostęp: 15.08.2020].
- [10] https://prc.krakow.pl/ERC_Gaudlines/PL/ERC_covid19_pages_section2PL.pdf [dostęp: 15.08.2020].
- [11] Warminski A., *Zadania i organizacja Państwowej Straży Pożarnej w zakresie ochrony przeciwpożarowej*, „Doctrina. Studia Społeczno-Polityczne” 2009, 6, 275–304.
- [12] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 grudnia 2006 w sprawie szczegółowego zakresu medycznych czynności ratunkowych, które mogą być wykonywane przez ratownika medycznego (Dz.U. 2007 Nr 4, poz. 33).
- [13] Ustawa z dnia 8 września 2006 roku o Państwowym Ratownictwie Medycznym (Dz.U. 2006 Nr 191, poz. 1410 z późn. zm.).
- [14] Zieliński M., Juszkowiak K., Witt M., *Pilna analgo-sedacja pacjenta z urazem wielonarządowym wykonywana przez Podstawowe Zespoły Ratownictwa Medycznego*, „Nowiny Lekarskie” 2012, 81, 6, 682–684.
- [15] <https://www.mp.pl/ratownictwo/urazy/159382,aktualizacja-stanowiska-itls-dotyczaca-stosowania-kwasu-tranek-samowego-txa-w-krwotokach> [dostęp: 16.08.2020].

- [16] Gucwa J., Madej T., Ostrowski M., *Zaawansowane zabiegi resuscytacyjne i wybrane stany nagłe*, Medycyna Praktyczna, Kraków 2017.
- [17] Przymuszała-Staszak D., Milewska A., Wykrętowicz M., Gużik P., *Ultrasonografia na oddziale intensywnej terapii – przegląd protokołów badań*, „Anestezjologia i Ratownictwo” 2013, 7 (4), 416427.
- [18] Krupińska A., Sicińska K., *Projekt SaferWheels – Badanie przyczyn wypadków drogowych z udziałem motocyklistów, motorowerystów i rowerzystów*, „Transport Samochodowy” 2018, 34, 37–49.
- [19] Goniewicz K., Goniewicz M., Pawłowski W., *Urazowość w wypadkach drogowych w Polsce*, „Transport miejski i regionalny” 2019, 1, 15–18.
- [20] https://www.obserwatoriumbrd.pl/pl/analizy_brd/problemy_brd/motocyklisci/wypadki-motocyklowe/ [dostęp: 25.06.2020].
- [21] Wilmink A. B. M., Samra G. S., Watson L. M., Wilson A. W. I., Vehicle entrapment rescue and pre-hospital trauma care, „Injury” 1996, 27, 1, 21–25.
- [22] <https://statystyka.policja.pl/st/ruch-drogowy/76562,wypadki-drogowe-raporty-roczne.html> [dostęp: 25.06.2020].

PAWEŁ MUSIAŁ, M.D. – assistant at a Medical University of Silesia in Katowice, Specialist – trainer at the Center for Medical Simulation at Medical University in Zabrze, Medical Rescuer in EMS in Zabrze, BLS/AED ERC Instructor, BLS/ACLS AHA Instructor.

DR N. MED. PAWEŁ MUSIAŁ – asystent Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach. Specjalista – trener w Centrum Symulacji Medycznej Uniwersytetu Medycznego w Zabrzu, ratownik medyczny w Pogotowiu Ratunkowym w Zabrzu, instruktor BLS/AED ERC, instruktor BLS/ACLS AHA.



**NOWOŚĆ
WYDAWNICZA
CNBOP-PIB!**

**Ocena ryzyka pożarowego
w INSTALACJACH
FOTOWOLTAICZNYCH.
Określenie koncepcji
bezpieczeństwa
w celu minimalizacji ryzyka**

Tłumaczenie i redakcja
Jan Kielin



**Wyczekiwana od lat pozycja na temat zagrożeń
związanych z instalacjami fotowoltaicznymi!**

DLA KOGO?

Dla PROJEKTANTÓW, WYKONAWCÓW, INSTALATORÓW, UŻYTKOWNIKÓW,
SERWISANTÓW INSTALACJI PV ORAZ STRAŻAKÓW-RATOWNIKÓW

W darmowej e-publikacji m.in.:

- ▶ zagrożenia związane z PV (na poszczególnych etapach życia wyrobu)
- ▶ metody kontroli jakości i normy odnoszące się do PV
- ▶ odbiór techniczny instalacji, eksploatacja
- ▶ zagrożenia dla służb ratowniczych w czasie działań ratowniczo-gaśniczych:
zachowanie się instalacji podczas pożaru, możliwe scenariusze
- ▶ łuk elektryczny: uwarunkowania fizyczne i problematyka DC
- ▶ szkody wywołane pożarem instalacji PV
- ▶ optymalizacja pod kątem bezpieczeństwa produktu i systemów,
środki mające na celu zwiększenie bezpieczeństwa ratowników

Publikacja dostępna jest do bezpłatnego pobrania za pośrednictwem strony internetowej
CNBOP-PIB: <https://www.cnbop.pl/pl/wydawnictwa/ksiazki>

Mariusz Barański^{a)*}, Agnieszka Haznar-Barańska^{b)}

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

^{b)} Municipal Roads and Greenery Authority in Oława / Zarząd Dróg Miejskich i Zieleni w Oławie

* Corresponding author / Autor korespondencyjny: mariusz.barański@o2.pl

Evacuation and its Types – Revision of the Definition and Classification

Ewakuacja i jej rodzaje – rewizja definicji oraz klasyfikacja

ABSTRACT

Objective: Evacuation is a broad concept encompassing many forms of movement in the event of an emergency. Definitions of evacuation are different in many standards and publications in the field of fire safety engineering. The introduction of a unified version of the definition will allow for a precise description of this process. The diversity of its forms and types in the literature on the subject requires the introduction of an appropriate classification. This will allow for systematization of various forms of evacuation and conducting more precise research on individual types of the evacuation process.

Introduction: The evacuation process takes into account the possibility of moving not only people, but also animals and property from a place of danger to a currently safe place. It is a process that does not always take place in an organized or orderly way, and its effect is to leave the place of danger by all people. The complexity of the evacuation process allows it to be divided due to various forms, ways of conducting it, or objects subject to evacuation. In the literature on the subject, many definitions of various forms of evacuation have been formed, i.e. general, phase, organized, self-evacuation, independent, rescue, primary, gradual, selective, sequential, full, preventive, partial, successful, total, successful, successful, secondary, primary, intervention, managed, directed, unmanaged, I degree, II degree, III degree, etc.

Methodology: The authors reviewed the available definitions of the concept of evacuation and proposed a new definition to describe the process in more general terms. In addition, the authors conducted a review of the forms of evacuation and its classification occurring in scientific publications within the national scope. As a result of the detailed analysis, a preliminary classification of individual determinations of the evacuation process was made.

Conclusions: The concept of evacuation has a much broader meaning than the current definitions of this process. The analysis shows that evacuation should be defined as a process of moving people, animals or property from a place of danger to a place currently safe. For the purposes of this article, a total of more than 25 evacuation process determinations have been identified, which have been classified into 12 categories. Progress in many areas, i.e. construction, development of transport and urban infrastructure and the occurrence of public demonstrations/events, affects the need to verify existing definitions for the needs of new conditions. The publication aims to draw attention to the need to introduce a systematic analysis of the classification of the evacuation process. Such classification will allow for the proper identification of all kinds of variables that have different effects on different forms of this process. The introduction of such a division will allow the use of appropriate measures, tools and procedures to ensure an adequate level of human safety. The carried out categorization may be the basis for identifying the risks that may occur during individual forms of evacuation.

Keywords: evacuation, evacuation definition, types of evacuation, fire safety

Type of article: review article

Received: 19.10.2021; Reviewed: 08.11.2021; Accepted: 15.11.2021;

Author's ORCID IDs: M. Barański – 0000-0002-2217-6539; A. Haznar-Barańska – 0000-0001-7648-509X;

Percentage contribution: M. Barański – 70%; A. Haznar-Barańska – 30%;

Please cite as: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 204–222, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.12>;

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

ABSTRAKT

Cel: Ewakuacja jest szerokim pojęciem obejmującym wiele form przemieszczania w przypadku zagrożenia. Definicje ewakuacji są odmienne w wielu normach oraz publikacjach z zakresu inżynierii bezpieczeństwa pożarowego. Wprowadzenie ujednoliconej wersji definicji umożliwi precyzyjne opisanie tego procesu. Występująca w literaturze przedmiotu różnorodność jej form i rodzajów wymaga wprowadzenia odpowiedniej klasyfikacji. Pozwoli to na systematyzowanie różnorodnych form ewakuacji oraz prowadzenie bardziej precyzyjnych badań poszczególnych rodzajów procesu ewakuacji.

Wprowadzenie: Proces ewakuacji uwzględnia możliwość przemieszczania nie tylko ludzi, ale także zwierząt i mienia z miejsca zagrożenia do miejsca aktualnie bezpiecznego. Jest to proces, który nie zawsze przebiega w sposób zorganizowany czy uporządkowany, a jego efektem jest opuszczenie miejsca zagrożenia przez wszystkie osoby. Złożoność procesu ewakuacji pozwala na dokonanie jej podziału ze względu na różnorodne formy, sposoby jej prowadzenia, czy obiekty podlegające ewakuacji. W literaturze przedmiotu ukształtowało się wiele określeń różnych form prowadzenia ewakuacji, tj. ewakuacja

powszechna, fazowa, zorganizowana, samoewakuacja, samodzielna, ratownicza, pierwotna, stopniowa, selektywna, sekwencyjna, pełna, prewencyjna, częściowa, udana, całkowita, pomyślna, wtórna, pierwotna, interwencyjna, zarządzana, kierowana, niezarządzana, I stopnia, II stopnia, III stopnia, itp.

Metodologia: Autorzy dokonali przeglądu dostępnych definicji pojęcia ewakuacji oraz zaproponowali nową definicję pozwalającą na opisanie procesu w sposób bardziej ogólny. Ponadto autorzy przeprowadzili przegląd form ewakuacji oraz jej klasyfikacji występujących w publikacjach naukowych o zasięgu krajowym. W wyniku szczegółowej analizy dokonano wstępnej klasyfikacji poszczególnych określeń procesu ewakuacji.

Wnioski: Pojęcie ewakuacji ma znacznie szersze znaczenie niż określają to obecnie obowiązujące definicje tego procesu. Z dokonanej analizy wynika, że ewakuację należy definiować jako proces przemieszczania ludzi, zwierząt lub mienia z miejsca zagrożenia do miejsca aktualnie bezpiecznego. Na potrzeby niniejszego artykułu zidentyfikowano łącznie ponad 25 określeń procesu ewakuacji, które zostały sklasyfikowane według 12 kategorii. Postęp w wielu dziedzinach, tj. budownictwo, rozwój transportu i infrastruktury miast oraz występowanie publicznych manifestacji/impres wpływa na potrzebę zweryfikowania istniejących definicji na potrzeby nowych uwarunkowań. Publikacja ma na celu zwrócenie uwagi na konieczność wprowadzenia usystematyzowanej analizy klasyfikacji procesu ewakuacji, która pozwoli na właściwą identyfikację wszelkiego rodzaju zmiennych mających odmienny wpływ na różne formy tego procesu. Wprowadzenie takiego podziału umożliwi zastosowanie odpowiednich środków, narzędzi oraz procedur do zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa ludzi. Przeprowadzona kategoryzacja może być podstawą do zidentyfikowania zagrożeń mogących występować podczas prowadzenia poszczególnych form ewakuacji.

Słowa kluczowe: ewakuacja, definicja ewakuacji, rodzaje ewakuacji, bezpieczeństwo pożarowe

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 19.10.2021; **Zrecenzowany:** 08.10.2021; **Zaakceptowany:** 15.11.2021;

Identyfikatory ORCID autorów: M. Barański – 0000-0002-2217-6539; A. Haznar-Barańska – 0000-0001-7648-509X;

Procentowy wkład merytoryczny: M. Barański – 70%; A. Haznar-Barańska – 30%;

Proszę cytować: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 204–222, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.12>;

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

Introduction

The concept of evacuation, as well as its variants, over the years have been given many terms. On the basis of reading articles in scientific journals, several terms regarding the evacuation process can be specified. This causes chaos in terms of its definition and classification. Adjectives specifying the evacuation process are diverse and depend on its specificity, which is fully justified. It can be stated with all firmness that the classification of evacuation requires systematization. Taxonomy makes it possible to organize various forms of the evacuation process.

The authors of the article attempt to unify the definition of the concept of evacuation and its classification. It will facilitate research on issues related to evacuation. Appropriate assignment of individual types of evacuation and their groups will allow to develop the best methods of ensuring safety, also during evacuation. Proper classification will in turn ensure that the risks associated with various forms of evacuation can be carried out. This will allow to design an evacuation process, as well as direct this process in a way that ensures the highest level of safety.

Ensuring safety of people in facilities

Safety of people is paramount. Guarantees of its provision have already been included in the Constitution of the Republic of Poland (among others articles 5 and 66) [1]. Based on this, human safety conditions which are to be ensured in construction works have been defined in detail [2]. Buildings should be designed and constructed in such a way as to ensure that people can be

Wprowadzenie

Pojęcie ewakuacji jak również jej warianty na przestrzeni lat doczekały się wielu określeń. Na podstawie lektury artykułów w czasopiśmie naukowych można wyszczególnić kilkanaście określeń dotyczących procesu ewakuacji. Powoduje to chaos w zakresie jego definiowania oraz klasyfikacji. Przymiotniki precyzujące proces ewakuacji są zróżnicowane i uzależnione od jej specyfiki, co jest w pełni uzasadnione. Z całą stanowczością można stwierdzić, że klasyfikacja ewakuacji wymaga usystematyzowania. Taksonomia umożliwia organizację różnorodnych form procesu ewakuacji.

Autorzy artykułu podejmują próbę ujednoczenia definicji pojęcia ewakuacji oraz jej klasyfikacji. Ułatwi to prowadzenie badań nad zagadnieniami związanymi z ewakuacją. Odpowiednie przyporządkowanie poszczególnych rodzajów ewakuacji oraz ich grup pozwoli wypracować jak najlepsze metody zapewnienia bezpieczeństwa, także w trakcie prowadzenia ewakuacji. Właściwa klasyfikacja zapewni z kolei możliwość prowadzenia analizy ryzyka związanego z różnymi formami ewakuacji. Pozwoli to na projektowanie procesu ewakuacji, a także kierowanie tym procesem w sposób zapewniający największy poziom bezpieczeństwa.

Zapewnienie bezpieczeństwa ludzi w obiektach

Bezpieczeństwo ludzi jest wartością nadrzędną. Gwarancje jego zapewnienia znalazły się już w Konstytucji RP (m.in. art. 5 i 66) [1]. Na tej podstawie szczegółowo zostały określone warunki bezpieczeństwa ludzi, które należy zapewnić w obiektach budowlanych [2]. Budynek powinny być projektowane i wykonane w sposób zapewniający możliwość ewakuacji ludzi lub ich uratowania w inny sposób

evacuated or otherwise rescued in the event of a fire (3). This postulate is currently indisputable and must be met for every building used. In Europe [4] and in Poland, a broad legal and standardization apparatus is being introduced to meet the above postulate [2–3].

Persons responsible for safety in buildings, in addition to legal regulations, have at their disposal a number of national and foreign norms and standards [5–7], as well as technical knowledge [8] collected in scientific publications.

The concept of evacuation

The origin of the concept of evacuation should be sought in Latin. Initially, the meaning was sought in the word *vācuō* meaning to make something empty or invalid, or *ē-vācuō* meaning to empty, evacuate [9]. Some authors point to another concept derived from another Latin word *evacuatio* meaning emptying, disappearing or *evacuare* meaning emptying, disappearing [10]. A later form is the French word *évacuation*. In many languages, this term functions in a similar form – evacuation, ger. *Evakuierung*, rus. *Эвакуация (évakuaciâ)*, sp. *evacuación*, cz. *evakuace*, sl. *evakuácia*, esper. *evakuado* and many others.

Over the years, the concept of evacuation has evolved. The dictionary of foreign words defines them as the export of people or property from areas threatened by a cataclysm or war. Another definition is found in *the Dictionary of the Polish Language* and states that it is the transport of people, animals and belongings from areas threatened by war or haunted by a natural disaster. In turn, *the Dictionary of the Modern Polish Language* indicates that evacuation is the removal, removal of civilians or the army, movable property, equipment, etc. from the area of danger (e.g. in time of war or natural disaster, major accident, etc.). *The Great Dictionary of Foreign Words* shows that evacuation is the taking away of people, belongings, etc. from areas threatened by the enemy or an element (e.g. flood). A more extensive definition can be found in the instruction of the Head of Civil Defence of the Country on the principles of evacuation of people, animals and property in the event of a mass threat [11], according to which evacuation is the movement of people and animals, as well as the transport of property to safe places from areas where there are threats (areas where there are no threats to human and animal life or health, as well as the environment and property at a given time).

This concept is defined differently in the Polish Standard, in which evacuation is an orderly movement of people to a safe place [12]. In turn, the American standard NFPA 1616 [13] gives four terms for the concept of evacuation, as:

- evacuation activity or process,
- leaving or removing someone from a dangerous place,
- withdrawing from a potential area of impact in an organised manner, in particular for conservation,
- organised, phased and supervised withdrawal, dispersal or removal of civilians from hazardous or potentially dangerous areas and their reception and care in safe areas.

However, the presented definitions do not fully refer to the current threats. The intensively developing space around us

w przypadku powstania pożaru [3]. Ten postulat jest obecnie niepodważalny i musi być spełniony dla każdego użytkowanego budynku. W Europie [4] oraz w Polsce wprowadza się szeroki aparat prawny oraz normalizacyjny, aby spełnić powyższy postulat [2–3].

Osoby odpowiedzialne za bezpieczeństwo w budynkach oprócz uregulowań prawnych mają do dyspozycji szereg norm i standardów krajowych oraz zagranicznych [5–7] oraz wiedzę techniczną [8] zebraną w publikacjach naukowych.

Pojęcie ewakuacji

Pochodzenia pojęcia ewakuacji należy poszukiwać w języku łacińskim. Początkowo znaczenia doszukiwano się w słowie *vācuō* oznaczającym uczynienie czegoś pustym lub nieważnym, lub *ē-vācuō* oznaczającym opróżnić, ewakuować [9]. Niektórzy autorzy wskazują na inne pojęcie pochodzące od innego łacińskiego słowa *evacuatio* oznaczającego opróżnienie, znikanie lub *evacuare* oznaczającego opróżnianie, znikanie [10]. Późniejszą formą jest francuskie słowo *évacuation*. W wielu językach termin ten funkcjonuje w zbliżonej formie – ang. *evacuation*, niem. *Evakuierung*, ros. *Эвакуация (évakuaciâ)*, hiszp. *evacuación*, czes. *evakuace*, słow. *evakuácia*, esper. *evakuado* i wiele innych.

Na przestrzeni lat pojęcie ewakuacji ewaluowało. Słownik wyrazów obcych definiuje je jako wywożenie ludności lub majątku z terenów zagrożonych kataklizmem, wojną. Inna definicja znajduje się w *Słowniku języka polskiego* i podaje, że jest to wywożenie ludzi, zwierząt i dobytku z terenów zagrożonych wojną lub nawiedzonych klęską żywiołową. Z kolei *Słownik współczesnego języka polskiego* wskazuje, że ewakuacja jest to usuwanie, wywożenie ludności cywilnej lub wojska, majątku ruchomego, sprzętu itp. z terenu zagrożenia (np. w czasie wojny lub klęski żywiołowej, poważnej awarii itp.). Z lektury *Wielkiego słownika wyrazów obcych* wynika, że ewakuacja jest to wywożenie ludzi, dobytku itp. z terenów zagrożonych przez nieprzyjaciela lub żywioł (np. powódź). Bardziej rozbudowana definicja znajduje się w instrukcji Szefa Obrony Cywilnej Kraju w sprawie zasad ewakuacji ludności, zwierząt i mienia na wypadek masowego zagrożenia [11], zgodnie z którą ewakuacja to przemieszczenie się ludności i zwierząt, a także transport mienia z rejonów, w których występują zagrożenia, do miejsc bezpiecznych (obszarów, na których w danym czasie nie występują zagrożenia dla życia lub zdrowia ludzi i zwierząt oraz środowiska i mienia).

Inaczej definiowane jest to pojęcie w Polskiej Normie, w której ewakuacja jest to uporządkowany ruch ludzi do miejsca bezpiecznego [12]. Z kolei norma amerykańska NFPA 1616 [13] określa pojęcie ewakuacji jako:

- czynność lub proces ewakuacji,
- opuszczenie lub usunięcie kogoś z niebezpiecznego miejsca,
- wycofanie się z potencjalnego obszaru oddziaływania w sposób zorganizowany, zwłaszcza w celu ochrony,
- zorganizowane, etapowe i nadzorowane wycofywanie, rozpraszanie lub usuwanie ludności cywilnej z obszarów niebezpiecznych lub potencjalnie niebezpiecznych oraz ich przyjmowanie i opieka w obszarach bezpiecznych.

Prezentowane definicje nie odnoszą się jednak w pełni do występujących obecnie zagrożeń. Intensywnie rozwijająca się

requires a revising of the concept of evacuation and taking into account new threats and trends in ensuring the safety of people. Currently, the concept of evacuation refers to a wide range of activities. The authors propose a unified definition taking into account a number of different forms of the process of moving both people, animals and property in the event of an emergency. The definition should be legible, not too long or detailed, written in accessible language, allowing the reader to quickly get acquainted with it.

Evacuation is the process of moving people, animals or property from a place of danger to a currently safe place

The word movement has a broader meaning than moving, because it can take place without the participation of the moved entity. Bearing in mind movement, we can consider both the movement of people, animals or property using means of transport, as well as independent movement of people after the announcement of an alarm calling for evacuation. People, animals or property in the current form of the evacuation process completely exhaust the list of values subjected to the evacuation process. Determining the place from which the evacuation is carried out also indicates the need for a hazard. It is not only the movement of persons, animals or property from place A to place B, but it is movement in a situation where there is a threat to these objects. Therefore, there may be no danger to animals or humans, but only to property. Thus, the evacuation may concern one object or a selected combination of them. Ultimately, it is necessary to define the final location of the evacuation process, as not every place is appropriate. We cannot carry out the evacuation process from one place of danger to another. It is crucial that the destination of the evacuation process is a safer place, providing at least minimal conditions for survival or rescue. In case of humans, they may be better than the critical conditions for the evacuation process [14]. An essential element of the evacuation process is also the need to forecast the development of threats. A situation in which people have to be evacuated again to another potentially safer place in a short time must not be allowed, because the conditions in the previously potentially safe place have deteriorated.

In the space around us, safe places are considered to be spaces in which there is no real threat (objective factor) and a sense of danger (subjective factor) [15–17]. Therefore, safety also depends on a person's individual assessment of its level. In the opinion of a particular user, a safe place must meet his specified minimum expectations.

Security depends on the actual threat. This threat does not have to be directly noticeable by a person, but is the result of a measurement with a specific device or expert assessment of emergency services. In the practice of emergency services, there are cases that people in a situation of real (actual) threat (e.g. carbon monoxide poisoning) do not notice it and are not convinced of the need to evacuate. Only the actions of the services consisting in measuring the concentration of carbon monoxide and

przestrzeń wokół nas wymaga zrewidowania pojęcia ewakuacji oraz uwzględnienia nowych zagrożeń oraz trendów zapewniania bezpieczeństwa ludziom. Obecnie pojęcie ewakuacji odnosi się do szerokiego wachlarza działań. Autorzy proponują ujednoczoną definicję uwzględniającą szereg różnorodnych form procesu przemieszczania zarówno ludzi, zwierząt, jak i mienia w sytuacji występowania zagrożenia. Definicja powinna być czytelna, nie zbyt długa ani szczegółowa, napisana przystępnym językiem, umożliwiającą czytelnikowi szybkie zapoznanie się z nią.

Ewakuacja jest to proces przemieszczania ludzi, zwierząt lub mienia z miejsca zagrożenia do miejsca aktualnie bezpiecznego

Słowo przemieszczanie ma znaczenie szersze niż przemieszczanie się, gdyż może odbywać się bez udziału podmiotu przemieszczanego. Mając na uwadze przemieszczanie możemy rozpatrywać zarówno przemieszczanie ludzi, zwierząt czy mienia przy użyciu środków transportu, jak również samodzielne przemieszczanie się ludzi po ogłoszeniu alarmu wzywającego do ewakuacji. Ludzie, zwierzęta lub mienie w obecnym kształcie procesu ewakuacji kompletnie wyczerpują listę wartości poddawanych procesowi ewakuacji. Określenie miejsca, z którego prowadzona jest ewakuacja, wskazuje również na konieczność występowania zagrożenia. Nie jest to wyłącznie przemieszczanie z miejsca A do miejsca B osób, zwierząt lub mienia, ale jest to przemieszczanie w sytuacji, gdy wystąpi zagrożenie dla tych obiektów. Może zatem nie występować zagrożenie dla zwierząt lub ludzi, lecz jedynie dla mienia. Zatem ewakuacja może dotyczyć jednego obiektu lub wybranej ich kombinacji. Ostatecznie wskazanie definicji miejsca końcowego procesu ewakuacji jest niezbędne, gdyż nie każde miejsce jest właściwe. Nie możemy prowadzić procesu ewakuacji z jednego miejsca zagrożenia do drugiego. Kluczowe jest, aby miejsce docelowe procesu ewakuacji było miejscem bardziej bezpiecznym, zapewniającym co najmniej minimalne warunki przetrwania lub uratowania. W przypadku ludzi mogą stanowić one warunki lepsze niż warunki krytyczne prowadzenia procesu ewakuacji [14]. Niezbędnym elementem prowadzenia procesu ewakuacji jest również konieczność prognozowania rozwoju zagrożeń. Nie można dopuścić do sytuacji, w której trzeba będzie w krótkim czasie ponownie ewakuować osoby do innego miejsca potencjalnie bezpieczniejszego, ponieważ warunki w miejscu do tej pory potencjalnie bezpiecznym uległy pogorszeniu.

W otaczającej nas przestrzeni za miejsca bezpieczne uznawane są takie przestrzenie, w których brak jest rzeczywistego zagrożenia (czynniki obiektywne) i poczucia zagrożenia (czynniki subiektywne) [15–17]. Bezpieczeństwo zależy zatem również od indywidualnej oceny jego poziomu przez daną osobę. W odczuciu konkretnego użytkownika miejsce bezpieczne musi spełniać jego określone minimalne oczekiwania.

Bezpieczeństwo uzależnione jest od rzeczywistego zagrożenia, które nie musi być bezpośrednio zauważalne przez człowieka. Stanowi ono efekt dokonania pomiaru określonym urządzeniem lub ekspercką oceną służb ratowniczych. W praktyce służb ratowniczych występują przypadki, że ludzie w sytuacji realnego (rzeczywistego) zagrożenia (np. zatrucia tlenkiem węgla) nie zauważają

confronting the results of measurements with expert knowledge are the beginning of the decision to evacuate, sometimes even forced evacuation on the basis of a state of higher necessity [18]. By sacrificing freedom and freedom of the citizen, one protects life by forcing from a place of immediate threat to life. For example, evacuating people from an indoor pool area outside a building during the winter is not evacuation to a safe place, but beyond the place of danger to a potentially safer place under the given conditions. Such evacuation requires additional measures. When carrying out this type of evacuation, provision should be made for an external cover for the evacuated persons and a final assembly point after the evacuation inside an adjacent (safe) building or a heated means of transport (e.g. a public transport bus).

The practice of conducting an evacuation provides for a situation in which it will be impossible to carry it out. This situation has been taken into account in the legal conditions. The building must be designed in such a way as to provide for the possibility of evacuation or rescue in another way. The concept of saving in a different way hides all design solutions that will ensure people's survival in the conditions of a fire [19]. Therefore, evacuation involves the need to leave the place of danger. Saving in a different way assumes the possibility of people staying in a given evacuation zone, which ensures the possibility of their survival in fire conditions. Thus, in practice, it is possible to combine these two types of activities aimed at ensuring the safety of people [20]. The defend-in-place strategy is a strategy used among others in hospitals, prisons and places where rapid evacuation is not possible.

Purpose of evacuation and criteria for assessing evacuation safety

The purpose of evacuation is to save people, animals or property from imminent danger. The evacuation of people, animals and property is therefore an ongoing process in which there is a race between the remaining escape route and the impending threat. What is expected in this process is that the movement takes place faster or at the same rate as the spreading threat. Where the risk spreads more rapidly, there is a risk of failure of the evacuation process for some of the entities covered by it.

The second purpose of evacuation is to move in a safe way. This means that the evacuation process itself cannot pose a greater danger than the threat that causes the evacuation. A small fire on one of the last floors of a high building can be used as an example. Conducting a full evacuation of the entire building can cause a much greater danger on the escape routes than the resulting fire, which can be controlled by the fire protection devices in which the facility is equipped. However, this does not exclude the need to conduct selective evacuation, limited to the floor where the fire occurred and floors threatened by the possibility of the fire spreading.

go i nie są przekonani o konieczności ewakuacji. Dopiero działania służb polegające na pomiarze stężenia tlenu węgla oraz skonfrontowania wyników pomiarów z wiedzą ekspercką są początkiem podjęcia decyzji o ewakuacji, czasami nawet ewakuacji przymusowej na zasadzie stanu wyższej konieczności [18]. Poświęcając wolność i swobodę obywatela chroni się jego życie ewakuując pod przymusem z miejsca bezpośredniego zagrożenia życia. Przykładowo ewakuacja ludzi z obszaru basenu krytego na zewnątrz budynku w okresie zimowym nie jest ewakuacją do miejsca bezpiecznego, ale poza miejsce zagrożenia do miejsca potencjalnie bezpieczniejszego w danych warunkach. Taka ewakuacja wymaga podjęcia dodatkowych działań. Podczas prowadzenia tego rodzaju ewakuacji należy przewidzieć okrycie zewnętrzne dla ewakuujących się osób oraz docelowe miejsce zbiórki po ewakuacji wewnątrz sąsiedniego (bezpiecznego) budynku lub ogrzewanego środka transportu (np. autobusu komunikacji publicznej).

Praktyka związana z prowadzeniem ewakuacji przewiduje sytuację, w której będzie brak możliwości jej prowadzenia. Taka sytuacja została uwzględniona w uwarunkowaniach prawnych. Obiekt budowlany należy tak zaprojektować, aby zapewnić możliwość ewakuacji lub uratowania w inny sposób. Pod pojęciem uratowania w inny sposób kryją się wszelkie rozwiązania projektowe, które w warunkach pożaru zapewnią ludziom jego przetrwanie [19]. Ewakuacja zatem wiąże się z koniecznością opuszczenia miejsca zagrożenia. Uratowanie w inny sposób zakłada możliwość przebywania ludzi w danej strefie ewakuacji, która zapewnia możliwość ich przetrwania w warunkach pożaru. Zatem w praktyce istnieje możliwość łączenia tych dwóch rodzajów działań mających na celu zapewnienie bezpieczeństwa ludzi [20]. Strategia obrony na miejscu (ang. *defend-in-place*) to strategia stosowana m.in. w szpitalach, więzieniach i miejscach, w których szybka ewakuacja jest niemożliwa.

Cel ewakuacji oraz kryteria oceny bezpieczeństwa ewakuacji

Celem prowadzenia ewakuacji jest uratowanie ludzi, zwierząt lub mienia przed groźącym niebezpieczeństwem. Ewakuacja ludzi, zwierząt i mienia jest zatem ciągłym procesem, w którym trwa wyścig pomiędzy pozostałą do pokonania drogą ewakuacyjną a zbliżającym się zagrożeniem. Oczekiwane w tym procesie jest, aby przemieszczanie odbywało się szybciej lub w takim samym tempie jak rozprzestrzeniające się zagrożenie. W przypadku gdy zagrożenie rozprzestrzenia się szybciej, istnieje ryzyko niepowodzenia procesu ewakuacji dla części podmiotów nią objętych.

Drugim celem prowadzenia ewakuacji jest przemieszczanie w sposób bezpieczny. Oznacza to, że sam proces ewakuacji nie może stanowić większego niebezpieczeństwa niż zagrożenie będące przyczyną prowadzenia ewakuacji. Można się tutaj posłużyć przykładem niewielkiego pożaru na jednej z ostatnich kondygnacji budynku wysokiego. Prowadzenie ewakuacji pełnej całego budynku może spowodować powstanie znacznie większego zagrożenia na drogach ewakuacyjnych niż powstały pożar, który może być kontrolowany przez urządzenia przeciwpożarowe, w które wyposażony jest obiekt. Nie wyklucza to jednak konieczności prowadzenia ewakuacji

As can be seen, both goals stand in some opposition to each other. On one hand, the evacuation should be carried out quickly, on the other hand – safely. In this case, it is necessary to ensure a certain optimal level, for which the evacuation rate associated with the threat and the level of safety of this process will be balanced. This issue is not simple and requires an appropriate scientific apparatus. In the future, a solution to the problem may be dynamic (adaptive) evacuation lighting systems, which will ensure optimal evacuation for a given level of danger.

The optimal level of safety of the evacuation process is inextricably linked, among others, to regular evacuation exercises, as they allow to adjust the procedures and stages of evacuation of the facility in such a way as to minimize the possibility of dangerous events [21]. Managing the evacuation process should be a vector for the development of systems supporting the organization of evacuation. In addition to dynamic evacuation lighting, the systems supporting the evacuation process also include voice alarm systems. Proper interaction of the systems is the key to conducting a more secure and at the same time relatively fast process of evacuation of the facility in the event of a threat.

Over the twentieth century, many concepts have been proposed to assess the level of safety of the process of evacuating people from objects. The concept that currently best reflects the conditions of the evacuation process in the event of a spreading emergency is to compare the required and available time of safe evacuation [5, 8]. Required safe egress time (RSET) is the period of time from the moment a fire occurred to the moment the last person evacuating the object left the endangered facility. It takes into account the time necessary to detect a threat, alert the building users, the reactions of the building users to the alarm and the time of passage along the escape routes. Available safe egress time (ASET) is a fragment of time from the moment of fire to the occurrence of critical conditions for the evacuation process. Critical conditions in the event of a developing fire are concentrations of toxic, irritating and suffocating gases, density of thermal radiation flux and range of visibility.

$$t_{\text{margin}} = \text{ASET} - \text{RSET} \quad (1)$$

where: t_{margin} – safety margin

In order for the evacuation to take place in safe conditions, the available time of safe evacuation must be greater than the required time of safe evacuation. The difference between ASET and RSET is the so-called safety margin (1). The safety margin should take into account the possibility of a possible prolongation of the evacuation process or a faster development of the fire. Legal regulations regarding the safety of the evacuation process gradually take into account the provision of an appropriate level of safety margin. For example, the Italian Fire Prevention Code (IFC) [22] sets the minimum safety margin value at 10% of the RSET but not less than 30 seconds. The ASET/RSET concept, despite its shortcomings, is currently the only one that allows a qualitative and quantitative assessment of the level of safety of the evacuation process [23].

selektywnej, ograniczonej do piętra, na którym powstał pożar oraz pięter zagrożonych możliwością rozprzestrzenienia się pożaru.

Jak łatwo zauważyć, obydwa cele stoją w pewnej opozycji w stosunku do siebie. Z jednej strony ewakuacja powinna przebiegać szybko, z drugiej strony bezpiecznie. Niezbędne w tym przypadku jest zapewnienie pewnego poziomu optymalnego, dla którego tempo ewakuacji związane z zagrożeniem oraz poziom bezpieczeństwa tego procesu będą zbalansowane. Zagadnienie to nie jest proste i wymaga odpowiedniego aparatu naukowego. Rozwiązaniem zagadnienia mogą być w przyszłości systemy dynamicznego (adaptacyjnego) oświetlenia ewakuacyjnego, które zapewnią prowadzenie optymalnej ewakuacji dla danego poziomu zagrożenia.

Optymalny poziom bezpieczeństwa procesu ewakuacji nierozzerwalnie związany jest m.in. z wykonywanymi regularnie ćwiczeniami ewakuacyjnymi, gdyż pozwalają one dostosować procedury i etapy ewakuacji obiektu w taki sposób, aby zminimalizować możliwość powstania niebezpiecznych zdarzeń [21]. Kierowanie procesem ewakuacji powinno być wektorem rozwoju systemów wspomagających organizację ewakuacji. Do tych systemów należy zaliczyć oprócz dynamicznego oświetlenia ewakuacyjnego także dźwiękowe systemy ostrzegawcze. Odpowiednie ich współdziałanie jest kluczem do prowadzenia bardziej bezpiecznego, a równocześnie stosunkowo szybkiego procesu ewakuacji obiektu w przypadku powstania zagrożenia.

Na przestrzeni dwudziestego wieku zaproponowano wiele koncepcji oceny poziomu bezpieczeństwa procesu ewakuacji ludzi z obiektów. Koncepcją, która obecnie najlepiej odzwierciedla warunki procesu ewakuacji w przypadku rozprzestrzeniającego się zagrożenia, jest porównanie wymaganego oraz dostępnego czasu bezpiecznej ewakuacji [5, 8]. Wymagany czas bezpiecznej ewakuacji RSET (ang. *required safe egress time*) jest to odcinek czasu od momentu powstania pożaru do chwili opuszczenia zagrożonego obiektu przez ostatnią ewakuującą się osobę. Uwzględnia on czas niezbędny na detekcję zagrożenia, alarmowanie użytkowników budynku, reakcje użytkowników budynku na wygłoszony alarm oraz czas przejścia drogami ewakuacyjnymi. Dostępny czas bezpiecznej ewakuacji ASET (ang. *available safe egress time*) jest to natomiast fragment czasu od chwili powstania pożaru do momentu wystąpienia warunków krytycznych dla prowadzenia procesu ewakuacji. Warunkami krytycznymi w przypadku rozwijającego się pożaru są stężenia gazów toksycznych, drażniących i duszących, gęstość strumienia promieniowania cieplnego oraz zasięg widzialności.

$$t_{\text{margin}} = \text{ASET} - \text{RSET} \quad (1)$$

gdzie: t_{margin} – margines bezpieczeństwa

Aby ewakuacja przebiegała w bezpiecznych warunkach dostępny czas bezpiecznej ewakuacji musi być większy od wymaganego czasu bezpiecznej ewakuacji. Różnica pomiędzy ASET i RSET jest tzw. marginesem bezpieczeństwa (1). Margines bezpieczeństwa powinien uwzględniać możliwość ewentualnego przedłużenia się procesu ewakuacji lub szybszego rozwoju pożaru. Regulacje prawne dotyczące bezpieczeństwa procesu ewakuacji stopniowo uwzględniają zapewnienie odpowiedniego poziomu marginesu bezpieczeństwa. Na przykład we włoskich przepisach przeciwpożarowych (ang. *Italian Fire Prevention Code*, IFC) [22] określono minimalną wartość marginesu bezpieczeństwa jako 10% RSET lecz nie mniej niż 30 sekund. Obecnie koncepcja ASET/RSET

Variety of definitions of the evacuation process in publications

In the literature on the subject there are many adjectives characterizing the concept of evacuation and defining its types. One of the terms is gradual evacuation [24]. A gradual evacuation is a type of an evacuation process in which people from different places in a building are evacuated in a specific order (first people from places affected by the fire, and then from the rest of the facility) [25]. *The dictionary of the Polish language* defines a gradual adjective as having a slow course – e.g. a gradual increase in temperature. A more precise term for an evacuation consisting of evacuation in a specific order would be sequential evacuation. The adjective sequential [26] is characteristic of the arrangement of some elements in which they appear in a strictly defined order. The concept of sequential evacuation is introduced by M. Smolarkiewicz [27]: "The crisis manager has the possibility of only sequential evacuation of both objects (i.e. one by one)".

The concept of sequential evacuation was introduced in foreign literature among others in an article *Calculating evacuation times for tall buildings* [28].

Another concept found in the literature on the subject is selective evacuation [28], which consists in providing a fire alarm on different floors with appropriate time intervals so that vertical escape routes do not form queues of people waiting to leave [29]. In *the Dictionary of the Polish Language* [26], the term selective is defined as "covering only some elements of the whole" so selective evacuation is one that covers only a selected part of the object and that does not take into account the possibility of the occurrence of stages of its implementation.

In turn, P. Gromek introduces a division of evacuation into general and phase evacuation [30]. "In the facilities of educational institutions with systems of escape routes generating the formation of so-called bottlenecks, it is possible to diversify the forms of evacuation into general evacuation and phase evacuation. The former deals with the simultaneous emptying of the facility after the alarm is announced for all its users. In the second case, account shall be taken of the differentiation of the order in which the various groups in the danger zone leave the danger zone in order to maintain the patency of the escape routes". The common adjective refers to all things, people, matters, etc. [26]. Its synonym can be full. In the sense of a full evacuation, it will be one in which nothing is missing, which constitutes a whole [26]. Phase evacuation fits into the already discussed definition of sequential evacuation. The interchangeable use of phase and sequential evacuation adjectives also occurs in foreign literature [31–32]. The phase adjective is a definition of the state of the phenomenon at a given moment rather than an evacuation carried out in an appropriate sequence [26]. Of course, in the evacuation process we can talk about phases, but nevertheless these phases will concern the characteristics of this process regardless of its scope.

pomimo wad jest jedyną pozwalającą w sposób jakościowy i ilościowy na ocenę poziomu bezpieczeństwa procesu ewakuacji [23].

Różnorodność określeń procesu ewakuacji w publikacjach

W literaturze przedmiotu występuje wiele przymiotników charakteryzujących pojęcie ewakuacji oraz określających jej rodzaje. Jednym z określeń jest ewakuacja stopniowa [24]. Jest to rodzaj prowadzenia procesu ewakuacji, w którym ludzie z różnych miejsc w obiekcie budowlanym są ewakuowani w określonej kolejności (na początku ludzie z miejsc objętych pożarem, a następnie z pozostałej części obiektu) [25]. *Słownik języka polskiego* definiuje przymiotnik stopniowy jako mający powolny przebieg – np. stopniowy wzrost temperatury. Bardziej precyzyjnym określeniem ewakuacji polegającej na ewakuowaniu w określonej kolejności byłaby ewakuacja sekwencyjna. Przymiotnik sekwencyjny [26] charakterystyczny jest dla układu jakichś elementów, w których występują one w ściśle określonej kolejności. Pojęcie ewakuacji sekwencyjnej wprowadza M. Smolarkiewicz [27]: „Zarządzający sytuacją kryzysową ma możliwość jedynie sekwencyjnej ewakuacji obu obiektów (tzn. jeden po drugim)”.

Pojęcie ewakuacji sekwencyjnej wprowadzone zostało w literaturze zagranicznej m.in. w artykule pt. *Calculating evacuation times for tall buildings* [28].

Innym pojęciem występującym w literaturze przedmiotu jest ewakuacja selektywna [28] polegająca na podaniu alarmu pożarowego na różnych kondygnacjach z odpowiednimi odstępami czasowymi tak, aby na pionowych drogach ewakuacji nie tworzyły się kolejki osób oczekujących na wyjście [29]. W *Słowniku języka polskiego* [26] termin selektywny definiowany jest jako „obejmujący tylko niektóre elementy całości”, a więc ewakuacja selektywna to taka, którą objęta jest jedynie wybrana część obiektu i która nie uwzględnia możliwości występowania etapów jej realizacji.

Z kolei P. Gromek wprowadza podział ewakuacji na ewakuację powszechną oraz fazową [30]. „W obiektach placówek oświatowych o układach dróg ewakuacji generujących powstawanie tzw. wąskich gardeł istnieje możliwość dywersyfikacji form ewakuacji na ewakuację powszechną oraz ewakuację fazową. Ta pierwsza traktuje o równoczesnym opróżnianiu placówki po ogłoszeniu alarmu dla wszystkich jej użytkowników. W drugim przypadku bierze się pod uwagę zróżnicowanie kolejności opuszczania strefy zagrożenia przez poszczególne grupy się w niej znajdujące tak, aby zachować drożność dróg ewakuacji”. Przymiotnik powszechny dotyczy wszystkich rzeczy, osób, spraw, itp. [26]. Jego synonimem może być pełny. W znaczeniu pełna ewakuacja będzie to taka, w której niczego nie brakuje, która stanowi całość [26]. Ewakuacja fazowa wpisuje się w omawianą już definicję ewakuacji sekwencyjnej. Wymienne stosowanie przymiotników ewakuacji fazowej oraz sekwencyjnej występuje również w literaturze zagranicznej [31–32]. Przymiotnik fazowy jest określeniem bardziej stanu zjawiska w danej chwili niż ewakuacji prowadzonej w odpowiedniej sekwencji [26]. Oczywiście w procesie ewakuacji możemy mówić o fazach, niemniej jednak fazy te będą dotyczyły charakterystyki tego procesu niezależnie od jej zakresu.

The extent to which an evacuation covers a given facility may be the reason for its division into full or partial [33]: "In most cases, the commander of the called fire brigade unit takes command of the rescue operation and orders full or partial evacuation of a facility".

The concept of partial evacuation indicates a part of the object that has not been fully determined. A more appropriate term, according to the author, as already mentioned above, would be selective evacuation. The selection of a given part to be evacuated is the result of selection, decision-making process within the framework of knowledge and information about the developing threat by persons responsible for organizing rescue operations.

The division of the evacuation process into two types is made in the doctoral dissertation by B. Juras [34]. Evacuation, in this case of a hospital, is divided into total and partial. Total evacuation means leaving the entire hospital (the entire building) and taking all people to a safe, pre-designated place, the so-called collection point. Partial evacuation, on the other hand, is the evacuation of all people from one part of the hospital, e.g. from one wing to another [34]. In this case, partial evacuation can also take the form of on-site defence if it takes place in a fire-separated space rather than an independent fire zone. The division of evacuation into total and partial also occurs in foreign literature [35].

There is also another meaning of full evacuation in literature [36]: "When designing, it is necessary to provide early warning of a fire. The fire detection and the alarm system must provide a warning early enough to allow full evacuation from the danger zone before conditions become unacceptable". Full evacuation is presented here in such a way that all users of a facility must evacuate before critical conditions become unacceptable, threatening human lives. The authors [36], when formulating the term full evacuation, meant the success of this process. The situation of success of the evacuation process can be defined as an effective or successful evacuation [37].

Recognizing threats provides the opportunity to plan possible actions to limit their impact on people, animals and property. Evacuation planning together with evacuation exercises gives the possibility of conducting an organized evacuation [38]. Mass evacuation of the population may take the form of an organised evacuation, initiated by public administration bodies, carried out on the basis of the resources of representatives of that administration [39].

The process of movement of people can be initiated by the occurring threat regardless of the decisions made by the facility manager or people conducting the rescue operation. This form of evacuation has been defined as self-evacuation and applies only to the population. Self-evacuation consists in the movement of people from areas where there may be or has been an immediate threat to life and health outside the danger zone. It is conducted primarily on the basis of own capabilities (transport, accommodation, etc.) [11, 40]. Self-evacuation, otherwise, is a movement according to one's own transport and accommodation capabilities [41]. It can take an organized or spontaneous form [39, 41]. Otherwise, self-evacuation can be defined as an independent evacuation, carried out without anyone's help and/or influence, regardless of other activities and processes taking place in the facility or on the premises [42].

Zakres, jakim ewakuacja obejmuje dany obiekt, może być powodem jej podziału na pełną lub częściową [33]: „W większości przypadków dowódca wezwanej jednostki straży pożarnej przejmuje dowodzenie akcją ratunkową i zarządza pełną lub częściową ewakuację obiektu”.

Pojęcie częściowa ewakuacja wskazuje na część obiektu, która nie do końca została określona. Właściwszym określeniem, wg autora, jak już wspomniano powyżej, byłaby ewakuacja selektywna. Wybór danej części przeznaczonej do ewakuacji jest wynikiem selekcji, procesu podejmowania decyzji w ramach posiadanej wiedzy i informacji o rozwijającym się zagrożeniu przez osoby odpowiedzialne za organizowanie działań ratowniczych.

Podział procesu ewakuacji na dwa rodzaje dokonuje w swojej rozprawie doktorskiej B. Juras [34]. Ewakuacja, w tym przypadku szpitala, dzieli się na całkowitą i częściową. Ewakuacja całkowita to opuszczenie całego szpitala (całego budynku) i wyprowadzenie wszystkich osób do miejsca bezpiecznego, wcześniej wyznaczonego, tzw. punktu zbiórki. Natomiast ewakuacja częściowa to ewakuowanie wszystkich osób z jednej części szpitala, np. z jednego skrzydła do innego [34]. W tym przypadku ewakuacja częściowa może mieć również formę obrony na miejscu, jeśli odbywa się do przestrzeni wydzielonej przeciwpożarowo, a nie niezależnej strefy pożarowej. Podział ewakuacji na całkowitą i częściową występuje również w literaturze zagranicznej [35].

W literaturze przedmiotu występuje także inne znaczenie ewakuacji pełnej [36]: „Przy projektowaniu konieczne jest zapewnienie wczesnego ostrzegania o pożarze. Wykrycie pożaru i system alarmowy muszą zapewnić ostrzeżenie na tyle wcześnie, aby możliwa była pełna ewakuacja ze strefy zagrożenia, zanim warunki staną się nieakceptowalne”. Ewakuacja pełna przedstawiana jest tu w taki sposób, że wszyscy użytkownicy obiektu muszą ewakuować się, zanim warunki krytyczne staną się nieakceptowalne, zagrażające życiu ludzi. Autorzy [36] formułując określenie ewakuacji pełnej, mieli na myśli powodzenie tego procesu. Sytuacja powodzenia procesu ewakuacji może zostać określona jako ewakuacja pomyślna lub udana [37].

Rozpoznawanie zagrożeń daje możliwość zaplanowania ewentualnych działań ograniczających ich wpływ zarówno na ludzi, zwierzęta, jak i mienie. Planowanie ewakuacji wraz z prowadzeniem ćwiczeń ewakuacyjnych daje możliwość prowadzenia ewakuacji zorganizowanej [38]. Masowa ewakuacja ludności może przybierać formę ewakuacji zorganizowanej, inicjowanej przez organy administracji publicznej, prowadzonej w oparciu o zasoby przedstawicieli tejże administracji [39].

Proces przemieszczania się ludzi może być zainicjowany przez występujące zagrożenie niezależnie od decyzji podejmowanych przez zarządcę obiektu czy osoby prowadzące akcję ratowniczą. Taka forma ewakuacji została zdefiniowana jako samoewakuacja i dotyczy wyłącznie ludności. Samoewakuacja polega na przemieszczeniu się ludności z rejonów, w których może wystąpić lub wystąpiło bezpośrednie zagrożenie dla życia i zdrowia poza strefę zagrożenia. Prowadzona jest przede wszystkim w oparciu o własne możliwości (transportowe, zakwaterowania, itd.) [11, 40]. Samoewakuacja inaczej to przemieszczenie według własnych możliwości transportowych i kwaterunkowych [41]. Może ona przyjąć formę zorganizowanej lub spontanicznej [39, 41]. Inaczej samoewakuację

Among the different types of evacuation, preventive evacuation can be distinguished [43]. It is a process of moving people, animals or property from areas or objects in the event of an impending threat. During natural disasters, e.g. floods, both preventive and rescue evacuations are carried out [44]. Preventive evacuation of facilities concerns its technical preparation for independent abandonment by people or with the help of fire-fighters or representatives of cooperating entities [45]. Another term for rescue evacuation in literature is intervention evacuation [45–48]. Rescue or intervention evacuation is an evacuation carried out by the rescue services arriving at the place. It aims to save people, animals or property from the imminent, often spreading threat.

In case of long-term rescue operations sometimes covering a large area, e.g. during floods, it is not possible to quickly return the population to their place of residence. Therefore, after the stage of primary evacuation, aimed at transporting or taking people out of the place of danger to a safe place, the so-called secondary evacuation consisting in delivering the population to places of temporary residence is carried out [49]. The definition of secondary evacuation may be debatable here. Moving people from a place that is already safe to a place of longer stay is not entirely an evacuation. Of course, one can use here the threat to the dignified functioning of a given group of people, which can be significantly reduced without ensuring the fulfilment of the basic needs (places of accommodation, food, personal hygiene, etc.). The above division may also apply to a form of evacuation in which, due to the rate of the development of the hazard, primary evacuation is carried out to a potentially safer place providing minimum conditions for survival, and then, under less pressure from the elapsing time, secondary evacuation to a safe place.

Due to the conditions related to the type and scale of the threat, evacuation of I, II and III degrees can be distinguished [11]. Evacuation of the first degree consists in the immediate movement of people, animals, property from areas, places where there was a sudden, unforeseen immediate threat outside the danger zone. It is implemented immediately after the threat to life, health and property. First-degree evacuation has the character of rescue (intervention) evacuation. Second-degree evacuation consists in a previously prepared planned movement of people, animals, property from areas adjacent to plants, hydrotechnical facilities, flood zones and areas adjacent to other facilities posing a potential threat to humans, animals or property in the event of damage or failure. It is implemented in the event of symptoms of such a threat. Second-degree evacuation is mainly a preventive, planned and organized evacuation. Evacuation of the third degree consists in the previously prepared movement of population, animals, property while increasing the state of defence readiness of the state. It is conducted at a time of threat to state security and war. Like the second stage evacuation, it is a planned and organized evacuation, carried out in an exceptional situation covering a large area of the country.

The development of fire protection devices, including dynamic evacuation lighting systems, allows for another division into managed (guided) and unmanaged evacuation. In the

można określić jako ewakuację samodzielną, realizowaną bez niczyjej pomocy i/lub wpływu, niezależnie od innych działań i procesów zachodzących w obiekcie lub na terenie [42].

Spośród różnych rodzajów ewakuacji wyróżnić można ewakuację prewencyjną [43]. Jest to proces przemieszczania ludzi, zwierząt lub mienia z terenów lub obiektów w przypadku zbliżającego się zagrożenia. Podczas katastrof naturalnych, np. powodzi, prowadzona jest zarówno ewakuacja prewencyjna, jak i ratownicza [44]. Ewakuacja prewencyjna obiektów dotyczy jego przygotowania pod względem technicznym do samodzielnego opuszczenia przez ludzi bądź przy pomocy strażaków lub przedstawicieli podmiotów współdziałających [45]. Innym określeniem ewakuacji ratowniczej w literaturze przedmiotu jest ewakuacja interwencyjna [45–48]. Ewakuacja ratownicza czy inaczej interwencyjna jest ewakuacją realizowaną przez przybyłe na miejsce służby ratownicze. Ma ona na celu uratowanie ludzi, zwierząt lub mienia przed groźącym im bezpośrednim, często rozprzestrzeniającym się zagrożeniem.

W przypadku długotrwałych działań ratowniczych obejmujących niekiedy znaczny obszar np. podczas powodzi, nie ma możliwości szybkiego powrotu ludności do swojego miejsca zamieszkania. W związku z powyższym po etapie ewakuacji pierwotnej, mającej na celu wywiezienie lub wyprowadzenie ludzi z miejsca zagrożenia do miejsca bezpiecznego, prowadzi się tzw. ewakuację wtórną polegającą na dostarczeniu ludności do miejsc tymczasowego przebywania [49]. Dyskusyjne może być w tym miejscu określenie ewakuacji wtórnej. Przemieszczanie ludzi z miejsca już bezpiecznego do miejsca dłuższego przebywania nie do końca ma charakter ewakuacji. Oczywiście można tutaj pośiłkować się zagrożeniem dla godnego funkcjonowania danej grupy ludzi, które może być znacznie ograniczone bez zapewnienia realizacji podstawowych potrzeb (miejsca nocowania, wyżywienia, higieny osobistej, itp.). Powyższy podział może odnosić się również do takiej formy ewakuacji, w której to w związku z tempem rozwoju zagrożenia prowadzi się ewakuację pierwotną do miejsca potencjalnie bezpieczniejszego zapewniającego minimalne warunki do przetrwania, a następnie już pod mniejszą presją upływającego czasu, ewakuację wtórną do miejsca bezpiecznego.

Z uwagi na uwarunkowania związane z rodzajem i skalą zagrożenia można wyróżnić ewakuację I, II i III stopnia [11]. Ewakuacja I stopnia polega na niezwłocznym przemieszczaniu poza strefę zagrożenia ludności, zwierząt, mienia z obszarów, miejsc, w których wystąpiło nagle, nieprzewidywalne bezpośrednie zagrożenie. Realizuje się ją natychmiast po zaistnieniu zagrożenia życia, zdrowia i mienia. Ewakuacja I stopnia ma charakter ewakuacji ratowniczej (interwencyjnej). Ewakuacja II stopnia polega na uprzednio przygotowanym planowym przemieszczaniu ludności, zwierząt, mienia z rejonów przyległych do zakładów, obiektów hydrotechnicznych, ze stref zalewowych oraz rejonów przyległych do innych obiektów stanowiących potencjalne zagrożenie dla ludzi, zwierząt lub mienia w przypadku uszkodzenia lub awarii. Realizuje się ją w sytuacji wystąpienia symptomów takiego zagrożenia. Ewakuacja II stopnia ma głównie charakter ewakuacji prewencyjnej, planowanej oraz zorganizowanej. Ewakuacja III stopnia polega na uprzednio przygotowanym przemieszczaniu ludności, zwierząt, mienia podczas podwyższania stanu gotowości obronnej państwa. Prowadzona

first case, the directions and escape routes shall be determined before the fire alarm is sounded and, if necessary, corrected during the evacuation. In the second case, the facility has a functioning system of permanent evacuation marking, which is the same for each scenario of the development of events in the facility. Currently, devices are being developed and introduced to support and manage the evacuation process in buildings, mainly multi-family residential buildings. In connection with the fire in London's Grenfell Tower building, the BS 8629:2019 standard [6] was developed. This standard aims to provide a reliable and effective tool to support the evacuation process of a building intended for rescue teams.

Analysing the variety of terms of the evacuation process, it is impossible to omit the trial evacuation [33, 50–51]. In the absence of danger, it is difficult to talk about conducting the evacuation process. Evacuation exercises would be a more appropriate term [52–53]. This formulation is also supported by legal provisions that define evacuation exercises as a practical check of the organization and conditions of evacuation [54].

Given the different nature of evacuation exercises from evacuation, it is appropriate to introduce a definition of this type of process. According to the authors, an evacuation test (evacuation exercises) is an orderly movement of people from a place defined as dangerous to a place designated as safe, carried out in the form of exercises without a real threat to human life and health.

Classification of the evacuation process

The evacuation process can be divided according to the object from which it is carried out:

- evacuation from the area,
- evacuation from the means of transport,
- evacuation of the building,
- evacuation of the battlefield (currently in Afghanistan).

Evacuation of the area may concern the occurrence of a natural disaster, but also the area of a mass event. A natural disaster can cover a certain area that people inhabit. Moving a significant number of people with their belongings is an organizational and logistical challenge. In this case, multiple safe places should be designated to for the evacuated, as there may not be enough resources in one place to provide adequate shelter for all evacuees. In case of mass events, the zones of greatest danger are places within the stage or in the areas of ticket zones and at the entrances to the event area. In both cases, a certain degree of dispersion of the evacuees is indicated. In a situation of this type of evacuation, it is necessary to define several directions

jest w czasie zagrożenia bezpieczeństwa państwa i wojny. Tak jak ewakuacja II stopnia jest ona ewakuacją planowaną i zorganizowaną, realizowaną w wyjątkowej sytuacji obejmującej duży obszar państwa.

Rozwój urządzeń przeciwpożarowych, w tym dynamicznych systemów oświetlenia ewakuacyjnego, pozwala na dokonanie jeszcze jednego podziału na ewakuację zarządzaną (kierowaną) oraz niezarządzaną. W pierwszym przypadku kierunki i drogi ewakuacji są określone przed ogłoszeniem alarmu pożarowego oraz w przypadku konieczności korygowane podczas prowadzenia ewakuacji. W drugim przypadku w obiekcie funkcjonuje system stałego oznakowania ewakuacyjnego, które jest takie samo dla każdego scenariusza rozwoju zdarzeń w obiekcie. Obecnie powstają oraz są wprowadzane urządzenia, których celem jest wspomaganie oraz zarządzanie procesem ewakuacji w budynkach, głównie mieszkalnych wielorodzinnych. W związku z pożarem w londyńskim budynku Grenfell Tower opracowano normę BS 8629:2019 [6]. Norma ta ma na celu dostarczenie niezawodnego i skutecznego narzędzia wspomagającego proces ewakuacji budynku przeznaczonego dla ekip ratowniczych.

Analizując różnorodność określeń procesu ewakuacji, nie sposób pominąć ewakuacji próbnej [33, 50–51]. W sytuacji braku zagrożenia trudno mówić o prowadzeniu procesu ewakuacji. Właściwszym określeniem byłyby ćwiczenia ewakuacyjne [52–53]. Za takim sformułowaniem przemawiają również przepisy prawa, które określają ćwiczenia ewakuacyjne jako praktyczne sprawdzenie organizacji oraz warunków ewakuacji [54].

Mając na uwadze odmienny charakter ćwiczeń ewakuacyjnych od ewakuacji właściwe jest wprowadzenie definicji tego rodzaju procesu. Według autorów próba ewakuacyjna (ćwiczenia ewakuacyjne) to uporządkowany ruch ludzi z miejsca określonego jako niebezpieczne do miejsca wyznaczonego jako bezpieczne, realizowane w formie ćwiczeń bez realnego zagrożenia dla życia i zdrowia ludzi.

Klasyfikacji procesu ewakuacji

Proces ewakuacji można podzielić ze względu na rodzaj obiektu, z którego jest ona prowadzona:

- ewakuacja z obszaru,
- ewakuacja ze środka transportu,
- ewakuacja obiektu budowlanego,
- ewakuacja pola walki (obecnie w Afganistanie).

Ewakuacja obszaru może dotyczyć występowania klęski żywiołowej, ale także terenu imprezy masowej. Klęska żywiołowa może objąć pewien obszar, który zamieszkują ludzie. Przemieszczenie znacznej liczby osób wraz z ich dobytkiem jest wyzwaniem organizacyjnym i logistycznym. W takim przypadku należy wyznaczyć wiele miejsc bezpiecznych, do których prowadzona będzie ewakuacja, gdyż w jednym miejscu może nie być wystarczającej liczby środków do zapewnienia odpowiedniego schronienia dla wszystkich ewakuowanych. W przypadku imprez masowych strefami największego zagrożenia są miejsca w obrębie sceny lub w obszarach stref biletowych oraz przy wejściach na teren imprezy. Zarówno w jednym, jak i w drugim przypadku

of evacuation in such a way as to effectively deploy people and remove them from the place of danger and without causing other additional hazards that may be caused by the concentration of people in only one place. Evacuation from such facilities is specific due to the limited width of passages and exits.

A very large undertaking is the evacuation of an aircraft (airplane), because the development of the threat is usually very fast (available time of safe evacuation – short), and the possibility of evacuation is usually limited by a certain number of emergency exits. The number of people on board the aircraft is significant and can be counted up to hundreds. The experience of the cabin crew and their decisive actions often determine the success of the evacuation process.

Evacuation of a building object is the most well-known type of evacuation. In buildings we stay most of our lives. Everyone at least once took part in an evacuation exercise.

Battlefield evacuation is a specific type of evacuation, in many respects similar to the evacuation of an area in the event of a natural disaster. Division of this type of evacuation due to the time of occurrence of the threat:

- preventive – the threat will occur in a relatively short time (evacuation can be prepared and planned),
- rescue, intervention – the threat is present.

When designing objects intended for people, it is necessary to ensure appropriate evacuation conditions in them. These buildings must be designed and planned taking into account applicable laws, standards and technical knowledge. With this in mind, the investor at the stage of designing the investment should analyse the evacuation process in the event of a threat of the so-called preventive evacuation.

Preventive evacuation also takes place in the event of foreseeable natural disasters. Such a disaster is even a flood. Rising water in rivers and a moving flood wave is a signal for emergency management services to take remedial action. In a situation of a real threat of flooding of specific areas, including residential or industrial areas occupied by man, evacuation activities are carried out in advance to save not only human life and health, but also the lives of animals and property from flooding.

However, even in the best designed building, there may be conditions that make evacuation difficult or impossible. Such a threat may be, for example, a fire caused by terrorist activities. We had a drastic example of this during the terrorist attacks on the World Trade Centre on September 11, 2001. Despite the design of the facility for the so-called preventive evacuation, the actions of the terrorists led to making evacuation on the floors below the fire site more difficult and preventing it above the fire site.

In the event of cutting off or hindering the way of moving along escape routes, there is a real possibility of saving people. However, this circumstance occurs only with the use of specialized equipment and the skills and knowledge of the rescuers. Evacuation carried out by means of ladders, lifts or leading out users of the facility along smoky escape routes in rescue air apparatus is an intervention or rescue evacuation. It is an extremely difficult evacuation, depending on the degree of fire development (threat) and the forces and resources available on

wskazany jest pewien stopień rozproszenia ewakuowanych osób. W sytuacji tego rodzaju ewakuacji niezbędne jest określenie kilku kierunków ewakuacji w taki sposób, aby skutecznie rozlokować ludzi i usunąć ich z miejsca zagrożenia oraz nie powodując dodatkowych innych zagrożeń, jakie mogą zostać wywołane przez koncentrację ludzi w tylko jednym miejscu. Ewakuacja z tego rodzaju obiektów jest specyficzna ze względu na ograniczoną szerokość przejść oraz wyjść.

Bardzo dużym przedsięwzięciem jest ewakuacja statków powietrznych (samolotów), gdyż rozwój zagrożenia przeważnie jest bardzo szybki (dostępny czas bezpiecznej ewakuacji – krótki), a możliwość ewakuacji jest przeważnie ograniczona przez określoną liczbę wyjść ewakuacyjnych. Liczba osób przebywających na pokładzie statku powietrznego jest znaczna i można ją liczyć nawet w setkach. Doświadczenie personelu pokładowego oraz ich zdecydowane działania niejednokrotnie przesądzą o powodzeniu procesu ewakuacji.

Ewakuacja obiektu budowlanego jest to najbardziej znany rodzaj ewakuacji. W obiektach budowlanych przebywamy większą część naszego życia. Każdy człowiek spotkał się chociażby raz z ćwiczeniami ewakuacyjnymi.

Ewakuacja pola walki jest specyficznym rodzajem ewakuacji podobnym pod wieloma względami do ewakuacji obszaru w przypadku klęski żywiołowej. Podział tego typu ewakuacji ze względu na czas występowania zagrożenia:

- prewencyjna – zagrożenie wystąpi w stosunkowo krótkim czasie (ewakuacja może zostać przygotowana i zaplanowana),
- ratownicza, interwencyjna – zagrożenie występuje aktualnie.

Projektując obiekty przeznaczone dla ludzi, niezbędne jest zapewnienie w nich odpowiednich warunków ewakuacji. Budynki te muszą być projektowane oraz planowane z uwzględnieniem obowiązujących przepisów prawa, norm oraz wiedzy technicznej. Mając to na uwadze, inwestor na etapie projektowania inwestycji powinien przeanalizować proces ewakuacji na wypadek wystąpienia zagrożenia tzw. ewakuacji prewencyjnej.

Ewakuacja prewencyjna ma również miejsce w przypadku klęsk żywiołowych możliwych do przewidzenia. Taką klęską jest chociażby powódź. Wzbierająca woda w rzekach oraz przemieszczająca się fala wezbraniowa jest sygnałem dla służb zarządzania kryzysowego do podjęcia działań zaradczych. W sytuacji realnego zagrożenia zalaniem określonych terenów, w tym zajmowanych przez człowieka terenów mieszkalnych lub przemysłowych, prowadzi się z wyprzedzeniem działania ewakuacyjne mające na celu uratowanie nie tylko życia i zdrowia ludzi, ale także życia zwierząt i mienia przed zalaniem.

Nawet w najlepiej zaprojektowanym budynku mogą jednak zaistnieć warunki utrudniające lub uniemożliwiające ewakuację. Takim zagrożeniem może być chociażby pożar spowodowany działaniem terrorystycznym. Drastyczny tego przykład mieliśmy podczas zamachów terrorystycznych na World Trade Center 11 września 2001 r. Pomimo zaprojektowania obiektu na tzw. ewakuację prewencyjną, działanie terrorystów doprowadziło do utrudnienia ewakuacji na kondygnacjach poniżej miejsca pożaru oraz uniemożliwienia jej powyżej miejsca pożaru.

the spot. Undoubtedly, it can be said that in the absence of appropriate equipment, forces and resources, the possibility of survival of imprisoned people drops drastically to zero. An example of a tragic incident involving the cutting off of the escape route is the fire of a shopping centre in Giżycko on March 5, 2008, in which two women were killed. Despite the rescue efforts involving rescuers taking two women out of the burning building, they could not be saved. The rapid development of the fire and the formation of a large amount of hot and toxic smoke caused fatal poisoning of the employees of the shopping centre.

Division of the evacuation due to the scope of the facility's coverage:

- total,
- selective.

The occurrence of a hazardous event requires the determination of the space that is directly or indirectly threatened. A fire created in a building may endanger people in the fire zone in which it occurs. Developed fires, the duration of which is similar to the time when the elements of fire separations perform their protective function, will pose a real threat to the neighbouring fire zones. However, in the case of fires lasting approximately as long as the bearing capacity of the main structure, there is a risk of loss of life and health by its users and this will apply to the entire facility, which often consists of many fire zones.

At the stage of deciding on the scope and method of evacuation, it is necessary to determine whether the entire facility or only part of it will be evacuated. As a consequence of the evacuation of the entire facility, we can talk about a complete evacuation. However, if the conditions in a building allow for the evacuation of only a selected part of it, then we can talk about selective evacuation. It may include several fire zones in the facility, but will not lead to the evacuation of all its users. This solution also applies if the evacuation of the entire facility would pose a greater risk than the fire itself, the extinguishing of which by the building staff or the services arriving at the site will end faster than the evacuation process of the building.

Division of the evacuation due to the time of its commencement by individual users of the facility:

- simultaneous,
- sequence.

The decision to evacuate the entire building is very difficult to make. A person deciding to introduce the obligation of total evacuation should have very good knowledge both in terms of evacuation, architectural and construction conditions, fire protection devices, as well as evacuation conditions in the facility. In order to limit the effects of dangerous events involving people during evacuation, it is possible to spread the alarm of the individual fire (alarm) zones over time. Such a procedure is aimed at preventing the formation of congestion on the escape routes, which significantly slow down the evacuation process itself, and sometimes may even lead to its complete stop. Alarming individual parts of the building performed in a specific sequence is conducting evacuation in a sequential manner. In the absence of sequence, we are talking about simultaneous evacuation. It is possible mainly in single-storey buildings with simple architecture and with many emergency exits. In the case of all multi-storey buildings,

W sytuacji odcięcia lub utrudnienia sposobu przemieszczania się drogami ewakuacyjnymi istnieje realna możliwość uratowania ludzi. Niemniej jednak okoliczność ta zachodzi jedynie przy wykorzystaniu specjalistycznego sprzętu oraz umiejętności i wiedzy ratowników. Ewakuacja prowadzona za pomocą drabin, podnośników czy wyprowadzanie użytkowników obiektu zadymionymi drogami ewakuacyjnymi w ratunkowych aparatach powietrznych jest ewakuacją interwencyjną lub inaczej ratowniczą. Jest to ewakuacja niezwykle trudna, uzależniona od stopnia rozwoju pożaru (zagrożenia) oraz dostępnych na miejscu sił i środków. Bez wątpienia można stwierdzić, że w przypadku braku odpowiedniego sprzętu oraz sił i środków możliwość przeżycia uwięzionych osób spada drastycznie do zera. Przykładem tragicznego zdarzenia polegającego na odcięciu drogi ewakuacyjnej jest pożar centrum handlowego w Giżycku 5 marca 2008 r., w którym śmierć poniosły dwie kobiety. Pomimo działań ratowniczych polegających na wyniesieniu przez ratowników z płonącego budynku dwóch kobiet nie udało się ich uratować. Szybki rozwój pożaru oraz powstanie dużej ilości gorącego i toksycznego dymu spowodowały śmiertelne zatrucie pracownic centrum handlowego.

Podział ewakuacji ze względu na zakres objęcia nią obiektu:

- całkowita,
- selektywna.

Wystąpienie zagrożenia niebezpiecznego wymaga określenia przestrzeni, która jest zagrożona bezpośrednio lub pośrednio. Powstały w budynku pożar może zagrażać osobom znajdującym się w strefie pożarowej, w której występuje. Pożary rozwinięte, których czas trwania jest zbliżony do czasu, w którym elementy oddzielenia przeciwpożarowych spełniają swoją funkcję ochronną, będą stanowiły realne zagrożenie dla sąsiadujących stref pożarowych. Natomiast w przypadku pożarów trwających w przybliżeniu tyle co czas nośności głównej konstrukcji istnieje ryzyko utraty życia i zdrowia przez jej użytkowników. Będzie dotyczyło to całego obiektu składającego się niejednokrotnie z wielu stref pożarowych.

Na etapie decydowania o zakresie i sposobie ewakuacji niezbędne jest określenie, czy ewakuowany będzie cały obiekt, czy tylko jego część. W konsekwencji ewakuacji całego obiektu możemy mówić o ewakuacji całkowitej. Natomiast jeśli warunki występujące w budynku pozwalają na ewakuację tylko wybranej jej części, to możemy mówić o ewakuacji selektywnej. Może ona obejmować kilka stref pożarowych w obiekcie, ale nie będzie prowadzić do ewakuacji wszystkich jego użytkowników. Takie rozwiązanie ma zastosowanie również wtedy, gdy ewakuacja całego obiektu stwarzałaby większe zagrożenie niż sam pożar, którego ugaszenie przez personel budynku lub przybyłe na miejsce służby zakończy się szybciej niż proces ewakuacji budynku.

Podział ewakuacji ze względu na czas jej rozpoczęcia przez poszczególnych użytkowników obiektu:

- równoczesna,
- sekwencyjna.

Decyzja o ewakuacji całego budynku jest bardzo trudna do podjęcia. Osoba decydująca o wprowadzeniu obowiązku ewakuacji całkowitej powinna posiadać bardzo dobrą wiedzę zarówno w zakresie prowadzenia ewakuacji, uwarunkowań architektoniczno-budowlanych, występujących urządzeń przeciwpożarowych, jak i warunków ewakuacji w obiekcie. W celu ograniczenia skutków

especially with one or two staircases, it is necessary to spread the alarm of individual fire zones over time so as not to create an additional threat on the staircases.

Division of the evacuation due to the person deciding to start the evacuation:

- self-evacuation – the user of the object, as a result of noticing a threat, decides to evacuate,
- owner, building manager,
- emergency services,
- local government authorities,
- organs of government authority,
- president of the country.

The decision to evacuate can be made at different levels. If a hazard arises directly in the human environment, he/she may decide to eliminate the threat or to evacuate, if in his/her opinion this threat is unmanageable. Evacuation carried out by decision of a single user of a building will be the so-called self-evacuation. In particular, it takes place in facilities where there is no fire notification system, e.g. multi-family residential buildings.

The threat may develop outside the place of residence of the users of the building, and knowledge in this area may be possessed by its owner or manager. Taking care of the safety of the users of such a facility is their responsibility to order evacuation. It may also happen that the evacuation is managed by the emergency services arriving on the spot based on specialist knowledge and possible directions of threat development.

All kinds of natural disasters often require evacuation by persons representing local government authorities (head of a mayor, prefect of a district) or government (voivode, prime minister). The last body that can decide to evacuate, mainly as the head of the armed forces in the event of a threat related to the defence of the country, is the president.

Division of evacuation due to the effectiveness of the evacuation process:

- evacuation successful, beneficial, comprehensive, complete
- partial evacuation – failure of evacuation, unsuccessful evacuation.

This division is closely related to the purpose for which the evacuation process is carried out. This goal is for all persons in it to leave the danger zone. If, for some reason, this goal is not achieved, and people remain in the danger zone and are exposed to its dangerous factors, we can talk about a partial evacuation or an evacuation failure. The expected final state of the evacuation process is a successful (comprehensive) evacuation.

Evacuation due to the way of conducting is divided into:

- orderly, organized,
- chaotic, spontaneous.

The movement of people along escape routes takes various forms. This may be influenced by the emotional stimulation of the participants in this process and the conditions occurring on the escape routes. In case of a small threat, when the participants of the evacuation process are aware of it and do not undergo excessive emotional stimulation, the evacuation process will proceed in an orderly or organized manner. However, when there is

niebezpiecznych zdarzeń z udziałem ludzi w trakcie prowadzenia ewakuacji możliwe jest rozłożenie w czasie alarmowania poszczególnych stref pożarowych (alarmowych). Taki zabieg ma na celu niedopuszczenie do powstawania zatorów na drogach ewakuacyjnych, które znacznie spowalniają sam proces ewakuacji, a niekiedy nawet mogą doprowadzić do całkowitego jego zatrzymania. Alarmowanie poszczególnych części budynku wykonane w określonej sekwencji jest prowadzeniem ewakuacji w sposób sekwencyjny. W przypadku braku sekwencji mówimy o ewakuacji równoczesnej. Możliwa jest ona głównie w budynkach jednokondygnacyjnych o prostej architekturze oraz o wielu wyjściach ewakuacyjnych. W przypadku wszystkich budynków wielokondygnacyjnych szczególnie z jedną lub dwoma klatkami schodowymi niezbędne jest rozłożenie w czasie alarmowania poszczególnych stref pożarowych tak, aby na klatkach schodowych nie stworzyć dodatkowego zagrożenia.

Podział ewakuacji ze względu na osobę decydującą o rozpoczęciu ewakuacji:

- samoewakuacja – użytkownik obiektu w wyniku zauważenia zagrożenia podejmuje decyzję o ewakuacji,
- właściciel, zarządca budynku,
- służby ratownicze,
- organy władzy samorządowej
- organy władzy rządowej,
- prezydent państwa.

Decyzja o podjęciu ewakuacji może dokonywać się na różnych poziomach. W przypadku powstania zagrożenia bezpośrednio w otoczeniu człowieka może on podjąć decyzję o likwidacji zagrożenia lub o ewakuacji, jeśli to zagrożenie w jego ocenie jest nie do opanowania. Ewakuacja prowadzona na mocy decyzji pojedynczego użytkownika budynku będzie tzw. samoewakuacją. Ma ona w szczególności miejsce w obiektach, w których nie funkcjonuje system powiadamiania o zaistniałym pożarze, np. budynki mieszkalne wielorodzinne.

Zagrożenie może rozwijać się poza miejscem przebywania użytkowników budynku, a wiedzę w tym zakresie może posiadać jego właściciel lub zarządca. Dbając o bezpieczeństwo użytkowników takiego obiektu to na nich ciąży obowiązek zarządzenia ewakuacji. Może się również tak zdarzyć, że ewakuację zarządzają przybyłe na miejsce służby ratownicze w oparciu o specjalistyczną wiedzę oraz możliwe kierunki rozwoju zagrożenia.

Wszelkiego rodzaju klęski żywiołowe wymagają niejednokrotnie uruchomienia ewakuacji przez osoby reprezentujące organy władzy samorządowej (wójt, burmistrz, prezydent miasta, starosta) lub rządowej (wojewoda, premier). Ostatnim organem mogącym podjąć decyzję o ewakuacji, głównie jako zwierzchnik sił zbrojnych w sytuacji zagrożenia związanego z obronnością kraju, jest prezydent państwa.

Podział ewakuacji ze względu na skuteczność prowadzenia procesu ewakuacji:

- ewakuacja pomyślna, korzystna, udana, kompleksowa, pełna,
- ewakuacja częściowa – niepowodzenie ewakuacji, ewakuacja niepomyślna.

Podział ten ściśle związany jest z celem, dla którego prowadzi się proces ewakuacji. Celem tym jest opuszczenie strefy zagrożenia przez wszystkie znajdujące się w niej osoby. Jeśli z jakiś

no reliable information about a threat, and the participants of this process rely on guesses or overvalued opinions, excessive emotional arousal may occur, causing an increase in the level of anxiety through fear to horror or even panic. This affects the way people use the escape routes, and the evacuation process can take a chaotic, spontaneous form. An example of a chaotic evacuation as a result of its participants not informing about the degree of danger or even false information about a threat is the evacuation of the Guangzhou Metro Station on April 3, 2014 [55] or on the Republic Square in France on November 15, 2015. A fire protection device designed to carry out evacuation in an organized manner are voice alarm systems. In addition, they allow to provide reliable and verified information about a threat and the expected directions of action of the building users.

Due to the use of direct coercion, evacuation is divided into:

- compulsory
- voluntary.

Ordering an evacuation involves providing this information in the form of a message. In buildings equipped with a fire alarm system, this is very easy and automatic. The problem with notifying building users about the ordered evacuation may occur where there is no broadcast system in the form of a fire alarm system or warning voice alarm system. The ordered evacuation may be understood by users or may be disregarded. People who have a high sense of security at a given moment in the place where they are or low awareness of the effects of the threats may remain in the danger zone. This situation occurs, for example, during the preventive evacuation of areas threatened by a natural disaster in the form of floods. Some residents of floodplains, taking care of their belongings, are able to stay in the danger zone. In such a situation, by virtue of a state of higher necessity, the services responsible for carrying out the evacuation may carry it out using direct coercion.

Division of evacuation due to the object subjected to this process:

- people,
- animals,
- property,
- intangible assets*.

* *intangible objects requiring protection (e.g. active transactions in the banking system, data of service associates in Afghanistan).*

A developing fire poses a threat to the environment. It causes a threat to the life and health of both humans and animals. Property, especially high-value property, is also subject to the evacuation process. An example of such property are all kinds of exhibits in museums and galleries. For each type of evacuated object, there is an appropriate specificity of evacuation.

The issue of the protection of intangible assets is noteworthy. Currently, many activities of people take place in the virtual zone. The collected data and the recorded activities of users in computer systems are sometimes much more valuable than the equipment on which they are collected. In addition, the evacuation of equipment on which data is stored (servers, data carriers) may lead to their damage or loss. In the field of computer science, tools for the so-called migration of data and systems are developing. This migration involves copying critical data and systems

przyczyn cel ten nie jest osiągnięty, a osoby pozostają w strefie zagrożenia i są narażone na działanie jego niebezpiecznych czynników, możemy mówić o ewakuacji częściowej lub o niepowodzeniu ewakuacji. Oczekiwany stanem końcowym prowadzenia procesu ewakuacji jest ewakuacja pomyślna (kompleksowa).

Ewakuację ze względu na sposób prowadzenia dzielimy na:

- uporządkowaną, zorganizowaną,
- chaotyczną, spontaniczną.

Przemieszczanie się ludzi drogami ewakuacyjnymi przybiera różne formy. Wpływ na to może mieć pobudzenie emocjonalne uczestników tego procesu oraz warunki występujące na drogach ewakuacyjnych. W przypadku niewielkiego zagrożenia, gdy uczestnicy procesu ewakuacji są tego świadomi i nie ulegają nadmiernemu pobudzeniu emocjonalnemu proces ewakuacji będzie przebiegał w sposób uporządkowany lub zorganizowany. Natomiast gdy brak jest rzetelnej informacji o zagrożeniu, a uczestnicy tego procesu polegają na domysłach lub przewartościowanych opiniach może dochodzić do nadmiernego pobudzenia emocjonalnego powodującego wzrost poziomu lęku przez strach aż do przeżycia czy nawet paniki. Wpływa to na sposób pokonywania drogi ewakuacyjnej przez ludzi, a proces ewakuacji może przyjąć formę chaotyczną, spontaniczną. Przykładem ewakuacji chaotycznej w wyniku niedoinformowania jej uczestników o stopniu zagrożenia lub wręcz fałszywej informacji o zagrożeniu jest ewakuacja stacji metra w Guangzhou 3 kwietnia 2014 r. [55] lub na placu Republiki we Francji 15 listopada 2015 r. Urządzeniem przeciwpożarowym mającym na celu prowadzenie ewakuacji w sposób zorganizowany są dźwiękowe systemy ostrzegawcze. Pozwalają one dodatkowo na przekazanie rzetelnej i sprawdzonej informacji o zagrożeniu oraz oczekiwanych kierunkach działań użytkowników budynku.

Ze względu na użycie środka przymusu bezpośredniego ewakuację dzielimy na:

- przymusową,
- dobrowolną.

Zarządzenie ewakuacji wiąże się z przekazaniem tej informacji w postaci komunikatu. W budynkach wyposażonych w system sygnalizacji pożarowej jest to bardzo łatwe i przebiega w sposób automatyczny. Problem z powiadomieniem użytkowników budynku o zarządzanej ewakuacji może pojawić się tam, gdzie brak jest systemu rozgłoszeniowego w postaci systemu sygnalizacji pożarowej czy dźwiękowego systemu ostrzegawczego. Zarządzona ewakuacja może spotkać się ze zrozumieniem ze strony użytkowników lub może zostać zlekceważona. Osoby mające wysokie poczucie bezpieczeństwa w danym momencie w miejscu, w którym się znajdują, lub niską świadomość skutków występujących zagrożeń mogą pozostać w strefie zagrożenia. Sytuacja taka ma miejsce chociażby podczas ewakuacji prewencyjnej terenów zagrożonych klęską żywiołową w postaci powodzi. Część mieszkańców terenów zalewowych, dbając o swój dobytek, jest w stanie pozostać w strefie zagrożenia. W takiej sytuacji na mocy stanu wyższej konieczności służby odpowiedzialne za przeprowadzenie ewakuacji mogą zrealizować ją przy użyciu przymusu bezpośredniego.

Podział ewakuacji ze względu na obiekt poddawany procesowi:

- ludzie,

to devices located in another location (in another building around the world). In the event of a fire, effective and successful data migration over telecommunication links may be a more important process than the protection provided by the evacuation of computer equipment. Server rooms should be designed in such a way that the need to evacuate equipment is brought to a minimum. On one hand, this is achieved by ensuring the functioning of the systems regardless of the fire occurring in the facility (backup electricity supply), appropriate separation of the server room for a time not shorter than the time of the designed fire, on the other hand, care should be taken to equip the server room with the necessary fire protection equipment (m.in. extinguishing devices adapted to the type of extinguished device).

According to the conditions the evacuation is carried out:

- in safe conditions,
- under critical conditions.

A fire generates large amounts of energy in the form of heat and radiation, and large amounts of smoke. These factors pose a real threat to human life and health. Therefore, evacuation can be carried out in safe conditions, but also in critical conditions. Evacuation should always be carried out in safe conditions as far as possible. However, if the conditions and available means do not allow it to be carried out in safe conditions, it is carried out in critical conditions. This can cause people to get burns or smoke poisoning, but it will provide survival and rescue. Evacuation in critical conditions occurs mainly as a rescue evacuation. Rescuers, using their specialist knowledge and equipment as a result of an appropriate hazard assessment, can decide to evacuate in critical conditions. An example of such an extreme evacuation is the removal by the rescuers of the unconscious users of the object located in the smoke zone, the direct impact of the fire.

Division of the evacuation according to the stages of its conduct:

- I degree,
- II degree,
- III degree.

First-degree evacuation consists in the immediate movement of people, animals, property from areas and places where there was a sudden, unforeseen immediate threat outside the danger zone. It is implemented immediately at the request of the vojt, mayor or president of the city after the threat to life, health and property occurs. It may also be ordered by the person managing the rescue operation in the area covered by the action. The manager of the rescue operation is obliged to always notify the competent body of local government administration about making such a decision, specifying in particular:

- the area, site, facilities or complex of buildings for which it has ordered evacuation,
- the type of hazard that was the factor determining the announcement of the evacuation,
- the number of evacuees,
- the place to which the evacuation was carried out.

Second-degree evacuation consists in a previously prepared planned movement of people, animals, property from areas adjacent to plants, hydrotechnical facilities, flood zones and areas adjacent to other facilities posing a potential threat

- zwierzęta,
- mienie,
- wartości niematerialne*.

* *obiekty niematerialne wymagające ochrony przed zagrożeniem (np. aktywne transakcje w systemie bankowym, dane współpracowników służb w Afganistanie).*

Rozwijający się pożar stanowi zagrożenie dla otoczenia. Powoduje on zagrożenie dla życia i zdrowia zarówno ludzi, jak i zwierząt. Mienie, zwłaszcza to o dużej wartości, także podlega procesowi ewakuacji. Przykładem takiego mienia są wszelkiego rodzaju eksponaty w muzeach i galeriach. Dla każdego rodzaju ewakuowanego obiektu funkcjonuje odpowiednia specyfika ewakuacji.

Godna uwagi jest kwestia ochrony wartości niematerialnych i prawnych. Obecnie wiele działań ludzi odbywa się w strefie wirtualnej. Zgromadzone dane oraz zarejestrowane czynności użytkowników w systemach komputerowych są niekiedy o wiele bardziej cenne niż sam sprzęt, na którym są one zgromadzone. Ponadto ewakuacja takiego sprzętu (serwery, nośniki danych) może doprowadzić do ich uszkodzenia lub utraty. W dziedzinie informatyki rozwijają się narzędzia do tzw. migracji danych i systemów. Migracja ta polega na kopiowaniu newralgicznych danych i systemów do urządzeń znajdujących się w innej lokalizacji (w innym budynku na terenie całego świata). W przypadku pożaru ważniejszym procesem może okazać się skuteczna i zakończona powodzeniem migracja danych przez łącza telekomunikacyjne niż ochrona prowadzona przez ewakuację sprzętu komputerowego. Serwerownie powinny być zaprojektowane tak, aby zminimalizować konieczność ewakuacji sprzętu. Z jednej strony realizuje się to przez zapewnienie funkcjonowania systemów niezależnie od występującego w obiekcie pożaru (rezerwowe zasilanie w energię elektryczną), odpowiednie wydzielenie pomieszczenia serwerowni na czas nie krótszy niż czas projektowanego pożaru, z drugiej strony należy zadbać o wyposażenie pomieszczenia serwerowni w niezbędne urządzenia przeciwpożarowe (m.in. urządzenia gaśnicze dostosowane do rodzaju gaszonego urządzenia).

Podział ze względu na warunki, w jakich prowadzona jest ewakuacja:

- warunki bezpieczne,
- warunki krytyczne.

Pożar generuje duże ilości energii w postaci ciepła i promieniowania oraz duże ilości dymu. Czynniki te stwarzają realne zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi. Dlatego ewakuacja może być prowadzona w warunkach bezpiecznych, ale również w warunkach krytycznych. Ewakuację należy zawsze w miarę możliwości prowadzić w warunkach bezpiecznych. Jeśli jednak warunki oraz dostępne środki nie pozwalają na przeprowadzenie jej w warunkach bezpiecznych, prowadzona jest w warunkach krytycznych. Może to powodować u ludzi wystąpienie oparzeń lub zatrucia produktami dymu, jednakże zapewni możliwość przeżycia i uratowania. Ewakuacja w warunkach krytycznych występuje głównie jako ewakuacja ratownicza. Ratownicy korzystając ze swojej specjalistycznej wiedzy i sprzętu w wyniku odpowiedniej oceny zagrożenia, mogą podjąć decyzję o ewakuacji w warunkach krytycznych. Przykładem takiej skrajnej ewakuacji jest wynoszenie przez ratowników nieprzytomnych użytkowników obiektu znajdujących się w strefie zadytmienia, bezpośredniego oddziaływania pożaru.

to the population, animals or property in the event of their damage or failure. It is implemented in the event of symptoms of such a threat.

Evacuation of the third degree consists in a previously prepared movement of people, animals, property during increasing the state of defence readiness of the state. It is conducted during the threat to state security and war. In case of third-degree evacuation, the decision to carry it out is taken by local civil defence bodies or military bodies (in the zone of direct hostilities) in cooperation with a competent civil defence authorities in accordance with the principles set out in the Act of August 29, 2002 on martial law and on the competences of the Supreme Commander of the Armed Forces and the principles of his subordination to the constitutional bodies of the Republic of Poland [56].

Division of evacuations according to the number of the participants:

- single – free, unlimited,
- mass – limited.

The course of the evacuation process depends on the size of the group subject to this activity. The flow of people through escape routes is subject to laws similar to the flow of liquid in pipes. In case of a large number of people evacuating at the same time, congestion may occur on the escape routes, and thus slow down the evacuation process. In terms of the number of users, a single evacuation will certainly be a free evacuation and unlimited by the physics of the flow of people along escape routes. On the other hand, mass evacuation will be associated with some kind of restrictions and difficulties in overcoming the escape route. Mass evacuation largely causes the risk of injuries among its participants.

Podział ewakuacji ze względu na etapy jej prowadzenia:

- I stopnia,
- II stopnia,
- III stopnia.

Ewakuacja I stopnia polega na niezwłocznym przemieszczeniu ludności, zwierząt, mienia z obszarów i miejsc, w których wystąpiło nagle, nieprzewidziane bezpośrednie zagrożenie poza strefę zagrożenia. Realizuje się ją natychmiast po zaistnieniu zagrożenia dla życia, zdrowia i mienia na polecenie wójta, burmistrza lub prezydenta miasta. Może ją także zarządzić osoba kierująca akcją ratunkową na terenie objętym daną akcją. Kierujący akcją ratowniczą zobowiązany jest każdorazowo powiadomić właściwy organ administracji samorządowej o podjęciu takiej decyzji, podając w szczególności:

- rejon, teren, obiekty lub zespół budynków, dla którego zarządził ewakuację,
- rodzaj zagrożenia, który był czynnikiem determinującym ogłoszenie ewakuacji,
- liczbę ewakuowanych,
- miejsce, do którego dokonano ewakuacji.

Ewakuacja II stopnia polega na uprzednio przygotowanym planowym przemieszczeniu ludności, zwierząt, mienia z rejonów przyległych do zakładów, obiektów hydrotechnicznych, ze stref zalewowych oraz rejonów przyległych do innych obiektów stanowiących potencjalne zagrożenie dla ludności, zwierząt lub mienia w przypadku ich uszkodzenia lub awarii. Realizuje się ją w sytuacji wystąpienia symptomów takiego zagrożenia.

Ewakuacja III stopnia polega na uprzednio przygotowanym przemieszczeniu ludności, zwierząt, mienia podczas podwyższenia stanu gotowości obronnej państwa. Prowadzona jest w czasie zagrożenia bezpieczeństwa państwa oraz wojny. W przypadku ewakuacji III stopnia decyzję o jej przeprowadzeniu podejmują terenowe organy obrony cywilnej lub organy wojskowe (w strefie bezpośrednich działań wojennych) we współdziałaniu z właściwymi organami obrony cywilnej zgodnie z zasadami określonymi w ustawie z dnia 29 sierpnia 2002 r. o stanie wojennym oraz o kompetencjach Naczelnego Dowódcy Sił Zbrojnych i zasadach jego podległości konstytucyjnym organom Rzeczypospolitej Polskiej [56].

Podział ewakuacji ze względu na liczebność uczestników:

- pojedyncza – swobodna, nieograniczona,
- masowa – ograniczona.

Przebieg procesu ewakuacji uzależniony jest od liczebności grupy podlegającej tej czynności. Przepływ ludzi drogami ewakuacyjnymi podlega prawom podobnym do przepływu cieczy w rurach. W przypadku dużej liczby osób ewakuujących się równocześnie może dochodzić do powstawania zatorów na drogach ewakuacyjnych, a tym samym spowolnienia procesu ewakuacji. Pod względem liczebności użytkowników ewakuacja pojedyncza z pewnością będzie ewakuacją swobodną i nieograniczoną przez fizykę przepływu ludzi drogami ewakuacyjnymi. Natomiast ewakuacja masowa będzie wiązała się z pewnego rodzaju ograniczeniami oraz trudnościami w pokonaniu drogi ewakuacyjnej. Ewakuacja masowa w znacznym stopniu powoduje zagrożenie powstania urazów i obrażeń wśród jej uczestników.

Summary

The authors submit to public discussion the proposed criteria for the division of the evacuation process and its definition. The analysis shows that evacuation is a very complex process. This process takes many forms, and each of these forms is characterized by different specifics. Depending on the form of evacuation, there are different approaches to its planning, organization and management.

Another element that speaks in favour of the need to clarify the definition of the evacuation process and determine its types is the possibility of conducting safety analysis for its individual types. Without additional detailed analysis, we can say that full-simultaneous evacuation, in which the number of participants will cause restrictions on escape routes, is much more dangerous than full-sequential evacuation with a small number of people evacuating. Systematization of the issue will bring measurable benefits to the field of fire engineering allowing to express the same types of evacuation with one type of adjectives and terms.

Conclusion

The analysis shows that the concept of evacuation has a broader meaning than it appears from the definitions introduced so far. Evacuation should be defined as the process of moving people, animals or property from a place of danger to a place that is currently safe. For the purposes of this article, a total of more than 25 evacuation process determinations have been identified, which have been classified into 12 categories. Progress in many areas, i.e. construction, development of transport, urban infrastructure and the occurrence of public demonstrations, events affects the need to verify existing definitions for the needs of new conditions. The publication aims to draw attention to the need to introduce a systematic classification of the evacuation process. Such classification will allow for the proper identification of all kinds of variables affecting the various forms of this process. The introduction of the classification will allow the use of appropriate measures, tools and procedures to ensure an adequate level of human safety. The classification carried out may be the basis for identifying the hazards that may occur during individual forms of evacuation.

Literature / Literatura

- [1] Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 kwietnia 1997 r. (Dz. U. 1997 nr 78, poz. 483 ze zm.).
- [2] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (tj. Dz. U. 2020, poz. 1333 ze zm.).
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (tj. Dz. U. 2019, poz. 1065 ze zm.).

Podsumowanie

Autorzy poddają do publicznej dyskusji proponowane kryteria podziału procesu ewakuacji oraz jego definiowania. Z przeprowadzonej analizy wynika, że ewakuacja jest procesem bardzo złożonym. Proces ten przyjmuje wiele form, a każda z tych form charakteryzuje się odmienną specyfiką. W zależności formy prowadzenia ewakuacji występują odmienne podejścia do jej planowania, organizacji oraz kierowania.

Kolejnym elementem przemawiającym za koniecznością uściślenia definicji procesu ewakuacji oraz określenia jej rodzajów jest możliwość prowadzenia analizy bezpieczeństwa dla poszczególnych jej rodzajów. Bez dodatkowej szczegółowej analizy możemy powiedzieć, że ewakuacja pełna-równoczesna, w której liczba uczestników spowoduje ograniczenia na drogach ewakuacyjnych jest znacznie bardziej niebezpieczna od ewakuacji pełnej-sekwencyjnej z małą liczbą ewakuujących się osób. Usystematyzowanie zagadnienia przyniesie dziedzinie inżynierii pożarowej wymierne korzyści pozwalające na wyrażanie tych samych rodzajów ewakuacji jednym rodzajem przymiotników i określeń.

Wnioski końcowe

Z analizy wynika, że pojęcie ewakuacji ma szersze znaczenie niż wynika to z dotychczas wprowadzonych definicji. Ewakuację należy definiować jako proces przemieszczania ludzi, zwierząt lub mienia z miejsca zagrożenia do miejsca aktualnie bezpiecznego. Na potrzeby niniejszego artykułu zidentyfikowano łącznie ponad 25 określeń procesu ewakuacji, które zostały sklasyfikowane według 12 kategorii. Postęp w wielu dziedzinach tj. budownictwo, rozwój transportu, infrastruktury miast oraz występowania publicznych manifestacji, imprez wpływa na potrzebę weryfikowania istniejących definicji na potrzeby nowych uwarunkowań. Publikacja ma na celu zwrócenie uwagi na konieczność wprowadzenia usystematyzowanej klasyfikacji procesu ewakuacji. Klasyfikacja taka pozwoli na właściwą identyfikację wszelkiego rodzaju zmiennych mających wpływ na różne formy tego procesu. Wprowadzenie klasyfikacji pozwoli na zastosowanie odpowiednich środków, narzędzi oraz procedur do zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa ludzi. Przeprowadzona klasyfikacja może być podstawą do zidentyfikowania zagrożeń mogących występować podczas prowadzenia poszczególnych form ewakuacji.

- [4] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1137/2008 z dnia 22 października 2008 r. dostosowujące do decyzji Rady 1999/468/WE niektóre akty podlegające procedurze ustanowionej w art. 251 Traktatu, w zakresie procedury regulacyjnej połączonej z kontrolą – Dostosowanie do procedury regulacyjnej połączonej z kontrolą (Dz. U. UE. L. 2008.311.1).
- [5] BSI (British Standards Institution), Application of fire safety engineering principles to the design of buildings – Human

- factors. Life safety strategies. Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6), BS 7974-6, Londyn 2019.
- [6] BSI (British Standards Institution), Code of practice for the design, installation, commissioning and maintenance of evacuation alert systems for use by fire and rescue services in buildings containing flats, BS 8629, Londyn 2019.
- [7] BSI (British Standards Institution), Fire detection and fire alarm systems. Planning, design, installation, commissioning, use and maintenance of voice alarm systems, PD CEN/TS 54-32:2015, Londyn 2015.
- [8] Hurley M. J., i in., *SFPE handbook of fire protection engineering*, Springer, 2015, <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0>.
- [9] Lewis Ch. T., Short Ch., *A Latin Dictionary*, Nowy Jork 1879.
- [10] Kolmann P., *Z problematyki ochrony ludności. Istota ewakuacji w ujęciu powszechnym*, „O Bezpieczeństwie i Obronności” 2020, nr 1, s. 88–98.
- [11] Leśniakiewicz W., *Wytyczne szefa obrony cywilnej kraju z dnia 17 października 2008 r. w sprawie zasad ewakuacji ludności, zwierząt i mienia na wypadek masowego zagrożenia*, Warszawa 2008.
- [12] PKN (Polski Komitet Normalizacyjny), *Ochrona przeciwpożarowa – Terminologia – Ewakuacja i środki ewakuacji*, PN-ISO 8421-6:1997, Warszawa 1997.
- [13] NFPA (National Fire Protection Association), *Standard on Mass Evacuation, Sheltering, and Re-entry Programs*, NFPA 1616, Massachusetts 2020.
- [14] Yujie W., Bhattacharya Y., Nakamura H., *Safety Evaluation of an Urban Redevelopment Area as an Evacuation Area for Large-Scale Urban Fires*, „SEATUC Journal of Science and Engineering” 2021, 2(1), 40, https://doi.org/10.34436/jsse.2.1_40.
- [15] Nepelski M., *Zarządzanie w sytuacjach kryzysowych*, Wyższa Szkoła Policji w Szczytnie, Szczytno 2016.
- [16] Fałdowski M., *Współczesny wymiar bezpieczeństwa*, „Zeszyty Naukowe SGSP” 2018, 66(2), 109–122.
- [17] Olak K., Olak A., *Współczesne rozumienie bezpieczeństwa narodowego*, „Acta Scientifica Academiae Ostroviensis. Sectio A, Nauki Humanistyczne, Społeczne i Techniczne” 2016, 7(1), 467–480.
- [18] Ustawa z dnia 6 czerwca 1997 r. Kodeks karny (tj. Dz. U. 2020 poz. 1444 ze zm.).
- [19] Szczypta R., *Wymagania przeciwpożarowe w zakresie aranżacji przestrzeni w budynkach według obowiązujących przepisów i stanowiska KG PSP*, Warszawa 2014, <http://sibp.pl/uploads/pages/materialy/szczypta.pdf> [dostęp: 10.11.2021].
- [20] Kobes M., Helsloot I., De Vries B., Post J.G., *Building safety and human behaviour in fire: A literature review*, „Fire Safety Journal” 2010, 45, <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2009.08.005>.
- [21] Maciak T., Barański M., *Wprowadzenie do komputerowego modelowania zachowania się tłumu. Wybrane aspekty psychologii tłumu*, BiTP Vol. 40 Issue 4, 2015, pp. 39–49, <https://doi.org/10.12845/bitp.40.4.2015.3>.
- [22] Decree of the minister of the interior 2 August 2015 Approval of fire prevention technical standards, pursuant to Article 15 of Legislative Decree 139 of 8 Mar. 2006.
- [23] Babrauskas V., Fleming J.M., Russell B.D., *RSET/ASET, a flawed concept for fire safety assessment*, „Fire and Materials” 2010, 34, 341–355, <https://doi.org/10.1002/fam.1025>.
- [24] Purser D.A., *Fire safety and evacuation implications from behaviours and hazard development in two fatal care home incidents*, „Fire and Materials” 2015, 39(4), 430–452, <https://doi.org/10.1002/fam.2250>.
- [25] Popielarczyk T., *Ewakuacja ludzi z wykorzystaniem dźwiękowych systemów ostrzegawczych*, Wyd. CNBOP-PIB, Józefów 2018.
- [26] *Słownik języka polskiego*, PWN, <https://sjp.pwn.pl/> [dostęp: 10.11.2021].
- [27] Smolarkiewicz M., *Techniki Satelitarne w Zarządzaniu Kryzysowym – Studium Użyteczności*, BiTP Vol. 14 Issue 2, 2009, pp. 39–50.
- [28] Pauls J., *Calculating evacuation times for tall buildings*, „Fire Safety Journal” 1987, 12(3), 213–236, [https://doi.org/10.1016/0379-7112\(87\)90007-5](https://doi.org/10.1016/0379-7112(87)90007-5).
- [29] Sulik P., Sędlak B., Turkowski P., Węgrzyński W., *Bezpieczeństwo pożarowe budynków wysokich i wysokościowych, w: Budownictwo na obszarach zurbanizowanych, Nauka, praktyka, perspektywy*, A. Halicka (red.) Politechnika Lubelska, Lublin 2014.
- [30] Gromek P., Jarzynka K., Grabowska I., *Ewakuacja I stopnia placówki oświatowej – podejście projektowe*. Wprowadzenie, „Zeszyty Naukowe SGSP” 2017, 63(3), 7–19.
- [31] Gravit M., Dmitriev I., Kuzenkov K., *Phased evacuation algorithm for high-rise buildings*, „MATEC Web of Conferences” 2018, 245, <https://doi.org/10.1051/mateconf/201824511012>.
- [32] Parisi D. R., Negri P. A., *Sequential evacuation strategy for multiple rooms toward the same means of egress*, „Papers in Physics” 2014, 6, <https://doi.org/10.4279/PIP060013>.
- [33] Żróbek R., Ogoniewski M., Piotrowski M., *Zasady usprawnienia wybranych procedur ewakuacji w procesie zarządzania nieruchomościami*, „Acta Scientiarum Polonorum. Administratio Locorum” 2014, 13(1), 45–55.
- [34] Juras B., *Planowanie zarządzania kryzysowego w szpitalu, rozprawa doktorska*, Uniwersytet Medyczny w Poznaniu, Poznań 2011.
- [35] Li J., Zhu H., *A risk-based model of evacuation route optimization under fire*, „Procedia Engineering” 2018, 211, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.12.024>, 365–371.
- [36] Brzezińska D., Ollesz R., *Wentylacja oddymiająca w garażach – rozwiązania kontrowersyjnych problemów na przykładach projektowych*, BiTP Vol. 45 Issue 1, 2017, pp. 130–141, doi: 10.12845/bitp.45.1.2017.10.
- [37] Hulida E., Pasnak I., Koval O., Tryhuba A., *Determination of the critical time of fire in the building and ensure successful evacuation of people*, „Periodica Polytechnica Civil Engineering” 2019, 63(1), 308–316, <https://doi.org/10.3311/PPci.12760>.
- [38] Gromek P., *Organizacja masowej ewakuacji ludności w Polsce, rozprawa doktorska*, AON, Warszawa 2014.
- [39] Szwemin S., *Praktyczne aspekty identyfikacji zagrożeń podczas planowania ewakuacji ludności na wypadek konfliktu zbrojnego*, „Przedsiębiorstwo i Praca” 2021, 11.

- [40] Hong L., Gao J., Zhu W., *Self-evacuation modelling and simulation of passengers in metro stations*, „Safety Science” 2018, 110, 127–133, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.05.013>.
- [41] Gromek P., *Aspekt społeczny analizy ryzyka ewakuacji ludności w obliczu klęski żywiołowej w Polsce*, „Prace i Studia Geograficzne” 2014, 55, 43–53.
- [42] Doroszewski W., *Słownik języka polskiego*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1969.
- [43] Barć M., *Zarządzanie ewakuacją ludności i mienia podczas zagrożeń niemilitarnych przez oddziały i pododdziały Sił Zbrojnych RP*, „Roczniki Ekonomii i Zarządzania” 2017, 9(2), 61–78.
- [44] Riebert D., Ślosorz Z., Radwan K., Rakowska J., Porycka B., Abgarowicz I., Suchorab P., *Doraźne metody ochrony stosowane podczas powodzi ze szczególnym uwzględnieniem rękawów przeciwpowodziowych*, Wydawnictwo CNBOP-PIB, Józefów 2012.
- [45] Wielkopolski Urząd Wojewódzki w Poznaniu, *Ewakuacja ludności*, <https://www.poznan.uw.gov.pl/ewakuacja-ludnosc> [dostęp: 08.09.2021].
- [46] Węgrzyński W., Krajewski G., *Wentylacja pożarowa tuneli drogowych*, „Materiały Budowlane” 2015, 2, 14–16, <https://doi.org/10.15199/33.2015.02.03>.
- [47] Sochacki M., *Trzydzieści lat ratownictwa wysokościowego w ochronie przeciwpożarowej*, „Kwartalnik Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” 2009, 16, 21–34.
- [48] Marciniak A., Boczarski J., Budziński Z., Jarosławska-Kolman K., *Analiza porównawcza głównych wymagań przepisów polskich i brytyjskich w zakresie przygotowania terenów wokół budynków doprowadzenia ewakuacji interwencyjnej*, „Logistyka” 2015, 5, 1129–1134.
- [49] Szylar J., *Szkolenie Strażaków Ratowników OSP z zakresu działań przeciwpowodziowych oraz ratownictwa na wodach*, Wydawnictwo CNBOP-PIB, Józefów 2009.
- [50] Gromek P., *Efektywne ewakuacje próbne*, „Doradca Dyrektora Szkoły” 2012, 19, s. 22–24.
- [51] Cłapa I., *Instrukcja bezpieczeństwa pożarowego, scenariusz pożarowy oraz próbna ewakuacja jako kluczowe elementy zarządzania systemem bezpieczeństwa pożarowego budynku*, BiTP Vol. 40 Issue 4, 2015, 123–131.
- [52] Chudy S., *Ćwiczenia ewakuacyjne w zakładach pracy*, „Promotor BHP” 2016, 4, 42–45.
- [53] Santos A., Queirós M., *Public buildings safety: addressing a pilot evacuation exercise*, w: T. Nowakowski, *Safety and Reliability: Methodology and Applications*, CRC Press 2015.
- [54] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. 2010 nr 109, poz. 719 ze zm.).
- [55] Zhao H., Sun Y., *Communication effect of passengers on information diffusion in metro emergency*, „Wuhan University Journal of Natural Sciences” 2017, 22(6), 503–509, <https://doi.org/10.1007/s11859-017-1280-z>.
- [56] Ustawa z dnia 29 sierpnia 2002 r. o stanie wojennym oraz o kompetencjach Naczelnego Dowódcy Sił Zbrojnych i zasadach jego podległości konstytucyjnym organom Rzeczypospolitej Polskiej (Dz. U. 2017, poz. 1932).

SENIOR CPT. MARIUSZ BARAŃSKI, M.SC. ENG. – currently, a PhD student at the Lodz University of Technology, Faculty of Process Engineering and Environmental Protection, cooperating with Dorota Brzezińska, PhD Eng. A graduate of the School of Aspirants of the State Fire Service in Kraków, the Main School of Fire Service and the Wrocław University of Technology. Member of the Board of the Lower Silesian Branch of the Association of Fire Engineers and Technician. An officer of the State Fire Service with 17 years of professional experience. Currently a senior specialist in the Inspection and Reconnaissance Department of the Provincial Headquarters of the State Fire Service in Wrocław. The subject of his interests are issues related to the evacuation process and its modelling, in particular the evacuation of buildings. Author of articles in, inter alia, CNBOP-PIB quarterly Safety & Fire Technology, Scientific Journals of the Main School of the Fire Service.

AGNIESZKA HAZNAR-BARAŃSKA, M.SC. – a graduate of the University of Economics in Wrocław. A long-time member of the Volunteer Fire Department in Oława, and a long-time employee of public institutions (the District Prosecutor’s Office, the County Headquarters of the State Fire Service, the Roads and City Greenery Authority). He has extensive knowledge in the field of public safety, including fire safety.

ST. KPT. MGR INŻ. MARIUSZ BARAŃSKI – obecnie doktorant Politechniki Łódzkiej na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska współpracujący z dr hab. inż. Dorotą Brzezińską. Absolwent Szkoły Aspirantów Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie, Szkoły Głównej Służby Pożarniczej oraz Politechniki Wrocławskiej. Członek Zarządu Oddziału Dolnośląskiego Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Pożarnictwa. Funkcjonariusz Państwowej Straży Pożarnej z 17-letnim doświadczeniem zawodowym. Obecnie starszy specjalista w Wydziale Kontrolno-Rozpoznawczym Komendy Wojewódzkiej Państwowej Straży Pożarnej we Wrocławiu. Przedmiotem jego zainteresowań są zagadnienia związane z procesem ewakuacji oraz jego modelowania, w szczególności ewakuacji budynków. Autor artykułów na łamach m.in. Kwartalnika BiTP, Safety & Fire Technology, Zeszytów Naukowych SGSP.

MGR AGNIESZKA HAZNAR-BARAŃSKA – absolwentka Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu. Wieloletni członek Ochotniczej Straży Pożarnej w Oławie oraz wieloletni pracownik instytucji publicznych (Prokuratura Rejonowa, Komenda Powiatowa Państwowej Straży Pożarnej, Zarząd Dróg i Zieleni Miejskiej). Posiada szeroką wiedzę z zakresu bezpieczeństwa publicznego, w tym bezpieczeństwa pożarowego.

sft.cnbop.pl

